



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΖΥΜΩΣΗΣ
ΤΟΥ ΚΑΦΕ**

Εισηγήτριες: Μαλβίνα Κόλα (14527), Ελένη Δεληγιαννίδη (14317)

Επιβλέπουσα: Ανθιμία Μπατρίνου

ΑΘΗΝΑ 2022

Αθήνα, 2022

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Ανθιμία Μπατρίνου, Επίκουρος Καθηγήτρια

2. Μέλος επιτροπής

Ειρήνη Στρατή, Επίκουρος Καθηγήτρια

3. Μέλος επιτροπής

Βασιλική Κυρανά, μέλος ΕΔΠ

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Δηλώνουμε υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του νόμου περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι είμαστε οι αποκλειστικές συγγραφείς της παρούσας πτυχιακής εργασίας, η οποία δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής, ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) που χρησιμοποιήθηκαν για την συγγραφή της περιλαμβάνονται στην βιβλιογραφία. Δηλώνουμε, επίσης, ότι αναλαμβάνουμε τις συνέπειες, όπως αυτές νομίμως ορίζονται, σε περίπτωση που αποδειχθεί διαχρονικά ότι η εργασία αυτή αποτελεί προϊόν λογοκλοπής.

Μαλβίνα Κόλα

Ελένη Δεληγιαννίδη



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παραγωγή του καφέ, ο οποίος αποτελεί το δεύτερο πιο εμπορεύσιμο αγαθό μετά το πετρέλαιο, έχει μελετηθεί λεπτομερώς και χρήζει ενδιαφέροντος παγκοσμίως. Ο καρπός του καφέ ανήκει στο γένος *Coffea* και προέρχεται από 3 είδη: *Coffea arabica*, *Coffea canephora* και *Coffea liberica* με τα πρώτα 2 είδη να επικρατούν σε ποσοστό καλλιέργειας και παραγωγής. Καλλιεργείται κυρίως σε περιοχές του Ισημερινού και ακολουθεί έναν ετήσιο κύκλο ανάπτυξης και καρποφορίας. Οι ώριμοι καρποί υφίστανται ξηρή (dry process) ή υγρή (wet process) επεξεργασία για να γίνει εξαγωγή των κόκκων από τον περίβλημά τους. Οι διαφορετικοί τρόποι επεξεργασίας των κόκκων μετά τη συλλογή τους, επηρεάζει τα μεταβολικά μονοπάτια και τις αντιδράσεις που συμβαίνουν στον καφέ. Η ζύμωση είναι η σημαντικότερη μεταβολική διαδικασία του καρπού και σχετίζεται άμεσα με το τελικό αποτέλεσμα του προϊόντος του καφέ. Για αυτόν τον λόγο έχουν μελετηθεί εκτενώς οι συμμετέχοντες μικροοργανισμοί καθώς και οι μεταβολικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στην διαδικασία αυτή. Οι μικροοργανισμοί προκύπτουν φυσικά πάνω στον καρπό και στο εσωτερικό του και αυξάνονται σε αριθμό, μέχρι την ωρίμανση του καρπού. Η ζύμωση είναι σημαντική για την αποικοδόμηση και απομάκρυνση του εξωτερικού περιβλήματος του καρπού. Τέλος, το καβούρδισμα του καφέ είναι η θερμική επεξεργασία των ωμών κόκκων καφέ που έχουν απαλλαγεί από το εξωτερικό τους περίβλημα και έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή των φυσικών, δομικών, χημικών και οργανοληπτικών ιδιοτήτων του καφέ ώστε να προκύψει το τελικό προϊόν του ροφήματος του καφέ. Κατά το καβούρδισμα πραγματοποιούνται ενδόθερμες και εξώθερμες αντιδράσεις, με κυριότερες αντιδράσεις την Maillard και την Strecker. Το καβούρδισμα αποτελεί σημαντικό βήμα στην παραγωγή του καφέ και το τελικό προϊόν είναι άμεσα συνδεδεμένο με τις συνθήκες κάτω από τις οποίες υπέστη επεξεργασία ο καρπός.

Λέξεις κλειδιά: Ζύμωση καφέ, γένος *Coffea*, *Coffea arabica*, *Coffea robusta*, καβούρδισμα, αντίδραση Maillard.

ABSTRACT

The production of coffee, which is the second most tradable commodity after oil, has been studied in detail and deserves worldwide attention. The coffee fruit belongs to the genus *Coffea* and comes from 3 species: *Coffea arabica*, *Coffea canephora* and *Coffea liberica* with the first 2 species prevailing in terms of cultivation and production. Coffee is cultivated mainly in areas around the Equator and follows an annual growth and fruiting cycle. Ripe fruits undergo a dry process or a wet process to extract the kernels from their casing. The different ways of processing the beans after they are collected, affects the metabolic pathways and reactions that occur in the coffee. Fermentation is the most important metabolic process of the fruit and is directly related to the final result of the coffee product. For this reason, the participating microorganisms as well as the metabolic processes that take place in this process have been extensively studied. Microorganisms occur naturally on the fruit and inside it and increase in number until the fruit ripens. Fermentation is important to break down and remove the outer skin of the fruit. Finally, coffee roasting is the heat treatment of the raw coffee beans that have been freed from their outer casing and results in the change of the physical, structural, chemical and organoleptic properties of the coffee to produce the final product of the coffee beverage. During roasting, endothermic and exothermic reactions take place, with the main reactions being Maillard and Strecker. Roasting is an important step in the production of coffee and the final product is directly linked to the conditions under which the fruit was processed.

Key words: coffee fermentation, genus *Coffea*, *Coffea arabica*, *Coffea robusta*, coffee roasting, Maillard reaction.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|-----------|
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ | 7 |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ | 8 |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 9 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ ΓΕΝΟΣ COFFEA..... | 13 |
| 1.1. Φυσιολογία του καφέ | 13 |
| 1.1.1 Εποχιακός κύκλος ανάπτυξης..... | 15 |
| 1.1.2. Δομή Βλαστών..... | 17 |
| 1.1.3. Απόδοση..... | 17 |
| 1.1.4. Φωτοσύνθεση | 18 |
| 1.2. Ο καρπός του καφέ..... | 20 |
| 1.3. Ποικιλίες καφέ..... | 22 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΖΥΜΩΣΗ ΚΑΦΕ..... | 27 |
| 2.1. Πορεία ωρίμανσης φυτού | 27 |
| 2.2. Η ζύμωση του καφέ και οι συμμετέχοντες μικροοργανισμοί | 30 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΑΒΟΥΡΔΙΣΜΑ ΤΟΥ ΚΑΦΕ..... | 45 |
| 3.1. Διαδικασία καβουρδίσματος | 45 |
| 3.2. Χημικές αντιδράσεις κατά τη διάρκεια του καβουρδίσματος | 48 |
| 3.3. Επίδραση διαφορετικών θερμοκρασιών και χρόνων..... | 55 |
| 3.4. Διαφορετικά είδη καφέ με διαφορετικούς τρόπους καβουρδίσματος..... | 58 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 64 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 67 |
| Ξενόγλωσση | 67 |
| Ελληνόγλωσση..... | 72 |
| Διαδικτυακές πηγές..... | 72 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1: Καφεόδεντρο..... | 14 |
| Εικόνα 2: Ωριμοι καρποί καφεόδεντρου..... | 14 |
| Εικόνα 3: Κύκλος ζωής του είδους <i>Coffea arabica</i> (Castillo et al., 2020)..... | 15 |
| Εικόνα 4: Στο διάγραμμα αυτό φαίνονται οι εποχιακές αλλαγές στις βροχοπτώσεις, στον ρυθμό επιμήκυνσης βλαστών καθώς και στην εποχή άνθισης και στη συγκομιδή καρπών. Συγκεκριμένα σε περιοχές της Ινδίας, της Κένυας και της Βραζιλίας (Vasudeva & Ramaiah, 1979; Cannell, 1971c, 1971d; Maestri & Barros, 1977)..... | 16 |
| Εικόνα 5: Διαφορετικές περίοδοι άνθισης και συγκομιδής καρπών σε περιοχές της Κολομβίας (Trojer, 1968)..... | 16 |
| Εικόνα 6: Δομή βλαστού..... | 17 |
| Εικόνα 7: Ιδανικές θερμοκρασίες φωτοσύνθεσης σε C3, C4 και CAM φυτά. Πηγή: Yamori et al., 2014..... | 19 |
| Εικόνα 8: Δομή του καρπού..... | 21 |
| Εικόνα 9: 1) dried whole cherry, 2) bean with hull-parchment, 3) hull-parchment, 4) de-hulled green bean with silver skin, 5) polished green bean, 6) roasted bean..... | 21 |
| Εικόνα 10: Χάρτης εξάπλωσης καλλιέργειών καφεόδεντρων. Με σκούρο πράσινο χρώμα (r) η καλλιέργεια <i>C.robusta</i> , με ανοιχτό πράσινο (a) <i>C.arabica</i> και με ενδάμεσο χρωματισμό (m) περιοχές και με τα δύο είδη (6). | 23 |
| Εικόνα 11: Με τη καμπύλης μπορούμε να διαπιστώσουμε το πραγματικό ποσοστό του καφέ robusta σε ένα μείγμα καφέ arabica/robusta σε σχέση με το εκτιμώμενο ποσοστό που είχε υπολογιστεί από ένα μοντέλο PLS, με απόκλιση περίπου 7%..... | 25 |
| Εικόνα 12: κόκκος, θερμοκρασία και ύψος καλλιέργειας <i>Coffee arabica</i> & <i>Coffee robusta</i> | 25 |
| Εικόνα 13: a= στάδιο 'pinhead', b= ταχεία ανάπτυξη και ανάπτυξη περικάρπιου, c= σχηματισμός ενδοσπέρμιου, d= συσσώρευση ξηρής ύλης, e= ωρίμανση (Wormer, 1964. Cannell, 1971e. Cannell, 1974. Leon & Fournier, 1962. Ramaiah & Vasudeva, 1969)...27 | 27 |
| Εικόνα 14: Πληθυσμός μυκήτων και συνολικός πληθυσμός βακτηρίων. Λευκο: MS (Malt 10% Salt Agar), Μαύρο: MEA (Malt Extract Agar), Γκρι: βακτήρια. (Ahmad, 2002) | 38 |
| Εικόνα 15: Τα παραπάνω διαγράμματα δείχνουν τα επίπεδα των διάφορων σακχάρων στους κόκκους καφές ανάλογα την επεξεργασία τους μετά τη συγκομιδή (Knorr, Bytof & Selmar, 2006)..... | 41 |
| Εικόνα 16: Μέτρηση μικροβιακού φορτίου (CFU= Colony Forming Units) κατά τη διάρκεια της ζύμωσης για αερόβια (PCA), γαλακτικά βακτήρια (MRS), Enterobacteriaceae (EMB) και για ζύμες και μύκητες (DG18)..... | 42 |
| Εικόνα 17: Σύγχρονος καβουρδιστήρας..... | 46 |
| Εικόνα 18: Βασικές πτυχές για το καβούρδισμα του καφέ. | 48 |
| Εικόνα 19: : Χημική δομή γλωρογενικού οξέος..... | 51 |
| Εικόνα 20: Χημική δομή καφεΐνης..... | 52 |
| Εικόνα 21: Σχηματισμός N-γλυκοζίτη ως αρχικό στάδιο αντίδρασης Maillard..... | 53 |
| Εικόνα 22: Μετασχηματισμός Amadori | 54 |
| Εικόνα 23: Αποικοδόμηση Strecker..... | 54 |

| | |
|---|----|
| Εικόνα 24: Θερμοκρασιακό προφίλ κόκκου καφέ που έχει υποστεί καβούρδισμα για 3' με αέρα 230 °C..... | 57 |
| Εικόνα 25: Για ένα μεμονωμένο κόκκο καφέ, θερμική επεξεργασία με θερμό αέριο (250°C)..... | 57 |
| Εικόνα 26:Χρώμα κόκκων καφέ που υπόκεινται στη θερμική επεξεργασία ανάλογα με το χρόνο..... | 58 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|---|----|
| Πίνακας 1: Χώρες με την μεγαλύτερη κατανάλωση καφέ παγκοσμίως. Πηγή: International Coffee Organization (1) | 10 |
| Πίνακας 2: Χώρες με το μεγαλύτερο ποσοστό εθισμού στην κατανάλωση καφέ παγκοσμίως. Πηγή: Statista (2) | 11 |
| Πίνακας 3: Αλλαγές στον πληθυσμό των μικροοργανισμών κατά τη διάρκεια της φυσικής ζύμωσης (Agate & Bhat, 1966). | 35 |
| Πίνακας 4: ποσοτική συγκέντρωση ενζύμων (nmol) που υπάρχουν σε εκχυλίσματα από καφέ arabica και robusta μουσώνα και όχι..... | 39 |
| Πίνακας 5: Κύρια είδη βακτηρίων που εντοπίστηκαν στους καρπούς του καφέ κατά τη διάρκεια των πρώτων 48 ωρών της ζύμωσης. Το ποσοστό που αναγράφεται σχετίζεται με το συνολικό βακτηριακό πληθυσμό που εντοπίστηκε σε κάθε στάδιο..... | 43 |
| Πίνακας 6: Κύρια είδη ζυμών που εντοπίστηκαν στους καρπούς του καφέ κατά τη διάρκεια των πρώτων 48 ωρών της ζύμωσης. Το ποσοστό που αναγράφεται σχετίζεται με το συνολικό πληθυσμό των ζυμών που εντοπίστηκε σε κάθε στάδιο. | 44 |
| Πίνακας 7: Μύκητες που απομονώθηκαν από τους καρπούς και τους κόκκους του καφέ κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. nd= not detected, (x)= οι αριθμοί στις παρενθέσεις δείχνουν τον αριθμό των απομονωμένων μικροοργανισμών..... | 44 |
| Πίνακας 8: Πίνακας συμμετεχόντων μικροοργανισμών και των μεταβολιτών τους, στην ζύμωση του καφέ..... | 44 |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο καφές αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα ροφήματα παγκοσμίως και είναι αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας πολλών ανθρώπων λόγω της γεύσης του, του αρώματος, αλλά και της τόνωσης που προκαλεί. Η λέξη καφές προέρχεται από την περιοχή της νοτιοδυτικής Αιθιοπίας Kaffa, που θεωρείται και η περιοχή καταγωγής του. Στα αραβικά ονομάζεται kahva και παραδόξως, η Αιθιοπία αποτελεί τη μοναδική χώρα που ονομάζει τον καφέ 'buna' (κόκκος) και δεν χρησιμοποιεί κάποια παρόμοια λέξη με την λέξη «καφές» (Μανουσίδης, 2009). Με τη λέξη καφέ όμως, δεν εννοούμε απλώς τους κόκκους του καφέ, αλλά το ρόφημά του και την κατανάλωσή του. Σύμφωνα με τον ορισμό του Μπαμπινιώτη (1998), καφές είναι α) ο καρπός που προκύπτει από το καφεόδεντρο, β) το ίδιο το καφεόδεντρο, γ) η ποσότητα του καρπού που έχει υποστεί επεξεργασία (π.χ. ψήσιμο, άλεσμα) ώστε να μπορεί να βραστεί και να είναι πόσιμος, δ) το ρόφημα που είναι αποτέλεσμα βρασίματος του καφέ σε νερό ή ατμό, ε) το συγκεκριμένο ρόφημα ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής ή την προέλευση των κόκκων του καφέ, στ) το ρόφημα οποιουδήποτε καρπού που έχει υποστεί την ίδια επεξεργασία (ψήσιμο, άλεσμα) ώστε να υποκαταστήσει τον καφέ, ζ) το περιεχόμενο μιας δόσης καφέ ή φλυτζανιού και η) η κατανάλωση του ροφήματος του καφέ.

Η καλλιέργεια και κατανάλωση του καφέ χρονολογείται από τον 15ο αιώνα από την Αιθιοπία (Περριέ-Ρομπέρ, 2004). Οι Αιθίοπες πολεμιστές ανακάλυψαν πρώτοι τον καφέ, όχι όμως σαν ρόφημα αλλά ως στερεά τροφή, ανακατεύοντας τους καρπούς που πρώτα είχαν σπάσει με ζωϊκό λίπος και πλάθοντας το μείγμα αυτό. Ακόμη, κατά τη μεταφορά των σκλάβων Σαουδανικής καταγωγής στην Υεμένη και στην Αραβία, οι σκλάβοι μάζαγαν κόκκους καφέ ώστε να αντέξουν τις αντίξοες συνθήκες. Στην Υεμένη, ξεκίνησε η λειτουργία των πρώτων καφεκοπτείων και επεκτάθηκαν σε ολόκληρη την Αραβία. Εκεί, αποτελούσαν τόπο για χορούς, γιορτές, αγώνες σκακιού, αλλά και πολιτικών διαμαχών μεταξύ πολιτών. Οι διαμάχες αυτές οδήγησαν στην ειδική φορολογία του καφέ, προκειμένου να σταματήσουν τέτοιου είδους συναθροίσεις.

Αργότερα, οι Ολλανδοί αποικιοκράτες μετέφεραν φυτά καφέ στην Ινδία, την Ινδονησία και την Αμερικανική ήπειρο (1612 μ.Χ.). Κατά την Τουρκοκρατία, εμφανίστηκε ο καφές στην Ελλάδα και υπολογίζεται ότι το 17ο αιώνα στη Θεσσαλονίκη λειτουργούσαν 300 περίπου καφεκοπτεία. Μέχρι το 18ο αιώνα ο καφές προερχόταν από την Ανατολή και αυτό δημιουργούσε δυσκολίες στο εμπόριο. Για αυτό το λόγο, οι χώρες που κατανάλωναν καφέ

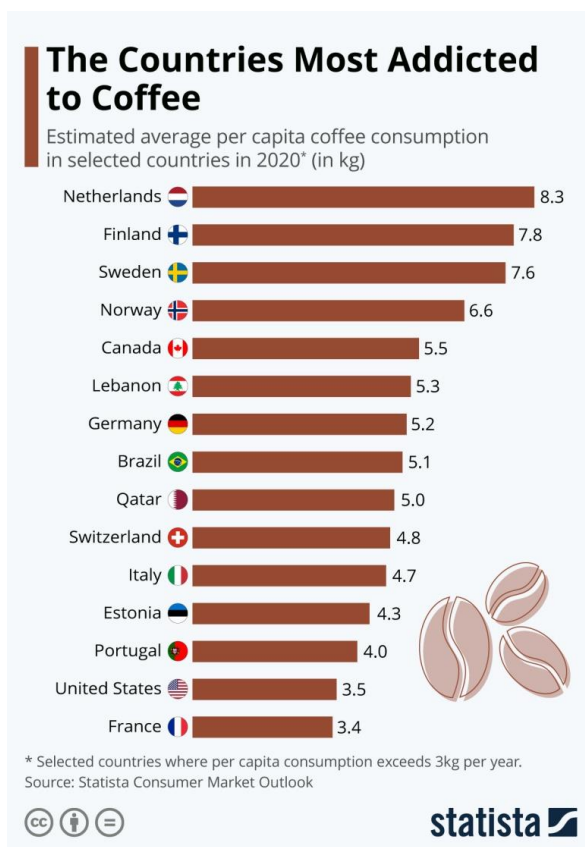
επιχείρησαν να αποκτήσουν τις δικές τους φυτείες καφέ, ωστόσο χωρίς επιτυχία λόγω της υψηλής ευαισθησίας του σπόρου του καφέ. Οι μεγάλες φυτείες καφέ στη Βραζιλία ξεκίνησαν το 1.727 μ.Χ. Στα τέλη του 19ου αιώνα, η ανακάλυψη της ποικιλίας *Coffea canephora* στην Αφρική, φέρνει την επανάσταση, όντας πιο ανθεκτική σε ασθένειες σε σύγκριση με την ποικιλία *Coffea arabica* που μέχρι τότε ήταν η μόνη καλλιεργήσιμη και εμπορεύσιμη. Η Ελλάδα, λόγω κλιματολογικών συνθηκών, δεν αποτελεί χώρα παραγωγό, αλλά εισάγει ακατέργαστο καφέ που υπάγεται σε επεξεργασία σε εγχώριες βιομηχανικές μονάδες.

Η κατανάλωση καφέ τα τελευταία χρόνια παγκοσμίως και οι χώρες με την μεγαλύτερη κατανάλωση καφέ κατά το 2020 φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1: Χώρες με την μεγαλύτερη κατανάλωση καφέ παγκοσμίως. Πηγή: International Coffee Organization (1)

| World coffee consumption | | | | |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| In thousand 60kg bags | | | | |
| | 2017/18 | 2018/19 | 2019/20 | 2020/21 |
| World | 161 377 | 168 491 | 164 530 | 166 628 |
| Africa | 11 087 | 12 017 | 12 020 | 12 240 |
| Asia & Oceania | 34 903 | 36 472 | 36 002 | 36 503 |
| Central America & Mexico | 5 273 | 5 431 | 5 352 | 5 364 |
| Europe | 53 251 | 55 637 | 53 680 | 54 349 |
| North America | 29 941 | 31 779 | 30 580 | 30 993 |
| South America | 26 922 | 27 156 | 26 898 | 27 180 |

Πίνακας 2: Χώρες με το μεγαλύτερο ποσοστό εθισμού στην κατανάλωση καφέ παγκοσμίως. Πηγή: Statista (2)



Η κατανάλωση καφέ μπορεί να έχει θετική επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό και σχετίζεται ιδιαίτερα με μείωση του κινδύνου εμφάνισης ασθενειών, όπως το Alzheimer, το Parkinson, καρδιαγγειακές παθήσεις, ο διαβήτης και η κίρρωση του ήπατος. Οι ευεργετικές δράσεις οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην καφεΐνη και στα διάφορα αντιοξειδωτικά που περιέχει. Από την άλλη πλευρά, η υπερβολική κατανάλωση μπορεί να προκαλέσει υπομαγνησαιμία (έλλειψη μαγνησίου), ακόμα και καρδιαγγειακές παθήσεις. Άτομα που καταναλώνουν καφέ και διακόπτουν την κατανάλωση αυτή απότομα, είναι πιθανό να εμφανίσουν κατάθλιψη και άγχος. Γενικά, η ημερήσια ποσότητα που συνιστάται, ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα υγείας είναι 250 ml. Υπάρχουν διάφορα είδη ροφημάτων καφέ, τα οποία παρασκευάζονται με διάφορους τρόπους.

1. Ελληνικός ή τούρκικος καφές: παρασκευάζεται με σκόνη καβουρδισμένων κόκκων καφέ που ψήνονται σε μπρίκι. Καταναλώνεται κυρίως σε περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, της Μέσης Ανατολής, των Βαλκανίων καθώς και της Βόρειας Αφρικής.
2. Στιγμιαίος καφές: είναι προϊόν του καφέ που διαλύεται με ζεστό νερό, απελευθερώνοντας τα αρώματα του καφέ. Η ποιότητα του στιγμιαίου καφέ βελτιώθηκε με την εφαρμογή της λυοφιλίωσης (lyophilisation).

3. Καφές Φραπέ: ο οποίος αποτελεί τυχαία εφεύρεση στη Θεσσαλονίκη και κατασκευάζεται με στιγμιαίο καφέ, ζάχαρη, νερό και πιθανόν γάλα σε shaker.
4. Καφές Φίλτρου: γνωστός και ως ‘γαλλικός’ καφές
5. Καφές Εσπρέσσο: και τα είδη του (εσπρέσσο λούνγκο, μακκιάτο, φρέντο)
6. Καφές καπουτσίνο: και τα είδη του (λάττε, κάραμελ)
7. Καφές κοζίτο
8. Καφές φροζίτο

Λόγω του έντονου εμπορίου του καφέ, δημιουργήθηκαν αρκετοί Οργανισμοί σε εθνικό και διεθνές επίπεδο. Από αυτούς αξίζει να σημειωθούν οι:

- International Coffee Organization (I.C.O) που είναι υπό την αιγίδα των Ηνωμένων Εθνών. Ο οργανισμός αυτός διαχειρίζεται τις Διεθνείς Συμβάσεις για τον καφέ (International Coffee Agreement). (3)
- Specialty Coffee Association of Europe (S.C.A.E) ο οποίος προσπαθεί να πετύχει την αριστεία στον καφέ, μέσω καινοτομίας, έρευνας, εκπαίδευσης και επικοινωνίας. (4)
- Coffee Quality Institute (C.Q.I) είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός που στοχεύει στη βελτίωση των ζώων των ανθρώπων που ασχολούνται με την παραγωγή του καφέ, ενώ ταυτόχρονα συμβάλλει στην εκπαίδευση και τεχνική βοήθεια σε αυτούς. (5)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ ΓΕΝΟΣ COFFEA

1.1. Φυσιολογία του καφέ

Το φυτό του καφέ είναι αειθαλής θάμνος και ανήκει στην οικογένεια *Rubiaceae*. Τα φύλλα φύονται κατά ζεύγη και έχουν λογχοειδές/οβάλ σχήμα με έντονο σκούρο πράσινο χρώμα. Σχηματίζει λευκά και εύοσμα άνθη σε απλή ταξιανθία που αναπτύσσονται στο μίσχο των φύλλων. Ο καρπός του είναι ράγα και περιέχει έναν ή δύο σπόρους και η καρποφορία ξεκινά από το 4ο έτος και διαρκεί για 10 περίπου χρόνια, ενώ η κορύφωση της καρποφορίας συμβαίνει μεταξύ 7ου και 9ου έτους. Υπάρχουν τρία είδη καφεόδενδρου που καλλιεργούνται και προέρχονται και τα τρία από την Αφρική. Τα είδη αυτά είναι ο Αραβικός (*Coffea arabica*) και ο Ρομπούστα (*Coffea canephora* ή παλαιότερα *robusta*) που θα αναλυθούν στη συνέχεια και ο Λιβερικανός (*Coffea liberica*). Για τις καλύτερες συνθήκες καλλιέργειας, η θερμοκρασία πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 17-22° C και σε υψόμετρο ανάλογο του κάθε είδους. Τα καφεόδεντρα απαιτούν πολλή ηλιοφάνεια για να ωριμάσουν οι καρποί, αλλά και άφθονες βροχές. Όσον αφορά το έδαφος, χρειάζεται να είναι στραγγερό. Οι συνθήκες αυτές συναντώνται κυρίως στη Νότια Αμερική.

