



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Επιστημών Τροφίμων
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επισκόπηση της μικροβιακής οικολογίας και των διαδικασιών ζύμωσης κόκκων
καφέ – Επίδραση στην ποιότητα του αφεψήματος.**

MSc Thesis

**Overview of the microbial ecology and the fermentation processes of coffee beans –
Impact on the flavor of the coffee drink**

Διευθυντής

Καθ. Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων (ΠΑ.Δ.Α) Ιωάννης Τσάκνης



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT
ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ ΤΣΕΛΟΥ
EVANGELIA TSELOU

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF SUPERVISOR
ΛΟΥΓΚΟΒΟΗΣ ΒΛΑΔΗΜΗΡΟΣ
LOUGOVOIS VLADIMIROΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2021



University of West Attica
Faculty of Food Sciences
Department of Food Science and Technology

Master of Science
FOOD INNOVATION, QUALITY AND SAFETY

MSc THESIS

**Overview of the microbial ecology and the fermentation process of coffee beans –
Impact on the flavor of the coffee drink**

STUDENT

Tselou Evangelia

19028

celo.evangelie@gmail.com

SUPERVISOR

LOUGOVOIS VLADIMIRO

AIGALEO 2021

Έγινε δεκτή

Ο Διευθυντής του ΠΜΣ: Ιωάννης Τσάκνης

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία με τίτλο **“Επισκόπηση της μικροβιακής οικολογίας και των διαδικασιών ζύμωσης κόκκων καφέ – Επίδραση στην ποιότητα του αφεψήματος”** που παρουσιάστηκε από την **ΤΣΕΛΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ**, υποψήφιας για τον μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην **ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ** και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία: 29/07/2021

Όνομα επιβλέποντος
ΛΟΥΓΚΟΒΟΗΣ Β.

Ημερομηνία: 29/07/2021

Όνομα μέλους επιτροπής
ΧΟΥΧΟΥΛΑ Δ.

Ημερομηνία: 29/07/2021

Όνομα μέλους επιτροπής
ΜΠΑΤΡΙΝΟΥ Α.

Δήλωση συγγραφέα μεταπτυχιακής εργασίας

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Τσέλου Ευαγγελία του Βασιλείου, με αριθμό μητρώου 19028 φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Καινοτομία Ποιότητα και Ασφάλεια Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

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

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

Η Δηλούσα

Τσέλου Ευαγγελία

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

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

Τσέλου Ευαγγελία

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Καθώς η διπλωματική μου εργασία έχει ολοκληρωθεί, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με βοήθησαν σε αυτό το δύσκολο έργο των μεταπτυχιακών σπουδών. Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές του μεταπτυχιακού προγράμματος και κυρίως τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Λουγκοβόη Βλαδήμηρο για την καθοδήγηση που μου προσέφερε. Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους, συγγενείς και φίλους, οι οποίοι μου στάθηκαν σε όλες τις δύσκολες στιγμές κατά τη διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος. Τέλος ευχαριστώ την κα. Παπαπαύλου Ευανθία για τη βοήθεια που προσφέρει απλόχερα σε κάθε φοιτητή που το έχει ανάγκη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο καφές αποτελεί ένα από τα πλέον προσφιλή ροφήματα παγκοσμίως και αυτό δικαιολογεί, σε μεγάλο βαθμό, το γεγονός ότι βρίσκεται στο επίκεντρο του επιστημονικού ενδιαφέροντος εδώ και πολλές δεκαετίες. Η κατά κεφαλή κατανάλωση ροφημάτων καφέ σημειώνει αύξηση κάθε χρόνο και, σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, τα πρωτεία έχουν η Φινλανδία, η Νορβηγία και η Ισλανδία, ακολουθούμενες από τη Δανία, την Ολλανδία και τη Σουηδία. Η οικονομική και εμπορική σημασία του καφέ είναι πολύ μεγάλη, καθώς αποτελεί το σημαντικότερο γεωργικό εμπόρευμα, μετά το πετρέλαιο. Η δημοτικότητα του καφέ οφείλεται κυρίως στα μοναδικά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, αλλά και στην ήπια διεγερτική δράση του ροφήματος που αποδίδεται στην παρουσία καφεΐνης και παρόμοιων ενώσεων.

Ο καφές παράγεται από τα σπέρματα καφεόδεντρων που ανήκουν στο γένος *Coffea* της οικογένειας Rubiaceae, μιας από τις μεγαλύτερες οικογένειες ανθοφόρων φυτών, με 500 περίπου γένη και 6.000 είδη. Από το σύνολο των διαφορετικών ειδών, πλέον σημαντικά από οικονομική άποψη είναι τα *Coffea arabica* L., και *Coffea canephora* var. *robusta*. Η μοναδική ταυτότητα των διαφορετικών ποικιλιών καφέ αρχίζει να διαμορφώνεται κατά την ανάπτυξη του φυτού, καθώς και στη διάρκεια των μετασυλλεκτικών χειρισμών και των διαδικασιών που έπονται της συγκομιδής των καρπών. Περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η γεωγραφική προέλευση, το κλίμα, το υψόμετρο, η θερμοκρασία και η θρέψη του φυτού, επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα του καφέ. Ιδιαίτερα καθοριστική θεωρείται επίσης η δράση ενζύμων σε συστατικά των σπερμάτων, όπως οι πρωτεΐνες, οι υδατάνθρακες και οι φαινολικές ενώσεις. Σημαντικό ρόλο στη διαδικασία αυτή διαδραματίζουν μικροοργανισμοί (ζύμες, βακτήρια, μύκητες), οι οποίοι παράγουν πληθώρα μεταβολικών προϊόντων, κυρίως αλκοόλες και οξέα. Ο χαρακτήρας του καφέ τροποποιείται περαιτέρω κατά τη φρύξη (καβούρδισμα), στη διάρκεια της οποίας κυριαρχούν αντιδράσεις Maillard, οδηγώντας στην παραγωγή αρωματικών και γευστικών ενώσεων.

Τα αρωματικά συστατικά που παράγονται κατά το καβούρδισμα συνιστούν, χωρίς αμφιβολία, τον πιο καθοριστικό παράγοντα της ποιότητας του καφέ. Οι πτητικές ενώσεις χαρακτηρίζουν όχι μόνο τις διαφορετικές ποικιλίες, αλλά και τη γεωγραφική προέλευση του καφέ. Μέχρι σήμερα, έχουν προσδιοριστεί περισσότερα από 1.000 πτητικά συστατικά. Εντούτοις, λίγα εξ αυτών φαίνεται να είναι σημαντικά για το άρωμα και τη γεύση του καφέ. Σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές, το ιδιάζον άρωμα ενός τύπου καφέ διαμορφώνεται, ως επί το πλείστον, από μια ομάδα 20-30 μεμονωμένων πτητικών συστατικών.

ABSTRACT

Coffee is one of the most popular beverages in the world and this largely justifies the fact that it has been at the center of scientific interest for many decades. The per capita consumption of coffee drinks is increasing every year and, according to the available data, Finland, Norway and Iceland are the leaders, followed by Denmark, the Netherlands and Sweden. The economic and commercial importance of coffee is very great, as it is the most important agricultural commodity, after oil. The popularity of coffee is mainly due to the unique organoleptic characteristics, but also to the mild stimulating action of the drink attributed to the presence of caffeine and similar compounds.

Coffee is produced from the seeds of coffee trees belonging to the genus *Coffea* of the family Rubiaceae, one of the largest families of flowering plants, with about 500 genera and 6,000 species. Of all the different species, the most economically important are *Coffea arabica* L. and *Coffea canephora* var. *robusta*. The unique identity of the different varieties of coffee begins to form during the growth of the plant, as well as during the post-harvest handling and the processes that follow the harvest of the fruits. Environmental factors, such as geographical origin, climate, altitude, temperature and plant nutrition, significantly affect the quality of coffee. The action of enzymes on sperm components, such as proteins, carbohydrates and phenolic compounds, is also considered to be particularly crucial. An important role in this process is played by microorganisms (yeasts, bacteria, fungi), which produce a variety of metabolic products, mainly alcohols and acids. The character of coffee is further modified during roasting, during which Maillard reactions predominate, leading to the production of aromatic and flavor compounds.

The aromatic ingredients produced during roasting are, without a doubt, the most decisive factor in the quality of coffee. Volatile compounds characterize not only the different varieties, but also the geographical origin of coffee. To date, more than 1,000 volatile components have been identified. However, few of them seem to be important to the aroma and taste of coffee. According to some researchers, the peculiar aroma of a type of coffee is formed, for the most part, by a group of 20-30 individual volatile ingredients.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	
ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ	
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	
ABSTRACT	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΦΕ	3
2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	3
2.1.1. Νομοθεσία	3
2.1.2. Προέλευση ονομασίας του καφέ	3
2.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΦΕΟΔΕΝΤΡΩΝ	6
2.3. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΦΕΟΔΕΝΔΡΟΥ	6
2.4. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΟΚΚΩΝ ΚΑΦΕ	8
2.5. ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	10
2.6. ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΕΙΔΗ ΚΑΦΕ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΣΗΜΑΣΙΑΣ	12
2.6.1. <i>Coffea arabica</i> (Καφές Arabica)	12
2.6.2. <i>Coffea canephora</i> (Καφές Robusta)	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ FLAVOR ΤΟΥ ΡΟΦΗΜΑΤΟΣ	16
3.1. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΦΥΤΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΟΚΚΩΝ	16
3.2. ΒΙΟΧΗΜΕΙΑ ΠΡΑΣΙΝΩΝ ΚΟΚΚΩΝ	18
3.2.1. ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ	19
3.2.1.1. ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΜΟΡΙΑΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ	20
3.2.1.2. ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ ΥΨΗΛΟΥ ΜΟΡΙΑΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ	21
3.2.2. ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΚΑΙ ΑΖΩΤΟΥΧΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ	22
3.2.3. ΛΙΠΙΔΙΑ, ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ ΚΑΙ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ	23
3.2.3.1. ΛΙΠΙΔΙΑ	23
3.2.3.2. ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ ΚΑΙ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ	24
3.2.4. ΚΑΦΕΪΝΗ	24
3.2.5. ΧΛΩΡΟΓΕΝΙΚΟ ΟΞΥ (CQA)	25
3.2.6. ΤΡΙΓΟΝΕΛΛΙΝΗ	26
3.2.7. ΠΤΗΤΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΚΟΚΚΩΝ ΚΑΦΕ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΖΥΜΩΣΗΣ	28
4.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΦΕ	28
4.1.1. ΞΗΡΗ ΜΕΘΟΔΟΣ (Natural process)	29
4.1.2. ΥΓΡΗ ΜΕΘΟΔΟΣ (Washed Process)	30
4.1.3. ΗΜΙΞΗΡΗ ΜΕΘΟΔΟΣ (Semi-washed process)	32
4.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΖΥΜΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΦΕ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΖΥΜΩΣΕΩΝ	34
4.2.1. ΦΥΣΙΚΗ ΖΥΜΩΣΗ	34
4.2.2. ΖΥΜΩΣΗ ΜΕ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΕΝΖΥΜΑ	35
4.2.3. ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΖΥΜΩΣΗΣ	35
4.2.3.1. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΘΥΜΗΤΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ	36
4.2.4. ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΚΟΚΚΩΝ ΚΑΦΕ ΚΑΙ Ο ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΟΚΚΩΝ ΚΑΦΕ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΖΥΜΩΣΗΣ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	40
5.1. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΞΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ	40
5.1.1. ΒΑΚΤΗΡΙΑ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΞΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	40
5.1.2. ΖΥΜΕΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΞΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	41
5.1.3. ΝΗΜΑΤΟΕΙΔΕΙΣ ΜΥΚΗΤΕΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΞΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	42
5.2. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ	43
5.2.1. ΒΑΚΤΗΡΙΑ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	43
5.2.2. ΖΥΜΕΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	44
5.2.3. ΝΗΜΑΤΟΕΙΔΕΙΣ ΜΥΚΗΤΕΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	45
5.3. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΗΜΙΞΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ	46
5.3.1. ΒΑΚΤΗΡΙΑ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΗΜΙΞΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	46
5.3.2. ΖΥΜΕΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΗΜΙΞΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	46
5.3.3. ΝΗΜΑΤΟΕΙΔΕΙΣ ΜΥΚΗΤΕΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΗΜΙΞΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΦΡΥΞΗ (ΚΑΒΟΥΡΔΙΣΜΑ)	48
6.1. ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΒΟΥΡΔΙΣΜΑΤΟΣ	49
6.2. ΒΙΟΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΡΩΜΑΤΟΣ	50
6.3. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΒΟΥΡΔΙΣΜΕΝΟΥ ΚΑΦΕ	54

6.3.1. ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ	55
6.3.2. ΜΕΛΑΝΟΪΔΙΝΕΣ	55
6.3.3. ΛΙΠΙΔΙΑ	55
6.3.4. ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ	56
6.3.5. ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	56
6.3.6. ΑΛΕΙΦΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΧΛΩΡΟΓΕΝΙΚΑ ΟΞΕΑ	57
6.3.7. ΚΑΦΕΪΝΗ	57
6.3.8. ΤΡΙΓΟΝΕΛΛΙΝΗ	57
6.3.9. ΠΤΗΤΙΚΕΣ (ΑΡΩΜΑΤΙΚΕΣ) ΕΝΩΣΕΙΣ	57
6.3.9.1. ΦΟΥΡΑΝΙΑ	60
6.3.9.2. ΠΥΡΑΖΙΝΕΣ	61
6.4. ΠΤΗΤΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΡΩΜΑΤΟΣ	61
6.5. FLAVOR WHEEL ΓΙΑ ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΡΟΦΗΜΑΤΟΣ ΚΑΦΕ	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	65
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	66

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πίνακας 3.1:* Χημική σύσταση πράσινων κόκκων καφέ (Waters et al., 2017)
- Πίνακας 3.2:* Κύριες μορφές υδατανθράκων σε κόκκους καφέ Arabica και Robusta (Oestreich-Janzen, 2010)
- Πίνακας 3.3:* Σύσταση λιπιδίων πράσινων κόκκων καφέ (δεδομένα από Maier, 1981) (cited by Speer et al., 2006)
- Πίνακας 3.4:* Περιεκτικότητα σε καφεΐνη διαφόρων ειδών και ποικιλιών καφέ (Oestreich-Janzen, 2010)
- Πίνακας 3.5:* Τυπικός προσδιορισμός περιεχομένου χλωρογενικού οξέος (CGA) και παρόμοια με CGA συστατικά σε εμπορικούς κόκκους πράσινου καφέ (Oestreich-Janzen, 2010)
- Πίνακας 6.1:* Αρωματικές ενώσεις σε καβουρδισμένους κόκκους (Toledo et al., 2016)
- Πίνακας 6.2:* Χημική σύσταση φρυγμένων κόκκων σε καφέ Arabica και Robusta (Belitz et al., 2009)
- Πίνακας 6.3:* Σύσταση λιπιδίων φρυγμένων κόκκων καφέ (Belitz et al., 2009)
- Πίνακας 6.4:* Σύσταση αμινοξέων του όξινου υδρολύματος σπόρων καφέ από την Κολομβία, πριν και μετά από το καβούρδισμα (Belitz et al., 2009)
- Πίνακας 6.5:* Επίδραση του βαθμού καβουρδίσματος στην περιεκτικότητα καφέ Arabica και Robusta σε χλωρογενικό οξύ (Belitz et al., 2009)
- Πίνακας 6.6:* Συγκεντρώσεις ισχυρών οσμοφόρων ουσιών σε καφέ ποικιλίας Arabica (Κολομβία) που υπέστη μέτριο βαθμό καβουρδίσματος και απόδοσή τους κατά την παρασκευή αφεψήματος (Belitz et al., 2009)
- Πίνακας 6.7:* Οσμηρές ουσίες κλειδιά που επιτρέπουν τη διαφοροποίηση των ποικιλιών Arabica και Robusta (Belitz et al., 2009)

- Πίνακας 6.8.* Αρωματικές ενώσεις καθουρδισμένου καφέ που προσδίδουν γλυκιά αίσθηση/άρωμα καραμέλας (Oestreich-Janzen, 2010)
- Πίνακας 6.9.* Αρωματικές ενώσεις καθουρδισμένου καφέ που προσδίδουν γαιώδεις οσμές (Oestreich-Janzen, 2010)
- Πίνακας 6.10.* Αρωματικές ενώσεις καθουρδισμένου καφέ που προσδίδουν θειούχες οσμές και άρωμα ψητού (Oestreich-Janzen, 2010)
- Πίνακας 6.11.* Αρωματικές ενώσεις καθουρδισμένου καφέ που προσδίδουν άρωμα καπνιστού/ φαινολικές ενώσεις (Oestreich-Janzen, 2010)
- Πίνακας 6.12.* Αρωματικές ενώσεις καθουρδισμένου καφέ που προσδίδουν φρουτώδη αρώματα (Oestreich-Janzen, 2010)
- Πίνακας 6.13.* Αρωματικές ενώσεις καθουρδισμένου καφέ που προσδίδουν πικάντικες νότες (Oestreich-Janzen, 2010)

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 2.1.* Γεωγραφική ζώνη παραγωγής καφέ (Source: FAO, 2014). Οι διακεκομμένες γραμμές υποδεικνύουν τη «ζώνη του καφέ»
- Εικόνα 2.2.* Απεικόνιση σχετικών τμημάτων του καφέ (Α) δενδρύλλια καφέ, (Β) φυτό καφέ, (Γ) κεράσια ώριμου καφέ και (Δ) δείγματα κόκκων καφέ για ανάλυση: (1) πράσινοι κόκκοι καφέ, (2) αλεσμένοι πράσινοι κόκκοι καφέ, (3) πράσινοι κόκκοι καφέ με περγαμηνώδες περίβλημα (parchment), (4) ξηρά «κεράσια» με κόκκους καφέ (Rodrigues et al., 2013)
- Εικόνα 2.3.* Μορφολογία κόκκων καφέ (Eira et al., 2006)
- Εικόνα 2.4.* Απεικόνιση διαφορετικών ειδών κόκκου καφέ προς διάκριση της διαφορετικής μορφολογίας (Eira et al., 2006)
- Εικόνα 2.5.* Μερική διατομή φρούτων καφέ (Nigam & Singh, 2014)
- Εικόνα 2.6.* Κυριότερα είδη καφέ εμπορικής σημασίας (Gibson & Mark, 2018)
- Εικόνα 2.7:* Πάνω αριστερά: Κόκκοι καφέ που έχουν φυτρώσει στα πρώτα στάδια ανάπτυξης του φυτού. Πάνω δεξιά: Φυτάρια καφέ που μόλις έχουν παράξει φύλλωμα. Κάτω αριστερά: Φυτάρια καφέ. Κάτω δεξιά: Άνθη καφέ του είδους *arabica* (Hoffmann, 2018)
- Εικόνα 2.8:* Καρποί («κεράσια») καφέ του είδους *C. arabica* var. *bourbon* (Hoffmann, 2018)
- Εικόνα 3.1.* Παράγοντες που καθορίζουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του καφέ (Sunarharum et al., 2014)
- Εικόνα 4.1.* Κύρια βήματα που εμπλέκονται στη ζύμωση φυσικού καφέ με την ξηρή μέθοδο (Batista, 2016)
- Εικόνα 4.2.* Κύρια βήματα που εμπλέκονται στη ζύμωση φυσικού καφέ με την υγρή μέθοδο (Batista, 2016)
- Εικόνα 4.3.* Κύρια βήματα που εμπλέκονται στη ζύμωση φυσικού καφέ με την ημίξηρη μέθοδο (Batista, 2016)
- Εικόνα 6.1.* Διαγραμματική απεικόνιση της αποδόμησης του κινικού και καφεϊκού οξέος κατά την πυρόλυση (Toledo et al., 2016)
- Εικόνα 6.2.* Σχηματική απεικόνιση της σχέσης μεταξύ πρόδρομων ενώσεων και αρωματικών συστατικών (Toledo et al., 2016)
- Εικόνα 6.3.* Μέρος τροχού γεύσης, <http://brewls.com/index.php/ar/articles/item/21-2017-10-12-21-39-57>
- Εικόνα 6.4.* Τροχός γεύσης, Ελισάβετ Κουσίση, ΠΜΣ

Εικόνα 6.5. Τροχός γεύσης, <https://www.coffeeble.com/coffee-tasters-flavor-wheel/>

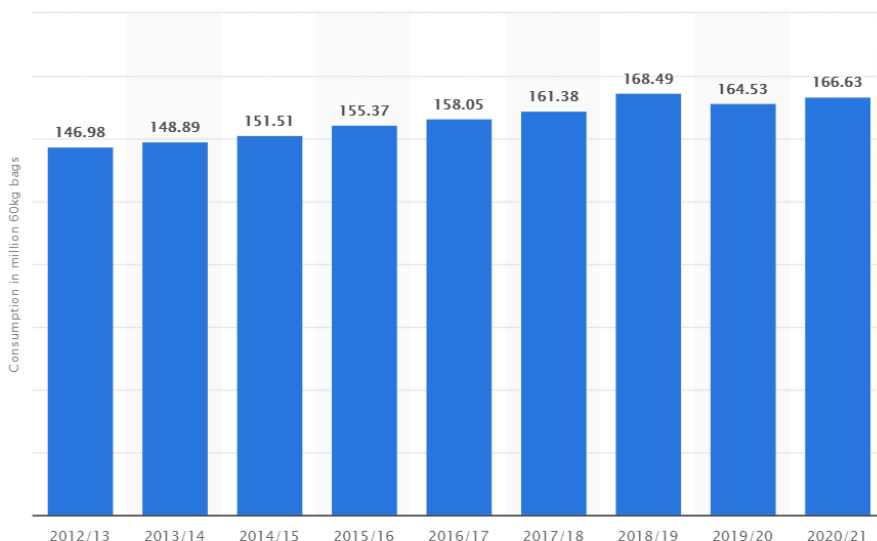
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 Παγκόσμια κατανάλωση καφέ 2012-13 έως 2020-21 (Conway, 2021)

Σχήμα 6.1. Απεικόνιση των αντιδράσεων Maillard όπως δόθηκε από τον Hodge (1953)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γεγονός πως ο καφές αποτελεί ένα από τα πιο αγαπημένα ροφήματα των καταναλωτών παγκοσμίως, γεγονός που τον τοποθετεί στον πυρήνα του επιστημονικού ενδιαφέροντος. Όπως απεικονίζεται στο κατωτέρω Σχήμα 1.1, η κατανάλωση ροφημάτων καφέ σημειώνει σημαντική αύξηση κάθε χρόνο, με την ποσότητα για το 2020-2021 να ανέρχεται σε 166,63 εκατομμύρια κιλά (Conway, 2021). Όλα τα στατιστικά στοιχεία και οι διατάξεις συμφωνιών υπολογίζονται σε σακιά βάρους 60 κιλών, όπου κάθε σάκος με την ίδια σήμανση θεωρείται ταυτόσημος. Είναι πολύ σημαντικό στο εμπόριο όλο το περιεχόμενο του σάκου, όσον αφορά την ποιότητα, να είναι το ίδιο (Clifford, 2012). Πρώτες χώρες στην κατανάλωση είναι η Φινλανδία, η Νορβηγία και η Ισλανδία, και ακολουθεί η Δανία, η Ολλανδία και η Σουηδία (Coffee Consumption by Country 2021: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/coffee-consumption-by-country>).