Για την καλλιέργεια του φυτού χρειάζονται σπόροι. Ο σπόρος βλασταίνει για 5 εβδομάδες και έπειτα το φυτό καλλιεργείται μεμονωμένα για δύο μήνες μέχρι να εμφανιστεί το έκτο ζεύγος φύλλων και μετά φυτεύεται. Στο Πουέρτο Ρίκο οι θάμνοι του καφέ καλλιεργούνται κάτω από τη σκιά ψηλών δέντρων (π.χ. μπανανιές, αβοκάντο κ.ά.), παρόλο που δεν έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματικότερο. Σε περίπτωση όμως που οι φυτείες βρίσκονται σε πλαγιές μεγάλων υψομέτρων, τα ψηλά δέντρα πέρα από σκίαση, προσφέρουν και προστασία διάβρωσης του εδάφους. Οι περισσότερες καλλιέργειες στον υπόλοιπο κόσμο, γίνονται σε ανοιχτούς αγρούς, χωρίς σκίαση (με αποτέλεσμα την γρηγορότερη ωρίμανση των καρπών) και με χρήση λιπασμάτων και αφαίρεση ζιζανίων για μεγαλύτερη απόδοση στην επιτυχία της καλλιέργειας.

Οι θάμνοι του καφέ διατηρούνται στα 2 μ. ύψος, εφόσον κλαδεύονται ετήσια, για να υπάρχει ικανοποιητική παραγωγή. αλλά και για να είναι πιο εύκολη η συγκομιδή. Αυτό συμβαίνει διότι το πλείστον των καρπών φέρεται σε βλαστούς του έτους, άρα πρέπει κάθε χρόνο να σχηματίζεται επαρκής βλάστηση (Γεράρδης, 1998, Βασιλακάκης, 2016). Εάν τα φυτά δεν κλαδευτούν, τότε μπορεί να φτάσουν και σε ύψος 4 μέχρι και 13 μ.



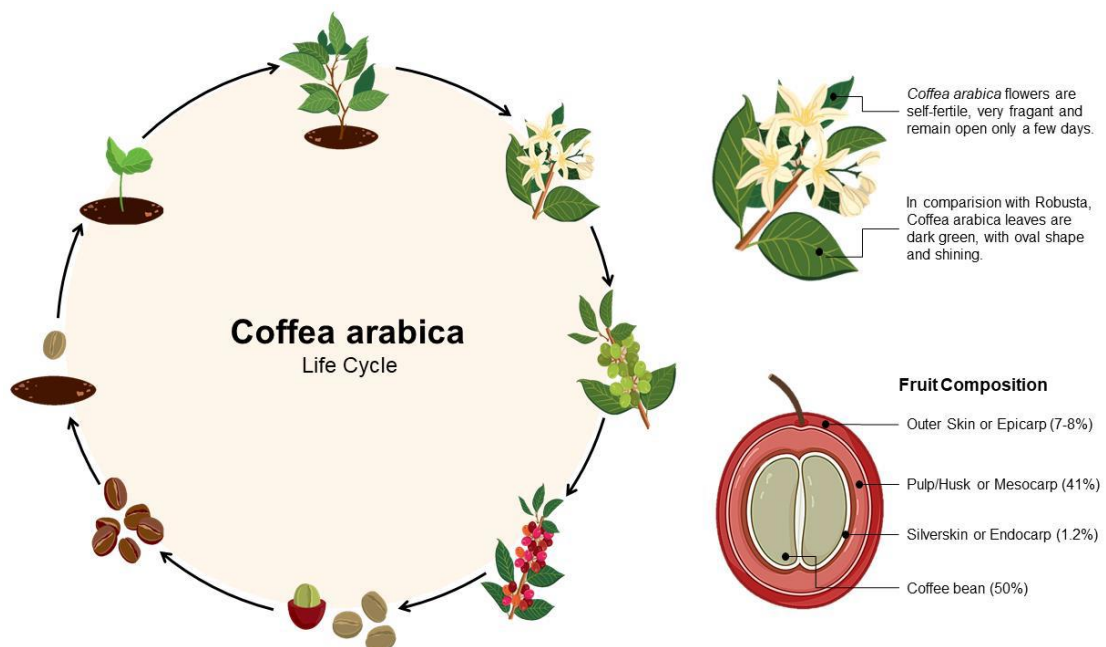
Εικόνα 1: Καφεόδεντρο



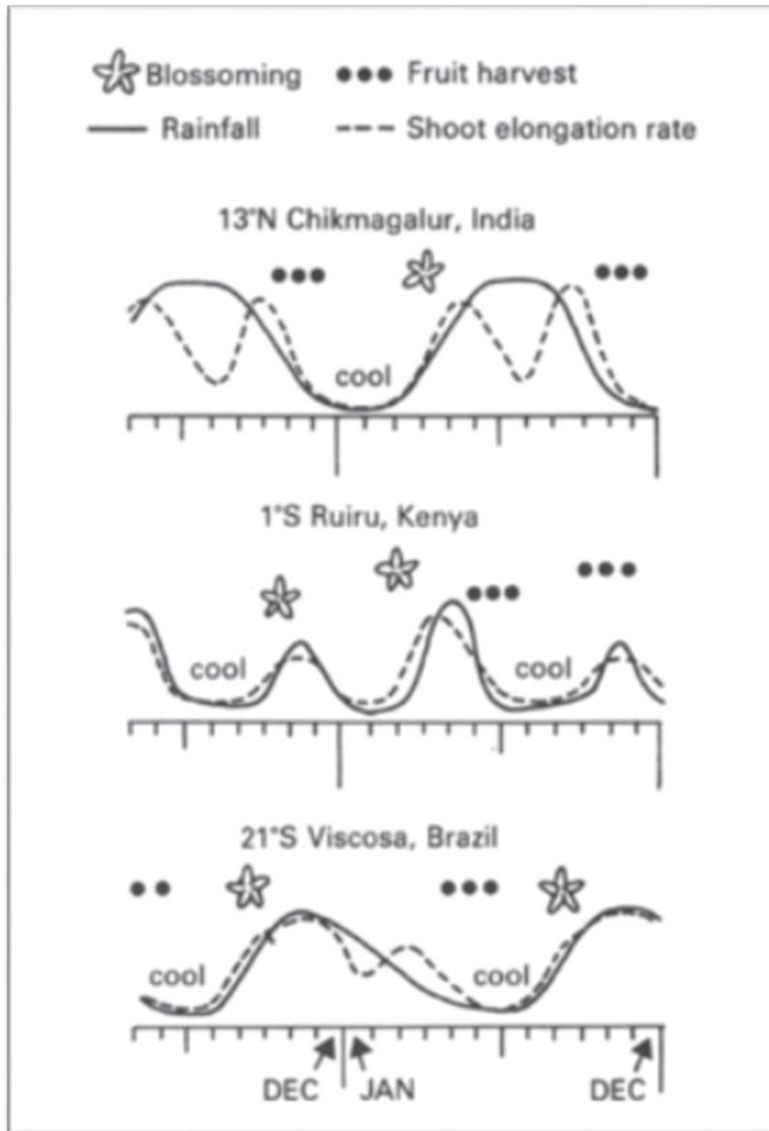
Εικόνα 2: Ωριμοι καρποί καφεόδεντρο

1.1.1 Εποχιακός κύκλος ανάπτυξης

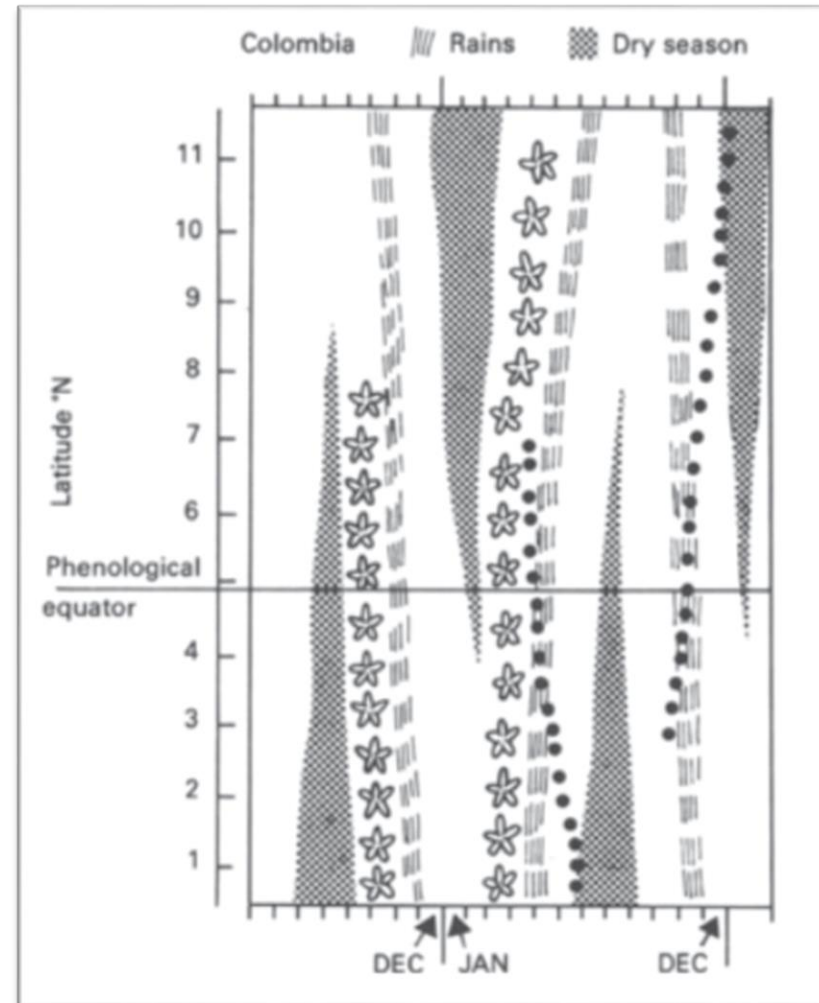
Σε περιοχές που καλλιεργείται ο καφές, εκτός του Ισημερινού, όπως η νότια Ινδία, η Αιθιοπία, η Χαβάη, η Κεντρική Αμερική, η νότιοκεντρική Βραζιλία και η Ζιμπάμπουε, ακολουθεί έναν ετήσιο κύκλο ανάπτυξης και καρποφορίας. Γενικά, κατά την διάρκεια των ξηρών ή/και κρύων χειμερινών μηνών, οι ρυθμοί έναρξης της άνθισης είναι ταχύτατοι και οι ρυθμοί ανάπτυξης των βλαστών οι πιο αργοί. Οι ανοιξιάτικες βροχές πυροδοτούν την άνθιση και την γρήγορη ανάπτυξη των βλαστών. Αυτό οφείλεται στο ότι κατά την διάρκεια της ξηρής περιόδου, το φυτό διαθέτει χαμηλό εσωτερικό απόθεμα νερού στις ρίζες και με τις πρώτες βροχές συμβαίνει ταχύτατη ενυδάτωση. Η ανάπτυξη των βλαστών δεν είναι συνεχής, καθώς έχει παρατηρηθεί μια μείωση στην επιμήκυνση των βλαστών στη μέση του καλοκαιριού, γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, όπως η εγγενής περιοδικότητα της αύξησης των βλαστών, οι βέλτιστες θερμοκρασίες των ιστών και η έλλειψη νερού κατά τη διάρκεια της ημέρας, λόγω υψηλής εξάτμισης. Η καρποί αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της ζεστής καλοκαιρινής βροχερής περιόδου και ωριμάζουν στην επόμενη ξηρή ή/και κρύα περίοδο. Σε περιοχές του Ισημερινού (Κένυα, Κολομβία) κάθε χρόνος έχει 2 υγρές και 2 ξηρές περιόδους (Cannell, 1985).



Εικόνα 3: Κύκλος ζωής του είδους *Coffea arabica* (Castillo et al., 2020)



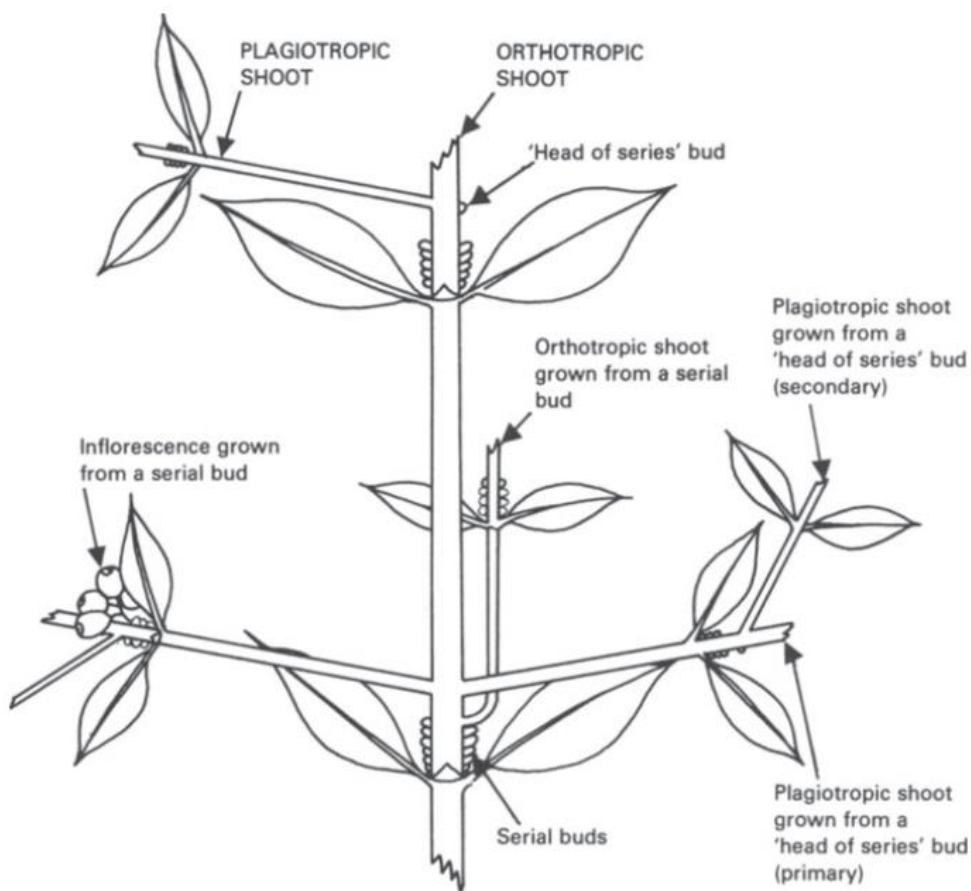
Εικόνα 4: Στο διάγραμμα αυτό φαίνονται οι εποχιακές αλλαγές στις βροχοπτώσεις, στον ρυθμό επιμήκυνσης βλαστών καθώς και στην εποχή άνθισης και στη συγκομιδή καρπών. Συγκεκριμένα σε περιοχές της Ινδίας, της Κέννας και της Βραζιλίας (Vasudeva & Ramaiah, 1979; Cannell, 1971c, 1971d; Maestri & Barros, 1977)



Εικόνα 5: Διαφορετικές περιόδους άνθισης και συγκομιδής καρπών σε περιοχές της Κολομβίας (Trojer, 1968)

1.1.2. Δομή Βλαστών

Οι βλαστοί έχουν δύο διακριτικά χαρακτηριστικά δομικά συστατικά: ο μίσχος του κάθε βλαστού, που περιέχει μία διάταξη ανθών και τη διακλάδωση, η οποία είναι διμορφική. Ο ορθοτροπικός βλαστός παράγει πλατυτροπικά κλαδιά, καθώς τα χαμηλά μπουμπούκια του βλαστού παραμένουν αδρανή ή παράγουν περισσότερους ορθοτροπικούς βλαστούς. Η αδράνειά τους μπορεί να αποφευχθεί χρησιμοποιώντας μορφακτίνες, οι οποίες αναστέλλουν τη μεταφορά της αυξίνης. Η άνθιση αναπτύσσεται από κάθε οφθαλμό στα πλαγιοτροπικά κλαδιά. Κάθε πλαγιοτροπικός κόμβος συνήθως παράγει άνθη μόνο μια φορά, για αυτό και το κλάδεμα γίνεται κάθε χρόνο.



Εικόνα 6: Δομή βλαστού

1.1.3. Απόδοση

Στις περισσότερες περιπτώσεις, φυτεύονται λιγότερα από 2.000 δέντρα ανά εκτάριο και το ύψος διατηρείται στα 2 μ. περίπου. Υπάρχουν αποδείξεις από πολλές χώρες ότι όσο πιο κοντά φυτεύονται τα δέντρα, αυξάνεται η απόδοση, χωρίς να αυξάνονται οι απώλειες νερού. Αυξάνονται ωστόσο και τα προβλήματα που σχετίζονται με τον έλεγχο εντόμων και

ασθενειών. Ανάλογα με το κλίμα, την καλλιεργητική ποικιλία κ.ά., η καλύτερη απόδοση ανά εκτάριο παρατηρείται στα 4.000-10.000 δέντρα/εκτάριο αλλά η απόδοση καρπών ανά δέντρο μειώνεται όταν έχουμε 2.000 δέντρα/εκτάριο. Το καθαρό βάρος των καρπών παραμένει σχετικά σταθερό. Η απόδοση του κάθε δέντρου εξαρτάται και από τον αριθμό των οφθαλμών της προηγούμενης χρονιάς. Η απόδοση σχετικά με τον αριθμό των καρπών αυξάνεται με το πότισμα, τα οργανικά λιπάσματα και τα λιπάσματα αζώτου. Ένα σημαντικό στοιχείο για τη σύγκριση των καλλιεργειών είναι ο αριθμός των καρπών ανά κόμβο. Σε ευνοϊκές συνθήκες κάθε κόμβος έχει 12-20 καρπούς και μέχρι 2 φύλλα. Η μειωμένη καρποφορία μπορεί να αποδοθεί σε α) ατροφικά άνθη λόγω εκτεταμένης ξηρασίας ή εκτεταμένων βροχοπτώσεων κατά την κρίσιμη περίοδο ανάπτυξης, β) μη ολοκληρωμένη επικονίαση ή λίπανση λόγω δυνατών βροχοπτώσεων, χαμηλών θερμοκρασιών ή/και έλλειψης επικονιαστών την περίοδο της άνθισης. Αξίζει να σημειωθεί πως τα στίγματα του *Coffea arabica* είναι δεκτικά για μόνο 48 ώρες και η γύρη είναι βιώσιμη για 24-36 ώρες, ενώ οι γηρεοσωλήνες πρέπει να αναπτυχθούν γρήγορα μέσα σε 2-3 μέρες, προκειμένου να φτάσει στις ωοθήκες (Cannell, 1985).

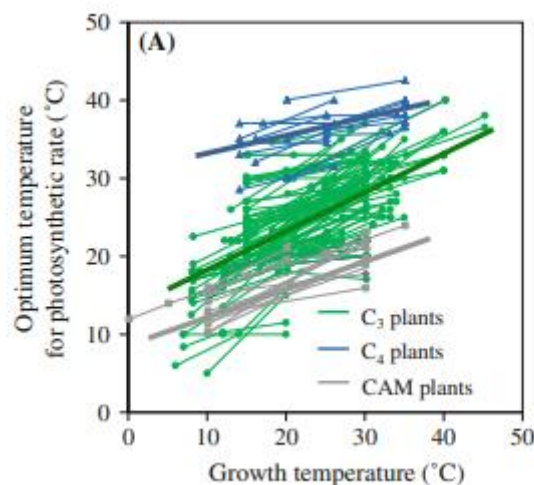
Από την άλλη πλευρά, υπάρχει το φαινόμενο της υπερκαρποφορίας (overbearing) που δημιουργεί σοβαρά προβλήματα σε περιοχές της ανατολικής Αφρικής. Η αναπτυσσόμενη καλλιέργεια έχει υψηλές απαιτήσεις σε υδρογονάνθρακες, με αποτέλεσμα να εξαντλούνται τα αποθέματα και να ξεπερνάται η ημερήσια πρόσληψη άνθρακα από το δέντρο. Το δέντρο τραυματίζεται μόνιμα, επειδή τα κλαδιά ατροφούν και ένα μέρος των ριζών χάνεται χωρίς να επαναδημιουργείται. Το δέντρο μπορεί να επιβιώσει για μερικά ακόμη χρόνια, αλλά δεν θα είναι παραγωγικό. Συνεπώς, αν δεν μειωθεί ο ρυθμός παραγωγής, θα πρέπει να αυξηθεί η πρόσληψη άνθρακα του φυτού (Nutman, F., 2015).

1.1.4. Φωτοσύνθεση

Τα είδη του καφέ ανήκουν στα φυτά που ακολουθούν το φωτοσυνθετικό μονοπάτι C3, γνωστό και ως κύκλος Calvin-Benson. Ο κύκλος αυτός οδηγεί στη δημιουργία ενός μορίου με 6 άτομα άνθρακα που διασπάται σε 2 μόρια τριφωσφογλυκερικού οξέος (3 άτομα άνθρακα το καθένα). Το CO₂ προσλαμβάνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και χρησιμοποιείται στις σκοτεινές αντιδράσεις προκειμένου να σχηματιστεί γλυκόζη. Στα C3 φυτά, η κατανομή του αφομοιωμένου άνθρακα μεταξύ χλωροπλάστη και κυτοδιαλύματος βασίζεται στις σχετικές συγκεντρώσεις των φωσφορικών τριοζών και των ανόργανων φωσφορικών και των ανόργανων φωσφορικών. Οι ισομεράσεις των φωσφορικών τριοζών

μετατρέπουν (στα πλαστίδια και στο κυτοδιάλυμα) ταχύτατα τη φωσφορική διυδροξυακετόνη σε 3-φωσφογλυκεραλδεΐδη και αντίστροφα. Ο μεταφορέας των φωσφορικών τριοζών είναι ένα πρωτεϊνικό σύμπλοκο που βρίσκεται στην εσωτερική μεμβράνη του χλωροπλαστικού φακέλου. Ανταλλάζει φωσφοτριόζες του χλωροπλάστη με φωσφορικά του κυτοδιαλύματος. Με αυτόν τον τρόπο, τα φυτά C3 απαιτούν μια διαδικασία μεταφοράς μέσω του χλωροπλαστικού φακέλου για την αφομοίωση τριών μοριων CO₂ από τους χλωροπλάστες στο κυτοδιάλυμα (Taiz et al., 2017).

Τα φυτά που ακολουθούν τη C3 φωτοσύνθεση αναπτύσσονται σε κρύες συνθήκες καθώς η άριστη θερμοκρασία φωτοσύνθεσης είναι σχετικά χαμηλή (20-30° C, Yamori et al., 2014), σε σχέση με τα C4 φυτά (Εικόνα 6/Εικόνα 7). Υπό τις τρέχουσες ατμοσφαιρικές συνθήκες, η πιθανή φωτοσύνθεση σε φυτά C3 καταστέλλεται σε επίπεδα οξυγόνου έως και 40%. Η έκταση αυτής της καταστολής αυξάνεται υπό συνθήκες στρες όπως ξηρασία, υψηλό φως και υψηλές θερμοκρασίες, αφού τα στόματα πρέπει να είναι ανοιχτά κατά τη διάρκεια της ημέρας. Καθώς αυξάνονται οι παγκόσμιες θερμοκρασίες, τα φυτά C3 θα παλέψουν για να επιβιώσουν.



Εικόνα 7: Ίδανικές θερμοκρασίες φωτοσύνθεσης σε C3, C4 και CAM φυτά. Πηγή: Yamori et al., 2014

Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά που αφορούν τους φωτοσυνθετικούς ρυθμούς του *Coffea arabica* που δείχνουν την εξελικτική του ιστορία ως είδος που έχει προσαρμοστεί στη σκιά. Αρχικά, οι φωτοσυνθετικοί ρυθμοί κάτω από τον ήλιο είναι χαμηλοί, ενώ υπό σκιά αυξάνονται. Με αύξηση θερμοκρασίας πάνω από 20-25°C παρατηρείται μείωση φωτοσυνθετικών ρυθμών που μπορεί όμως να οφείλεται και σε στόματα που έχουν κλείσει κατά τη διάρκεια της μέρας και αυξημένη συγκέντρωση CO₂ στο εσωτερικό. Τέλος, σε συνεχόμενη έκθεση σε υψηλές ακτινοβολίες, φαίνεται το φωτοσυνθετικό σύστημα να τραυματίζεται (πιθανόν το φωτοσύστημα II), με χλωρωτικά

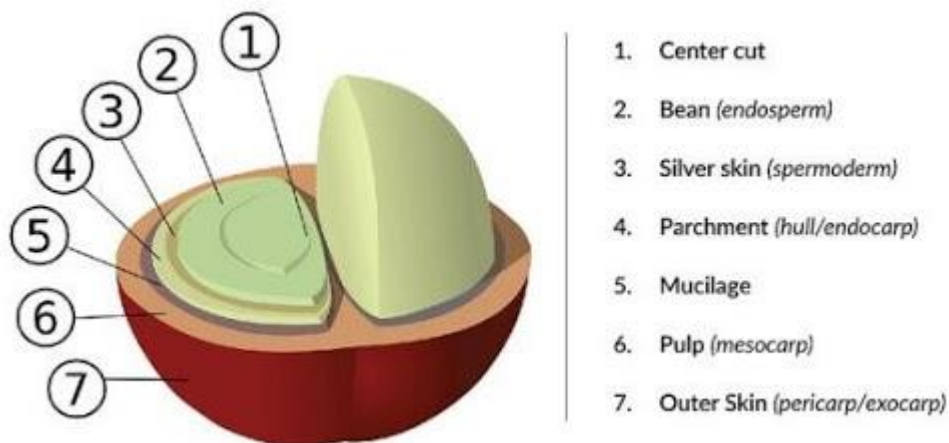
συμπτώματα στα φύλλα του καφέ (Huxley, 1967). Πειράματα που έγιναν και εξετάστηκε η επίδραση της σκίασης στα φυτά του καφέ, έδειξαν ότι το μέγιστο καθαρό βάρος καρπών υπήρχε σε καταστάσεις με μέτρια σκίαση.

Στο πείραμά του ο Nutman (2015), σχετικά με τη φωτοσύνθεση των φύλλων του *Coffea arabica* υπό φυσιολογικές συνθήκες, παρατήρησε ότι δεσμευόταν περισσότερο CO₂ κατά τη διάρκεια συννεφιασμένων ημερών σε σχέση με ηλιόλουστες ημέρες. Επιπλέον, παρατηρήθηκε απότομη μείωση στην απορρόφηση το μεσημέρι. Οι τρεις υποθέσεις ήταν ότι η απότομη μείωση στη μέση της ημέρας μπορεί να οφείλεται α) σε μείωση του νερού στο εσωτερικό των φύλλων, β) σε συσσώρευση απορροφήσεων, γ) στο κλείσιμο των στομάτων.