Σχήμα 1.1. Παγκόσμια κατανάλωση καφέ 2012-13 έως 2020-21 (Conway, 2021)

Η καλλιέργεια καφέ εξαπλώθηκε σε όλο τον κόσμο, ξεκινώντας από την Αραβία και περνώντας από πολλές χώρες, όπως η Κεϋλάνη (Σρι Λάνκα), η Ιάβα, η Ινδία, οι Φιλιππίνες, η Χαβάη και το Βιετνάμ, μεταξύ άλλων. Σήμερα, ο καφές αποτελεί το δεύτερο σε κατάταξη ποτό/ρόφημα προς κατανάλωση παγκοσμίως και έπεται του νερού (Batista, 2016).

Ο καφές αποτελεί προϊόν ζύμωσης. Η βιομετατροπή αυτή, σε συνδυασμό με εξωγενείς και ενδογενείς παράγοντες, διαμορφώνουν τα τελικά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του καφέ. Αναφορικά με τους πρωταρχικούς στόχους της ζύμωσης του καφέ, είναι η απομάκρυνση των βλεννωδών υλών και η ανάπτυξη ορισμένων πρόδρομων ενώσεων που συμβάλλουν στο άρωμά του. Για το σκοπό αυτό, οι νωποί καρποί

πολτοποιούνται για να απελευθερωθούν τα σπέρματα από τα περιβλήματά τους και από τη σάρκα των καρπών, και στη συνέχεια αφήνονται να ζυμωθούν. Η βλέννα ή αλλιώς «μύξα», όπως αποκαλείται στον κόσμο του καφέ στην Ελλάδα, αποικοδομείται με τη διαδικασία της ζύμωσης από τα ενδογενή ένζυμα των καρπών του καφέ και τα μικροβιακά ένζυμα που βρίσκονται στην επιφάνεια. Μετά τη ζύμωση, οι κόκκοι καφέ (coffee beans) δέχονται μια σειρά από επεξεργασίες όπως η πλύση, η ξήρανση και εν συνεχεία η ανάμειξη και το καβούρδισμα (φρύξη) (Nigam & Singh, 2014).

Αυτό που έχει καταστήσει το ρόφημα καφέ δημοφιλές είναι τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά, αλλά και η καφεΐνη που περιέχει, καθώς και οι παρόμοιες ενώσεις που έχουν ήπια διεγερτική δράση. Η μοναδική ταυτότητα του καφέ ξεκινάει να διαμορφώνεται αρχικά κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του, αμέσως μετά τη συγκομιδή, ενώ στη συνέχεια καθίσταται καθοριστική η δράση ενζύμων σε συστατικά του καφέ, όπως οι πολυφαινόλες, οι πρωτεΐνες και οι υδατάνθρακες. Ο καφές τροποποιείται περαιτέρω, ενώ παράλληλα εξελίσσονται αντιδράσεις Maillard κατά το καβούρδισμα (Nigam & Singh, 2014).

Ο καφές είναι ένα πολύ δημοφιλές ρόφημα που καταναλώνεται παγκοσμίως. Με βάση την οικονομική του αξία, ο καφές θεωρείται το δεύτερο γεωργικό εμπόρευμα με τα πρωτεία να ανήκουν στο πετρέλαιο. Ο καβουρδισμένος καφές εκτιμάται ότι αξίζει περίπου 75,4 δισεκατομμύρια δολάρια στην παγκόσμια αγορά λιανικής στις Η.Π.Α., ενώ οι παγκόσμιοι ηγέτες στην παραγωγή καφέ είναι η Βραζιλία, το Βιετνάμ, η Ινδονησία και η Κολομβία. Η γεύση του καφέ καλής ποιότητας έχει περιγραφεί ως «μια ευχάριστη αίσθηση, ένας ισορροπημένος συνδυασμός γεύσης, σώματος και αρώματος, εν απουσία βλαβών». Πλέον σημαντική παράμετρος ποιότητας για τους καταναλωτές είναι η γεύση, η οποία έχει αποτελέσει αντικείμενο διεξοδικής διερεύνησης και στόχο έρευνας για πάνω από έναν αιώνα. Η γεύση και το άρωμα του καφέ ποικίλουν ανά τον κόσμο, καθώς επηρεάζονται από το γενετικό στέλεχος του καφεόδεντρου, τις γεωργικές πρακτικές, το κλίμα κάθε περιοχής και άλλους παράγοντες (Sunarharum et al., 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΦΕ

2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1.1. Νομοθεσία

Σύμφωνα με τον νόμο 3203/2003 (Κύρωση της Διεθνούς Συμφωνίας Καφέ 2001, ΦΕΚ 295/Α/23-12-2003), ο όρος «Καφές» σημαίνει τους κόκκους και καρπούς του καφεόδενδρου, ανεξαρτήτως εάν είναι του φλοιού (parchment), πράσινο ή καβουρδισμένος, και περιλαμβάνει τον αλεσμένο, ντεκαφεϊνέ, υγρό και διαλυτό καφέ. Επιπλέον, οι κάτωθι όροι έχουν την εξής έννοια:

(α) πράσινο καφέ είναι ο καφέ στην μορφή γυμνού κόκκου, πριν το καβούρδισμα,

(β) αποξηραμένος καρπός καφέ είναι ο αποξηραμένος καρπός του καφεόδενδρου - για να βρεθεί το ισοδύναμο του αποξηραμένου καρπού καφέ σε πράσινο καφέ, πολλαπλασιάζουμε το καθαρό βάρος του αποξηραμένου καρπού καφέ επί 0,50,

(γ) καφέ φλοιού (parchment coffee) είναι ο κόκκος πράσινου καφέ που περιέχεται στον φλοιό - για να βρεθεί το ισοδύναμο του καφέ φλοιού σε πράσινο καφέ, πολλαπλασιάζουμε το καθαρό βάρος του καφέ φλοιού επί 0,80,

(δ) καβουρδισμένος καφέ είναι ο πράσινο καφέ που έχει καβουρδιστεί σε οποιονδήποτε βαθμό και περιλαμβάνει τον αλεσμένο καφέ,

(ε) καφέ ντεκαφεϊνέ είναι ο πράσινο, καβουρδισμένος ή διαλυτός καφέ από τον οποίο έχει γίνει εκχύλιση της καφεΐνης,

(στ) υγρός καφέ είναι τα υδατοδιαλυτά στερεά που λαμβάνονται από τον καβουρδισμένο καφέ και περνούν σε υγρή μορφή, και

(ζ) διαλυτός καφέ είναι τα αποξηραμένα υδατοδιαλυτά στερεά που λαμβάνονται από τον καβουρδισμένο καφέ (<https://www.e-nomothesia.gr/diethneis-sunthekeis/nomos-3203-2003-phek-295-a-23-12-2003.html>).

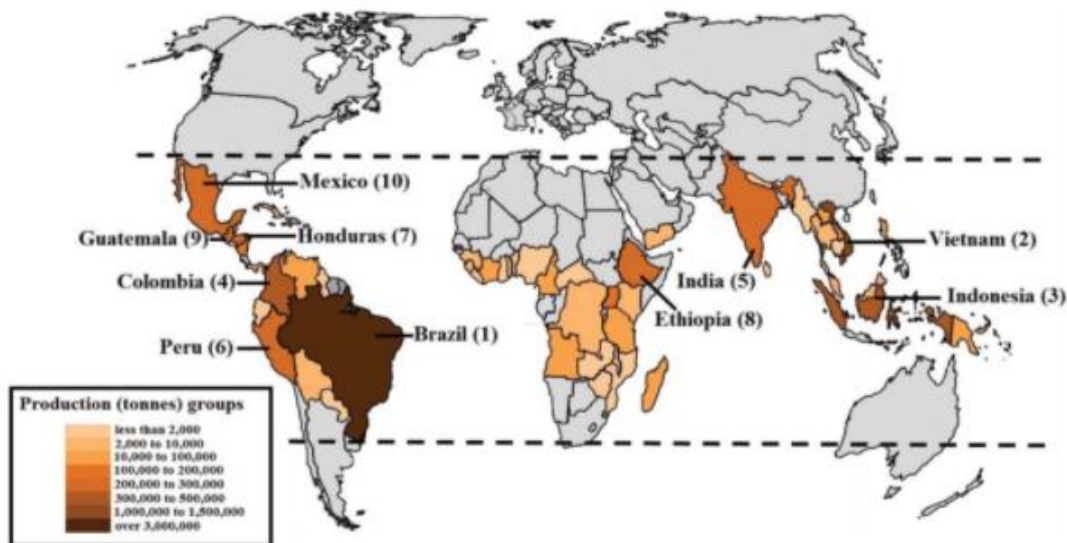
2.1.2. Προέλευση ονομασίας του καφέ

Ωστόσο, δεν έχει προσδιοριστεί με βεβαιότητα από πού προέρχεται το όνομα του καφέ. Η πιο γνωστή ιστορία αναφέρει ότι η ονομασία του καφέ προέρχεται από την αραβική λέξη qahwa που είναι παραφθορά τμήματος της αρχικής αραβικής ονομασίας του καφέ, qahwat al-būhna, δηλαδή «κρασί του κόκκου». Ο καφέ πρωτοήρθε στην Ευρώπη το 1615 από Βενετούς εμπόρους και ήταν γνωστός ως «αραβικό κρασί». Μια άλλη εκδοχή αποδίδει το όνομα του καφέ στο Βασίλειο της Κάφφα, την περιοχή της Αιθιοπίας όπου άρχισε να χρησιμοποιείται ο καφέ (Wikipedia,

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B1%CF%86%CE%AD%CF%82>). Η μοναδική χώρα στον κόσμο που δεν χρησιμοποιεί κάποια παρόμοια λέξη για τον καφέ είναι η Αιθιοπία, στην οποία χρησιμοποιείται ο όρος «Βυηα» που σημαίνει κόκκος (Μανουσίδης, 2016). Η προέλευση του καφέ και η ανακάλυψη των ιδιοτήτων του έδωσε τροφή σε αρκετούς μύθους. Ο σημαντικότερος, είναι αυτός που αποδίδει την ανακάλυψη των ιδιοτήτων του καφέ σε έναν Αιθίοπα γιδοβοσκό, τον Καλντί, που παρατήρησε ότι τα ζώα του γίνονταν πιο δραστήρια όταν έτρωγαν τους καρπούς του φυτού του καφέ (μύθος των κατσικών που χορεύουν) και αυτός που λέει ότι ο καφές δόθηκε στον Μωάμεθ από τον Αρχάγγελο Γαβριήλ προκειμένου να του χαρίσει δύναμη και αντοχή (Wikipedia, <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B1%CF%86%CE%AD%CF%82>).

Το φυτό του καφέ προέρχεται πιθανότατα από την Αφρική και ειδικότερα από τη Μαδαγασκάρη. Πηγές αναφέρουν ότι, βοτανικά, ο καφές προέρχεται από τα υψίπεδα (Χάιλαντς) της Αιθιοπίας και την Υεμένη. Οι περιοχές αυτές έχουν παρόμοιο κλίμα και γεωγραφία. Άλλες αφηγήσεις ασχολούνται με την επινοήση της διαδικασίας του καβουρδίσματος, που επιτρέπει την κατανάλωση του καφέ με τη μορφή ροφήματος. Ο καφές αναπτύσσεται καλύτερα σε περιοχές που βρίσκονται ανάμεσα στις τροπικές περιοχές. Σήμερα, βρίσκεται σε όλες τις ηπείρους που ανήκουν σε αυτή τη γεωγραφική ζώνη (Εικόνα 2.1), ακόμη και στην Αυστραλία και στον Βόρειο τροπικό, στην ορεινή περιοχή της Γιουνάν της Κίνας (Oestreich-Janzen, 2010).

Ο καφές φημολογείται ότι αναφέρθηκε στη βιβλιογραφία για πρώτη φορά από Άραβες επιστήμονες κατά τον ένατο και δέκατο αιώνα. Μέχρι το 1600, η καλλιέργεια καφέ περιοριζόταν στην Αραβία και είχε επικεντρωθεί στα υψίπεδα της Υεμένης, όπου εφαρμόστηκε ένα εξελιγμένο σύστημα άρδευσης. Οι παραγωγοί και οι έμποροι είχαν οικονομικό όφελος από το προϊόν αυτό. Συνεπώς, για τη διατήρηση του μονοπωλίου, απαγορεύτηκε η εξαγωγή, τόσο των φυτών, όσο και των κόκκων καφέ, οι οποίοι είχαν κυκλοφορήσει μεταξύ των ευρωπαίων επιστημόνων περίπου το 1574.



Εικόνα 2.1. Γεωγραφική ζώνη παραγωγής καφέ (Source: FAO, 2014). Οι διακεκομμένες γραμμές υποδεικνύουν τη «ζώνη του καφέ»

Παρά τους προστατευτικούς περιορισμούς που είχαν υιοθετηθεί στον αραβικό κόσμο, το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τον καφέ ενθάρρυνε την αναζήτηση ενός παρόμοιου τροπικού κλίματος για την καλλιέργεια των φυτών καφέ σε άλλα μέρη και ενέτεινε τις προσπάθειες εύρεσης τρόπων μεταφοράς των φυτών. Ενδεχομένως, η πρώτη επέκταση της καλλιέργειας του καφεόδεντρου και η παραγωγή καφέ εκτός Υεμένης πραγματοποιήθηκε στη δυτική ακτή της Ινδίας. Ο καφές προήλθε από τη Μέκκα και μεταφέρθηκε από τον θρυλικό Μπάμπαν Μπούνταν το 1600, ο οποίος κατάφερε να πάρει μαζί του ορισμένους κόκκους. Το 1658 ο καφές μεταφέρθηκε από την Ινδία στην Κεϋλάνη (σημερινή Σρι Λάνκα), η οποία την εποχή εκείνη αποτελούσε αποικία των Ολλανδών. Οι Ολλανδοί έκλεψαν ένα δέντρο καφέ από το λιμάνι της Αραβίας. Περίπου το 1700, ο καφές μεταφέρθηκε στην Ιάβα. Η Αραβία και η Ιάβα κατείχαν τις πρώτες θέσεις παγκοσμίως στην μαζική παραγωγή και προμήθεια καφέ, με την δεύτερη να κατέχει την πρώτη θέση για μισό αιώνα. Ακόμα και σήμερα, στις Η.Π.Α., ένα φλιτζάνι καφέ ονομάζεται κοινά «φλιτζάνι Java».

Η ποικιλία καφέ που προέρχεται από το Άμστερνταμ, ονομάζεται Tyrica και οδηγήθηκε σταδιακά προς τη Λατινική Αμερική. Ταυτόχρονα, μια άλλη ποικιλία, η ποικιλία Bourbon, εισήλθε στις γαλλικές αποικίες της Αμερικής και σε άλλα μέρη.

Πολλές επιστημονικές μελέτες έχουν δείξει συσχέτιση μεταξύ των περιβαλλοντικών παραγόντων και των ποιοτικών χαρακτηριστικών του καφέ. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι η προέλευση αποτελεί σημαντικό σημείο του μάρκετινγκ, δεδομένου ότι αναγνωρίζεται από την αγορά, καθώς ορισμένοι καφέδες ειδικής προέλευσης ωφελούνται

από μεγάλη φήμη, όπως η Αντίγκουα (Γουατεμάλα), η Μαρκάλα (Ονδούρα), το Blue Mountain (Jamaica), η Toraja (Ινδονησία), η Kona (Χαβάη) και η Sidamo (Αιθιοπία).

2.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΦΕΟΔΕΝΤΡΩΝ

Σύμφωνα με τη βοτανολογία, καφεόδεντρα θεωρούνται όλα τα τροπικά φυτά της οικογένειας Rubiaceae, μια από τις μεγαλύτερες οικογένειες ανθοφόρων φυτών που περιλαμβάνει περίπου 500 γένη και 6.000 είδη (Teketay, 1999), συμπεριλαμβανομένων των *Gardenia*, *Ixora*, *Cinchona* (quinine) και *Rubia* (Rodrigues et al., 2013). Ο καφές ανήκει στο γένος *Coffea*, το οποίο περιγράφηκε από τον Linnaeus το 1737 και ταξινομήθηκε ως ξεχωριστό γένος (Clifford, 2012). Από το σύνολο των ειδών του γένους *Coffea*, τα πιο σημαντικά είδη από οικονομική άποψη είναι το *Coffea arabica* (Teketay, 1999) και το *Coffea canephora*. Οι πιο γνωστές ποικιλίες *C. arabica* είναι η «Typica» και η «Bourbon». Η πιο διαδεδομένη ποικιλία του είδους *C. canephora* είναι η Robusta. Ωστόσο καλλιεργούνται εμπορικά και δυο μικρότερα είδη, τα *C. liberica* και *C. excelsa*, τα οποία περιορίζονται κυρίως στη Δυτική Αφρική και Ασία και αντιπροσωπεύουν μόλις το 1-2% της παγκόσμιας παραγωγής. Επί του παρόντος, το *C. arabica* αντιπροσωπεύει περίπου το 70% του παραγόμενου καφέ, ενώ το *C. canephora* var. *robusta* το 30% (de Castro and Marraccini, 2006). Το φυτό του καφέ απαιτεί περίπου 3 χρόνια για να αναπτυχθεί από το στάδιο της βλάστησης των σπόρων στην πρώτη ανθοφορία και την παραγωγή καρπών (Rodrigues et al., 2013).

2.3. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΦΕΟΔΕΝΔΡΟΥ

Όλα τα είδη *Coffea* είναι ξυλώδη και κυμαίνονται από μικρούς θάμνους έως μεγάλα ισχυρά δέντρα με μέγιστο ύψος τα 10 m. Τα χαρακτηριστικά των φυτών ποικίλλουν αρκετά. Κάποια χάνουν τα φύλλα τους στην αρχή της ξηρασίας, ενώ άλλα τα διατηρούν για τρία ή περισσότερα χρόνια. Τα είδη *C. arabica* και *C. canephora* var. *robusta* είναι αιθιαλή. Το χρώμα των φύλλων κυμαίνεται από κιτρινωπό έως σκούρο πράσινο, ενώ τα ανεπτυγμένα φύλλα ορισμένων ποικιλιών έχουν χάλκινη χροιά. Τα είδη διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το μέγεθος (μήκος), το οποίο κυμαίνεται από 1 έως 40 cm και είναι μεγαλύτερο στο *C. liberica*. Ενώ τα είδη του καλλιεργημένου καφέ έχουν πυκνά σμήνη λευκών αρωματικών λουλουδιών, ορισμένα είδη διαφέρουν λίγο στο χρώμα και είναι χρωματισμένα με ροζ, μωβ χρώμα και χωρίς άρωμα. Ακόμη, μερικά φρούτα δεν έχουν γλυκό πολτό, ενώ άλλα δεν είναι ευχάριστα όταν είναι ώριμα (Teketay, 1999).

Διαφέρουν μεταξύ τους και ως προς το μέγεθος των καρπών, καθώς κάποια είδη έχουν μέγεθος όσο ένα φασόλι, ενώ άλλα μοιάζουν με το μέγεθος των δαμάσκημων. Όλα τα είδη του γένους *Coffea* έχουν αντίθετα φύλλα και κλαδιά. Οι βλαστοί έχουν δύο ξεχωριστά χαρακτηριστικά: (α) ο άξονας κάθε αντίθετου φύλλου δεν περιέχει ένα αλλά μια σειρά από μπουμπούκια και (β) υπάρχουν ξεχωριστοί κατακόρυφοι και οριζόντιοι βλαστοί. Οι κατακόρυφοι (ορθοτροπικοί) βλαστοί παράγουν οριζόντια (πλαγιοτροπικά) κλαδιά από τα κορυφαία μπουμπούκια σε κάθε άξονα φύλλων, ενώ τα κάτω μπουμπούκια μπορούν να παράγουν μόνο νέες κατακόρυφες βολές. Ακόμη, τα περισσότερα από τα κάτω μπουμπούκια συνήθως παραμένουν αδρανή και πολλαπλασιάζονται στα κατακόρυφα στελέχη και κολοβώματα των δέντρων, έτσι ώστε οι νέοι κάθετοι βλαστοί (αναρροφητήρες) να μπορούν να παραχθούν από αυτά ανά πάσα στιγμή, κόβοντας ή κάμπτοντας τα υπάρχοντα κατακόρυφα στελέχη, εξαλείφοντας έτσι την «κορυφαία κυριαρχία». Από την άλλη μεριά, τα οριζόντια (πλαγιοτροπικά) κλαδιά μπορούν να παράγουν περισσότερα οριζόντια κλαδιά από τα κορυφαία μπουμπούκια σε κάθε άξονα φύλλων, ενώ τα διάφορα κάτω μπουμπούκια παράγουν το καθένα μια ταξιανθία 4-5 λουλουδιών. Παράλληλα, τα οριζόντια κλαδιά δεν μπορούν να παράγουν κατακόρυφα στελέχη. Μόλις οι κόμβοι των φύλλων στα οριζόντια κλαδιά έχουν παράξει λουλούδια και καρπούς, δεν μπορούν να επαναλάβουν τη διαδικασία (Teketay, 1999).

Η παραγωγικότητα ενός καφεόδεντρου, το οποίο τυγχάνει καλής και σωστής διαχείρισης, μπορεί να ανέλθει ή και να ξεπεράσει τα 80 χρόνια. Ωστόσο, η περίοδος κατά την οποία μια φυτεία καφεόδεντρων έχει οικονομικά οφέλη από την παραγωγή τους, συνήθως δεν ξεπερνά τα 30 χρόνια. Ο θάμνος είναι δικοτυλήδονος και μπορεί να φτάσει σε ύψος τα 10 m, σε άγρια κατάσταση. Τα καφεόδεντρα φυτείας συνήθως κλαδεύονται σε μέγιστο ύψος περίπου 3 m, για τη διευκόλυνση της συγκομιδής και τη διατήρηση του βέλτιστου σχήματος του δέντρου. Τα πρώτα άνθη παράγονται σε ηλικία 3-4 ετών, έχουν κρεμ ή λευκό χρώμα και γλυκό άρωμα και εμφανίζονται σε συστάδες στον άξονα των φύλλων. Όταν τα λουλούδια εξασθενίσουν, οι ωοθήκες εξελίσσονται αργά σε ωοειδείς εκροές μήκους 18 mm και διαμέτρου 10-15 mm, αρχικά με πράσινο χρώμα που μετατρέπεται κατά την ωρίμανση σε έντονο κόκκινο ή κίτρινο. Αναφέρονται ως «κεράσια» (cherries) (Rodrigues et al., 2013).