1.2. Ο καρπός του καφέ

Τα φρούτα του καφέ είναι πράσινα και έχουν 30-60 στόματα ανά mm² επιφάνειας. Είναι μικρά και γι' αυτό έχουν μεγάλη αναλογία επιφάνειας προς όγκο. Επίσης, αναπτύσσουν περίπου το 75% της τελικής επιφάνειάς τους πριν την περίοδο της πλήρωσης του κόκκου και μπορούν να αντιπροσωπεύσουν το 20-30% της συνολικής φωτοσυνθετικής επιφάνειας στα δέντρα που φέρουν μεγαλύτερη καρποφορία. Κατά συνέπεια, οι καρποί συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στη καθαρή σταθεροποίηση του CO₂, τόσο μέσω της προσβολής του CO₂, όσο και με την εκ νέου αφομοίωση του αναπνευστικού CO₂. Επιπρόσθετα, φαίνεται να ενισχύουν τα φωτοσυνθετικά ποσοστά των φύλλων.

Ο καρπός του καφέ (που ονομάζεται επίσης coffee cherry ή berry) αποτελείται από ένα λείο, σκληρό εξωτερικό δέρμα ή περικάρπιο, συνήθως πράσινο σε άγουρα φρούτα το οποίο μετατρέπεται σε κόκκινο-μωβ ή βαθύ κόκκινο όταν είναι ώριμο (ακόμη και κίτρινο ή πορτοκαλί σε συγκεκριμένους γονότυπους). Το περικάρπιο καλύπτει το μαλακό κιτρινωπό, ινώδες και γλυκό πολτό ή εξωτερικό μεσοκάρπιο. Αυτό ακολουθείται από ένα ημιδιαφανές, άχρωμο, λεπτό, ιξώδες και ιδιαίτερα ενυδατωμένο στρώμα βλεννογόνου (ονομάζεται επίσης στρώμα πηκτίνης). Στη συνέχεια, υπάρχει ένα λεπτό κιτρινωπό ενδοκάρπιο σε χρώμα, που ονομάζεται επίσης περγαμινή (parchment). Τέλος, ένας λεπτός φλοιός καλύπτει το καθένα ημισφαίριο του κόκκου καφέ (ενδοσπέρμιο).



Εικόνα 8: Δομή του καρπού

Ο λεπτός φλοιός, λεγόμενος silverskin στα αγγλικά, είναι το όνομα που χρησιμοποιείται γενικά όταν εξακολουθεί να βρίσκεται στους ωμούς πράσινους καρπούς. Αυτό το λεπτό αλλά σκληρό στρώμα είναι ελαφρώς χρωματισμένο και ως επί το πλείστον ημιδιαφανές. Επιτρέπει την προβολή του πράσινου χρώματος του καρπού από κάτω. Το ψήσιμο του καφέ στεγνώνει τον φλοιό αυτό και τον αναγκάζει να διασπαστεί, καθώς ο κόκκος του καφέ διαστέλλεται, οπότε αφαιρείται με ευκολία κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ψησίματος, δεδομένης της ανατάραξης που συμβαίνει. Μετά το ψήσιμο (όταν αρχίζει να χαλαρώνει και πέφτει) ονομάζεται πιο σωστά chaff.



Εικόνα 9: 1) dried whole cherry, 2) bean with hull-parchment, 3) hull-parchment, 4) de-hulled green bean with silver skin, 5) polished green bean, 6) roasted bean

Όντας η πρώτη ύλη για την παρασκευή ροφήματος καφέ, αφού έχουν υποστεί ψήσιμο και άλεσμα, ήταν αντικείμενο εκτεταμένης ανάλυσης. Ο πράσινος καφές έχει ένα ήπιο, πράσινο, φασολί άρωμα (Naidu, Sul^oChanamma, Sampathu, & Srinivas, 2008). Σχετικό είναι το γεγονός ότι η σύνθεση και πολλά χαρακτηριστικά των ωμών καρπών, που αργότερα καθορίζουν τις ιδιότητες και την ποιότητα του παρασκευασμένου καφέ, δεν εξαρτώνται μόνο από το είδος (π.χ. *C. arabica* ή *C. canephora*), αλλά και από τις συνθήκες καλλιέργειας των

φυτών (σκιά, κλάδεμα, γονιμοποίηση, έδαφος, υψόμετρο, έκθεση στον ήλιο, βροχόπτωση και θερμοκρασία), τον βαθμό ωριμότητας στη συγκομιδή, τη μέθοδο συγκομιδής, αλλά και τη μέθοδο επεξεργασίας (ξηρή ή υγρή), ενώ ιδιαίτερα στην περίπτωση της υγρής επεξεργασίας, και στο στάδιο της ζύμωσης (Belay et al., 2008; Stalmach et al., 2006). Το τελευταίο δεν είναι τόσο σχετικό όταν ο φλοιός αφαιρείται μηχανικά, χωρίς τη συμμετοχή μικροοργανισμών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν ωριμάζουν όλοι οι καρποί ταυτόχρονα (η ωρίμανση των καρπών θα αναλυθεί στη συνέχεια) και η συγκομιδή είναι δύσκολη, διότι μόνο οι ώριμοι καρποί πρέπει να συγκομίζονται, αλλά ταυτόχρονα και οι ώριμοι καρποί να μην μένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα πάνω στο φυτό, γιατί υποβαθμίζεται η ποιότητα του καφέ. Για αυτό το λόγο, οι εργάτες είναι αναγκασμένοι να περάσουν πάρα πολλές φορές από κάθε φυτό για τη συγκομιδή των καρπών (Βασιλακάκης, 2016).

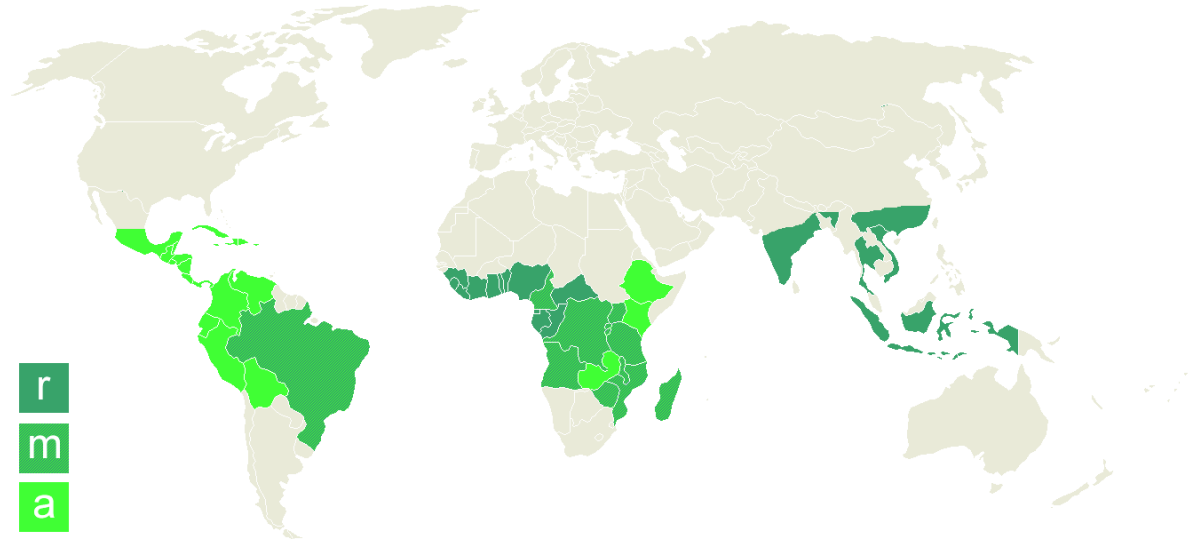
1.3. Ποικιλίες καφέ

Από τα 3 είδη καφέ που καλλιεργούνται, το 60% της παγκόσμιας παραγωγής είναι το *Coffea arabica*, στη συνέχεια το *Coffea canephora* με περίπου 35% και τέλος με περίπου 5% το *Coffea liberica*. Για τα τρία αυτά είδη καφέ υπάρχουν περίπου 80 ποικιλίες. Και οι δύο κόκκοι καφέ ανήκουν στο βοτανικό γένος του *Coffea* και στο υπο-γένος του *Eucoffea*. Οι κόκκοι *arabica* διαφέρουν από τους κόκκους καφέ *robusta* σε πολλά επίπεδα, τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια. Αρχικά, όσον αφορά τη γεύση, το άρωμα και τις ποικιλίες που συμπεριλαμβάνουν, υπάρχουν οι εξής διαφορές:

- *Coffea arabica*: οι καφέδες είναι αρωματικοί με μικρή περιεκτικότητα σε καφεΐνη (0,85-1,4%). Μπορεί να παράγει μια ποικιλία από νότες γεύσης όπως φρούτα, σοκολάτα και καρύδι. Χωρίζεται σε συνηθισμένους *arabica* και σε απαλούς *arabica*, οι οποίοι ονομάζονται 'λεπτοί'. Ο λεπτός *arabica* θεωρείται ότι δεν έχει δυνατή γεύση και για αυτό το λόγο δεν είναι διάσημος. Οι κυριότερες ποικιλίες είναι:
 - Typica, με προέλευση την Αιθιοπία, καλής ποιότητας και χαμηλής απόδοσης.
 - Bourbon, με προέλευση τη νήσο Ρεϋνιόν και καλή απόδοση.
 - Maragogype, η οποία αποτελεί μεταλλαγμένη ποικιλία με ογκώδεις σπόρους και ποιοτική αν και χαμηλή παραγωγικότητα

Λιγότερο γνωστές ποικιλίες είναι οι Mundo Novo, Caturra, Pacas και Laurina.

- *Coffea canephora*: ο καφές robusta όπως είναι γνωστός, είναι λιγότερο εκλεπτυσμένος και αρωματικός. Χαρακτηρίζεται πικρός, στυφός και η γεύση που αφήνει συχνά περιγράφεται ως σιτάρι, πλιγούρι βρώμης και ξυλώδες και είναι δυνατός. Η περιεκτικότητα σε καφεΐνη κυμαίνεται από 1,7-4%. Οι πιο διαδεδομένες ποικιλίες robusta είναι οι Kuillou, Conillon, Niaouli.



Εικόνα 10: Χάρτης εξάπλωσης καλλιέργειών καφεόδεντρων. Με σκούρο πράσινο χρώμα (r) η καλλιέργεια *C.robusta*, με ανοιχτό πράσινο (a) *C.arabica* και με ενδιάμεσο χρωματισμό (m) περιοχές και με τα δύο είδη (6).

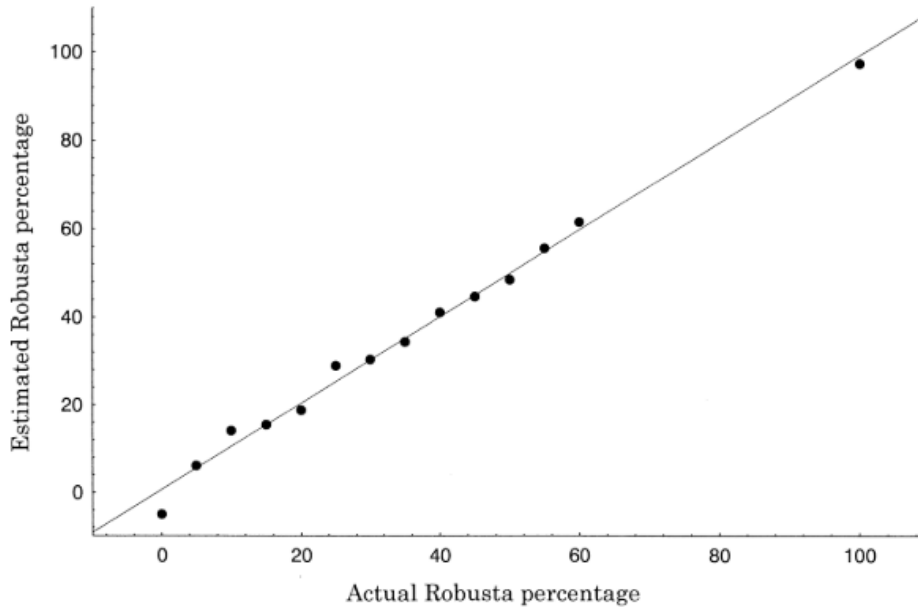
Τα ονόματα του πράσινου καφέ προέρχονται από τη χώρα παραγωγής ή/και το λιμάνι από το οποίο εξάγεται. Για παράδειγμα, από το είδος arabica εξάγονται ο Kenyan, ο Colombian, ο Tanzanian, ο Guatemalon, ο Salvadorian (Knox & Huffaker, 1997).

Συνθήκες καλλιέργειας: Ο καφές *C. arabica* αναπτύσσεται σε υποτροπικές περιοχές με υψόμετρο 549-1.098 μ. με έντονες βροχοπτώσεις αλλά και περιόδους ξηρασίας (Μεξικό, Τζαμάικα, Βραζιλία) ενώ και σε περιοχές του Ισημερινού με υψόμετρο πάνω από 1.000 μέτρα και έως 2.500 μέτρα που έχουν συνεχείς βροχές που βοηθούν στην αύξηση της καλλιέργειας (Κένυα, Κολομβία, Αιθιοπία). Ο *C. robusta* καλλιεργείται συνήθως σε χαμηλότερα υψόμετρα (915 μ.), σε γεωγραφικό πλάτος 10° βόρεια και νότια του Ισημερινού και σε θερμότερα κλίματα (νοτιοανατολική Ασία, Αφρική και περιοχές της Βραζιλίας). Ο robusta είναι επίσης πιο ανθεκτικό σε ασθένειες, παράσιτα αλλά και θερμοκρασία καθώς αντέχει σε θερμοκρασίες άνω των 30°C. Η αυξημένη ανθεκτικότητά του σε έντομα, σε σχέση με τον arabica, οφείλεται στη μεγαλύτερη περιεκτικότητά σε καφεΐνη, διότι η καφεΐνη μπορεί

να αποτελέσει παραλυση ή/και θάνατο σε έντομα που προσβάλλουν το δέντρο. Ακόμη, εξαιτίας της ανθεκτικότητας και της δύναμης του κορμού του δέντρου πήρε το όνομα του, αφού robust αγγλιστί σημαίνει εύρωστος.

Χημικά: Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο robusta έχει σχεδόν διπλάσια περιεκτικότητα σε καφεΐνη (1,3,7-τριμεθυλοξανθίνη) από τον arabica, γεγονός που του προσδίδει την πικρή γεύση, αλλά υστερεί στην περιεκτικότητα των αιθέριων ελαίων που αρωματίζουν το τελικό ρόφημα του καφέ. Το επίπεδο της καφεΐνης, μειώνεται ελάχιστα με το καβούρδισμα των κόκκων. Ο arabica έχει περίπου 60% περισσότερα λιπίδια (λιπαρά οξέα) από ότι ο robusta, κάτι που παίζει ρόλο στην προώθηση του συνολικού γευστικού προφίλ της ποικιλίας arabica. Η 16-O-μεθυλοκαφεστόλη, αποτελεί δείκτη της ποικιλίας robusta επειδή υπάρχει μόνο σε αυτήν. Άλλες χημικές ενώσεις που υπάρχουν στον καφέ είναι η θεοβρωμίνη (36-48 mg/kg στον arabica και 26-82 mg/kg στον robusta), η θεοφυλλίνη (7-23 μg/kg στον arabica και 86-344 μg/kg στον robusta) και η τριγονελλίνη, γνωστή και ως N-μεθυλονικοτινικό οξύ, που υπάρχει σε ποσοστό έως και 60% αλλά αποικοδομείται κατά το καβούρδισμα περίπου το 50% δίνοντας προϊόντα αποικοδόμησης, όπως το νικοτινικό οξύ. Οι ποικιλίες arabica και robusta μπορούν να αναγνωριστούν με τη χρήση διαφόρων μεθόδων και τεχνικών (π.χ. Pattern Recognition methods όπως Principal Component Analysis, Cluster Analysis, K-nearest Neighbours) και από τα επίπεδα καφεΐνης και συνολικών ελεύθερων αμινοξέων. Αξίζει να αναφερθεί ότι στην τέφρα του καφέ κυριαρχεί το κάλιο (K), ενώ υπάρχουν ακόμα ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg) και ανιόντα φωσφόρου (P) και θείου (S). Με βάση μεταλλικά στοιχεία που υπάρχουν στις δύο ποικιλίες του καφέ, μπορούμε να τις διακρίνουμε χρησιμοποιώντας μεθόδους που αναλύουν καβουρδισμένα μείγματα καφέ (όπως αναφέρθηκαν και προηγουμένως PCA και CA). Πιο συγκεκριμένα, σε ένα μείγμα πράσινου καφέ, το ποσοστό κάθε ποικιλίας διαπιστώνεται κυρίως από τα P, Mn και Cu (Martín et al., 1999). Στο διαλυτό κλάσμα του καβουρδισμένου καφέ υπάρχουν μελανοϊδίνες (μεγαλομοριακές ενώσεις με σκούρο καφέ χρώμα), που προέρχονται από αντιδράσεις Maillard ή από την καραμελοποίηση. Τα προϊόντα της θερμικής υδρόλυσης υδατανθράκων και πρωτεϊνών συμβάλλουν στην πικρή γεύση του καβουρδισμένου καφέ.

Οπτικά: Ο καρπός της ποικιλίας arabica είναι ίσιος και επιμηκυμένος, ενώ το μεσαίο αυλάκι είναι ελικοειδές. Από την άλλη, οι καρποί robusta είναι στρογγυλοί χωρίς έντονο αυλάκι. Σχετικά με το χρώμα, ο arabica συχνά είναι πράσινος με αποχρώσεις του γαλάζιου, ενώ ο robusta γκριζοπράσινος.



Εικόνα 11: Με τη καμπύλη μπορούμε να διαπιστώσουμε το πραγματικό ποσοστό του καφέ robusta σε ένα μείγμα καφέ arabica/robusta σε σχέση με το εκτιμώμενο ποσοστό που είχε υπολογιστεί από ένα μοντέλο PLS, με απόκλιση περίπου 7%.



Εικόνα 12: κόκκος, θερμοκρασία και ύψος καλλιέργειας Coffee arabica & Coffee robusta

Μη ψημένο χρώμα καρπών: Στην μη ψητή μορφή του, ο arabica θα έχει μια πιο σκούρα πράσινη απόχρωση, ενώ ο robusta τείνει να είναι πιο ανοιχτόχρωμος.

Τιμή: Η ποικιλία arabica διαπραγματεύεται συνήθως διπλάσια από την τιμή του robusta, λόγω της χαμηλότερης απόδοσης φυτών του arabica, της υψηλής έντασης εργασίας στη γεωργία και του αυξημένου κόστους που σχετίζεται με τις καλλιέργειες που καλλιεργούνται σε υψηλότερα και σε πιο δύσκολα εδάφη.

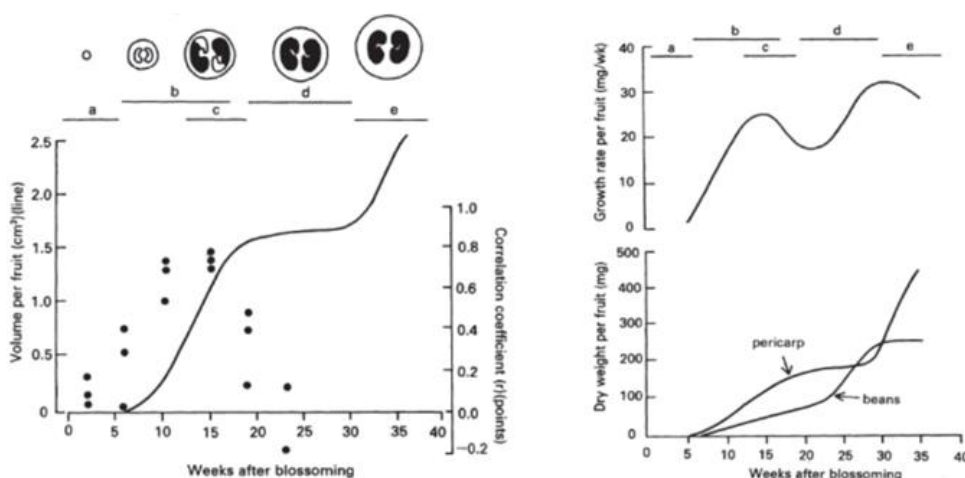
Εμπόριο: Ο arabica είναι ο κόκκος καφέ που αγοράζεται από καφετέριες, ενώ ο robusta είναι ο κόκκος καφέ που χρησιμοποιείται συνήθως για την παραγωγή στιγμιαίου καφέ, αν και οι καλύτερες ποιότητες του robusta μπορούν να αναμειχθούν με τον arabica σε ορισμένα χαρμάνια καφέ σε προσφορά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΖΥΜΩΣΗ ΚΑΦΕ

2.1. Πορεία ωρίμανσης φυτού

Οι μηχανισμοί επαγωγής της άνθισης και της ανάπτυξης των μπουμπουκιών, αλλά και η ωρίμανση των καρπών του καφέ έχουν μελετηθεί σε βάθος. Αρχικά, μετά την επαγωγή της αδράνειας/ανενεργείας, για μερικούς μήνες αναπτύσσονται τα μπουμπούκια μέχρι να φτάσουν τα 4-6 mm. Σύμφωνα με τον Browning (1973a) τα μπουμπούκια είναι σε κατάσταση ανενεργείας λόγω των υψηλών επιπέδων ενδογενούς αμψισικού οξέος (ABA) και όχι λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων. Σε αυτή τη φάση, τα μικροσπόρια έχουν αναπτυχθεί πλήρως, όμως δεν έχουν ξεκινήσει ακόμα οι μειωτικές διαιρέσεις. Στη συνέχεια, η αδράνεια των μπουμπουκιών μειώνεται σταδιακά κατά την περίοδο που δεν παρατηρείται ανάπτυξη λόγω χαμηλών επιπέδων νερού (water stress). Ακόμα όμως και σε επαρκώς ποτισμένες ρίζες, τα μπουμπούκια υπόκεινται σε water stress. Όσο μεγαλύτερη είναι η περίοδος του water stress, τόσο πιο εύκολο είναι να δοθεί το έναυσμα για την αναγέννηση τους επειδή τα επίπεδα ABA μειώνονται. Το water stress μπορεί να μειώσει την διαπερατότητα της μεμβράνης για το νερό στα μπουμπούκια και στις ρίζες και επιπλέον να προκαλέσει συσσώρευση γιββερελλινών (GA) στα μπουμπούκια. Φαίνεται όμως ότι αυτή η καταπόνηση είναι αναγκαία για την ανάπτυξη των ανθών και αν τα μπουμπούκια δεν καταπονηθούν με αυτόν τον τρόπο, τότε θα εμφανίσουν ανωμαλίες κατά την ανάπτυξη ή δεν θα αναπτυχθούν καθόλου.

Τα στάδια της ανάπτυξης των καρπών φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα :



Εικόνα 13: a= στάδιο 'rithead', b= ταχεία ανάπτυξη και ανάπτυξη περικάρπιου, c= σχηματισμός ενδοσπέρμιου, d= συσσώρευση ξηρής ύλης, e= ωρίμανση (Wormer, 1964. Cannell, 1971e. Cannell, 1974. Leon & Fournier, 1962. Ramaiah & Vasudeva, 1969).

Για τις πρώτες 6-8 εβδομάδες μετά τη γονιμοποίηση, οι καρποί μεγαλώνουν ελάχιστα σε βάρος και όγκο, κάτι που οφείλεται σε υψηλά επίπεδα ενδογενούς ABA (αμπισικό οξύ) και χαμηλά επίπεδα ενεργών GA (γιββερελίνες) κατά τον Orile (1979).

Στη συνέχεια, στις 6-16 εβδομάδες μετά την άνθιση υπάρχει ταχύτερη ανάπτυξη σε όγκο και βάρος, κυρίως λόγω ανάπτυξης του περικαρπίου. Την ίδια περίοδο παρατηρείται επίσης ταχεία κυτταρική διόγκωση και οι καρποί περιέχουν 80-85% νερό. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι ότι οι δύο κοιλοότητες εντός του εξωκαρπίου που περιέχουν τους κόκκους, μεγαλώνουν και φτάνουν στο τελικό τους μέγεθος. Ταυτόχρονα, το ενδοκάρπιο, ξυλοποιείται (εξαιτίας της απόθεσης λιγνίνης στα κυτταρικά τοιχώματα) ώστε να φτάσουν οι κόκκοι στο μεγαλύτερο δυνατό όγκο. Το μέγεθος στο οποίο φτάνουν οι κοιλοότητες εντός του εξωκαρπίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το διαθέσιμο νερό στα καφεόδεντρα. Για το λόγο αυτό, η υγρασία κατά την περίοδο όπου οι καρποί αυξάνουν σε μέγεθος, επηρεάζει το τελικό μέγεθος των κοιλοτήτων και συνεπώς και αυτό των κόκκων.

Μεταξύ των 12-18 εβδομάδων μετά την άνθιση, οι κόκκοι έχουν σχηματιστεί πλήρως και παρατηρούνται αυξημένα επίπεδα ενδογενών γιββερελινών, αλλά μείωση στον ρυθμό ανάπτυξης του καθαρού βάρους των καρπών. Οι κόκκοι έχουν πλέον πλεονέκτημα στην απορρόφηση θρεπτικών συστατικών, για αυτό και αυξάνονται ραγδαία σε καθαρό βάρος, σε αντίθεση με το μέγεθος των καρπών στο οποίο παρατηρείται μικρή αύξηση.

Τέλος, στις 30-35 εβδομάδες μετά την άνθιση, οι καρποί ωριμάζουν, χάνουν χλωροφύλλη, παράγουν αιθυλένιο και γίνονται κόκκινοι. Την περίοδο της ωρίμανσης, το περικάρπιο αυξάνεται σε καθαρό βάρος και όγκο (Cannel, 1985).

Μετά τη συγκομιδή είναι αναγκαίο να γίνει εξαγωγή των κόκκων από τον καρπό που τους περιβάλλει. Η επεξεργασία αυτή μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: την ξηρή ή αλλιώς φυσική μέθοδο (Dry process) ή την υγρή ή μέθοδο πλύσης (Wet process) (Stalmach et al., 2011).