Εικόνα 2.2. Απεικόνιση σχετικών τμημάτων του καφέ (Α) δενδρύλλια καφέ, (Β) φυτό καφέ, (Γ) κεράσια ώριμου καφέ και (Δ) δείγματα κόκκων καφέ για ανάλυση: (1) πράσινοι κόκκοι καφέ, (2) αλεσμένοι πράσινοι κόκκοι καφέ, (3) πράσινοκόκκοι καφέ με περγαμινώδες περίβλημα (parchment), (4) ξηρά «κεράσια» με κόκκους καφέ (Rodrigues et al., 2013)

2.4. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΟΚΚΩΝ ΚΑΦΕ

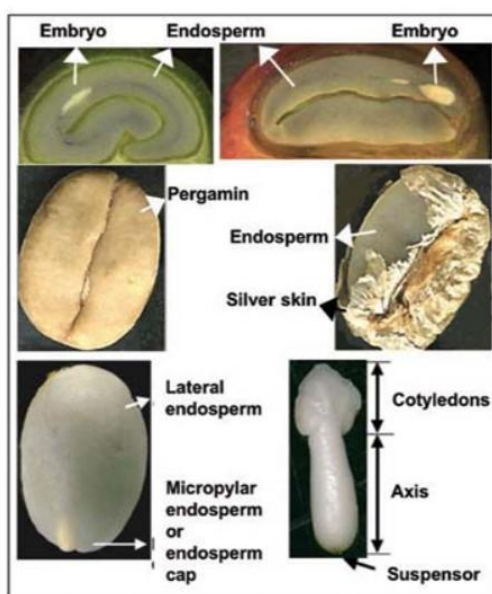
Το φρούτο (κεράσι) ή αλλιώς ο καρπός του καφέ αποτελείται από έναν εξωτερικό φλοιό, ο οποίος ονομάζεται περικάρπιο και είναι πράσινος όταν είναι άγουρος. Κάτω από αυτό εμπεριέχονται, αφενός το μεσοκάρπιο (αλλιώς σάρκα ή πούλπα), το οποίο έχει υψηλή περιεκτικότητα σε πολυσακχαρίτες με αποτέλεσμα να είναι γλυκό, και αφετέρου ο πυρηνόκαρπος κόκκος. Ο πυρηνόκαρπος κόκκος αποτελείται από δυο ελλειπτικά ημισφαίρια με επίπεδες παρακείμενες πλευρές που έχουν από ένα διάμηκες αυλάκι στην επίπεδη αυτή επιφάνεια και είναι γνωστά ως κόκκοι (ή σπόροι) του καφέ. Σε μικρές εξαιρέσεις υπάρχει μόνο ένα, το οποίο έχει σχήμα στρογγυλό και στη διεθνή βιβλιογραφία είναι γνωστό ως *rea-berry*. Κάθε ημισφαίριο περιβάλλεται από ένα κιτρινωπό, διαφανές σπερματόδερμα, γνωστό και ως «ασημί δέρμα» (silver skin). Το ενδοκάρπιο, δηλαδή το εξωτερικό κέλυφος ή φλοιός του σπόρου, είναι ισχυρό επειδή οι πηκτίνες εναποτίθενται εκεί ως παχύ, ινώδες κυτταρικό τοίχωμα, το οποίο καλύπτει και χωρίζει τα δυο ημισφαίρια. Το ενδοκάρπιο, μετά την ξήρανση μετατρέπεται σε λεπτή επίστρωση, («περγαμινώδες περίβλημα», parchment) (Εικόνα 2.2).

Στους σπόρους *C. canephora* το σπέρμα είναι προσκολλημένο και έχει χρώμα καφέ. Από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε μεγάλο αριθμό σπόρων προκύπτει ότι το μήκος των σπόρων του *C. arabica* κυμαίνεται από 10 έως 18 mm και το πλάτος από 6,5 έως 9,5

mm. Άλλα είδη όπως το *C. racemose* έχουν μικρότερους σπόρους (μήκους 5-7mm και πλάτους 3-3,5 mm, ενώ στο *C. liberica* οι σπόροι είναι μεγαλύτεροι (Εικόνα 2.3) (Eira et al, 2006).

Το έμβρυο είναι πολύ μικρό, μήκους 3-4mm και αποτελείται από έναν άξονα και δύο προσκολλημένες κοτυληδόνες (Εικόνα 2.3), οι οποίες εντοπίζονται κοντά στην κυρτή επιφάνεια του σπόρου. Περιέχει λίγα αποθέματα ενέργειας και μέχρι το καφεόδεντρο να γίνει αυτοτροφικό, εξαρτάται από το ενδοσπέρμιο για θρεπτικά συστατικά. Στον καφέ, έχουν παρατηρηθεί πολυεμβρυονία και άδειοι σπόροι σε συχνότητα 1,2% (Eira et al., 2006).

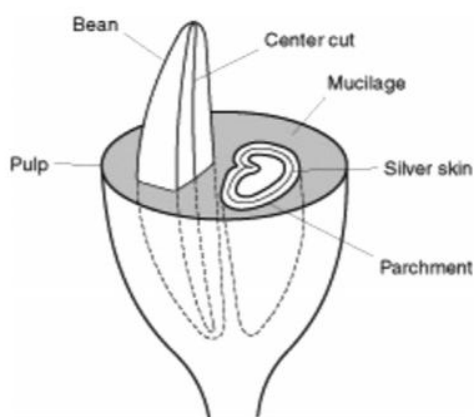
Οι κόκκοι (Εικόνα 2.4) που αναπτύσσονται μέσα στο «κεράσι», χρησιμοποιούνται ως βασικό στοιχείο για την παραγωγή καβουρδισμένου και αλεσμένου καφέ. Ο πολλαπλασιασμός του φυτού μπορεί να γίνει με εμβολιασμό ή μοσχεύματα, αλλά για εμπορικούς λόγους προτιμάται η ανάπτυξη φυτών των οποίων η υγρασία δεν είναι κάτω από 30%. Στη φυτεία, οι σπόροι σπέρνονται προσεκτικά και μερικές φορές καλύπτονται από στρώμα άμμου, για προστασία από το έντονο ηλιακό φως. Στη συνέχεια τα φυτά μεταφέρονται σε φυτώριο και όταν αποκτήσουν ύψος 20-30 cm φυτεύονται στον αγρό. Η πυκνότητα των 2.500-3.000 φυτών ανά εκτάριο είναι τυπική (Rodrigues et al., 2013).



Εικόνα 2.3. Μορφολογία κόκκων καφέ (Eira et al., 2006)



Εικόνα 2.4. Απεικόνιση διαφορετικών ειδών κόκκου καφέ προς διάκριση της διαφορετικής μορφολογίας (Eira et al., 2006)



Εικόνα 2.5. Μερική διατομή φρούτων καφέ (Nigam & Singh, 2014)

2.5. ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ

Από τη φύτευση των καφεόδεντρων στον αγρό, μέχρι την καρποφορία, μεσολαβεί ένα διάστημα περίπου 3-4 ετών. Ο εξωτερικός φλοιός του καρπού, όταν είναι ανώριμος, έχει πράσινο χρώμα, το οποίο μετατρέπεται σε βαθύ κόκκινο ή κίτρινο φωτεινό (ανάλογα με την ποικιλία) κατά την ωρίμανση. Στα κλαδιά του καφεόδεντρου υπάρχουν καρποί με διαφορετικό βαθμό ωρίμανσης. Η συγκομιδή είναι ένα από τα πιο σημαντικά βήματα που επηρεάζουν την ποιότητα του καφέ. Ο καφές που έχει υποστεί επεξεργασία από ώριμους καρπούς είναι φυσικά γλυκός και λαμπερός, με νότες λουλουδιών και φρούτων. Αντίθετα, ο καφές από μεταποιημένα άγουρα κεράσια πράσινου χρώματος μπορεί να είναι στυπτικός. Η συγκομιδή του καφέ είναι ιδιαίτερα δύσκολη, γιατί τα φρούτα του καφέ συνήθως δεν ωριμάζουν ομοιόμορφα, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται περισσότερα του ενός στάδια άνθισης και στο ίδιο κλαδί μπορεί να εμφανίζονται ταυτόχρονα ώριμα κόκκινα κεράσια, άγουρα πράσινα κεράσια και ξηρά, υπερβολικά μαύρα κεράσια.

Μελέτες που αφορούν την ανάπτυξη και τα χαρακτηριστικά των φρούτων του καφέ αναφέρουν πως όταν αυτά συγκομίζονται νωρίς και τα σπέρματά τους έχουν πράσινη απόχρωση, προκαλούνται βλάβες στον τύπο του καφέ, και πιο συγκεκριμένα στην ποιότητά

του, με το ποσοστό της απώλειας (όσον αφορά την τελική απόδοση) να αγγίζει το 20% και με αρνητική επίδραση στην εμφάνιση, τη διαδικασία καβουρδίσματος και τον τελικό τύπο του καφέ. Από την άλλη πλευρά, μεγαλύτερη παραμονή του φρούτου στο δέντρο, αυξάνει τη συχνότητα των μαύρων κόκκων (υπερώριμοι κόκκοι) ή την απώλεια ξηρής μάζας και ποιότητας. Σε περιοχές όπου τα εργατικά χέρια είναι οικονομικά, οι καρποί των δέντρων συλλέγονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, όποτε θεωρείται αναγκαίο, ώστε να συλλεχθούν αποκλειστικά τα ώριμα φρούτα. Αντίθετα, στις περιοχές όπου τα εργατικά χέρια είναι λιγοστά ή ακριβά, τα φρούτα μπορεί να παραληφθούν από τα δέντρα με μία μόνο συλλογή.

Ένας τρόπος συγκομιδής είναι η μηχανική συγκομιδή. Βασική προϋπόθεση για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί, είναι η τοπογραφία της φάρμας καφέ, καθώς οι μηχανές δυσκολεύονται να ανταπεξέλθουν σε λόφους ή σε περιοχές που δεν είναι επίπεδο το έδαφος. Τα μηχανήματα αυτά προκαλούν μια μηχανική δόνηση στο καφεόδεντρο, μέχρι τα κεράσια να χαλαρώσουν και να πέσουν. Το μειονέκτημα είναι ότι με αυτόν τον τρόπο μαζεύονται, τόσο οι ώριμοι, όσο και οι ανώριμοι καρποί, συνεπώς θα πρέπει να γίνει διαλογή των καρπών και διαχωρισμός τους από τα φύλλα και ενδεχομένως τα μικρά κλαδιά που κόβονται από τις μηχανές (Hoffmann, 2018). Τέτοιες μηχανές χρησιμοποιούνται μόνο σε περιοχές του κόσμου όπου υπάρχει μαζική παραγωγή και η εργασία είναι πολύ δαπανηρή για να υποστηρίξει τη συλλογή δια χειρός. Τέτοιες πρακτικές εφαρμόζονται στη Βραζιλία, την Αυστραλία και τμήματα της Χαβάης (Batista, 2016). Φυσικά, το κόστος είναι χαμηλότερο σε σχέση με τη συγκομιδή με το χέρι, όμως αυτό έχει αντίκτυπο στην ποιότητα της συγκομιδής σαν σύνολο.

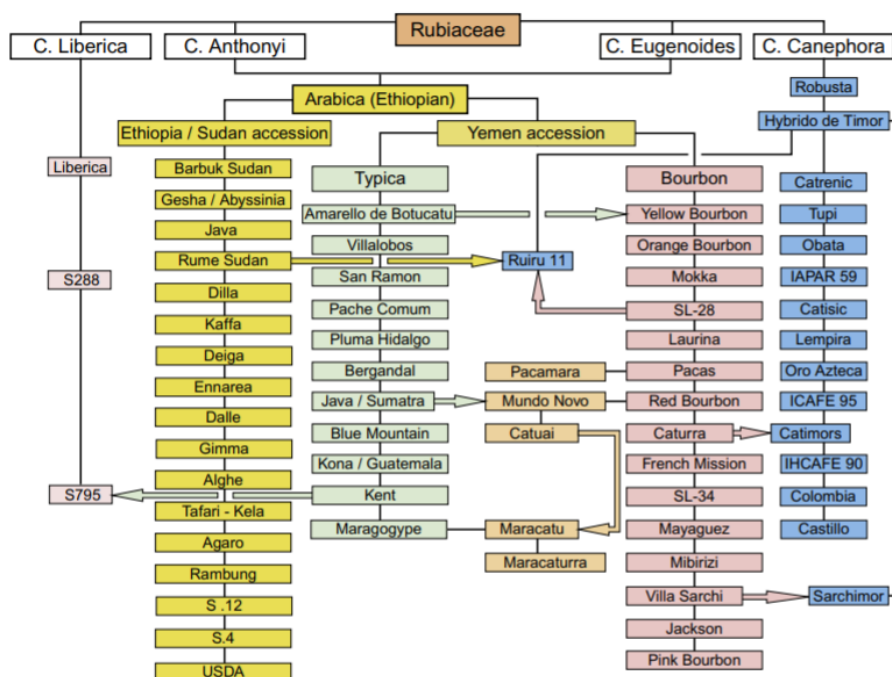
Ένας άλλος τρόπος συγκομιδής είναι με το χέρι τραβώντας πολύ γρήγορα με μία και μόνο κίνηση όλους τους καρπούς από ένα κλαδί (strippicking). Ο τρόπος αυτός εφαρμόζεται στις περιοχές που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μηχανές και πάλι όμως θα χρειαστεί να διαχωριστούν οι ώριμοι καρποί από τα υπόλοιπα αντικείμενα. Ο τρόπος συγκομιδής που αποδίδει την καλύτερη ποιότητα καφέ είναι η προσεκτική συγκομιδή με το χέρι. Κατά τη διαδικασία αυτή διαλέγονται μόνο οι ώριμοι καρποί. Ωστόσο, καθώς οι εργάτες πληρώνονται με βάση το βάρος του προϊόντος που συλλέγουν, πολλές φορές συγκομίζουν και ανώριμους καρπούς, ώστε να αυξηθεί το συνολικό βάρος. Κατανοώντας έτσι τη δυσκολία της εύρεσης εργατών για τη συγκομιδή του καφέ με το χέρι, στο Πουέρτο Ρίκο χρησιμοποιούνταν οι φυλακισμένοι.

Κατά γενική ομολογία, οι παραγωγοί μαζεύουν όλους του καρπούς που έχουν πέσει στο έδαφος, ανεξαρτήτως βαθμού ωρίμανσης, γιατί τα εναπομείναντα πεσμένα κεράσια

μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα σε όλη την παραγωγή, προσελκύοντας εχθρούς, π.χ. έντομα(Hoffmann, 2018).

2.6. ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΕΙΔΗ ΚΑΦΕ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΣΗΜΑΣΙΑΣ

Όπως έχει αναφερθεί, από τα εκατό περίπου είδη καφέ, τα δύο πιο σημαντικά για την οικονομία,δηλαδή ο *C. arabica* και ο *C. canephora* (robusta), αντιπροσωπεύουν το 70% και 30% της παγκόσμιας εμπορίας, αντίστοιχα, με τη Βραζιλία να κατέχει το 30% του παγκόσμιου μεριδίου αγοράς. Ο *C. arabica* παράγει καλύτερης ποιότητας ρόφημα καφέ από τον *C. Canephora*. Συχνά, ο τελευταίος χρησιμοποιείται αναμειγμένος με τον *C. arabica* (de Castro & Marraccini, 2006).



Εικόνα 2.6. Κυριότερα είδη καφέ εμπορικής σημασίας (Gibson & Mark, 2018)

2.6.1. Coffea arabica (Καφές Arabica)

Όπως αναφέρθηκε, οι πιο γνωστές ποικιλίες του είδους αυτού είναι η «Typica» και η «Bourbon», αλλά έχουν αναπτυχθεί πολλές διαφορετικές ποικιλίες πέραν από αυτές, όπως η «Caturra» (Βραζιλία και Κολομβία), το «Mundo Novo» (Βραζιλία), η «Tico» (Κεντρική Αμερική), ο νάνος «San Ramon» και το «Μπλε βουνό της Τζαμάικα».

Το φυτό *arabica* είναι ένας μεγάλος θάμνος με σκούρα πράσινα οβάλ φύλλα. Είναι γενετικά διαφορετικό από τα υπόλοιπα είδη καφέ που έχουν τέσσερα σύνολα χρωμοσωμάτων, αντί για δύο. Ο καρπόςέχει σχήμα κερασιού και ωριμάζει σε 7-9 μήνες (ανάλογα με την ποικιλία)και συνήθως περιέχει δύο επίπεδους σπόρους (τους κόκκους

καφέ), ενώ κάποιες φορές μπορεί να αναπτύσσεται μόνο ένας (reaberry). Τα φυτά *arabica* είναι λιγότερο παραγωγικά και με υψηλότερο κόστος παραγωγής από τα *robusta* και παράγουν κόκκους που περιέχουν περίπου τη μισή ποσότητα καφεΐνης. Αναπτύσσονται καλά σε μέτρια προς υψηλά υψόμετρα (1000-2100 m), σε περιοχές με μέσες θερμοκρασίες 18-22°C (όπως είναι οι θερμοκρασίες στις περιοχές του Ισημερινού), ενώ οι βέλτιστες ετήσιες ποσότητες βροχοπτώσεων κυμαίνονται μεταξύ 1500 και 2500 mm (Toledo et al., 2016). Ο καφές *Arabica* μπορεί να προσαρμοστεί σε εδάφη τα οποία είναι βαθιά, ελαφρώς όξινα, καλά στραγγιζόμενα, γόνιμα και αργιλώδη (Teketay, 1999).

Υπάρχουν διαφορετικές ποικιλίες κόκκων καφέ *C. arabica*, με την κάθε μία να έχει ιδιάζοντα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Από τις πιο δημοφιλείς ποικιλίες καφέ *Arabica* είναι οι:

- *Tyrica*: είναι η ποικιλία από την οποία προέρχονται πολλές άλλες και μπορεί να αποδώσει καφέ εξαιρετικής ποιότητας. Ο καρπός είναι συνήθως κόκκινος. Θεωρείται πολύ ευέλικτη ποικιλία και μπορεί να καλλιεργηθεί σε οποιαδήποτε περιοχή παραγωγής καφέ. Είναι επίσης γνωστή με διαφορετικές ονομασίες όπως *criollo*, *sumatra* και *arabigo*.

- *Bourbon*: η ποικιλία αυτή αποτελεί μια φυσική μετάλλαξη της *Tyrica*, που πραγματοποιήθηκε στο νησί Ρεϋνιόν (ή αλλιώς *Bourbon*). Έχει καλύτερη απόδοση και πολλοί στη βιομηχανία του καφέ πιστεύουν ότι έχει μια ξεχωριστή γλύκα, ανεβάζοντας την αξία της και κάνοντάς την επιθυμητή. Το χρώμα του καρπού ποικίλλει (κόκκινο, κίτρινο και περιστασιακά πορτοκαλί).

- *Blue Mountain*: μια άλλη ποικιλία *Tyrica* που καλλιεργείται στην Τζαμάικα είναι το *Blue Mountain*. Ο καφές *Blue Mountain* ευδοκμεί σε μεγάλα υψόμετρα και συνήθως καλλιεργείται στα Γαλάζια Όρη της Τζαμάικα, αλλά είναι επίσης γνωστό ότι ευδοκμεί στην Κόνα και τη Χαβάη.

- *Caturra*: η ποικιλία αυτή είναι μια μετάλλαξη της *Bourbon* και παρόλο που ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά στη Βραζιλία το 1937, ανθίζει καλύτερα στην Κολομβία και τη Νότια Αμερική. Είναι ένας καφές υψηλής ποιότητας, με καλύτερη από τη μέση απόδοση. Αν και το *Caturra* έχει υψηλότερη απόδοση από το *Bourbon*, απαιτεί πολλή φροντίδα και προσοχή για να ευδοκιμήσει (Gibson & Mark, 2018). Το χρώμα των καρπών μπορεί να είναι κόκκινο ή κίτρινο και συχνά αναφέρεται ως «νάνα» ποικιλία, λόγω της ευκολίας συγκομιδής με το χέρι (Hoffmann, 2018).

2.6.2. *Coffea canephora* (Καφές Robusta)

Ο όρος «robusta» είναι στην πραγματικότητα μια εμπορική ονομασία που έχει δοθεί για τις ποικιλίες του είδους *C. canephora* με παρόμοια χαρακτηριστικά. Ανακαλύφθηκε στη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό στα τέλη του 19^{ου} αιώνα και μπορεί να επιβιώσει σε χαμηλότερο υψόμετρο από ό,τι η *C. arabica*, σε υψηλότερες θερμοκρασίες και έχει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε ασθένειες (Hoffmann, 2018). Είναι ένας ισχυρός θάμνος ή ένα μικρό δέντρο έως 10 m ύψος, αλλά με ρηχό σύστημα ρίζας. Οι καρποί που παράγει είναι στρογγυλοί και χρειάζονται έως και 11 μήνες για να ωριμάσουν. Από την άλλη μεριά, οι κόκκοι έχουν ωοειδές σχήμα και είναι μικρότεροι σε μέγεθος από τους σπόρους του *C. arabica*. Ο καφές αυτός συλλέγεται στη Δυτική και Κεντρική Αφρική, σε ολόκληρη τη Νοτιανατολική Ασία και σε κάποιο βαθμό στη Βραζιλία, όπου υπάρχει μεγάλη δυνατότητα γενετικής βελτίωσης. Η «Robusta» είναι η πιο ευρέως καλλιεργημένη ποικιλία του *C. canephora* στον κόσμο, έτσι ώστε το όνομα αυτής της ποικιλίας χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει το κοινό όνομα του είδους. Το συγκεκριμένο είδος αναπτύσσεται καλύτερα σε πιο τροπικά κλίματα (ζεστά και υγρά) και σε περιοχές με χαμηλότερο υψόμετρο από ό,τι το Arabica (100-1000 m), με μέσες θερμοκρασίες από 22 έως 26°C και ετήσια βροχόπτωση 2000 mm (Toledo et al., 2016). Ο καφές Robusta καλλιεργείται σε κόκκινα αμμώδη και αργιλώδη εδάφη, όπως είναι χαρακτηριστικά στην Ουγκάντα (Teketay, 1999).

Ο καφές Robusta δεν είναι ιδιαίτερα γνωστός για τις ποικιλίες του. Ωστόσο, μεταξύ των ειδών που καλλιεργούνται, υπάρχουν πολλά υβρίδια των *arabica* και *robusta*, στα οποία περιλαμβάνονται και τα ακόλουθα:

- Arabusta, είναι ένα υβρίδιο της *arabica* και της *robusta*. Αυτή η ποικιλία έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στην Αφρική και χρησιμοποιείται συνήθως σε αναμειγμένους καφέδες.

- Hibrido de Timor (HDT), είναι ένα υβρίδιο της *arabica* και της *robusta* με μεγάλη ανθεκτικότητα στη «σκουριά» των φύλλων του καφέ (ασθένεια που προκαλείται από τον μύκητα *Hemileia vastarix*). Δεδομένου αυτού του χαρακτηριστικού, χρησιμοποιείται ευρέως σε διαφορετικά προγράμματα αναπαραγωγής, με σκοπό την ανάπτυξη νέων υβριδίων υψηλότερης αντοχής στη «σκουριά» των φύλλων και σε άλλες ασθένειες.

- Sarchimor, είναι ένα υβρίδιο μεταξύ Κόστα Ρίκα Villa Sarchi και Hibrido de Timor. Καλλιεργείται στην Ινδία και την Κόστα Ρίκα και είναι ανθεκτικό στη σκουριά των φύλλων. Το Sarchimor προσαρμόζεται επίσης καλά σε ζώνες χαμηλού ή μεσαίου υψομέτρου.

- Catimor (ένα υβρίδιο HDT και Cattura), είναι ένα πολύ παραγωγικό φυτό. Λόγω της διασταύρωσης με το HDT, παρουσιάζει αντίσταση στη «σκουριά» των φύλλων, ενώ

παράλληλα μπορεί να έχει μικρή παραγωγή ανθισμένων καρπών σε ηλικίες μεταξύ 5 και 10 ετών (Gibson & Mark, 2018).