Ξηρή Μέθοδος: Η μέθοδος αυτή έχει ως αποτέλεσμα έναν αναποφλοϊώτο καφέ ή “μη πλυμένο” (unwashed) και είναι πιο διαδεδομένη σε περιοχές με ξηρό κλίμα και έλλειψη νερού ή/ και μηχανημάτων. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου γίνεται συνήθως σε καφέ robusta. Οι καρποί του καφέ αρχικά διαχωρίζονται από άλλα πιθανά ξένα σώματα και απλώνονται στον ήλιο για ξήρανση. Κατά τη διάρκεια αυτής της ξήρανσης, πραγματοποιείται η διαδικασία της ζύμωσης στο εσωτερικό του καρπού, διότι ο πολτός

ξηραίνεται και αφήνει γεύση η οποία είναι συνήθως πιο γλυκιά και με λιγότερη οξύτητα. Στην περίπτωση που ο χώρος ξήρανσης είναι αστέγαστος, οι κόκκοι στρώνονται με τη βοήθεια τσουγκράνας σε τεντωμένες ψάθες σε υπερυψωμένο μέρος (π.χ.. κάποια εξέδρα ή υποστρώματα) και για τις επόμενες 2-3 εβδομάδες οι εργάτες φροντίζουν αυτούς τους καρπούς ώστε να ξηραθούν ομοιόμορφα. Σκοπός είναι η υγρασία να μειωθεί στο 11-12% στο σημείο που αν κουνήσουμε τον καρπό, ακούγεται το σπέρμα που χτυπάει στο περίβλημα σαν κουδουνίστρα (Belitz and Grosch, 1999). Στη συνέχεια ακολουθεί η αποφλοιώση που γίνεται μηχανικά σε εργοστάσια και απομακρύνονται ο ξηραμένος φλοιός, η σάρκα και η περγαμνή. Οι καφέδες που προέρχονται από την Ινδονησία, την Αιθιοπία, τη Βραζιλία και την Υεμένη έχουν υποστεί συνήθως ξηρή μέθοδο επεξεργασίας (Ukers, 1922).

Υγρή μέθοδος: Η μέθοδος αυτή έχει ως αποτέλεσμα τους “πλυμένους καφέδες” (washed) και είναι πιο κοστοβόρα σε σχέση με την ξηρή μέθοδο. Ο λόγος είναι ότι εδώ απαιτούνται περισσότερα μηχανήματα, εργάτες αλλά και περισσότερος χρόνος και νερό. Ο καφές που προκύπτει όμως, θεωρείται πιο καθαρός και με φρουτώδη γεύση, ενώ ταυτόχρονα έχει περισσότερη οξύτητα και εφαρμόζεται σε καφέδες arabica (Stalmach et al., 2011). Αρχικά, γίνεται διαχωρισμός των άγουρων και ώριμων καρπών κυλώντας μέσα από δύο τύμπανα από τα οποία περνάνε μόνο οι ώριμοι, δηλαδή μαλακοί καρποί. Στη συνέχεια, οι καρποί που πέρασαν πιέζονται σε ένα κόσκινο, του οποίου οι οπές έχουν το μέγεθος των κόκκων του καφέ. Η πίεση που ασκείται στους καρπούς, οδηγεί στο σπάσιμό τους και ο σπόρος περνάει από το κόσκινο. Τέλος, γίνεται φυγοκέντρηση ώστε να καθαριστούν τα σπέρματα από τον πολτό που έχει μείνει.

Οι καρποί που έχουν πολτοποιηθεί και δεν πέρασαν μέσα από το κόσκινο περνάνε μέσα από κανάλια που περιέχουν νερό, σε δεξαμενές όπου με τη βοήθεια φυσικών ενζύμων, ακολουθεί η διαδικασία της ζύμωσης για 12-36 ώρες, ώστε να διαλυθεί όσο παρέγχυμα έχει μείνει. Κατά τη διάρκεια της διοχέτευσης, γίνεται ταυτόχρονα ένας διαχωρισμός ανάλογα με την πυκνότητα των καρπών. Δηλαδή, μεγαλύτεροι καρποί με μεγαλύτερη πυκνότητα πηγαίνουν σε διαφορετικές δεξαμενές όπου η ζύμωση γίνεται με αυστηρό έλεγχο και πολύ υψηλή ακρίβεια, γιατί θέλουμε να διαλυθεί το παρέγχυμα και όχι να μεταβληθεί η γεύση των κόκκων. Μετά τις δεξαμενές νερού, οι κόκκοι του καφέ απλώνονται και ακολουθεί ξήρανση στον ήλιο ή σε ειδικά μηχανήματα. Το σημείο αυτό χρειάζεται προσοχή, διότι η πιθανή υποξήρανση των κόκκων μπορεί να οδηγήσει σε ζύμωση, σε ανάπτυξη βακτηρίων, μυκήτων ή ακόμα και σε θρυμματισμό και η ποιότητα να υποβαθμιστεί. Εδώ, η διαδικασία της

ξηρανσης διαρκεί λιγότερο από ότι στην ξηρή μέθοδο, περίπου 1 εβδομάδα. Όπως και στην ξηρή μέθοδο, το τελικό βήμα είναι η αποστολή σε εργοστάσιο για να γίνει η αποφλοιώση.

2.2. Η ζύμωση του καφέ και οι συμμετέχοντες μικροοργανισμοί

Οι διαδικασίες της ζύμωσης και τις αποσύνθεσης/σήψης, αλλά και η πρόκληση διαφόρων ασθενειών οφείλεται σε διάφορους μικροοργανισμούς που ανήκουν στους ιούς, στα βακτήρια και στους μύκητες. Παρόλα αυτά, στην παραγωγή καφέ οι ιοί, που είναι και οι μικρότεροι σε μέγεθος, δεν εντοπίζονται. Τα βακτήρια είναι πιθανό να επιβιώσουν και να πολλαπλασιαστούν σε υγρά και θερμά περιβάλλοντα, με αποτέλεσμα να διπλασιάζονται σε αριθμό κάθε 15-20 λεπτά. Ειδικά μερικοί τύποι βακτηρίων είναι αναγκαίοι για τη ζύμωση του καφέ και την καλή ποιότητά του. Οι μύκητες που είναι ακόμα μεγαλύτεροι σε μέγεθος από τα βακτήρια, πολλαπλασιάζονται περίπου κάθε 30 λεπτά και σε περιπτώσεις που οι συνθήκες δεν είναι ιδανικές για την ανάπτυξη των βακτηρίων, τότε επικρατούν οι μύκητες.

Η ζύμωση γενικά είναι μια μεταβολική διαδικασία που χρησιμοποιεί τα σάκχαρα σε ένα υπόστρωμα, είτε παρουσία, είτε απουσία οξυγόνου (αερόβια και αναερόβια αντίστοιχα). Τα μακρομόρια που διασπώνται σχηματίζουν τα προϊόντα της ζύμωσης, που είναι πτητικές ουσίες (υγρές και αέριες). Οι κόκκοι του καφέ ζυμώνονται από βακτήρια και από ένζυμα διάφορων μυκήτων. Οι μικροοργανισμοί προκύπτουν φυσικά πάνω στον καρπό και στο εσωτερικό του και αυξάνονται σε αριθμό, μέχρι την ωρίμανση του καρπού. Οι μικροοργανισμοί που εντοπίζονται, είναι ενεργοί λίγο μετά τη συγκομιδή και σημάδια μη επιθυμητής ζύμωσης μπορούν να εντοπιστούν αμέσως μετά τη συγκομιδή. Κατά τη ζύμωση, έχουμε παραγωγή κυρίως οξέων και αρωματικών ουσιών και μετά από τη ζύμωση, το τελικό προϊόν προκύπτει και από το καβούρδισμα. Οι διαφορετικοί τρόποι επεξεργασίας των κόκκων μετά τη συλλογή τους, επηρεάζει τα μεταβολικά μονοπάτια και τις αντιδράσεις που συμβαίνουν στον καφέ. Η ζύμωση του καφέ όμως, είναι σημαντική για την αποικοδόμηση και απομάκρυνση του στρώματος βλεννογόνου από τους κόκκους του καφέ.

Το στρώμα αυτό αποτελείται από πολυσακχαρίτες (και πιο συγκεκριμένα πηκτίνη), κυτταρίνη και άμυλο. Οι συμμετέχοντες μικροοργανισμοί παράγουν ένζυμα, αιθανόλη και διάφορα οξέα, καθώς επιδρούν στους κόκκους. Το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας όπως η ζύμωση, είναι συνδυασμός όσων υπάρχουν ήδη στον καφέ και των συνθηκών κατά τη ζύμωση. Σε 586 kg καφέ υπάρχουν περίπου 8,5 kg σακχάρων και 6 kg ουσιών πηκτίνης. Οι

ζυμομύκητες που συμμετέχουν στην ζύμωση του καφέ, από την κατανάλωση του στρώματος πηκτικής, παράγουν αιθανόλη αντί για σάκχαρα και ταυτόχρονα δημιουργούνται μεγάλες ποσότητες αλδεϋδών και κετονών, που δίνει μια φρουτώδη γεύση στο προϊόν. Στη συνέχεια, αν η ζύμωση συνεχιστεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, η αιθανόλη μετατρέπεται σε ξύδι και έτσι προκύπτει ο “ξινός καφές”.

Ορισμένοι μύκητες προκαλούν σχηματισμό μούχλας. Μέσα σε κάποιες μέρες, το χρώμα μετατρέπεται από λευκό σε μαύρο/μπλε/πράσινο/αποχρώσεις του κόκκινου και κίτρινου, λόγω της παραγωγής των έγχρωμων σπορίων που παράγονται. Το γεγονός ότι χρειάζονται 3-4 μέρες για την αύξηση και αναπαραγωγή των μυκήτων της μούχλας, δείχνει ότι σε συνθήκες που τα βακτήρια και οι ζυμομύκητες ευνοούνται, τότε η μούχλα δεν μπορεί να αναπτυχθεί λόγω ανταγωνισμού. Στον καφέ, η ζύμωση συμβαίνει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και σε δεξαμενές οι οποίες είναι ανοικτές. Έρευνες που σχετίζονται με την “άγρια” ζύμωση είναι δύσκολο να διεξαχθούν, λόγω της πληθώρας των οργανισμών και των τάξεων που υπάρχουν, αλλά και των δυσκολιών που υπάρχουν στην καταμέτρηση και ταυτοποίηση αυτών. Εξαιτίας της ανάπτυξης μεθόδων που βασίζονται στη PCR και στην ηλεκτροφόρηση DNA, είναι δυνατόν να επιτρέψουν την άμεση ανάλυση κατά την ζύμωση, χωρίς να χρειαστεί το στάδιο της απομόνωσης.

Για την επιτυχημένη και ποιοτική ζύμωση πρέπει να προωθηθούν συγκεκριμένα είδη μικροοργανισμών, τα οποία ανταγωνίζονται τα βακτήρια, που ονομάζονται στην φυτοπαθολογία soft rot ή brown rot. Αυτά τα είδη ανήκουν στις οικογένειες *Erwinea*, *Kliebsiella* και *Bacillus*, και είναι γνωστό πως προκαλούν σήψη και αποσύνθεση. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι καφέ κηλίδες που παρατηρούνται πάνω σε καρπούς και επεκτείνονται δημιουργώντας ένα σαπισμένο καρπό. Μόλις διασπαστεί το εξωτερικό στρώμα του καρπού, η πηκτική αποικοδομείται από ένζυμα που είναι υγρά, όπως για παράδειγμα απεκκρίσεις βακτηρίων (bacterial saliva) και έπειτα οι μικροοργανισμοί μπορούν με μεγαλύτερη ευκολία να περάσουν και να διασπαρθούν στο υγρό περιβάλλον που δημιούργησαν. Η αφαίρεση του αρχικού εξωτερικού στρώματος του καρπού γίνεται μηχανικά, ώστε να διευκολυνθεί και να επιταχυνθεί η διαδικασία. Γενικά, η ζύμωση μπορεί να χαρακτηριστεί ως συνδυασμός ζύμωσης από ζυμομύκητες και βακτήρια.

Οι μικροοργανισμοί που επικρατούν είναι *Kloeckera apiculata* (= *Hansenispora apiculata* = *Saccharomyces apiculatus*), *Hansenispora uvarum*, *Pichia kluyveri* (= *P. fermentans*) και *Kluyveromyces marxianus* (= *Candida kefir* = *C. bulgericus*). Οι ζυμομύκητες είναι τα επικρατέστερα είδη κατά τη ζύμωση και έχουν ως κοινό

χαρακτηριστικό ότι απορροφούν και ζυμώνουν γλυκόζη. Τα βακτηριακά είδη της ζύμωσης είναι κυρίως γαλακτικά, *Enterobacteriaceae* και *Bacillus*. Τα είδη *Pseudomonas* (π.χ. *P. fluorescens*) και *Erwinia* (π.χ. *E. carotovora*). Από αυτά, μόνο τα *Erwinia* είναι ζυμωτικά και στην πράξη η παρουσία *Pseudomonas* είναι δύσκολο να ταυτοποιηθεί.

Η ισορροπία μεταξύ πληθυσμών ζυμομυκήτων και βακτηρίων μπορεί να διαφέρει, και σε μια περίπτωση να επικρατούν βακτηριακοί πληθυσμοί και σε άλλη οι ζυμομύκητες. Δεν υπάρχουν όμως ακόμη αρκετά δεδομένα που να φανερώνουν πού οφείλεται αυτή η διαφορά και τι εξυπηρετεί.

Οι συνθήκες χαμηλού οξυγόνου και υψηλής ενεργότητας νερού δείχνει ότι οι οξειδωτικοί μεσόφιλοι οργανισμοί *Aspergillus*, που έχουν τη δυνατότητα παραγωγής ωχρατοξίνης Α (ΟΤΑ), δεν ευδοκιμούν σε συνθήκες ζύμωσης. Σε εργαστηριακές έρευνες, μεγάλος αριθμός σπορίων που εισήχθησαν στην αρχή της ζύμωσης δεν οδήγησαν σε παραγωγή ΟΤΑ στους κόκκους και ο μικροοργανισμός (*A. Chraceus*) δεν μπορούσε να επιβιώσει στους κόκκους μετά από την ξήρανση. Η παρατήρηση αυτή ισχύει μόνο για μοντέλα που τα σπόρια, είτε από την επιφάνεια των καρπών, είτε από μόλυνση από το έδαφος, είναι ο λόγος που παράγεται ΟΤΑ. Σε άλλες περιπτώσεις, που η διαδικασία αφαίρεσης πούλπας καθυστέρησε μέχρι και 6 μέρες μετά τη συγκομιδή, η προστασία ενάντια της συσσώρευσης ΟΤΑ μέσω της ζύμωσης, δεν παρατηρήθηκε. Μια πιθανή ερμηνεία θα ήταν ότι υπάρχει ένα όριο βιομάζας, πάνω από το οποίο, οι μεσόφιλοι μύκητες μπορούν να επιβιώσουν την ζύμωση.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας κατά τη ζύμωση είναι η καλλιέργεια εκκίνησης που συμβάλλει και στην επιτάχυνση της διαδικασίας. Οι καλλιέργειες εκκίνησης χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη ζύμωση γαλακτοκομικών προϊόντων και ποτών (μπύρα, κρασί). Ουσιαστικά, βοηθούν στον έλεγχο της ζύμωσης ώστε να εξασφαλισθεί η ποιότητα του τελικού προϊόντος. Οι μικροοργανισμοί συνεπώς, πρέπει να έχουν συγκεκριμένα επιθυμητά χαρακτηριστικά, όπως να μην είναι παθογόνοι ή τοξικοί καθώς και να μπορούν να προσαρμοστούν στις συνθήκες που επικρατούν στο τρόφιμο.

Οι Agate και Bhat (1966) πρότειναν την προσθήκη ενός συνδυασμού ειδών *Saccharomyces* που συμβάλλουν στην αποικοδόμηση του στρώματος πηκτίνης. Κατά τη φυσική ζύμωση του καφέ του είδους *Coffea robusta* φαίνεται να επικρατούν ζυμομύκητες με πηκτινολυτική δράση όπως οι *Saccharomyces marxianus*, *S. bayanus*, *S. cerevisiae* var. *ellipsoideus*, και *Schizosaccharomyces* sp.. Τα είδη αυτά βρέθηκαν στην επιφάνεια των

καρπών και σε συνδυασμό με έρευνες, υπάρχουν αποδείξεις ότι η φυσική ζύμωση του καφέ οφείλεται στην δραστηριότητα της μικροχλωρίδας στην επιφάνεια των καρπών και όχι της χλωρίδας του αέρα ή του νερού (Agate & Bhat, 1966). Οι μικροοργανισμοί που εντοπίζονται είναι του είδους *Saccharomyces*, που αποτελούν ζύμες.

Οι ζύμες διαφέρουν στη φυσιολογία και στην δομή τους αλλά αποτελούν μονοκύτταρους μύκητες που μπορούν να πολλαπλασιάζονται σε αερόβιες συνθήκες και σε αναερόβιες να κάνουν αλκοολική ζύμωση, μετατρέποντας τη γλυκόζη σε αιθανόλη. Αποτελούν σημαντικό μικροοργανισμό για τις βιομηχανίες τροφίμων, διότι μετασχηματίζουν τα τρόφιμα σε προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας. Οι ζύμες, για να πολλαπλασιαστούν, είναι απαραίτητο να υπάρχουν τα κατάλληλα θρεπτικά στοιχεία και συνθήκες στο περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, το νερό θα πρέπει να υπάρχει σε ποσοστό μεγαλύτερο από το 30% και ταυτόχρονα είναι αναγκαίες πηγές άνθρακα, αζώτου, καθώς και στοιχεία που θα συμβάλλουν στην σύνθεση άλλων συστατικών (οξυγόνο, υδρογόνο, μαγνήσιο, φωσφόρος, θείο, ιχνοστοιχεία, βιταμίνες, αυξητικοί παράγοντες, Παπανικολάου, 2006).

Ο πιο γνωστός μικροοργανισμός είναι ο *Saccharomyces cerevisiae*, που συνήθως παίζει σημαντικό ρόλο στην ζύμωση της μύρας, αλλά εντοπίζεται και στην επιφάνεια των κόκκων του καφέ robusta. Η επίσημη συστηματική κατάταξή του είναι:

Βασίλειο- Μύκητες

Φύλλο- Μυκόφυτα

Κλάση- Ασκομύκητες

Οικογένεια- Saccharomycetaceae

Είδος- *Saccharomyces cerevisiae* (Παπανικολάου, 2006)

Ο *S. cerevisiae* μπορεί να αξιοποιήσει μια πληθώρα υποστρωμάτων, όπως για παράδειγμα οι δισακχαρίτες σουκρόζη και μαλτόζη. Οι δισακχαρίτες υδρολύονται με την επίδραση ενζύμων, είτε από εξωκυτταρικά, είτε από ενδοκυτταρικά ένζυμα. Στην περίπτωση υδρόλυσης με εξωκυτταρικά ένζυμα, οι μονοσακχαρίτες μεταφέρονται εσωτερικά του κυττάρου. Η δομή του χαρακτηρίζεται από ελλειψοειδές σχήμα, το οποίο μπορεί να είναι σφαιρικό, ωοειδές ή κυλινδρικό με μήκος περίπου τα 5-10 μm. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί ότι ο συγκεκριμένος ζυμομύκητας παρουσιάζει ανθεκτικότητα σε υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη ζύμωση (αντέχει μέχρι και 38°C ενώ πολλοί μικροοργανισμοί δεν επιβιώνουν σε θερμοκρασίες άνω των 25°C, Μπέλκα, 2007).

Αναφέρθηκε ακόμη ότι εντοπίστηκαν είδη του γένους *Schizosaccharomyces*. Τα είδη αυτά είναι ζυμοειδή και εντοπίζονται συνήθως σε περιβάλλοντα με υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα, όπως είναι τα φρούτα, το μέλι κλπ. Οι *Schizosaccharomyces* πολλαπλασιάζονται εγγενώς με επαφή και δημιουργείται ένας νεαρός ασκός, μέσα στον οποίο πραγματοποιείται κρυογαμία και μείωση.

Η ζύμωση χαρακτηρίζεται ως ολοκληρωμένη όταν η περγαμινή (parchment) είναι πιο σκληρή στην αφή και δεν έχει στρώμα βλεννογόνου/πηκτίνης. Το στρώμα αυτό περιέχει μεγάλο ποσό ουσιών πηκτίνης και διασπάται κατά τη ζύμωση με τη βοήθεια συγκεκριμένων Gram αρνητικών βακτηρίων και βακτηρίων ζύμωσης της λακτόζης. Κάποια από τα στελέχη ταυτοποιήθηκαν ως *Erwinia dissolvens* (Frank & Dela Cruz, 1964. Frank et al., 1965). Τα στελέχη αυτά ταξινομούνται ως εξής:

Βασίλειο- Βακτήρια

Φύλλο- Πρωτεοβακτήρια

Κλάση- Γαμπαωτεοβακτήρια

Οικογένεια- Enterobacteriaceae

Είδος- *Erwinia dissolvens*

Οι μικροοργανισμοί της οικογένειας των εντεροβακτηρίων είναι Gram αρνητικοί, προαιρετικά αναερόβιοι και δεν σχηματίζουν σπόρια. Φέρουν ραβδόμορφη δομή και μαστίγια για μετακίνηση. Οι θερμοκρασίες στις οποίες αναπτύσσονται άριστα είναι 25-28°C. Ως πηγή άνθρακα, μερικά εντεροβακτήρια χρησιμοποιούν μόνο τη γλυκόζη ενώ άλλοι απαιτούν παρουσία αμινοξέων και βιταμινών (Brenner & Farmer, 2005).

Βακτήρια που συμμετέχουν και στη ζύμωση της λακτόζης είναι βακτήρια του γένους *Lactobacillus*. Ονομάζονται γαλακτοβάκιλοι και είναι προαιρετικά αναερόβιοι ή μικροαερόφιλοι, χωρίς κυτοχρώματα. Τέτοιοι μικροοργανισμοί απομονώνονται από επιφάνειες φυτών στα φύλλα και στους καρπούς, αλλά και στα προϊόντα γάλακτος, κρέατος κλπ. Οι γαλακτοβάκιλοι μεταβολίζουν εξόζες προς γαλακτικό οξύ με την γλυκολυτική οδό Embden-Meyerhof. Μια ακόμη οδός είναι αυτή των φωσφοροπεντοζών, όπου το σάκχαρο μετατρέπεται προς ίσες ποσότητες γαλακτικού οξέος, αιθανόλης και διοξειδίου του άνθρακα. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι η αυθόρμητη αύξηση των βάκιλλων αυτών σε τρόφιμα, αποτελεί αλλοιογόνο παράγοντα.

Από καρπούς καφέ (*Coffea robusta*) που χρησιμοποιήθηκαν για να ελεγχθεί η δράση των πηκτινολυτικών ζυμομυκήτων, αλλά και γενικότερα το είδος των μικροοργανισμών που παίρνουν μέρος στη ζύμωση, εντοπίστηκε ότι σε κάθε στάδιο οι ζύμες ήταν περισσότερες από τα βακτήρια. Οι ζυμομύκητες που ταυτοποιήθηκαν με φθίνουσα σειρά ήταν *S. marxianus*, *S. bayanus*, *S. cerevisiae* var. *ellipsoideus*, and *Schizosaccharomyces* sp.. Τα βακτήρια ήταν *Streptococcus*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium* και *Proteus*. Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης παρατηρείται επιπλέον, πτώση του pH από 6,4 σε 5,4 καθώς το στρώμα πηκτίνης διασπάται. Στους καρπούς που εκτίθενται στον αέρα ή στο νερό παρατηρούνται αυξημένοι πληθυσμοί βακτηρίων, σε σχέση με τους καρπούς που ζυμώθηκαν υπό ασηπτικές συνθήκες.

Τα βακτήρια *Streptococcus*, είναι προαιρετικά αναερόβια και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της μικροχλωρίδας, τόσο στα ζώα όσο και στον άνθρωπο. Τα βακτήρια που ανήκουν στο γένος *Pseudomonas*, είναι Gram αρνητικά βακτήρια, ανήκουν στην γ-υποδιαίρεση των Proteobacteria και έχουν την ικανότητα να αποικοδομούν διάφορα οργανικά υποστρώματα (με εξαίρεση το τεφλόν και την πολυουρεθάνη). Τα είδη *Pseudomonas* μπορεί να είναι ευθύγραμμο ή καμπυλόμορφο και να έχουν μαστίγιο. Συνήθως, εντοπίζονται στο εδαφικό και υδάτινο περιβάλλον παρουσία οξυγόνου, ενώ δεν απαντώνται σε θερμό και όξινο περιβάλλον. Τα *Flavobacterium* ανήκουν στο γένος Bacteroidetes και είναι αρνητικά κατά Gram.

Πίνακας 3: Αλλαγές στον πληθυσμό των μικροοργανισμών κατά τη διάρκεια της φυσικής ζύμωσης (Agate & Bhat, 1966).

| Time | pH | Pectin decomposed | No. of organisms per ml $\times 10^8$ | | | |
|------|-----|-------------------|---------------------------------------|----------|----------------------------|----------|
| | | | Nutrient agar | | Glucose yeast-extract-agar | |
| | | | Yeasts | Bacteria | Yeasts | Bacteria |
| hr | | % | | | | |
| 0 | 6.4 | 0 | 43 | 32 | 107 | 112 |
| 4 | 6.2 | 4.4 | 124 | 58 | 396 | 386 |
| 12 | 6.1 | 13.6 | 456 | 185 | 688 | 402 |
| 24 | 5.9 | 25.2 | 923 | 302 | 1,120 | 386 |
| 36 | 5.8 | 38.4 | 1,250 | 451 | 1,800 | 378 |
| 48 | 5.7 | 58.6 | 2,350 | 863 | 2,100 | 359 |
| 60 | 5.6 | 70.0 | 2,790 | 785 | 3,110 | 324 |
| 70 | 5.4 | 98.3 | 5,500 | 659 | 3,480 | 316 |

Το πείραμα των Agate και Bhat (1966) έδειξε ότι στις 70 ώρες η διαδικασία της ζύμωσης δεν είχε ολοκληρωθεί με την εισαγωγή χλωρίδας από τον αέρα ή το νερό βρύσης, καθώς το στρώμα βλεννογόνου δεν είχε διαλυθεί πλήρως, οι κόκκοι είχαν αποχρωματιστεί και υπήρχε μια δυσάρεστη οσμή. Το γεγονός ότι η ζύμωση δεν προχώρησε σε καρπούς που είχαν αποστειρωθεί επιφανειακά, υποδηλώνει ότι η μικροχλωρίδα στην επιφάνεια παίζει ρόλο στην διαδικασία και τα ένζυμα που συμμετέχουν στην αποικοδόμηση του στρώματος πηκτικής δεν ήταν ενεργά. Τα τρία είδη *Saccharomyces* είχαν αυξημένη πηκτινολυτική δράση σε σχέση με τα είδη *Schizosaccharomyces*. Επίσης τα *Flavobacterium* δεν είχαν τέτοια δράση και *Erwinia dissolvens* δεν παρατηρήθηκαν.

Στις αρχικές έρευνες που αφορούσαν στην διαδικασία της φυσιολογικής ωρίμανσης, τους ερευνητές απασχόλησε το γεγονός ότι όλοι οι καρποί παράγουν ένζυμα που έχουν πηκτινολυτική δράση. Δηλαδή, βοηθούν τον καρπό να γίνει πιο μαλακός καθώς ωριμάζει. Τα ένζυμα αυτά δρουν μαζί με τα βακτηριακά ένζυμα, αλλά διαφοροποιούνται γιατί καταλύουν τις αντιδράσεις πιο αργά και έχουν άριστες συνθήκες, διαφορετικές από αυτές των βακτηριακών ενζύμων. Τα φυσικά ένζυμα των καρπών τείνουν να έχουν καλύτερη δράση κάτω από το νερό, διότι το εσωτερικό του καρπού είναι αναερόβιο περιβάλλον. Χάρη στην κινητική των ενζύμων, μπορούμε να υπολογίσουμε τους χρόνους που απαιτούνται για να καταλυθούν οι αντιδράσεις και να γίνει η ζύμωση σωστά.

Περισσότερη έμφαση δίνεται στα βακτηριακά ένζυμα που συμμετέχουν στη ζύμωση. Τα πηκτινολυτικά ένζυμα των βακτηρίων ξεκινώντας από την επιφάνεια του καρπού, εμφανίζουν καλύτερη απόδοση σε αερόβιες συνθήκες ή σε σημεία που υπάρχει οξυγόνο διαλυμένο στο νερό. Τα ένζυμα των ζυμομυκήτων προτιμούν τις αναερόβιες συνθήκες και συνεπώς είναι σημαντικό στον καφέ που υπόκειται ζύμωση κάτω από το νερό, να εμποδίζεται το μούλιασμα για περισσότερες από 5-6 ώρες. Γενικά ισχύει ότι για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C, η ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων διπλασιάζεται. Άρα, σε ζεστό νερό, η ζύμωση είναι γρηγορότερη.

Η αποικοδόμηση της πηκτικής μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο υπό συνθήκες ουδέτερου pH, δηλαδή περίπου στο 7. Εξαιτίας αυτού, και σε συνδυασμό με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως για τις αναερόβιες συνθήκες και θερμοκρασίες, συμπεραίνουμε ότι μια αργή και όχι τόσο αποτελεσματική ζύμωση οφείλεται σε χαμηλές θερμοκρασίες, όξινες και αναερόβιες συνθήκες.

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες πηκτινολυτικών ενζύμων. Τα φυτά και οι μύκητες παράγουν εστεράσες πηκτίνης, που αφαιρούν μεθόξυ ομάδες από ουρονικά οξέα, αφήνοντας καρβοξυλικές ομάδες, μέσα από τις οποίες τα ιόντα ασβεστίου καθοδηγούν τις αλυσίδες. Μερικοί μύκητες παράγουν λυάση πηκτίνης, ένα ένζυμο που επιτίθεται στους 1,4 γλυκοζιτικούς δεσμούς των πλήρως εστεροποιημένων αλυσίδων. Τέλος, η πολυγαλακτοουρινάση παράγεται από συγκεκριμένα βακτήρια που επίσης επιτίθενται σε γλυκοζιτικούς δεσμούς, αλλά μόνο σε μερικώς απο-εστεροποιημένες αλυσίδες ή κομμάτια αλυσίδων. Η οξειδωτική ζύμη *Cryptococcus* είναι συνηθισμένη στον καρπό και ενώ αναφέρεται ότι έχει πηκτινολυτική δράση, στα στελέχη που έχουν απομονωθεί από τον καφέ δεν έχει επιβεβαιωθεί.

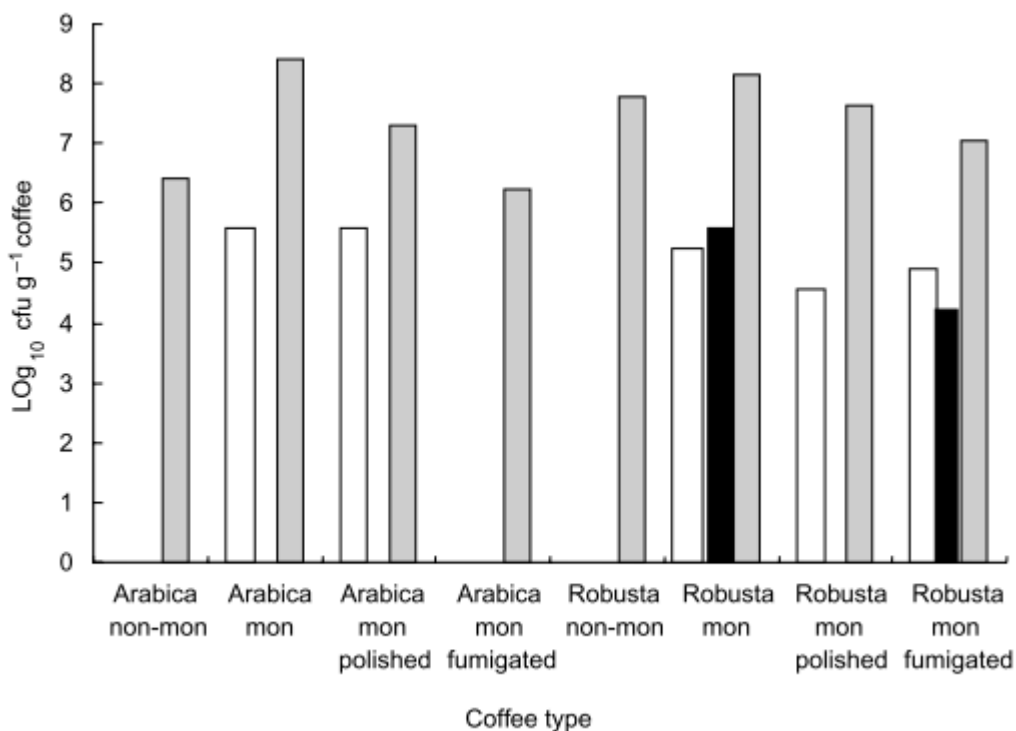
Η μελέτη της δομής και της σύστασης του στρώματος πηκτίνης έχει αποδείξει ότι το πηκτικό οξύ είναι ένας από τους πολυσακχαρίτες (Coleman et al., 1955). Πιο αναλυτικά, είναι ένα πολυμερές από πολυγαλακτοουρονικό οξύ και μικρό ποσοστό αραβινόζης, γαλακτόζης, ξυλόζης και ραμνόζης. Επίσης, η πηκτίνη είναι ένα ευθύγραμμο πολυμερές που περιέχει συνδεδεμένα κατάλοιπα D-γαλακτόζης. Μειωμένα σάκχαρα, σουκρόζη, καφεΐνη, χλωρογενικά οξέα και αμινοξέα βρέθηκαν στο στρώμα βλεννογόνου. Παρόλο που το στρώμα πηκτίνης δεν έχει κυτταρική δομή, περιέχει διάφορα υδρολυτικά και οξειδωτικά ένζυμα, όπως πηκτινοεστεράση, γαλακτοουρινάση, α-γαλακτοζιδάση, περοξιδάση και οξειδάσης της πολυφαινόλης. Η ύπαρξή τους μόνο στον καρπό, δεν έχει την ικανότητα να διασπάσει και να απομακρύνει το στρώμα πηκτίνης από τον κόκκο χωρίς τη βοήθεια μικροοργανισμών.

Το φαινόμενο αυτό εξηγείται από τους Carbonnel & Vilanova (1952), που υποστηρίζουν ότι οι κόκκοι δεν διαθέτουν αρκετή ποσότητα ενζύμων για την κατάλυση της αντίδρασης της αποικοδόμησης του στρώματος πηκτίνης. Συνεπώς, η διαδικασία αφαίρεσης του στρώματος ξεκινά από τα ενδογενή ένζυμα του κόκκου και συνεχίζεται με τη βοήθεια βακτηρίων, ζυμομυκήτων και μυκήτων (Calle, 1965). Όλα τα στελέχη που απομονώθηκαν από κόκκους καφέ Brazilian *Penicillium ps.*, *Fusarium sp.*, *Cladosporium sp.* και *Aspergillus sp.* παρήγαγαν ένζυμα με πηκτινολυτική δράση και ικανότητα να διασπάσουν γαλακτοαραβάνη (Wosiak & Zancan, 1973). Η μείωση στο pH οφείλεται στις καρβοξυλομάδες της πηκτίνης και τις παραγωγής οξικών και γαλακτικών οξέων. Ταυτόχρονα υπάρχει μείωση στους υδατάνθρακες κατά τη ζύμωση και παραγωγή αιθανόλης.

Η παραγωγή αιθανόλης στους καφέδες χαμηλής καλλιέργειας αρχικά είναι ταχύτατη και στη συνέχεια εξαφανίζεται. Από την άλλη, στους καφέδες υψηλής καλλιέργειας, η αιθανόλη αυξάνεται σταδιακά. Η παραγωγή των οξικών οξέων φτάνει στο 15% των πτητικών

συστατικών. Επιπλέον, παράγονται προπιονικό και βουτυρικό οξύ, που αυξάνονται μετά από 20 ώρες ζύμωσης και προσδίδουν μια δυσάρεστη γεύση στο ρόφημα του καφέ και για αυτό το λόγο η ζύμωση πρέπει να είναι σύντομη. Οι Saint & Valencia (1970) αναφέρουν ότι ζύμωση με διάρκεια μεγαλύτερη των 24 ωρών μπορεί να υποβαθμίσει την ποιότητα του ροφήματος και να μειώσει την δραστηριότητα της οξειδάσης της πολυφαινόλης στους ξηρούς κόκκους. Για την αποφυγή της μεγάλης διάρκειας της ζύμωσης, μπορούν να προστεθούν ένζυμα που παράγονται για το σκοπό αυτό.

Αυτές οι αλλαγές στη ζύμωση παρατηρούνται σε μια ποικιλία καφέ, που τα τελευταία χρόνια έχει γίνει παγκοσμίως γνωστή για το χαρακτηριστικό άρωμα και γεύση της. Ο καφές αυτός παράγεται μόνο κατά την εποχή των μουσώνων και υπόκειται στη διαδικασία της ζύμωσης, κατά την οποία συμβαίνουν αυτές οι σημαντικές αλλαγές σε βιοχημικό επίπεδο (Ahmad, 2000). Λόγω των μουσώνων, υπάρχουν ενδείξεις ότι στη ζύμωση συμμετέχουν διαφορετικοί μικροοργανισμοί σε σχέση με τις συμβατικές ποικιλίες καφέ. Πιο συγκεκριμένα, στην έρευνα τους οι Ahmad & Magan (2002) εξέτασαν την μικροχλωρίδα και τα υδρολυτικά ένζυμα σε καφέ μουσώνα και συνηθισμένο καφέ, ώστε να εντοπιστούν διαφορές και να υπάρξει καλύτερη κατανόηση σχετικά με τη διαδικασία της ζύμωσης. Για το σκοπό αυτό αναλύθηκαν 8 διαφορετικά είδη καφέ. Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται πληθυσμοί μυκήτων και βακτηρίων στα είδη του καφέ που αναλύθηκαν.



Εικόνα 14: Πληθυσμός μυκήτων και συνολικός πληθυσμός βακτηρίων. Λευκο: MS (Malt 10% Salt Agar), Μαύρο: MEA (Malt Extract Agar), Γκρι: βακτήρια. (Ahmad, 2002)

Η πλειονότητα των μυκήτων που απομονώθηκαν ήταν ξηροανθεκτικοί ή ξηρόφιλοι *Aspergillus* και *Eurotium spp.* Σε μερικά δείγματα, κυρίως καφέ robusta βρέθηκε *A. Chraceus*, που παράγει ωχρατοξίνες. Πριν τους μουσώνες, επικρατούσε ο *Aspergillus niger*, ενώ κατά τη διάρκεια αυτού ο επικρατέστερος μικροοργανισμός ήταν ο *A. chraceus*. Άλλα είδη που βρέθηκαν ήταν *Aspergillus*, *Penicillium*, *Absidia*, *Syncephalastrum*, *Mucor* και *Rhizopus*.

Σχετικά με τα υδρολυτικά ένζυμα, σε κάθε τύπο καφέ, οι πληροφορίες από το πείραμα των Ahmad & Magan (2002) συγκεντρώνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 4: ποσοτική συγκέντρωση ενζύμων (nmol) που υπάρχουν σε εκχυλίσματα από καφέ arabica και robusta μουσώνα και όχι.

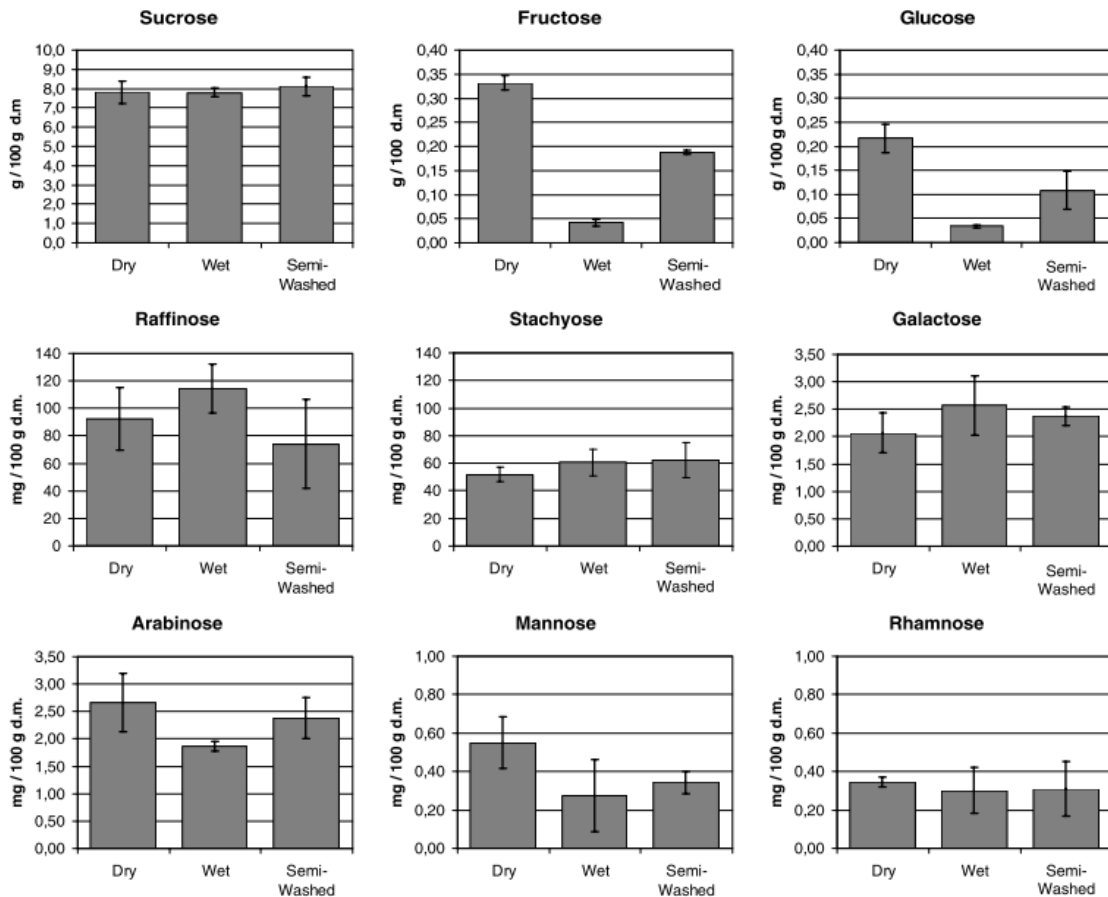
| | A/NM | A/M | A/Mp | A/Mf | R/NM | R/M | R/Mp | R/Mf |
|--|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| Control | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2-naphthyl-phosphate | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2-naphthyl-butyrate | 5 | 10 | 2.5 | 15 | <2.5 | 2.5 | 0 | <2.5 |
| 2-naphthyl-caprylate | 5 | 10 | 2.5 | 5 | <2.5 | 2.5 | <2.5 | 2.5 |
| 2-naphthyl-myristate | 0 | 0 | 0 | 0 | <2.5 | <2.5 | <2.5 | 2.5 |
| L-leucyl-2-naphthylamide | 0 | 2.5 | <2.5 | 2.5 | 0 | 0 | <2.5 | 0 |
| L-valyl-2-naphthylamide | 0 | 2.5 | <2.5 | 2.5 | 0 | 0 | 0 | 2.5 |
| L-cystyl-2-naphthylamide | 0 | 2.5 | <2.5 | 2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| N-benzoyl-DL-arginine-2-naphthylamide | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| N-glutaryl-phenylalanine-2-naphthylamide | 0 | 2.5 | <2.5 | 2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2-naphthyl-phosphate | 0 | 2.5 | <2.5 | 15 | 0 | 2.5 | 0 | 0 |
| Naphthol-AS-B1-phosphate | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | <2.5 | <2.5 | <2.5 | 1 |
| 6-Br-2-naphthyl-D-galactopyranoside | 0 | 2.5 | 0 | 2.5 | 0 | <2.5 | 0 | 0 |
| 2-naphthyl-D-galactopyranoside | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 |
| Naphthol-AS-B1-D-glucuronide | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2-naphthyl-D-glucopyranoside | 0 | 2.5 | 0 | >2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6-Br-2-naphthyl-BD-glucopyranoside | 0 | 2.5 | 0 | >2.5 | 0 | <2.5 | 0 | 0 |
| 1-naphthyl-N-acetyl-D-glucosamide | 0 | 2.5 | 0 | >2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6-Br-2-naphthyl-D-mannopyranoside | 0 | 2.5 | 0 | >2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2-naphthyl-L-fucopyranoside | 0 | 0 | 0 | >2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |

A, Arabica; R, Robusta; NM, non-monsooned; M, monsooned; P, polished; F, fumigated.

Παρατηρείται λοιπόν, ότι υπάρχουν διαφορές μεταξύ των ειδών του καφέ. Για παράδειγμα, στον καφέ arabica που προκύπτει από μουσώνες, τα επίπεδα 2-naphthyl-butyrate, caprylate και 2-naphthyl-D-galactopyranosidase ήταν σημαντικά πιο υψηλά. Το είδος robusta περιείχε γενικότερα χαμηλότερα επίπεδα ενζύμων, ανεξάρτητα από την ύπαρξη μουσώνα. Αξίζει να σημειωθεί ότι στους περισσότερους τύπους καφέ, υπήρχαν υψηλά επίπεδα βακτηρίων, άρα οι σημαντικές διαφορές στην ύπαρξη των ενζύμων υποδεικνύουν ότι τα ένζυμα δεν εξαρτώνται άμεσα από τους πληθυσμούς των βακτηρίων. Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση των μυκήτων, είναι πιθανό αυτοί να παίζουν ρόλο στο τελικό φάσμα των ενζύμων που υπάρχουν και να επηρεάζουν την τελική ποιότητα του καφέ.

Προηγούμενες έρευνες έχουν δείξει ότι η ύπαρξη βασικών ενζύμων οφείλεται στην δράση των μυκήτων που εντοπίζονται (Jain et al., 1991). Πιο αναλυτικά, παρουσία ειδών *Eurotium* οδηγούν σε αύξηση N-acetyl-b- D-glucosaminidase και a-galactosidase. Αποικίες *Aspergillus nidulans*, *A. versicolor* και *Penicillium veridicatum*, έχουν ως αποτέλεσμα αύξηση της δράσης b-D- xylopyranosidase. Επιπλέον, είδη *Fusarium* συνοδεύονταν από αύξηση της δράσης των N-acetyl-b-D- glucosaminidase και b-D-glucosidase (Marin et al. 1998). Τα ένζυμα αυτά μπορεί να είναι δείκτες ύπαρξης αποικιών *F. verticillioides* και *F. proliferatum*. Γενικότερα όμως, συγκεκριμένοι τύποι ενζύμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες για τον τύπο και το επίπεδο της δραστηριότητας των μυκήτων και να βοηθήσουν στην διαφοροποίηση των διαφορετικών τύπων καφέ.

Έρευνες που αφορούσαν την ποσοτική ανάλυση σακχάρων, έδειξαν στενή σύνδεση ανάμεσα στα επίπεδα φρουκτόζης, γλυκόζης και στην επεξεργασία μετά τη συλλογή των καρπών (Knorr et al., 2006). Στους κόκκους που είχαν υποστεί υγρή επεξεργασία, υπήρχαν χαμηλά επίπεδα στα σάκχαρα αυτά, σε σχέση με τους κόκκους που είχαν υποστεί ξηρή επεξεργασία. Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν επίσης κόκκοι control που δεν είχαν υποστεί καμία επεξεργασία και τα ευρήματα έδειξαν επίπεδα φρουκτόζης και γλυκόζης παρόμοια με αυτά των κόκκων που προέρχονταν από ξηρή επεξεργασία, ενώ τα χαμηλά επίπεδα αυτών των σακχάρων ήταν αποτέλεσμα της υγρής επεξεργασίας. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και σε άλλα σάκχαρα όπως στη γαλακτόζη, μαννόζη και αραβινόζη, παρόλο που η συνολική συγκέντρωσή τους στον καφέ είναι χαμηλή. Από την άλλη πλευρά, σάκχαρα με μεγαλύτερο μοριακό βάρος δεν επηρεάζονται σημαντικά από το είδος της επεξεργασίας. Μετά τη συγκομιδή συμβαίνουν μεταβολικές αντιδράσεις στους καρπούς του καφέ που μεταβάλλουν τη χημική σύσταση των πράσινων κόκκων. Ο μεταβολισμός γίνεται αντιληπτός από την μετατροπή του γλουταμινικού οξέος σε γ-αμινοβουτηρικό οξύ με τη βοήθεια του ενζύμου a-decarboxylation (Bytof et al., 2005).

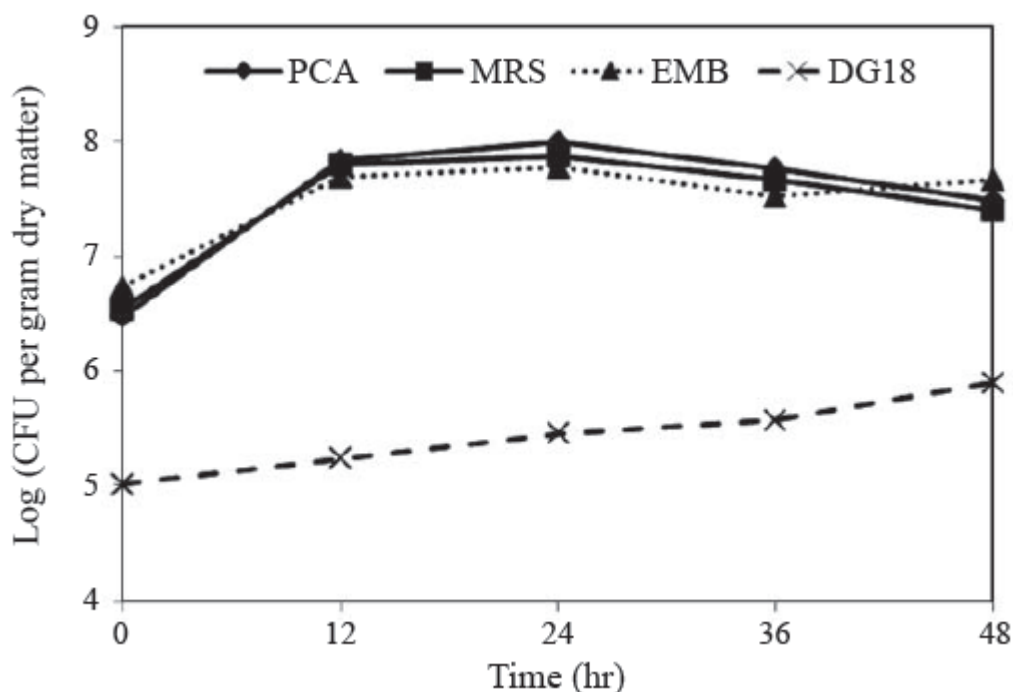


Εικόνα 15: Τα παραπάνω διαγράμματα δείχνουν τα επίπεδα των διάφορων σακχάρων στους κόκκους καφέ ανάλογα την επεξεργασία τους μετά τη συγκομιδή (Knorr, Bytof & Selmar, 2006)

Οι Nasanit & Satyawut (2015) μελέτησαν τις μικροβιακές αποικίες κατά τη διάρκεια της ζύμωσης του καφέ που έχει υποστεί υγρή μέθοδο επεξεργασίας στο είδος του *Coffea arabica* var *chiangmai* 80. Μετά από 48 ώρες ζύμωσης, το pH στην δεξαμενή μειώθηκε από 6,27 σε 4 και οι πολυπληθέστεροι μικροοργανισμοί ήταν βακτήρια και πιο συγκεκριμένα *Enterobacteriaceae*, όπως *Enterobacter agglomerans*, *Erwinia dissolvens*, *Escherichia coli* και *Klebsiella pneumonia*. Επιπλέον γαλακτικά βακτήρια εντοπίστηκαν σε διάφορες στιγμές της ζύμωσης, όπως *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus brevis*, *Lactococcus plantarum* και *Enterococcus casseliflavus*. Παράλληλα ταυτοποιήθηκαν βακτήρια όπως *Bacillus subtilis* and *B. cereus* που σχηματίζουν σπόρια και είναι Gram θετικοί μικροοργανισμοί.

Οι ζυμομύκητες άρχισαν να αυξάνονται μετά από 24 ώρες ζύμωσης και πιο συγκεκριμένα είδη *Candida*, *Pichia*, *Debaryomyces*, *Kluyveromyces* και *Saccharomyces*. Από τους μύκητες, ο πιο συνηθισμένος ήταν το *Penicillium*. Η θερμοκρασία κυμαίνονταν λόγω των διαφορετικών συνθηκών μεταξύ μέρας και νύχτας καθώς η ζύμωση έγινε σε

ατμοσφαιρικές ανοικτές συνθήκες. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 16, η ποσότητα των αερόβιων βακτηρίων, των γαλακτικών και εντεροβακτηρίων αυξήθηκε από την αρχή της ζύμωσης μέχρι και τις πρώτες 24 ώρες. Οι μικροοργανισμοί αυτοί στη συνέχεια μειώθηκαν ελάχιστα μετά τις 24 ώρες. Οι ζύμες και οι μύκητες ήταν ελάχιστοι συγκριτικά με τα βακτήρια κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, αλλά αυξάνονταν σταδιακά καθόλη τη διάρκεια της διαδικασίας, έχοντας το μέγιστο πληθυσμό στο τέλος της ζύμωσης.



Εικόνα 16: Μέτρηση μικροβιακού φορτίου (CFU= Colony Forming Units) κατά τη διάρκεια της ζύμωσης για αερόβια (PCA), γαλακτικά βακτήρια (MRS), Enterobacteriaceae (EMB) και για ζύμες και μύκητες (DG18).