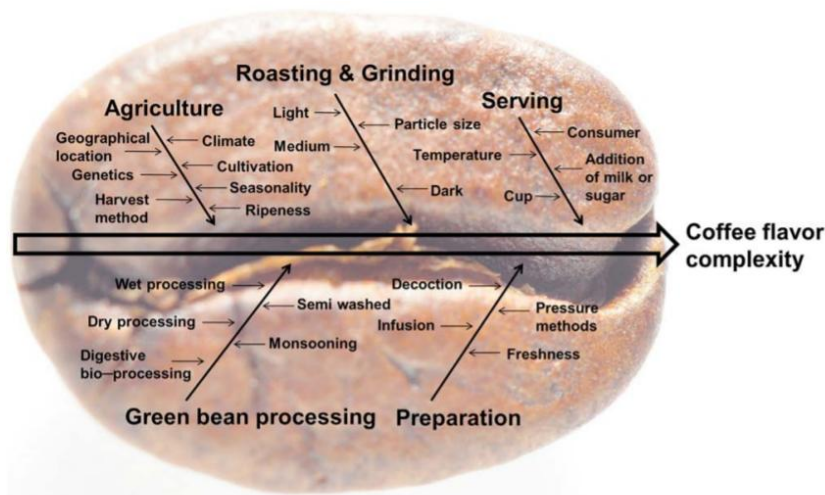
Εικόνα 2.7: Πάνω αριστερά: Κόκκοι καφέ που έχουν φυτρώσει στα πρώτα στάδια ανάπτυξης του φυτού. Πάνω δεξιά: Φυτάρια καφέ που μόλις έχουν παράξει φύλλωμα. Κάτω αριστερά: Φυτάρια καφέ. Κάτω δεξιά: Άνθη καφέ του είδους *arabica* (Hoffmann, 2018)



Εικόνα 2.8: Καρποί («κεράσια») καφέ του είδους *C. arabicavar.bourbon* (Hoffmann, 2018)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ FLAVOR ΤΟΥ ΡΟΦΗΜΑΤΟΣ

Ο καφές περνά από πολλά στάδια για να φτάσει στον τελικό του προορισμό για ανθρώπινη κατανάλωση. Όλα αυτά τα στάδια και συγκεκριμένα η ωρίμανση των σπόρων, η επεξεργασία μετά τη συγκομιδή, η αποθήκευση και η μεταφορά, το καβούρδισμα, η εγχώρια παρασκευή ή η βιομηχανική εκχύλιση, και ενδεχόμενες ενδιάμεσες επεξεργασίες, έχουν αντίκτυπο στη χημική του σύνθεση. Η διαμόρφωση της γεύσης του καφέ ξεκινά κατά τη φάση της ανάπτυξης του φυτού, με τις πρόδρομες ενώσεις να σχηματίζονται καθώς αναπτύσσονται τα κεράσια. Η πολυπλοκότητα της γεύσης αναπτύσσεται περαιτέρω στα διάφορα στάδια της επεξεργασίας (Εικόνα 3.1). Οι δύο επικρατέστερες ποικιλίες καφέ, όπως προαναφέρθηκε, προέρχονται από τα είδη *Coffea arabica* και *Coffea canephora* και διαφέρουν αισθητά ως προς τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά. Περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η γεωγραφική προέλευση, το κλίμα, το υψόμετρο, η θερμοκρασία, η θρέψη του φυτού, καθώς και τα λιπάσματα που πιθανότατα χρησιμοποιούνται, είναι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του παραγόμενου καφέ. Ακόμη, οι τρόποι επεξεργασίας των κόκκων καφέ διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην τελική ποιότητα του ροφήματος.



Εικόνα 3.1. Παράγοντες που καθορίζουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του καφέ
(Sunarharum et al., 2014)

3.1. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΦΥΤΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΟΚΚΩΝ

Λίγο μετά τη γονιμοποίηση και μέχρι τα μισά της ανάπτυξης του φυτού, ο καρπός του καφέ αποτελείται κυρίως από το περικάρπιο και το περισπέρμιο. Στη συνέχεια το περισπέρμιο δίνει τη θέση του στο ενδοσπέρμιο, το οποίο αποτελεί ουσιαστικά τον σπόρο

του καφέ. Αρχικά, το ενδοσπέρμιο έχει περισσότερο έφυγρη μορφή, ενώ κατά την ωρίμανση σκληραίνει, καθώς εκεί συσσωρεύονται ενεργειακά αποθέματα του φυτού, δηλαδή αποθηκευτικές πρωτεΐνες, σακχαρόζη και σύνθετοι υδατάνθρακες. Η ωρίμανση των καρπών έχει ολοκληρωθεί όταν το ενδοσπέρμιο έχει αφυδατωθεί και το περικάρπιο έχει αλλάξει χρώμα από πράσινο σε πορτοκαλί ή/και κόκκινο (de Castro and Marraccini, 2006)

Οι σπόροι των φυτών μπορούν να χαρακτηριστούν είτε «ορθόδοξοι» (orthodox), όρος που υποδηλώνει ότι περνούν μια περίοδο ξηρότητας και λήθαργου πριν το φύτευμα, είτε «αιρετικοί» (recalcitrant) που σημαίνει ότι κατά το στάδιο της ωρίμανσης έχουν μεγάλο ποσοστό υγρασίας και ως εκ τούτου η διαδικασία του φυτρώματος ξεκινά άμεσα. Ωστόσο, οι σπόροι του καφέ χαρακτηρίζονται ως «ενδιάμεσοι» (non-orthodox): ενώ έχουν υψηλά ποσοστά υγρασίας στα πρώτα στάδια της επεξεργασίας τους (45% σε υγρή βάση), δεν φυτρώνουν άμεσα, λόγω ενδογενών παραγόντων, όπως είναι το ωσμωτικό δυναμικό της σάρκας του καρπού ή οι αναστολείς ανάπτυξης, όπως το αμπισικό οξύ (ABA) (Selmar et al., 2006).

Κατά το φύτευμα των σπόρων λαμβάνουν μέρος διάφορες μεταβολές που επηρεάζουν τη σύνθεση υδατανθράκων, πρωτεϊνών και λιπιδίων των κόκκων. Με τα κατάλληλα ερεθίσματα, ο λήθαργος διακόπτεται και οι σπόροι οδηγούνται στη διαδικασία του φυτρώματος. Σύμφωνα με τους da Rosa et al. (2010), η διαδικασία αυτή μπορεί να περιγραφεί σε οκτώ στάδια. Ξεκινάει με την ενυδάτωση του σπόρου, η οποία χρειάζεται περίπου τρεις ημέρες. Το έμβρυο απορροφά σταδιακά ένα μέρος του νερού των κυτταρικών τοιχωμάτων του ενδοσπερμίου, αυξάνοντας το ωσμωτικό δυναμικό του. Η διαδικασία αυτή έχει σαν συνέπεια τη σταδιακή αποδυνάμωση της δομής του ενδοσπερμίου, με τελικό αποτέλεσμα την αποικοδόμησή του. Στη συνέχεια, απελευθερώνεται το ωσμωτικό δυναμικό και εμφανίζεται μια προεξοχή στο ενδοσπέρμιο, κατά την πέμπτη ημέρα περίπου. Υπό την κανονική της έννοια, η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται όταν το ριζίδιο βγαίνει από το ενδοσπέρμιο, όμως πριν γίνει αυτό οι σπόροι υφίστανται μεταβολικές αλλαγές. Οι αλλαγές αυτές είναι η ενυδάτωση των πρωτεϊνών, οι αλλαγές στη δομή, η αναπνοή και η επιμήκυνση των κυττάρων.

Η βλαστική ικανότητα των σπόρων εξαρτάται από παράγοντες όπως το φως, η θερμοκρασία και η υγρασία. Οι ρυθμιστές ανάπτυξης ή ορμόνες (αυξίνες, κυτοκινίνες, γιβερελλίνες, αμπισικό οξύ, αιθυλένιο) επηρεάζουν κι αυτοί τη διαδικασία του φυτρώματος.

Οι αντιδράσεις που σχετίζονται με τη διαδικασία του φυτρώματος, ενεργοποιούνται κατά τη μετασυλλεκτική περίοδο των κόκκων και, τόσο η διάρκεια, όσο

και το ποιες διαδικασίες πραγματοποιούνται, εξαρτώνται από τις μεθόδους επεξεργασίας των κόκκων. Έρευνες έχουν δείξει ότι ο μεταβολισμός των κόκκων καφέ, είναι διαφορετικός στην ξηρή και την υγρή μέθοδο επεξεργασίας. Αυτό συμβαίνει γιατί στην υγρή μέθοδο επεξεργασίας των πράσινων κόκκων αφαιρείται μέρος της σάρκας του καρπού, με αποτέλεσμα να αφαιρούνται και οι ανασταλτικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη μετακίνηση των πρόδρομων ενώσεων που προσδίδουν αρώματα στον καφέ. Σε συνδυασμό με την ποσότητα νερού που λαμβάνουν κατά τη ζύμωση στις δεξαμενές, ευνοείται η έναρξη της διαδικασίας του φυτρώματος και κατ' επέκταση η μετακίνηση των πρόδρομων αυτών ενώσεων. Αντίθετα, στη ξηρή μέθοδο ο καρπός μένει άθικτος μέχρι να αφυδατωθεί στο επιθυμητό επίπεδο, με αποτέλεσμα το ωσμωτικό δυναμικό της σάρκας να παραμένει για μεγαλύτερο διάστημα και η έναρξη της διαδικασίας αυτής να πραγματοποιείται κάποιες ημέρες αργότερα. Συνεπώς, οι ανασταλτικοί παράγοντες παραμένουν καθ' όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας (Selmar et al., 2006). Το συμπέρασμα αυτό εξήχθη από την ανάλυση της έκφρασης δύο ενζύμων που υπάρχουν κατά το φύτρωμα (την ισοκιτρική λυάση και την β-τουμπουλίνη). Από μελέτες των Selmar et al., (2006), κατά ζύμωση στην υγρή μέθοδο επεξεργασίας, η ισοκιτρική λυάση και η β-τουμπουλίνη έφτασαν τη μέγιστη τιμή τους, ενώ μειώθηκαν κατά την ξήρανση. Στη ζύμωση κατά τη ξηρή μέθοδο επεξεργασίας, η έκφραση αυτών των δύο ενζύμων παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα και αυξήθηκε μόλις 6 ημέρες αφότου ξεκίνησε η ζύμωση (Selmar et al., 2006)

3.2. ΒΙΟΧΗΜΕΙΑ ΠΡΑΣΙΝΩΝ ΚΟΚΚΩΝ

Η χημική σύσταση των πράσινων κόκκων είναι αρκετά περίπλοκη, καθώς περιλαμβάνει πάνω από 1000 ενώσεις με διαφορετικές φυσικο-χημικές ιδιότητες. Οι κυριότερες ενώσεις που οδηγούν στη δημιουργία του τελικού flavor του ροφήματος είναι οι αδιάλυτοι υδατάνθρακες (κυτταρίνη και ημικυτταρίνες), οι διαλυτοί υδαντάνθρακες (αραβινόζη, φρουκτόζη, γαλακτόζη, γλυκόζη, σακχαρόζη, ραφινόζη και σταχυόζη), τα λιπίδια, το χλωρογενικό οξύ και οι αζωτούχες ενώσεις (καφεΐνη, τριγονελλίνη) (Pereira et al., 2018). Οι ενώσεις αυτές υφίστανται σημαντικές αλλαγές κατά τη διαδικασία του καβουρδίσματος. Ποσοτικά, το μεγαλύτερο ποσοστό των αποθηκευτικών ενώσεων κατέχουν οι πολυσακχαρίτες (48-60% του ξηρού βάρους). Ακολουθούν τα λιπίδια (10-16%), τα οποία περιλαμβάνουν τριγλυκερίδια και ελεύθερα λιπαρά οξέα, οι πρωτεΐνες (11%), η ζαχαρόζη (4-8%) και τα χλωρογενικά οξέα (6,5%) (Waters et al., 2017).