Πιο αναλυτικά, για τους μικροοργανισμούς που εντοπίστηκαν και ταυτοποιήθηκαν, όπως φαίνεται και στις παραπάνω εικόνες οι Nasanit & Satayawut (2015) απομόνωσαν και ταυτοποίησαν σε επίπεδο γένους, 681 μικροοργανισμούς. Από αυτούς το 79,4% ήταν βακτήρια, του 15,8% ζυμομύκητες και το 4,7% μύκητες. Στην επιφάνεια των ζυμωμένων κόκκων, επικρατούσαν βακτήρια της οικογένειας των εντεροβακτηρίων (44,5%) με τα γαλακτικά (43,8%) και τα Gram θετικά βακτήρια που σχηματίζουν σπόρια (8,5%) να ακολουθούν. Απομονώθηκαν ακόμη Gram αρνητικοί βάκιλλοι στα δείγματα καφέ που ανήκαν στο γένος *Pseudomonas* (*P. fluorescens* και *P. delafieldii*) και *Aeromonas* (*A. schubertii*). Τα βακτήρια που κατατάσσονται στην οικογένεια των εντεροβακτηρίων, ανήκουν σε 9 γένη όπως παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 5. Επιπλέον, δεν

εντοπίστηκαν βακτήρια που να παράγαν οξικό οξύ. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι *E. agglomerans* και *L. mesenteroides* ήταν τα είδη που εντοπίστηκαν σε κάθε στάδιο της ζύμωσης στην επιφάνεια των κόκκων, πιο συχνά. Οι ζύμες αναγνωρίστηκαν με τη βοήθεια μορφολογικών και βιοχημικών μεθόδων και βρέθηκε ότι προέρχονται από 7 γένη (*Pichia spp.*, *Candida spp.*, *Kluyveromyces spp.*, *Saccharomyces spp.*, *Debaromyces spp.*, *Hanseniaspora spp.*, *Schizosaccharomyces sp.*). Οι μύκητες εντοπίστηκαν στην επιφάνεια των κόκκων καθόλη τη διάρκεια της ζύμωσης και μάλιστα η ανάπτυξή τους ενισχύθηκε από τη μείωση του pH.

Πίνακας 5: Κύρια είδη βακτηρίων που εντοπίστηκαν στους καρπούς του καφέ κατά τη διάρκεια των πρώτων 48 ωρών της ζύμωσης. Το ποσοστό που αναγράφεται σχετίζεται με το συνολικό βακτηριακό πληθυσμό που εντοπίστηκε σε κάθε στάδιο.

| Time (hr) | Bacterial species | Frequency ^a (%) |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------|
| Cherries | <i>Enterobacter agglomerans</i> | 29.4 |
| | <i>Leuconostoc mesenteroides</i> | 15.7 |
| | <i>Erwinia dissolvans</i> | 9.4 |
| | <i>Lactobacillus brevis</i> | 9.4 |
| 0 | <i>Enterobacter agglomerans</i> | 23.2 |
| | <i>Erwinia dissolvans</i> | 13.6 |
| | <i>Lactobacillus brevis</i> | 12.3 |
| | <i>Bacillus subtilis</i> | 10.9 |
| | <i>Lactobacillus plantarum</i> | 8.2 |
| | <i>Leuconostoc mesenteroides</i> | 8.2 |
| 12 | <i>Enterobacter agglomerans</i> | 27.6 |
| | <i>Lactobacillus plantarum</i> | 12.7 |
| | <i>Bacillus subtilis</i> | 11.7 |
| | <i>Lactobacillus brevis</i> | 7.4 |
| | <i>Leuconostoc mesenteroides</i> | 7.4 |
| 24 | <i>Enterobacter agglomerans</i> | 35.3 |
| | <i>Leuconostoc mesenteroides</i> | 14.6 |
| | <i>Enterococcus casseliflavus</i> | 12.1 |
| | <i>Erwinia dissolvans</i> | 9.7 |
| 36 | <i>Enterobacter agglomerans</i> | 31.0 |
| | <i>Leuconostoc mesenteroides</i> | 18.3 |
| | <i>Enterococcus casseliflavus</i> | 16.0 |
| | <i>Lactobacillus brevis</i> | 10.3 |
| 48 | <i>Enterobacter agglomerans</i> | 18.1 |
| | <i>Enterococcus casseliflavus</i> | 16.3 |
| | <i>Leuconostoc mesenteroides</i> | 15.4 |
| | <i>Bacillus subtilis</i> | 10.0 |
| | <i>Lactobacillus plantarum</i> | 8.1 |
| | <i>Klebsiella pneumonia</i> | 7.2 |

Πίνακας 6: Κύρια είδη ζυμών που εντοπίστηκαν στους καρπούς του καφέ κατά τη διάρκεια των πρώτων 48 ωρών της ζύμωσης. Το ποσοστό που αναγράφεται σχετίζεται με το συνολικό πληθυσμό των ζυμών που εντοπίστηκε σε κάθε στάδιο.

| Time (hr) | Yeast | Frequency ^a (%) |
|-----------|--------------------------|----------------------------|
| 0 | <i>Candida</i> sp. | 57.1 |
| | <i>Pichia</i> sp. | 42.8 |
| | <i>Saccharomyces</i> sp. | 42.8 |
| | <i>Kluyveromyces</i> sp. | 28.5 |
| 12 | <i>Pichia</i> sp. | 30.7 |
| | <i>Saccharomyces</i> sp. | 30.7 |
| | <i>Kluyveromyces</i> sp. | 30.7 |
| 24 | <i>Pichia</i> sp. | 38.0 |
| | <i>Candida</i> sp. | 19.0 |
| | <i>Saccharomyces</i> sp. | 19.0 |
| 36 | <i>Kluyveromyces</i> sp. | 33.3 |
| | <i>Candida</i> sp. | 27.3 |
| | <i>Saccharomyces</i> sp. | 22.2 |
| | <i>Kluyveromyces</i> sp. | 30.3 |
| 48 | <i>Candida</i> sp. | 24.2 |

Πίνακας 7: Μύκητες που απομονώθηκαν από τους καρπούς και τους κόκκους του καφέ κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. nd= not detected, (x)= οι αριθμοί στις παρενθέσεις δείχνουν τον αριθμό των απομονωμένων μικροοργανισμών.

| Time (hr) | Chiang Mai | Chiang Rai | Phetchabun | Tak |
|-----------|---|---|----------------------------|---|
| Cherries | <i>Penicillium</i> sp. (1), <i>Acremonium</i> sp. (1) | <i>Cladosporium</i> sp. (3), <i>Acremonium</i> sp.(2), <i>Penicillium</i> sp. (1) | nd | <i>Penicillium</i> sp. (1), <i>Cladosporium</i> sp.(2) |
| 0 | nd | nd | nd | nd |
| 12 | <i>Penicillium</i> sp. (1) | <i>Acremonium</i> sp. (5), <i>Penicillium</i> sp. (1) | nd | nd |
| 24 | <i>Penicillium</i> sp. (2) | <i>Fusarium</i> sp. (1) | nd | nd |
| 36 | <i>Penicillium</i> sp. (3), <i>Aspergillus</i> sp. (1) | nd | <i>Penicillium</i> sp. (2) | <i>Acremonium</i> sp. (1) |
| 48 | nd | nd | <i>Penicillium</i> sp. (2) | <i>Acremonium</i> sp. (2) |

Πίνακας 8: Πίνακας συμμετεχόντων μικροοργανισμών και των μεταβολιτών τους, στην ζύμωση του καφέ.

| ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ | ΒΑΣΙΛΕΙΟ | ΚΛΑΣΗ | ΦΥΛΛΟ | ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ | ΜΕΤΑΒΟΛΙΤΗΣ |
|---|----------|-------------------|----------------|---|----------------|
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | Μύκητες | Ασκομύκητες | Μυκόφωτα | Saccharomycetaceae | αιθανόλη |
| <i>Schizosaccharomyces</i> | Μύκητες | Ασκομύκητες | Μυκόφωτα | Saccharomycetaceae | αιθανόλη |
| <i>Erwinia</i> | Βακτήρια | Γαμαποτεοβακτήρια | Πρωτεοβακτήρια | Enterobacteriaceae | αιθανόλη |
| <i>Aspergillus</i> | Μύκητες | Eurotiales | Δευτερομύκητες | Trich ^o Comaceae | ωχρατοξίνη Α |
| <i>Penicillium</i> | Μύκητες | Eurotiales | Δευτερομύκητες | Trich ^o Comaceae | ωχρατοξίνη Α |
| <i>Crypt^oC^oCcus</i> | Μύκητες | Tremellales | Βασιδιομύκητες | Crypt ^o C ^o Ccaceae | πολυσακχαρίτες |
| <i>Lactobacillus</i> | Βακτήρια | Bacilli | Firmicutes | Lactobacillaceae | γαλακτικό οξύ |
| <i>Streptococcus</i> | Βακτήρια | Bacilli | Firmicutes | Strept ^o C ^o Caceae | γαλακτικό οξύ |
| <i>A. ^oChraceus</i> | Μύκητες | Eurotiomycetes | Δευτερομύκητες | Trich ^o Comaceae | ωχρατοξίνες |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΑΒΟΥΡΔΙΣΜΑ ΤΟΥ ΚΑΦΕ

3.1. Διαδικασία καβουρδίσματος

Ο πράσινος κόκκος του καφεόδεντρου είναι πολύ σκληρός τη στιγμή της συγκομιδής και δεν μπορεί να καταναλωθεί ως στερεά τροφή. Παράλληλα, εάν υποστεί βρασμό, το ρόφημα που προκύπτει δεν έχει κάποια γεύση, με αποτέλεσμα αποπειραθεί το καβούρδισμά του από πολύ νωρίς. Το καβούρδισμα προκύπτει από το ψήσιμο των ωμών κόκκων καφέ και είναι από τις πιο σημαντικές και ταυτόχρονα ευαίσθητες διαδικασίες κατά την επεξεργασία του. Η ευαισθησία αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι για να μπορέσουν όλοι οι κόκκοι να έχουν το κατάλληλο και επιθυμητό άρωμα και χρώμα είναι αναγκαίο να υπάρχουν οι κατάλληλες θερμοκρασίες, αλλά και ο χρόνος καβουρδίσματος να είναι συγκεκριμένος (Μακρή, 2011). Κατά το καβούρδισμα, ο στόχος είναι να αλλάξουν οι φυσικές, δομικές, χημικές και οργανοληπτικές ιδιότητες.

Το καβούρδισμα είναι ουσιαστικά μια διαδικασία πυρόλυσης, που συμβάλλει στην αύξηση της πολυπλοκότητας της χημικής σύστασης του καφέ. Οι πρώτες μαρτυρίες καβουρδίσματος καφέ καταγράφονται από τον 15^ο αιώνα στην Οθωμανική Αυτοκρατορία και την ευρύτερη Περσία. Στην αρχή, το καβούρδισμα πραγματοποιούταν ρίχνοντας τους κόκκους του καφέ σε λάκκους που είχαν φωτιά και αργότερα σε τηγάνια. Με την πάροδο του χρόνου και την αύξηση της κατανάλωσης και ζήτησης, διαμορφώθηκαν και ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται ειδικά σκεύη για το καβούρδισμα του καφέ (Περριέ-Ρομπέρ, 2004).

Σήμερα, η διαδικασία του καβουρδίσματος αξιοποιεί την πρόοδο της τεχνολογίας, ώστε να ελέγχεται από συστήματα υπολογιστών με ακρίβεια και να έχουμε μεγάλες παραγωγικές μονάδες (Sinnott, 2011). Υπάρχουν καβουρδιστήρια που μπορούν να χωρέσουν από 5 έως και 240 κιλά κόκκων, ενώ ταυτόχρονα αναδεύονται και θερμαίνονται με θερμό αέρα. Μέσα σε 20 λεπτά επιτυγχάνονται θερμοκρασίες 250 °C.



Εικόνα 17: Σύγχρονος καβουρδιστήρας

Η διαδικασία του καβουρδίσματος διακρίνεται σε τρία στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι το ενδόθερμο στάδιο ξήρανσης. Πιο αναλυτικά, όταν φτάσουμε τους 100 °C, οι κόκκοι κιτρινίζουν, τα ποσοστά υγρασία τους μειώνονται από 10-12% στο ελάχιστο και η οσμή που έχουν αρχικά, ξεκινάει να θυμίζει αυτή του ψωμιού (Belitz and Grosch, 1999).

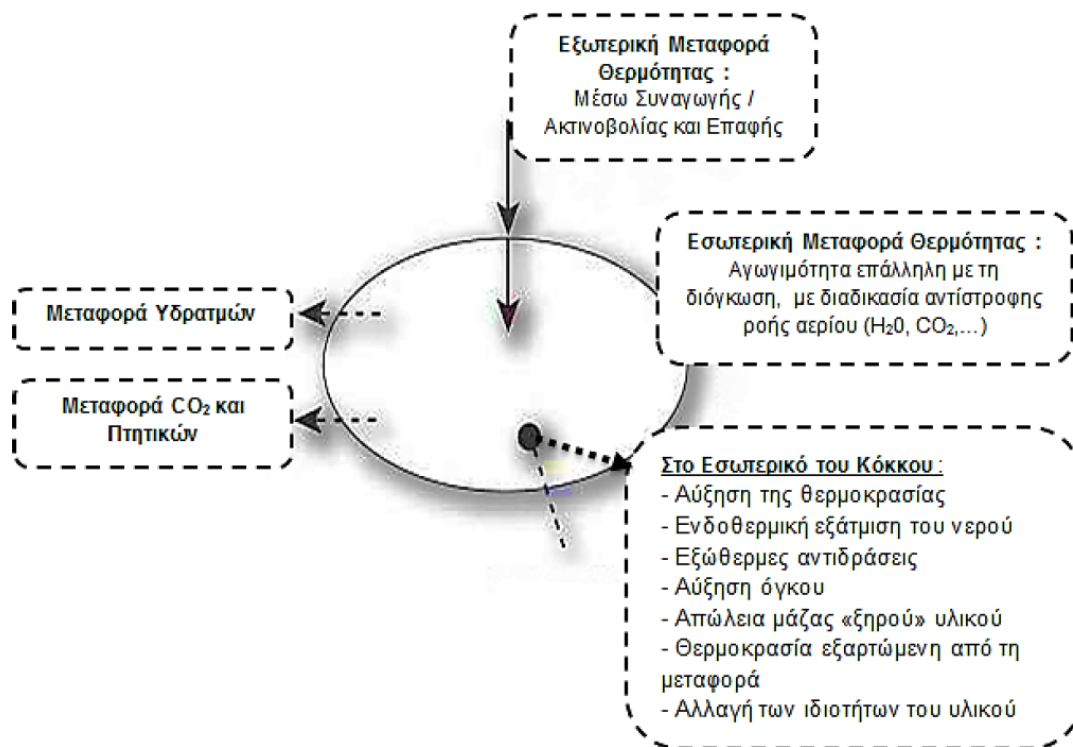
Στη συνέχεια, περνάμε στο δεύτερο που είναι και το κύριο στάδιο της διαδικασίας. Πλέον λαμβάνουν χώρα αντιδράσεις πυρόλυσης, που έχουν ως αποτέλεσμα την μεταβολή της χημικής σύστασης των κόκκων. Οι αντιδράσεις πυρόλυσης και πολυμερισμού αλλάζουν ριζικά την υφή των κόκκων, κάνοντάς τους πιο εύθραυστους και εύκολα επεξεργάσιμους με αποτέλεσμα να επιτρέπεται η άλεση και η εκχύλιση (Alonso-Torres et al., 2013). Πιο συγκεκριμένα, απελευθερώνονται μεγάλα ποσοστά διοξειδίου του άνθρακα, καραμελοποιούνται οι υδατάνθρακες, τα λιπαρά και χλωρογενικά οξέα καθώς και η τρογονελλίνη διασπώνται, η καφεΐνη που είναι ελεύθερη εξατμίζεται και παράλληλα απελευθερώνονται ενώσεις που σχετίζονται με τη γεύση και το άρωμα, ενώ οπτικά αποκτούν καστανό χρώμα. Οι αντιδράσεις μέχρι τους 190 °C και άνω των 210 °C είναι εξώθερμες, ενώ η μέγιστη τιμή ρυθμού των πυρολυτικών αντιδράσεων που αναφέρθηκαν λαμβάνουν χώρα σε συνθήκες μεταξύ 190-210 °C, όπου πραγματοποιούνται ενδόθερμες αντιδράσεις.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, κάθε ποικιλία αναδεικνύει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της, χάρη στην αντίδραση de Maillard που πραγματοποιείται μεταξύ πρωτεϊνών και σακχάρων. Όταν φτάσουμε τους 200-250 °C, η καραμελοποίηση των κόκκων

αποδίδει το χαρακτηριστικό σκούρο καστανό χρώμα και την έντονη γεύση, ενώ υπάρχει απώλεια βάρους κατά 20% και αύξηση όγκου κατά 50-70%. Η διάρκεια της διαδικασίας επηρεάζει σημαντικά της επιτυχία της, επομένως είναι σημαντικό να τηρούνται οι χρόνοι ψήσιματος. Παράλληλα, ο βασικός στόχος του καβουρδίσματος είναι η ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας για ενιαίο ψήσιμο. Ιδανικά, μετά το πέρας της διαδικασίας οι κόκκοι φέρουν όλοι ομοιόμορφο καστανό χρώμα στο περίβλημά τους, ενώ εσωτερικά δεν φέρουν υγρασία ή γυαλάδα.

Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο, σύμφωνα με τον Περριέ-Ρομπέρ (2004) είναι αναγκαίο να σταματήσει απότομα η παροχή θερμότητας για να μην απανθρακωθούν οι κόκκοι και να ψυχθούν άμεσα με τη χρήση ψεκασμού με νερό ή διοχέτευση αέρα (Clarke, 1987). Εκτός από την θερμοκρασία και τον χρόνο καβουρδίσματος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το καβούρδισμα επηρεάζεται και από τον τύπο και την προέλευση του καφέ αλλά και από τις προτιμήσεις των καταναλωτών. Με το πέρας του καβουρδίσματος, τα αρωματικά συστατικά του καφέ εξατμίζονται και οξειδώνονται. Η αλλαγή μεταξύ των επιθυμητών αρωμάτων και ανεπιθύμητων γίνεται αντιληπτή μέσα στην πρώτη ημέρα, ενώ σε διάστημα 3 εβδομάδων χάνεται το 50% των αρωμάτων. Τα βασικά στάδια της διαδικασίας του καβουρδίσματος φαίνονται στην Εικόνα 18.

Από την άλλη πλευρά ο πράσινος καφές που είναι ανεπεξέργαστος, μπορεί να διατηρηθεί ακόμη και για χρόνια (Περριέ-Ρομπέρ, 2004). Οι βασικοί παράγοντες που φθείρουν τον καφέ και αλλοιώνουν την μυρωδιά και την γεύση του, είναι η επαφή με το οξυγόνο, η θερμότητα και η υγρασία. Έτσι, συνήθως προτείνεται να αποθηκεύεται σε ξηρό σκοτεινό μέρος, εντός σφραγισμένης συσκευασίας.



Εικόνα 18: Βασικές πτυχές για το καβούρδισμα του καφέ.

3.2. Χημικές αντιδράσεις κατά τη διάρκεια του καβουρδίσματος

Αρχικά πρέπει να αναφερθεί ότι λόγω της δυσκολίας αναπαραγωγής στο εργαστήριο, οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό των κόκκων του καφέ κατά τη θερμική επεξεργασία δεν έχουν διευκρινιστεί πλήρως. Παρόλα αυτά σύμφωνα με μελέτες, κατά την διαδικασία του καβουρδίσματος οι βασικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό ενός κόκκου είναι κυρίως η αποικοδομότητα πολυσακχαριτών, σακχάρων, λιπαρών οξέων και αμινοξέων με παράλληλη προώθηση αντιδράσεων καραμελοποίησης και παραγωγής προϊόντων συμπύκνωσης (Buffo and Cardelli-Freire, 2004).

Οι πράσινοι κόκκοι του καφέ, κατά το ψήσιμο υπόκεινται σε θερμοκρασίες πολύ υψηλές που κυμαίνονται μεταξύ 170-230 °C και προκαλούν αλλαγές στην σύνθεση των χημικών ενώσεων. Το νερό από τα κύτταρα των κόκκων εξατμίζεται και καθώς μετατρέπεται σε ατμό ευνοεί αντιδράσεις μεταξύ πρωτεϊνών, λιπιδίων, σακχάρων και ιχνοστοιχείων που οδηγούν στην απελευθέρωση αρωματικών ελαίων, τα οποία προσδίδουν το χαρακτηριστικό άρωμα του καφέ (Steinhardt and Holscher, 1991).

Κατά το καβούρδισμα πραγματοποιούνται ενδόθερμες και εξώθερμες αντιδράσεις, που έχουν ως αποτέλεσμα να καθιστούν τη διαδικασία του καβουρδίσματος, από σκοπιά

χημικής μηχανικής ως ένα φαινόμενο μεταφοράς μάζας από τον κόκκο στο περιβάλλον και θερμότητας από το περιβάλλον εντός του κόκκου. Με το πέρας του καβουρδίσματος από τους μονοσακχαρίτες και δισακχαρίτες απομένουν μόνο ίχνη από ελεύθερους υδατάνθρακες. Ένα μέρος της σακχαρόζης υδρολύεται (μέσω της αντίδρασης Maillard) και ένα άλλο καραμελοποιείται, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται τόσο πτητικά (αρωματικά συστατικά, πτητικά οξέα), όσο και μη πτητικά προϊόντα (μελανοϊδίνες, οξέα). Όταν στα αντιδρώντα υπάρχουν συστατικά όπως αμινοξέα, ελεύθερες αμινομάδες πρωτεϊνών και πεπτίδια, δηλαδή αζωτούχα συστατικά, τότε η αντίδραση Maillard ευνοείται λόγω μικρότερης ενέργειας ενεργοποίησης.

Οι πολυσακχαρίτες, εξαιρώντας την κυτταρίνη, είναι μερικώς διαλυτοί (Bradburry, 2001, Redgwell et al., 2002). Οι κόκκοι μετατρέπονται σε ένα πολύ ασταθές σύστημα με την αντίδραση Maillard και την πυρόλυση. Οι μακροσκοπικές αλλαγές στον καφέ οφείλονται στα προϊόντα των αντιδράσεων Maillard (MRPs) και στο διοξείδιο του άνθρακα. Τα προϊόντα της αντίδρασης Maillard που έχουν χαμηλό μοριακό βάρος οδηγούν στην χαρακτηριστική γεύση του καφέ. Οι πτητικές ουσίες και το διοξείδιο του άνθρακα που σχηματίζονται λόγω εσωτερικών αερίων που δημιουργούνται και των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν, διογκώνουν τους κόκκους. Επιπλέον δημιουργούνται εσωτερικοί πόροι και θύλακες. Η διόγκωση των κόκκων του καφέ σε σχέση με τους κόκκους του πράσινου καφέ μπορεί να φτάσει από το 1/3 μέχρι και το 100% όταν έχουμε σκούρο καβούρδισμα (dark roast, Franca et al., 2005). Η μείωση της πυκνότητάς τους είναι περίπου 300-450 g/l.

Στα τελικά στάδια του καβουρδίσματος όμως, η συνεχής παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα προκαλούν μείωση συγκράτησής του και άλλων πτητικών στοιχείων στους κόκκους. Η μείωση της ικανότητας των κόκκων να συγκρατούν αυτά τα στοιχεία οφείλεται στο ότι οι κόκκοι χάνουν την ελαστικότητά τους και σχηματίζουν ρωγμές επιφανειακά λόγω αυξανόμενης πίεσης (Massini et al., 1990). Οι αντιδράσεις αρχίζουν από την επιφάνεια των κόκκων και συνεχίζουν προς το εσωτερικό της δομής του (της ξηρής, πριν τη διόγκωση). Επιπλέον, παράγονται ποσότητες αερίων περίπου ίσες με 5-12 L/Kg (μεγάλο μέρος από αυτά είναι διοξείδιο του άνθρακα). Παράλληλα, τα αέρια που εγκλωβίζονται στις κυτταρικές δομές περνούν από τα αποδυναμωμένα ή/και κατεστραμμένα, λόγω υψηλών θερμοκρασιών, τοιχώματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι πτητικές ουσίες αποτελούν προϊόντα της αντίδρασης Maillard και το διοξείδιο του άνθρακα προκύπτει τόσο από την αντίδραση Maillard όσο και από την πυρόλυση (Hodge, 1953).

Οι χημικές αλλαγές που λαμβάνουν χώρα κατά το καβούρδισμα στους κόκκους του καφέ μπορούν να συνοψισθούν ως το άθροισμα της απώλειας ξηρής μάζας λόγω εξάτμισης της υγρασίας κατά το πρώτο στάδιο (ξήρανση) και της απώλειας της μάζας εξαιτίας της απελευθέρωσης του διοξειδίου του άνθρακα και των πτητικών ενώσεων κατά το δεύτερο στάδιο. Παρακάτω αναφέρονται πιο αναλυτικά η χημική σύσταση και οι αλλαγές των συστατικών που λαμβάνουν χώρα κατά το καβούρδισμα.

Υδατάνθρακες

Οι υδατάνθρακες συμβάλλουν σημαντικά μέσω της καραμελοποίησης και της αντίδρασης Maillard στο σχηματισμό των αρωματικών συστατικών του καφέ. Τα σάκχαρα που κυριαρχούν στον καφέ είναι η σακχαρόζη, η ινοσιτόλη, η γλυκόζη, η αραβινόζη, η σορβιτόλη, η μανόζη, η μανιτόλη και η φρουκτόζη (Clinton, 1986).

Πολυσακχαρίτες: ανιχνεύονται ακόμα και μετά την υδρόλυσή τους και αποτελούν περίπου το 50% της ξηρής βάσης. Κατά το καβούρδισμα, σχηματίζουν δεσμούς με άλλους πολυσακχαρίτες και με πρωτεΐνες, με τη βοήθεια αντιδράσεων συμπύκνωσης και μηχανισμών αφυδάτωσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σταδιακά να χάνονται. Η σακχαρόζη αποτελεί σημαντικό συστατικό διότι ένα μέρος αυτής υδρολύεται και ένα άλλο καραμελοποιείται μέσω της πυρόλυσης. Η αρχική περιεκτικότητα στους κόκκους arabica είναι 6,25-8,45% ενώ σε κόκκους robusta 0,9-4,85% (Bradbury, 2001).

Ελεύθεροι μονοσακχαρίτες και ολιγοσακχαρίτες: η γλυκόζη και η φρουκτόζη, σε ποσοστό 0,18% και 0,02% αντίστοιχα, έχουν μικρό μοριακό βάρος και ανιχνεύονται στον πράσινο καφέ. Κατά τη θερμική επεξεργασία η αραβινόζη εμφανίζεται και η φρουκτόζη, η γλυκόζη και η ριβόζη σχεδόν εξαφανίζονται.

Λιπίδια

Τα λιπίδια αποτελούν το 15% των συστατικών των κόκκων arabica και το 10% robusta. Παράλληλα η χημική σύσταση των ελαίων του καφέ είναι 75% τριγλυκερίδια, 20% διτερπένια, 2,2% στερόλες και 2-3% κηρώδη συστατικά (Maier, 1981). Τα επίπεδα των trans

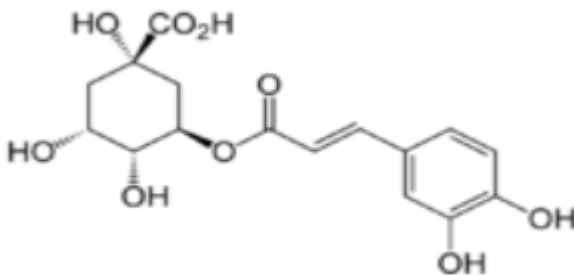
λιπαρών αυξάνουν με τη θερμική επεξεργασία στον καφέ, ενώ τα τριγλυκερίδια στο μεγαλύτερό τους ποσοστό και οι στερόλες δεν μεταβάλλονται.

Πρωτεΐνες και αμινοξέα

Οι πρωτεΐνες που περιέχονται στον πράσινο καφέ μειώνονται με το καβούρδισμα. Το ποσοστό των πρωτεϊνών στους κόκκους πριν είναι περίπου 13% αλλά εξαρτάται και από το πόσο ώριμοι είναι οι κόκκοι (όσο πιο ώριμοι κόκκοι, τόσο πιο υψηλό ποσοστό πρωτεϊνών). Οι πρωτεΐνες του καφέ έχουν μοριακά βάρη συνήθως μεγαλύτερα των 150.000 Daltons (Mazzafera, 1999). Με τις υψηλές θερμοκρασίες του καβουρδίσματος, οι πρωτεΐνες υδρολύονται και σχηματίζουν ελεύθερα αμινοξέα που με τη σειρά τους επηρεάζουν τη γεύση του καφέ. Με το πέρας του καβουρδίσματος εμφανίζονται δικετοπυραζίνες που προσδίδουν την πικρή γεύση στον καφέ (Flament, 2002).

Χλωρογενικά Οξέα

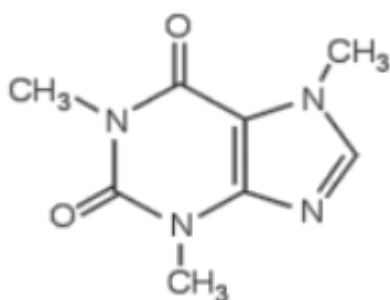
Τα χλωρογενικά οξέα είναι εστέρες του κινικού οξέος και αποτελούν την πιο σημαντική κατηγορία οξέων στον πράσινο καφέ και εμφανίζονται ως μονο- και δι-εστέρες. Η υδρόλυση των οξέων αυτών δίνει ένα μόριο καφεϊκού οξέος και ένα μόριο κινικού οξέος, που μαζί αποτελούν το 4,3% του ξηρού βάρους των καβουρδισμένων κόκκων. Στους κόκκους robusta το ποσοστό των χλωρογενικών είναι περίπου 9% ενώ στους κόκκους arabica 6,5% , γεγονός που κάνει την ποικιλία robusta κατώτερης ποιότητας διότι ο καφές έχει έντονη ξηρότητα (Bonnländer et al., 2005, Maier, 1993).



Εικόνα 19: Χημική δομή χλωρογενικού οξέος

Αλκαλοειδή

Καφεΐνη: η καφεΐνη περιέχεται στους κόκκους του καφέ σε μικρό ποσοστό που μεταβάλλεται ελάχιστα στις διαφορετικές ποικιλίες. Η απώλεια του βάρους του κόκκου καφέ κατά το καβούρδισμα, έχει ως αποτέλεσμα το ποσοστό της καφεΐνης να αυξάνει στο 10% της ξηρής καβουρδισμένης βάσης (Macrae, 1985). Πέρα από την πικρή γεύση που δίνει η καφεΐνη, αφήνει και στο στόμα την αίσθηση της ξηρότητας (αίσθηση στυφής γεύσης).



Εικόνα 20: Χημική δομή καφεΐνης

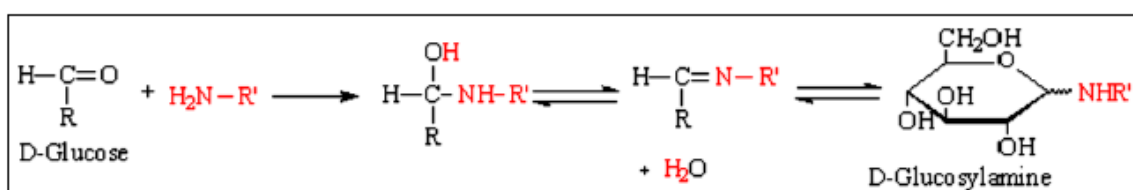
Τριγονελλίνη: το αρχικό ποσοστό στου κόκκους είναι 0,6-1% και με τη θερμική επεξεργασία μειώνεται αρκετά σε σημείο που μόνο το 15% της αρχικής ποσότητας της τριγονελλίνης παραμένει μετά το καβούρδισμα (Hughes and Smith, 1946). Το αποτέλεσμα της διάσπασης είναι το νικοτινικό οξύ, ο νικοτινικός μεθυλεστερας και το N- μεθυλονικοτιναμίδιο (Viani and Horman, 1974). Επιπλέον από την αποικοδόμηση της τριγονελλίνης προκύπτουν πυριδίνες και πυρρόλες που επηρεάζουν σημαντικά το άρωμα του καφέ. Η τριγονελλίνη τέλος, προσδίδει και πικρή γεύση σε μικρό βαθμό (Flament, 2002).

Μέταλλα

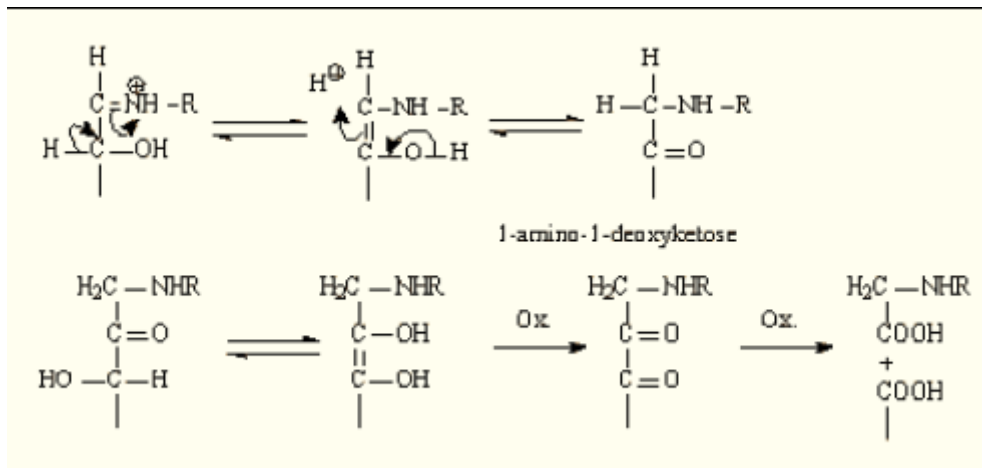
Τα μέταλλα δεν υφίστανται μεταβολές κατά το καβούρδισμα, με εξαίρεση τα φωσφορικά οξέα που αυξάνονται λόγω υδρόλυσης (Illy and Viani, 1995).

Οι σημαντικότεροι μηχανισμοί που αξιοποιούν τα μη πτητικά συστατικά για τη δημιουργία πτητικών κι έτσι επηρεάζουν το άρωμα και τη γεύση του καφέ, είναι η αντίδραση Maillard και η αντίδραση Strecker.

Η αντίδραση Maillard είναι γνωστή και ως μη ενζυμική αλλοίωση και αποτελεί αντίδραση μεταξύ αζωτούχων ενώσεων και υδατανθράκων, υδροξυ-οξέων και φαινολών για το σχηματισμό αμινοαλδοζών και αμινοκετονών. Ο σχηματισμός γίνεται μέσω συμπύκνωσης και πιο συγκεκριμένα, οι αζωτούχες ενώσεις είναι οι πρωτεΐνες, τα πεπτιδία, τα αμινοξέα, η σεροτονίνη και η τριγονελλίνη. Η αντίδραση Maillard αποτελείται από πολύπλοκες αντιδράσεις και συμβάλλει στη δημιουργία πτητικών συστατικών κατά το καβούρδισμα. Στα ακυκλικά σάκχαρα, το καρβονυλικό άκρο αντιδρά με το αμινικό άκρο των πεπτιδίων/αμινοξέων/πρωτεϊνών ώστε να σχηματιστεί βάση Schiff (N- γλυκοζιτών). Η ύπαρξη όξινων συνθηκών αναδιατάσσουν προς σχηματισμό 1,2-εναμινόλη που είναι ταυτομερές N-υποκατεστημένη 1-αμινο-1-δεοξυκετόζη (προϊόν αναδιάταξης Amadori, Shibamoto, 1991). Μετά την συμπύκνωση, ακολουθούν αντιδράσεις συμπύκνωσης και πολυμερισμού και στο τελευταίο στάδιο οι καρβονυλο-ενώσεις σχηματίζουν ενώσεις οι οποίες έχουν μεγάλο μοριακό βάρος και ονομάζονται μελανοΐδινες (Illy and Viani, 1995). Οι μελανοΐδινες στον καφέ προσδίδουν μερικές αντιοξειδωτικές ιδιότητες στο ρόφημα λόγω των φαινολικών τμημάτων που περιέχουν (Friedman, 1996).

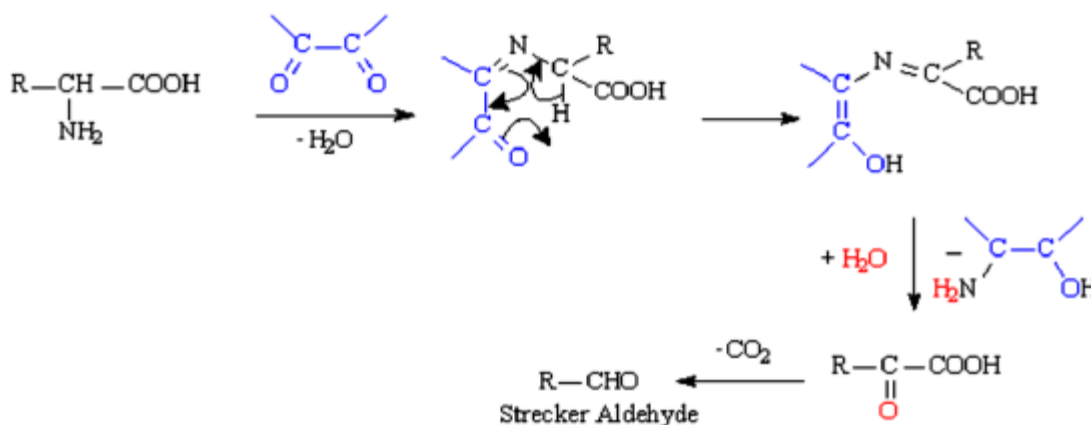


Εικόνα 21: Σχηματισμός N-γλυκοζίτη ως αρχικό στάδιο αντίδρασης Maillard.



Εικόνα 22: Μετασχηματισμός Amadori

Η αντίδραση Strecker λαμβάνει χώρα μεταξύ ενός αμινοξέος και ενός α-δικαρβονυλίου ώστε να σχηματιστεί μια αμινοκετόνη. Η αμινοκετόνη με τη συμπύκνωση θα δημιουργήσει ετεροκυκλικά παράγωγα ή οξαζόλες (αντίδραση με φορμαλδεΐδη, Buffo and Cardelli-Freire, 2004). Η αποικοδόμηση Strecker των αμινοξέων διαχωρίζει την καρβοξυλομάδα από την αμινομάδα σε ένα αμινοξύ και δημιουργείται μια αλδεΐδη με ν-1 άνθρακες και μια α-αμινοκετόνη.



Εικόνα 23: Αποικοδόμηση Strecker

Μερικές ακόμα αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά το καβούρδισμα είναι:

- Διάσπαση θειούχων αμινοξέων και μετατροπή τους σε μερκαπτάνες
- Διάσπαση υδροξυ-αμινοξέων και σχηματισμός αλκυλο-πυραζινών (διάσπαση σερίνης/ θρεονίνης που αντιδρούν με σακχαρόζη)

- Διάσπαση προλίνης και υδροξυπρολίνης και σχηματισμός πυριδινών, πυρρολών, πυρρολυζινών. Ακολουθεί ο μετασχηματισμός σε αλκυ-, ακυλ- και φουρφυρυλ-πυρρόλια
- Αποικοδόμηση τριγονελλίνης για να σχηματιστούν αλκυλοπυριδίνες και πυρρόλια
- Αποικοδόμηση κινικού οξέος που δημιουργεί φαινόλες
- Αποικοδόμηση λιπιδίων (συμβαίνει σε μικρό ποσοστό και αποικοδομούνται κυρίως διτερπένια)
- Ενδιάμεσα προϊόντα αποσύνθεσης αλληλεπιδρούν (ο μηχανισμός δεν έχει αναλυθεί επαρκώς).

3.3. Επίδραση διαφορετικών θερμοκρασιών και χρόνων

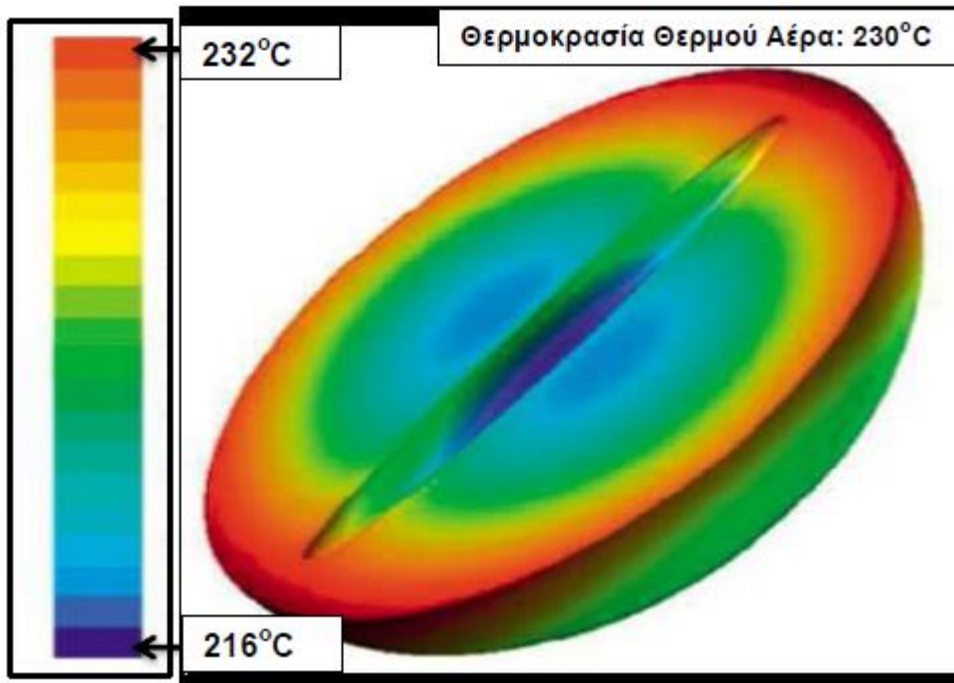
Όπως σημειώθηκε και προηγουμένως, η θερμοκρασία και ο χρόνος ψήσιματος παίζουν καθοριστικό ρόλο στο προϊόν. Οι κόκκοι του καφέ είναι σημαντικό να ψυχθούν άμεσα μόλις φτάσουν στην επιθυμητή θερμοκρασία (Clarke, 1987). Το ψήσιμο των κόκκων του καφέ πρέπει να είναι ομοιόμορφο εσωτερικά και η ανομοιογενής εσωτερική δομή των κόκκων, δυσκολεύει τη διαδικασία. Μέσω της θέρμανσης, υπάρχει μεταβολή στην εσωτερική δομή, καθώς οι κόκκοι διογκώνονται. Η θέρμανση των κόκκων του καφέ δεν δημιουργεί μόνο ένα πεδίο θερμοκρασίας, αλλά πυροδοτεί την ανακατανομή της υγρασίας και τη μεταβολή των εσωτερικών πιέσεων. Η θερμική επεξεργασία του καφέ προκαλεί λοιπόν, αλλαγές στους κόκκους του καφέ στο βάρος, τον όγκο, την πυκνότητα, την υγρασία, το χρώμα, το άρωμα και τη γεύση (Baggenstoss et al., 2007).

Ανάλογα με τη διαδικασία που ακολουθείται, την θερμοκρασία που εφαρμόζεται αλλά και το αποτέλεσμα που θέλουμε να έχουμε, το καβούρδισμα μπορεί να κρατήσει 90 δευτερόλεπτα έως και 40 λεπτά, με τη συνηθέστερη διάρκεια να κυμαίνεται περί των 12 λεπτών. Η αύξηση της τελικής θερμοκρασίας μειώνει το επιθυμητό άρωμα και αυξάνει την ένταση του πικρού. Οι χαμηλές θερμοκρασίες αυξάνουν την οξύτητα του καφέ και πάλι δεν αναδεικνύουν το άρωμα ολοκληρωτικά. Οι θερμοκρασίες πιο συγκεκριμένα κυμαίνονται μεταξύ 160-250 °C. Το καβούρδισμα συνεπώς περνάει από την οξύτητα του ανοιχτόχρωμου καβουρδίσματος στην πικρία του σκούρου καβουρδίσματος.

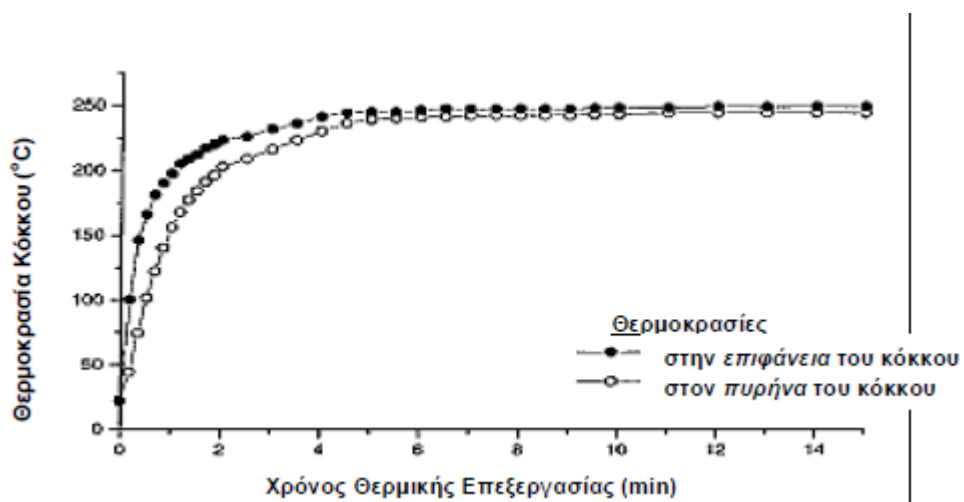
Ταυτόχρονα, η οξύτητα που είναι συνήθως η πιο επιθυμητή ιδιότητα του καφέ, χάνεται με την αύξηση του χρόνου καβουρδίσματος (Banks et al., 2005). Με την πάροδο του

χρόνου κατά τη θερμική επεξεργασία, η γεύση των κόκκων ενισχύεται (Buffo and Cardelli-Freire, 2004). Παράλληλα, έχει παρατηρηθεί ότι όσο πιο έντονο είναι το καβούρδισμα, τόσο πιο όμοιες είναι οι γεύσεις των καφέδων. Διαφορετικές ποικιλίες καφέ δίνουν το βέλτιστο οργανοληπτικό προφίλ σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Όσο όμως αυξάνεται η θερμοκρασία ή η διάρκεια του καβουρδίσματος, τα λεπτότερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τείνουν να ομογενοποιηθούν, με αποτέλεσμα να προκύπτει μία πιο κοινότυπη γεύση χωρίς διακριτές λεπτομέρειες. Σε μερικές ποικιλίες ωστόσο, το καβούρδισμα θα μπορούσε να προσδώσει έως και γλυκύτητα στις βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας, παρόλο που η πικρή γεύση είναι αναπόφευκτη (Banks et al., 2005). Αξίζει να σημειωθεί ότι ο ίδιος καφές που θα καβουρδιστεί στον ίδιο βαθμό σε πιο υψηλή θερμοκρασία για λιγότερο χρόνο (High temperatures and short times- HTST) θα είναι διαφορετικός γευστικά αν καβουρδιστεί σε χαμηλότερη θερμοκρασία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Low temperatures and long times - LTLT). Η τιμή του pH επίσης αυξάνεται με την αύξηση του καβουρδίσματος (Martinez, 2007).

Η πρώτη ρωγμή (first crack), όπως ονομάζεται παρουσιάζεται στους 205 °C όπου ο κόκκος διπλασιάζεται και έχει απώλεια βάρους περίπου 5%. Η απώλεια του βάρους φτάνει το 13% όταν η θερμοκρασία φτάνει τους 220 °C. Το χρώμα του καφέ αντίστοιχα από ανοιχτό καφέ, στους 220 °C αλλάζει και αρχίζει να σκουραίνει μέχρι που στους 225-230 °C φτάνει το γνωστό σκούρο καφέ χρώμα, ενώ αποκτάει μία χαρακτηριστική γυαλάδα λόγω των ελαίων (Yeretzian et al., 2002). Αν όμως αυτή η γυαλάδα δεν είναι επιθυμητή, τότε ακόμα και ένα κλάσμα δευτερολέπτου παραπάνω στον καβουρδιστήρα θα δημιουργήσει το φαινόμενο της απορροής ελαίων από το εσωτερικό του κόκκου (Banks et al., 2005).



Εικόνα 24: Θερμοκρασιακό προφίλ κόκκων καφέ που έχει υποστεί καβούρδισμα για 3' με αέρα 230 °C



Εικόνα 25: Για ένα μεμονωμένο κόκκο καφέ, θερμική επεξεργασία με θερμό αέριο (250°C).

Το τελικό στάδιο καβουρδίσματος, που συνοδεύεται από ταχεία ψύξη γίνεται μόλις οι κόκκοι έχουν υγρασία 1,5-3,5%. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται κρύος αέρας ή νερό και προκαλεί μερικές ακόμη αλλαγές στο χρώμα, τη γεύση και τον όγκο (Buffo and Cardelli-Freire, 2004)



Εικόνα 26: Χρώμα κόκκων καφέ που υπόκεινται στη θερμική επεξεργασία ανάλογα με το χρόνο

3.4. Διαφορετικά είδη καφέ με διαφορετικούς τρόπους καβουρδίσματος

Η διαδικασία της πυρόλυσης ξεκινάει γρηγορότερα σε κόκκους οι οποίοι είναι λιγότερο χλωροί πριν καβουρδιστούν (δηλαδή πιο ξηροί). Πιο συγκεκριμένα, οι robusta καβουρδίζονται πολύ πιο γρήγορα σε αντίθεση με τους κόκκους arabica, που λόγω της υψηλής υγρασίας χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να φτάσουν στο ίδιο επίπεδο καβουρδίσματος. Επομένως, η προέλευση και ο τύπος του καφέ επηρεάζει τη διαδικασία του καβουρδίσματος (Perrier - Robert, 2002).

Για το καβούρδισμα δεν υπάρχουν τυποποιημένοι ορισμοί που αναφέρονται στους βαθμούς καβουρδίσματος αλλά υπάρχουν συχνά χρησιμοποιούμενοι ορισμοί σύμφωνα με τον Clarke (1985b): Ελαφρύ-Light, Μεσαίο-Medium, Σκούρο-Dark. Παρά τον διαχωρισμό αυτό, οι ελαφρά καβουρδισμένοι καφέδες είναι σπάνιοι συγκριτικά με τους μεσαία και σκούρα καβουρδισμένους. Παρακάτω, θα αναφερθούν ονομασίες τυποποιημένων καφέδων και το είδος του καβουρδίσματός τους (Sivetz and Desrosier, 1979, Smith, 1985a).

- New England (Light): Το χρώμα του καφέ είναι ανοιχτό και ο καφές έχει γεύση σταρένια και ξηρή. Η οξύτητα είναι υψηλή το καβούρδισμα αυτό προορίζεται για κόκκους arabica που έχουν καλλιεργηθεί σε μεγάλο υψόμετρο και είναι ιδιαίτερα καλής ποιότητας.



- American (Medium): Η επιφάνεια είναι ξηρή και το χρώμα καφέ. Γευστικά υπάρχει οξύτητα, αλλά είναι πιο γλυκό από το ελαφρύ ψήσιμο. Το συγκεκριμένο καβούρδισμα δίνει κόκκους που δεν έχουν ελαιώδεις επιφάνειες και ονομάζεται επίσης “κανονικό”/ “καστανό”.



- Viennese ή Light French (Dark): Στο συγκεκριμένο είδος, το χρώμα είναι ελαφρώς σκούρο καφέ με γυαλιστερή, με έλαια επιφάνεια. Ο όρος έχει αμερικανική προέλευση και σημαίνει καβούρδισμα λίγο πιο σκούρο από το μεσαίο. Επιπλέον στους κόκκους παρατηρούνται σκούρες καστανές κηλίδες. Σχετικά με τη γεύση, υπάρχει ισορροπημένη οξύτητα και γλυκόπικρη επίγευση. Το άρωμα σε αυτόν τον καφέ πιθανόν να θυμίζει κάρβουνο ή καμένο.



- French (Dark): Το χρώμα είναι σχετικά βαθύ καφέ με έλαια στην επιφάνεια. Πρόκειται για το λεγόμενο “γαλλικό” καβουρδισμα, αλλά αναφέρεται και ως “κουβανέζικο”. Η γεύση που έχει είναι γλυκόπικρη χωρίς να παρατηρείται οξύτητα.



- Espresso (Dark): Το χρώμα πλέον είναι σκούρο καφέ και η επιφάνεια των κόκκων ανάλογα με το ψήσιμο, εμφανίζει μικρές ή μεγαλύτερες ποσότητες ελαίων. Δεν είναι ποτέ πικρός καφές, αλλά έχει ήπια οξύτητα και γεμάτη γεύση. Το άρωμα του καφέ αυτού χαρακτηρίζεται ως πλούσιο.



- Italian (Dark): Σε αυτό τον τύπο καβουρδίσματος, το χρώμα των κόκκων πλησιάζει το μαύρο και στην επιφάνεια εντοπίζεται πολύ λάδι. Η γεύση είναι καπνιστή και γλυκόπικρη. Κυριαρχεί όμως η γεύση του καβουρδίσματος και όχι του καφέ.



- Continental/ Dark French/ Spanish (Dark): Το χρώμα των κόκκων είναι σχεδόν μαύρο με πολύ λάδι επιφανειακά. Είναι σπάνιο είδος καβουρδίσματος και απευθύνεται σε

πολύ συγκεκριμένους πελάτες. Άλλες ονομασίες με τις οποίες είναι γνωστό το συγκεκριμένο είδος καβουρδίσματος είναι το “διπλό καβούρδισμα”, “Νέας Ορλεάνης” και “Ευρωπαϊκό”.



Στην Αμερική τα καβουρδίσματα είναι πιο σκούρα καθώς δίνεται έμφαση στον espresso. Σύμφωνα με το Μανουσίδη (2009) τα βασικά χαρακτηριστικά της αμερικανικής μεθόδου ονοματολογίας για τους διάφορους βαθμούς καβουρδίσματος είναι τα παρακάτω:

Cinnamon / Half City: πολύ ελαφρύ ψήσιμο και το χρώμα είναι κανελί, ανοιχτό καφέ.



American: ανοιχτό καφέ χρώμα και ελαφρύ ψήσιμο



City: μετρίως ελαφρύ ψήσιμο που δίνει λίγο πιο σκούρο χρώμα από το συνηθισμένο



Full City: μέτριο ψήσιμο με χρώμα πιο σκούρο από το συνηθισμένο και ελάχιστο λάδι στην επιφάνεια.



Vienna: μέτρια σκούρο ψήσιμο και χρώμα σκούρο καφέ με λίγο λάδι επιφανειακά



Dark/French: σκούρο ψήσιμο (ενδιάμεσα French και Espresso) και χρώμα σκούρο καφέ με γυαλιστερή επιφάνεια



Heavy/Italian: πολύ σκούρο ψήσιμο που συνοδεύεται με πολύ σκούρο χρώμα σαν αυτό του Italian.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο καφές και η κατανάλωσή του χρονολογούνται από τον 15^ο αιώνα στην περιοχή της Ανατολικής Αφρικής, στην Αιθιοπία. Εξαπλώθηκε γρήγορα στην υπόλοιπη Αφρική και την Μέση Ανατολή μέσω της ανταλλαγής πληθυσμών και σκλάβων, ενώ οι Ολλανδοί κατακτητές τον μετέφεραν στην Ευρώπη, την Ασία και την Αμερική. Οι ενεργητικές ιδιότητες που προσέδιδε το ρόφημα αύξησε την ζήτηση και επομένως η ανάγκη για καλλιέργεια και εμπόριο του καφέ αυξήθηκε σταθερά. Σήμερα, πρόκειται για ένα από τα διαδεδομένα ροφήματα παγκοσμίως.

Η παραγωγή του ροφήματος από τους κόκκους του καφέ δεν είναι μία απόλυτη διαδικασία, αλλά υπάρχουν διαφορετικές παραλλαγές στην παραγωγή του, οι οποίες βασίζονται ωστόσο μόνο σε δύο διαφορετικές ποικιλίες και την μίξη τους (χαρμάνι), που είναι ο *Coffea arabica* και ο *C. robusta*.

Ο τύπος καλλιέργειας και οι περιβαλλοντικές συνθήκες που απαιτεί το εκάστοτε είδος καφεόδεντρου (θερμοκρασία, υψόμετρο, βροχόπτωση κλπ.), καθορίζουν τη χημική σύσταση, τη γεύση και το άρωμα του ροφήματος που προκύπτει. Το προϊόν του καφέ που προκύπτει από την ποικιλία *arabica* θεωρείται πιο αρωματικό και με πιο εκλεπτυσμένη γεύση σε σύγκριση με το προϊόν που προκύπτει από ποικιλίες καλλιέργειας *robusta*, ο οποίος γενικά θεωρείται πικρός και στυφός. Για αυτό το λόγο θεωρείται υψηλότερης ποιότητας.

Η καλλιέργεια των καφεόδεντρων γίνεται τόσο σε περιοχές του Ισημερινού, όπου υπάρχουν δύο υγρές περιόδους, όσο και σε περιοχές εκτός Ισημερινού (νότια Ινδία, Αιθιοπία) όπου υπάρχει μια υγρή περίοδος. Η συχνότητα, αλλά και η ένταση των υγρών περιόδων επηρεάζει την άνθιση και την καρποφορία του δέντρου, επομένως και την ποιότητα του καρπού.

Οι καρποί που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του ροφήματος πρέπει να έχουν φτάσει στην φάση ωρίμανσης, προτού επεξεργαστούν. Ωστόσο, οι καρποί δεν φτάνουν σε ωρίμανση ταυτόχρονα στην έκταση μιας καλλιέργειας, επομένως η συγκομιδή τους είναι μια πολύπλοκη διαδικασία. Παράλληλα, για την διευκόλυνση των εργατών τα καφεόδεντρα υπόκεινται σε κλαδέματα που διατηρούν σταθερό ύψος φυτού για πιο εύκολη πρόσβαση στα ανώτερα κλαδιά.

Μετά τη συγκομιδή είναι αναγκαίο να γίνει εξαγωγή των κόκκων από τον καρπό που τους περιβάλλει. Η επεξεργασία αυτή μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: την ξηρή ή αλλιώς φυσική μέθοδο (Dry process) ή την υγρή ή μέθοδο πλύσης (Wet process). Η μέθοδος αυτή έχει ως αποτέλεσμα έναν αναποφλοιώτο καφέ ή “μη πλυμένο” (unwashed) και είναι πιο διαδεδομένη σε περιοχές με ξηρό κλίμα και έλλειψη νερού ή/ και μηχανημάτων. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου γίνεται συνήθως σε καφέ robusta. Αντίθετα, η υγρή μέθοδος έχει ως αποτέλεσμα τους “πλυμένους καφέδες” (washed) και είναι πιο κοστοβόρα σε σχέση με την ξηρή μέθοδο, ενώ δίνει καλύτερης ποιότητας τελικό προϊόν. Χρησιμοποιείται κυρίως σε καφέ arabica.

Η διαδικασία επεξεργασίας των κόκκων που έχουν εξαχθεί από τον καρπό, ξεκινά με την απομάκρυνση του εξωτερικού περιβλήματός του. Το στρώμα βλεννογόνου που αποτελεί το εξωτερικό περίβλημα, αφαιρείται κατά την επεξεργασία είτε τεχνητά, είτε με την αποικοδόμησή του μέσω μικροοργανισμών (ζύμωση).

Κατά τη ζύμωση του καφέ, είναι σημαντική η πηκτινολυτική δράση ώστε να διασπαστεί το στρώμα βλεννογόνου. Το στρώμα αυτό αποτελείται κυρίως από πηκτίνη, κυτταρίνη και άμυλο. Για τη διάσπαση του στρώματος αυτού συμμετέχουν διάφοροι μικροοργανισμοί με τα ένζυμά τους. Οι μικροοργανισμοί είναι κυρίως ζύμες που έχουν πηκτινολυτική δράση, αλλά ταυτόχρονα εντοπίζονται και βακτήρια που είναι Gram αρνητικά αλλά και μικροοργανισμοί που σχετίζονται με τη διάσπαση της λακτόζης. Οι διάφοροι μικροοργανισμοί υπάρχουν στους κόκκους του καφέ σε διαφορετικές ποσότητες και μερικοί από αυτούς δεν επηρεάζουν τόσο τη ζύμωση των κόκκων, αλλά αποτελούν απλώς τμήμα της φυσιολογικής μικροχλωρίδας. Γενικά, οι μικροοργανισμοί αποτελούνται ως επί το πλείστον κατά το 79,4% από βακτήρια, κατά 15,8% από ζυμομύκητες και κατά 4,7% από μύκητες.

Οι βασικότεροι μικροοργανισμοί που συναντώνται στην διαδικασία αυτή είναι οι *Kloeckera apiculata*, *Hansenispora uvarum*, *Pichia kluyveri* και *Kluyveromyces marxianus*. Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας κατά τη ζύμωση είναι η καλλιέργεια εκκίνησης που συμβάλλει και στην επιτάχυνση της διαδικασίας. Υπάρχουν διαφορές μεταξύ των ειδών του καφέ, όσον αφορά τον πληθυσμό μικροοργανισμών που φιλοξενούν, αλλά και τα επίπεδα ουσιών που παράγονται μετά την επεξεργασία του. Για παράδειγμα, στον καφέ arabica που προκύπτει από μουσώνες, τα επίπεδα 2-naphthyl-butyrate, caprylate και 2-naphthyl-D-galactopyranosidase ήταν σημαντικά πιο υψηλά. Το είδος robusta περιείχε γενικότερα χαμηλότερα επίπεδα ενζύμων, ανεξάρτητα από την ύπαρξη μουσώνα. Αξίζει να σημειωθεί

ότι στους περισσότερους τύπους καφέ, υπήρχαν υψηλά επίπεδα βακτηρίων, άρα οι σημαντικές διαφορές στην ύπαρξη των ενζύμων υποδεικνύουν ότι τα ένζυμα δεν εξαρτώνται άμεσα από τους πληθυσμούς των βακτηρίων. Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση των μυκήτων, είναι πιθανό αυτοί να παίζουν ρόλο στο τελικό φάσμα των ενζύμων που υπάρχουν και να επηρεάζουν την τελική ποιότητα του καφέ. Η ζύμωση χαρακτηρίζεται ως ολοκληρωμένη όταν η περγαμινή (parchment) είναι πιο σκληρή στην αφή και δεν έχει στρώμα βλεννογόνου/πηκτικής.

Αφού απομακρυνθεί το περίβλημα, ο κόκκος του καφέ είναι έτοιμος για περαιτέρω επεξεργασία, το σημαντικότερο στάδιο της οποίας είναι το καβούρδισμα. Κατά το καβούρδισμα, οι κόκκοι μεταβάλλουν δραστικά τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες και αναδεικνύονται τα αρώματα και η γεύση τους. Καθώς το καβούρδισμα είναι μια ευαίσθητη διαδικασία, ο έλεγχος του είναι σημαντικός και για αυτό σήμερα χρησιμοποιούνται καβουρδιστήρες που ελέγχουν αυστηρά τη θερμοκρασία και το χρόνο που οι κόκκοι θερμαίνονται. Οι βασικές διαδικασίες που συμβαίνουν κατά την επεξεργασία αυτή είναι η ξήρανση των κόκκων, καθώς η υγρασία των κόκκων μειώνεται σημαντικά και στη συνέχεια έχουμε καραμελοποίηση των σακχάρων που επηρεάζουν και αναδεικνύουν τη γεύση και το άρωμα του καφέ. Τέλος η διαδικασία ολοκληρώνεται με ψύξη ώστε να αποφευχθεί η απανθράκωση.

Η αλλαγή των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του καφέ είναι αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν εσωτερικά των κόκκων. Η αυξανόμενη εσωτερική πίεση για παράδειγμα οδηγεί τελικά στη δημιουργία ρωγμών, ενώ παράλληλα δημιουργούνται πτητικά και μη πτητικά συστατικά. Οι πιο σημαντικές από τις αντιδράσεις είναι η αντίδραση Maillard και η αντίδραση Strecker. Από την πρώτη παράγονται και μελονοΐδινες, οι οποίες δίνουν τις χαρακτηριστικές αντιοξειδωτικές ιδιότητες στο ρόφημα του καφέ. Όσον αφορά τη γεύση, το καβούρδισμα επηρεάζει την τελική γεύση του ροφήματος, εφόσον μπορεί να δώσει μια γλυκύτητα. Η αύξηση της διαδικασίας του καβουρδίσματος όμως, αυξάνει και την πικρή γεύση στο ρόφημα. Η επιτυχία του καβουρδίσματος εξαρτάται μεν από τις θερμοκρασίες που επιδρούν στους κόκκους του καφέ και το χρόνο αυτής της επίδρασης, αλλά ταυτόχρονα εξαρτάται και από τις πολιτισμικές συνήθειες και τη ζήτηση των καταναλωτών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

Agate, A. D., & Bhat, J. V. (1966). Role of pectinolytic yeasts in the degradation of mucilage layer of *Coffea robusta* cherries. *Applied Microbiology*, 14(2), 256–260.

Ahmad, R. (2000) Trivia and science of Indian monsooned coffee. *Indian Coffee* 64, 3–7

Ahmad, R., & Magan, N. (2002). Microfloral contamination and hydrolytic enzyme differences between monsooned and non-monsooned coffees. *Letters in Applied Microbiology*, 34(4), 279–282.

Alonso-Torres, B., J. A. Hernández-Pérez, F. Sierra-Espinoza, S. Schenker and C. Yeretzyan (2013). Modeling and Validation of Heat and Mass Transfer in Individual Coffee Beans during the Coffee Roasting Process Using Computational Fluid Dynamics (CFD). *CHIMIA International Journal for Chemistry* 67(4): 291-294

Baggenstoss, J., L. Poisson, R. Luethi, R. Perren and F. Escher (2007). Influence of water quench cooling on degassing and aroma stability of roasted coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (16): 55.

Banks, M., C. McFadden and C. Atkinson (2005). *The World Encyclopedia of Coffee*. U.K., Anness Publishing Limited.

Belay, A., Ture, K., Redi, M., & Asfaw, A. (2008). Measurement of caffeine in coffee beans with UV/vis spectrometer. *Food Chemistry*, 108(1), 310–315.

Belitz, H. D. and W. Grosch (1999). *Coffee, Tea, Cocoa*. *Food Chemistry*, Springer Berlin Heidelberg: 874-904

Bonnlander, B., R. Eggers, U. H. Engelhardt and H. G. Maier (2005). Roasting. espresso coffee; the science of quality. A. Illy and R. Viani. San Diego, Elsevier Academic Press: 179-214

Bradburry, A.G.W. (2001) Carbohydrates. In R. J. Clarke and O. G. Vitzthum (eds), *Coffee – Recent Developments*. Oxford: Blackwell Science, pp. 1 – 17

Brenner, D., III Farmer, J. (2005). Family I. Enterobacteriaceae, i: Brenner, D., Krieg, N., Stanley, J., Garrity, G. (Eds), *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Part B, The Gammaproteobacteria*. Springer, pp. 587-607

- Buffo, R. A. and C. Cardelli-Freire (2004). Coffee flavour: An overview. *Flavour and Fragrance Journal* 19(2): 99-104.
- Bytof G, Knopp SE, Schieberle P, Teutsch I, Selmar D (2005) *Eur Food Res Technol* 220:245–250.
- Calle, V.H., (1965) *Cenicafe (Colombia)* 3-11.
- Cannell, M.G.R. (1971c) Seasonal patterns of growth and development of Arabica coffee in Kenya. Part III. Changes in the photosynthetic capacity of the trees', *Kenya Coffee*, 36, 68-74.
- Cannell, M.G.R. (1971d) Use of gibberellic acid to change the seasonal fruiting pattern of Arabica coffee in Kenya, *Journal of Horticultural Science*, 46, 289-98.
- Cannell, M.G.R. (1971e) Changes in the respiration and growth rates of developing fruits of *Coffea arabica* L., *Journal of Horticultural Science*, 46,263-72.
- Cannell, M.G.R. (1974) Factors affecting Arabica coffee bean size in Kenya, *Journal of Horticultural Science*, 49,65-76.
- Cannell, M. G. R. (1985). *Physiology of the coffee crop*. coffee, 108–134.
- Carbonnel, R.J., Vilanova, T.M., (1952). *El Cafe de El Salvador* 411-556.
- Castillo Torres, N.E., Melchor-Martínez, E.M., Sierra °Choa, J.S., et al., (2020) Impact of climate change and early development of coffee rust – An overview of control strategies to preserve organic cultivars in Mexico, *Science of the Total Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140225>.
- Coleman, R.J., Lenney, J.F., Coscia, A.T., Di Carlo, F.J., (1955) *Arch. Bi°Chem. Biophys* 157-164
- Clarke, R. J. (1985b). *The Technology of Converting Green Coffee into the Beverage. Coffee; Botany, Bi°Chemistry and Production of Beans and Beverage*. M. N. Clifford and K. C. Willson. London., Croom Helm.: 375-393.
- Clarke, R. J., (1987) Roasting and grinding In R.J. Clarke and R. Macrae (eds), *Coffee: Volume 2- Technology*. London: Elsevier Applied Science, pp. 73-197.
- Clinton, W. P. (1986). *The chemistry of coffee*. 11th Int. Colloq. Chem. Coffee, ASIC.
- Flament, I., Ed. (2002). *Coffee flavor chemistry*. New York, Wiley & Sons.

- Franca, A. S., S. L. Oliveira, C. F. J. Mendonca and A. X. Silva (2005). Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans. *Food Chemistry* (90): 89- 94
- Frank, H. A., and A. S. Dela Cruz. (1964). Role of incidental microflora in natural decomposition of mucilage-layer in Kona coffee cherries. *J. Food Sci.* 29:850-853.
- Frank, H. A., N. A. Lum and A. S. Dela Cruz. (1965). Bacteria responsible for mucilage-layer decomposition in Kona coffee cherries, *Appl. Microbiol.* 13:201-207.
- Friedman, M. (1996). Food browning and its prevention : an overview. *J. Agric. Food Chem* 44: 631-653.
- Hodge, J. E. (1953). Chemistry of browning reaction in model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (1): 928-943.
- Hughes, E., B., and R. Smith, F. (1946). The nicotinic acid content of coffee. *J. S°C. Chan Ind* 65: 284-286.
- Huxley, P.A. (1967) The effects of artificial shading on some growth characteristics of Arabica and robusta coffee seedlings. The effects of shading on dry weight, leaf area and derived growth data, *Journal of Applied Ecology*, 4, 291-308.
- Illy, A. and R. Viani (1995). *Espresso Coffee*. London, Academic Press.
- Jain, P.C., Lacey, J. and Stevens, L. (1991) Use of API-Zym strips and 4-nitrophenyl substrates to detect and quantify hydrolytic enzymes in media and grain colonised with *Aspergillus*, *Eurotium* and *Penicillium* species. *Mycological Research* 95, 834–842.
- Knox, K. and Huffaker, J.S. (1997). What is coffee pp.1-14, *Roasting and Blending* pp.74-80. In: *Coffee Basics a quick and easy guide*, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Knopp, S., Bytof, G., & Selmar, D. (2006). Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. *European Food Research and Technology*, 223(2), 195–201.
- Leon, J. and Fournier, L. (1962) 'Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica* L.', *Turrialba*, 12, 65-74.
- Macrae, R. (1985). Nitrogenous components. *Coffee Chemistry*. R. J. Clarke and R. Macrae, Elsevier Applied Science Publishers: 115-152.
- Madhava Naidu, M., Sul°Chanamma, G., Sampathu, S. R., & Srinivas, P. (2008). Studies on extraction and antioxidant potential of green coffee. *Food Chemistry*, 107(1), 377–384.

- Maestri, M. and Barros, R.S. (1977) 'Coffee' in F. de Alvin and T.T. Kozlowski (eds.) *Ecophysiology of Tropical Crops*, Academic Press, London, New York and San Francisco. pp. 249-78.
- Maier, H., G., Ed. (1981). *Kaffee*. Berlin and Hamburg, Paul Parey.
- Maier, H. G. (1993). Status of research in the field on non-volatile components. 15th Int. Colloq. Chem. Coffee, Montpellier ASIC.
- Marin, S., Sanchis, V., Ramos, A.J. and Magan, N. (1998) Effect of water activity on hydrolytic enzyme production by *F. moniliforme* and *F. proliferatum* during early stages of growth on maize. *International Journal of Food Microbiology* 42, 1–10.
- Martín, M. J., Pablos, F., & González, A. G. (1998). Discrimination between arabica and robusta green coffee varieties according to their chemical composition. *Talanta*, 46(6), 1259–1264.
- Martín, M. J., Pablos, F., & González, A. G. (1999). Characterization of arabica and robusta roasted coffee varieties and mixture resolution according to their metal content. *Food Chemistry*, 66(3), 365–370.
- Martinez, L. F. (2007). Quality enhancement of coffee beans by acid and enzyme treatment. *food science & human nutrition Florida*, University of Florida. Master of Science.
- Massini, R., Nicoli, M.C., Cassara, A. and Lericci, C.R. (1990) Study on physico- and physico-chemical changes in coffee beans during storage. *Ital. J. Food Sci.*, 2, 123-130.
- Mazzafera, P. (1999). Chemical composition of defective coffee beans. *Food Chemistry* 64: 547-554.
- Nasanit, R., & Satyawut, K. (2015). Microbiological study during coffee fermentation of *Coffea arabica* var. *chiangmai* 80 in Thailand. *Agriculture And Natural Resources*, 49(1), 32-41.
- Nutman, F.J. (2015) Studies of physiology of *Coffea arabica*: I. Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions', *Annals of Botany, New Series*, Vol 1, No. 3, pp 353-367.
- Opile, W.R (1979) Hormonal relations in fruit growth and development of *Coffea arabica* L., *Kenya Coffee*, 44, 13-21.
- Perrier - Robert, A. (2002). *Le Cafè*. Paris, Solar.

- Ramaiah, P.K. and Vasudeva, N. (1969) Observations on the growth of coffee berries in South India, *Turrialba*, 19, 455-64
- Redgwell, R.J., Trovato, V., Curti D. and Fischer M. (2002) Effect of roasting on degradation and structural features of polysaccharides in arabica coffee beans. *Carbohydrate Research* 337, 421 – 431.
- Saint, O.B., Valencia, G.A., (1970). *Cenicafe (Colombia)* 59-71.
- Shibamoto, T. (1991). An overview of coffee aroma and flavour chemistry. In 14th International Scientific Colloquium on Coffee, San Francisco, USA.
- Sinnott, K. (2011). *Coffee roasts and roasting. the art and craft of coffee: an enthusiast's guide to selecting, roasting, and brewing exquisite coffee*, Quarry Books: 51-73.
- Sivetz, M. and N. W. Desrosier (1979). *Coffee Technology*. Westport, CT., AVI.
- Smith, A. W. (1985a). Introduction. *Coffee; Volume 1: Chemistry*. R. J. Clarke and R. Macrae, Springer Netherlands: 1-41.
- Steinhardt, H. and Holscher, W. (1991) Storage related changes of lowboiling volatiles in whole beans. *Pr°C*. 14th ASIC Coll., pp. 156-174.
- Stalmach, A., Mullen, W., Nagai, C., & Crozier, A. (2006). On-line HPLC analysis of the antioxidant activity of phenolic compounds in brewed, paper-filtered coffee. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 253–262.
- Stalmach, A., A. Crozier, M. N. Clifford and G. Williamson (2011). *Phyt°Chemicals in coffee and the bioavailability of chlorogenic acids. teas, c°Coa and coffee: Plant Secondary Metabolites and Health*: 143-168.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I., Murphy, A. (2017). *Φυσιολογία και Ανάπτυξη Φυτών. έκτη Αμερικάνικη - δεύτερη Ελληνική έκδοση*, Εκδόσεις Utopia.
- Trojer, H. (1968) The phenological equator for coffee planting in Colombia. *UNESCO Natural Resources Research*, 7, 107-13 UNESCO, Paris.
- Vasudeva, N. and Ramaiah, P.K. (1979) The growth and development of Arabica coffee under South Indian conditions, *Journal of Coffee Research*, 9,35-45.
- Viani, R. and I. Horman (1974). Thermal behavior of trigonelline. *J. Food Sci.* 39: 1216-1217.

William H. Ukers, M. A. (1922). All About Coffee. New York, The Tea And Coffee Trade Journal Company.

Wosiaki, G., Zancan, G.T., (1973) Arq. Biol, Technol. 129-134.

Wormer, T.M. (1964) The growth of the coffee berry, Annals of Botany, 27,47-55.

Yamori, W., Hikosaka, K., Way, D., A. (2014). Temperature response of photosynthesis in C3, C4, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. 119(1-2), 101-117.

Yeretzian, C., A. Jordan, R. Badoud and W. Lindinger (2002). From the green bean to the cup of coffee: investigating coffee roasting by on-line monitoring of volatiles. European Food Research and Technology 214(2): 92-104.

Ελληνόγλωσση

Βασιλακάκης, Μ. (2016). Γενική και Ειδική Δενδροκομία. Εκδόσεις Άγι-Σάββα Δ. Γαρταγάνη (σ. 1285-1297).

Γεράρδης, Τ. (1998). Ο καφές ένα αραβικό παραμύθι. Πρώτη Έκδοση, σελ. 81-102, Τροχαλία, Αθήνα.

Μακρή, Ε. (2011). Μελέτη της επίδρασης της θερμοκρασίας και της ενεργότητας νερού στις αρωματικές ενώσεις ελληνικού καφέ. Πτυχιακή εργασία. Αθήνα. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Μανουσίδης, Χ. (2009). Το εγχειρίδιο του καφέ. Εκδόσεις Ψύχαλος.

Μπαμπινιώτης, Γ. (1998). Λεξικό της νέας ελληνικής γλώσσας με σχόλια για τη σωστή χρήση των λέξεων. Ερμηνευτικό, ετυμολογικό, συνωνύμων-αντιθέτων, κυρίων ονομάτων, επιστημονικών όρων, ακρωνυμίων. Αθήνα: Κέντρο Λεξικολογίας.

Μπέλκα Α. (2007). Επίδραση υπολειμάτων φυτοφαρμάκων στη βιοχημική συμπεριφορά στελεχών του είδους *Saccharomyces cerevisiae*. Μεταπτυχιακή ερευνητική μελέτη.

Παπανικολάου, Β., 2006. Μέθοδοι και υλικά ακινητοποίησης βιοκαταλυτών για την παραγωγή καύσιμης βιομηχανικής αλκοόλης σε βιοαντιδραστήρα διαλείποντος έργου. Πάτρα: s.n

Περριέ-Ρομπέρ, Αννί (2004). Ο καφές. Αθήνα: Εκδόσεις Πατάκη.

Διαδικτυακές πηγές

- 1) <http://www.ico.org/prices/new-consumption-table.pdf>
- 2) <https://www.statista.com/chart/8602/top-coffee-drinking-nations/>
- 3) [International Coffee Organization - Mission \(ico.org\)](http://www.ico.org)

- 4) [About SCA — Specialty Coffee Association](#)
- 5) [Our Work - Coffee Quality Institute \(coffeeinstitute.org\)](#)
- 6) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carte_Coffea_robusta_arabic.png