Πίνακας 3.1. Χημική σύσταση πράσινων κόκκων καφέ (Waters et al., 2017)

ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ	<i>C. arabica</i> (% ξηρή βάση)	<i>C. robusta</i> (% ξηρή βάση)
Καφεΐνη	1.2	2.2
Τριγονελλίνη	1.0	0.7
Στάχτη	4.2	4.4
ΟΞΙΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ		
Χλωρογενικά οξέα	6.5	10.0
Αλιφατικά οξέα	1.0	1.0
Κινικά οξέα	0.4	0.4
ΣΑΚΧΑΡΑ/ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ/ΦΥΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ		
Σακχαρόζη	8.0	4.0
Ανάγοντα σάκχαρα	0.1	0.4
Πολυσακχαρίτες	44.0	48.0
Λιγνίνη	3.0	3.0
Πηκτίνη	2.0	2.0
Πρωτεΐνες	11.0	11.0
Ελεύθερα αμινοξέα	0.5	0.8
Λιπίδια	16.0	10.0

3.2.1. ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ

Η παρουσία των υδατανθράκων στους κόκκους καφέ είναι υψίστης σημασίας, καθώς βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες και οι αλλαγές που υφίστανται κατά το καβούρδισμα συμβάλλουν στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που αποκτά το ρόφημα καφέ (Speer et al., 2006). Ωστόσο, κατά τις αντιδράσεις Maillard που λαμβάνουν χώρα στη διάρκεια του καβουρδίσματος, πέρα από το ευχάριστο άρωμα και τη γεύση που αναπτύσσονται, δυνητικά ενδέχεται να αναπτυχθούν άλλες ουσίες που είναι επιβλαβείς για την υγεία, όπως είναι το ακρυλαμίδιο και η 5-υδροξυμεθυλοφουρφουράλη (HMF) (Murkovic & Decler, 2006).

Στα φυτά, οι υδατάνθρακες αποτελούν προϊόντα φωτοσύνθεσης. Ειδικότερα, κατά την ανάπτυξη των κεραιών του καφέ σχηματίζονται υδατανθρακικής φύσεως προϊόντα, τόσο στα φύλλα, όσο και στο περικάρπιο, ως ανάγοντα σάκχαρα (γλυκόζη, φρουκτόζη) και σακχαρόζη. Στη συνέχεια, οι ενώσεις μεταφέρονται στο περισπέρμιο και το ενδοσπέρμιο, στις αντίστοιχες φάσεις ανάπτυξής τους, ενώ παράλληλα συμβάλλουν στη συσσώρευση σακχαρόζης στον σπόρο του καφέ. Η ποικιλία Robusta συγκεντρώνει περίπου 30% λιγότερη

σακχαρόζη από την Arabica. Μέχρι στιγμής, οι πολυσακχαρίτες διαφορετικών μοριακών μεγεθών αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των υδατανθράκων του πράσινου καφέ. Ενώσεις όπως η γαλακτομαννάνη και η αραβινογαλακτάνη αντικατοπτρίζουν τις κύριες μονάδες (Πίνακας 2). Η κεντρική αλυσίδα αποτελείται από πρωτεΐνες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν το 0,5-2% του πολυμερούς και περιέχουν 7-12% υδροξυπρολίνη (Oestreich-Janzen, 2010). Η αδιαλυτότητα αυτών των υδατανθράκων και η συμπαγής δομή των κυτταρικών τοιχωμάτων όπου εναποτίθενται αυτοί οι υδατάνθρακες, καθιστούν δύσκολο τον χαρακτηρισμό τους (Watersetal., 2017).

Πίνακας 3.2. Κύριες μορφές υδατανθράκων σε κόκκους καφέ Arabica και Robusta (Oestreich-Janzen, 2010)

ΚΛΑΣΜΑ	ΔΟΜΗ	C. arabica w/w	C. robusta w/w
Μονοσακχαρίτες	Φρουκτόζη, γλυκόζη, ίχνη από αραβινόζη	0.2-0.4	0.5-0.7
Ολιγοσακχαρίτες	Κυρίως σακχαρόζη	5.1-8.6	2.2-6.6
Μαννάνες (γαλακτομαννάνες)	Υδατάνθρακες αποθήκευσης, ευθεία αλυσίδα β-(1-4) μαννάνης με μικρό βαθμό υποκατάστασης (ελάχιστα διαλυτό)	22	22
Αραβινογαλακτάνη	Στοιχείο δομής κυτταρικού τοιχώματος. 1-3 γαλακτάνη υποκατεστημένη με μικτές διακλαδώσεις αραβινόζης και λακτόζης (υδατοδιαλυτές), συνδεδεμένες με ραχοκοκαλιά πρωτεΐνης	14-15	16-17
Κυτταρίνη	Στοιχείο δομής κυτταρικού τοιχώματος. Γραμμική μη υποκατεστημένη 1-4 γλυκάνη	8	8
Ημικυτταρίνη	Κυρίως γλυκάνη με μικρά ποσοστά ραμιζόνης (0.3%), ξυλόζης (0.2%) προερχόμενα από τα υπολείμματα της περγαμνής των κόκκων	Ίχνη	Ίχνη

3.2.1.1. ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΜΟΡΙΑΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ

Οι υδατάνθρακες χαμηλού μοριακού βάρους λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία της καραμελοποίησης και σε συνδυασμό με τα αμινοξέα αναδύουν ενώσεις που ενισχύουν το άρωμα και τη γεύση του ροφήματος καφέ μέσω της αντίδρασης Maillard. Επιπλέον, είναι πρόδρομοι αλειφατικών οξέων, συμβάλλοντας έτσι στην οξύτητα του ροφήματος (Schwan & Fleet, 2014) Ο κύριος υδατάνθρακας χαμηλού μοριακού βάρους στον πράσινο καφέ είναι η σακχαρόζη. Οι Silwar και Lullman χρησιμοποίησαν το 1988 μία μέθοδο ανάλυσης (HPLC) σε πολλά δείγματα πράσινου καφέ προκειμένου να προσδιορίσουν το προφίλ αυτών των υδατανθράκων. Τα κύρια συμπεράσματα ήταν ότι α) η περιεκτικότητα της σακχαρόζης στον

C. arabica κυμαίνονταν μεταξύ 6,25% και 8,45%, ενώ στον *C. robusta* τα ποσοστά ήταν 0,9-4,85%, β) ο *C. robusta* περιείχε περισσότερα ανάγοντα σάκχαρα από ότι ο *C. arabica* και γ) δεν βρέθηκαν άλλοι απλοί ολιγοσακχαρίτες, όπως η ραφινόζη ή η σταχυόζη (Arga et al., 2007).

Οι Rogers et al. (1999) μελέτησαν τα ποσοστά των μονο- και ολιγοσακχαριτών σε κόκκους *arabica* και *robusta*, κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των κόκκων. Οι κόκκοι της *arabica* συλλέχθηκαν μεταξύ 12^{ης} και 30^{ης} εβδομάδας μετά την άνθιση, ενώ της *robusta* μεταξύ 18^{ης} και 40^{ης} εβδομάδας. Παρατηρήθηκε ότι στα πρώιμα στάδια της ανάπτυξης, μέχρι το στάδιο που οι κόκκοι είχαν ωριμάσει κατά το ήμισυ, τα κύρια σάκχαρα που εντοπίστηκαν σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ήταν η γλυκόζη και η φρουκτόζη. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση της γλυκόζης ήταν σχεδόν διπλάσια από αυτή της φρουκτόζης. Επιπλέον, οι ποικιλίες της *arabica* είχαν υψηλότερα ποσοστά γλυκόζης επί ξηρού βάρους (8-12%), ενώ τα επίπεδα γλυκόζης των ποικιλιών της *robusta* κυμαίνονταν μεταξύ 2-4% επί ξηρού βάρους. Στο τέλος της ωρίμανσης και της ανάπτυξης των κόκκων, η συγκέντρωση της γλυκόζης είχε μειωθεί στο 0,03% του ξηρού βάρους και της φρουκτόζης στο 0,04%, ενώ η σακχαρόζη (με συγκέντρωση 5-12% επί ξηρού βάρους) αποτελούσε το 100% των ελεύθερων σακχάρων των κόκκων (Redgwell et al., 2006).

Τα παραπάνω αποτελέσματα επιβεβαιώθηκαν και μεταγενέστερα σε πείραμα που διεξήχθη στην Αυστρία, στο πανεπιστήμιο του Graz, το 2005, όπου μελετήθηκαν δείγματα πράσινων κόκκων *arabica* και *Robusta* από διάφορες περιοχές. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συγκέντρωση της σακχαρόζης σε κόκκους *arabica* ήταν 73 mg/g, ενώ στους κόκκους *Robusta* ήταν 45 mg/g. Το ποσοστό της σακχαρόζης (επί ξηρού βάρους), το οποίο λαμβάνει μέρος στην αντίδραση Maillard κατά το καβούρδισμα, ήταν 9%. Τέλος, το συγκεκριμένο πείραμα έδειξε την παρουσία της μαννιτόλης μόνο στους κόκκους *arabica* (Murkovic & Decler, 2006).

3.2.1.2. ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ ΥΨΗΛΟΥ ΜΟΡΙΑΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ

Οι υδατάνθρακες υψηλού μοριακού βάρους συμμετέχουν στη δημιουργία μελανοϊδινών κατά τη διαδικασία του καβούρδισματος και συμβάλλουν στο χρώμα, στο άρωμα και στη γεύση του τελικού ροφήματος. Επιπλέον, θεωρούνται υπεύθυνοι για το «σώμα» του ροφήματος και την αίσθηση στο στόμα του καταναλωτή που δημιουργούνται από το ιξώδες, αλλά και από τη σταθερότητα του αφρού (Schwan & Fleet, 2014). Το κλάσμα πολυσακχαριτών των πράσινων κόκκων αποτελείται κυρίως από τρία πολυμερή τα οποία είναι α) η αραβινογαλακτάνη, β) η μαννάνη (ή αλλιώς γαλακτομαννάνη) και γ) η κυτταρίνη.

Ωστόσο, το 2002 ο Redwell κατέδειξε την παρουσία πηκτικών πολυσακχαριτών και ένα χρόνο αργότερα ο Oosterveld κατέγραψε την παρουσία ξυλογλυκάνης (Redgwell et al., 2006).

Οι Bradbury και Halliday το 1990 ανέλυσαν πράσινους κόκκους από τους οποίους είχαν αφαιρεθεί τα λίπδια και τα σάκχαρα, προκειμένου να αποσαφηνίσουν τη δομή των πολυσακχαριτών. Τα ευρήματα ήταν ότι α) η περιεκτικότητα σε μαννάνες και κυτταρίνη ήταν παρόμοια και στα δύο είδη (*arabica*, *robusta*), β) η *arabica* περιείχε μεγαλύτερα ποσοστά αραβινογαλακτάνης και γ) η περιγραφή είχε βασιστεί στην υπόθεση ότι η γαλακτόζη σχετίζεται με την αραβινογαλακτάνη και δεν έλαβε υπόψη το μικρό κλάσμα της γαλακτόζης που συνδέεται με το κλάσμα της μαννάνης (Arga et al., 2007).

Οι γαλακτομαννάνες είναι οι πλέον αδιάλυτες, με αποτέλεσμα να επηρεάζουν την παραγωγή διαλυτού καφέ και συνεπώς την οικονομική απόδοσή του στην αγορά. Σε θεωρητικό επίπεδο, μια αύξηση στο βαθμό γαλακτοζυλίωσης των μαννανών μπορεί να αυξήσει τη διαλυτότητα των (Redgwell et al., 2006).

3.2.2. ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΚΑΙ ΑΖΩΤΟΥΧΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ

Στον καφέ αλλά και σε άλλα φυτά, οι πρωτεΐνες αποθηκεύονται κατά κύριο λόγο σε οργανίδια με σκοπό να αποτρέψουν μια τυχαία πρωτεόλυση. Κατά τη διαδικασία της βλάστησης, τα αποθέματα των κυττάρων ξεκινούν να υδρολύονται από τα υδρολυτικά ένζυμα, με αποτέλεσμα τα παραγόμενα πεπτίδια και αμινοξέα να αλλάζουν τοποθεσία και να μεταφέρονται για την ανάπτυξη του εμβρύου.

Οι πρωτεΐνες αντιπροσωπεύουν περίπου το 10% του ενδοσπερμίου των κόκκων καφέ και ακολουθούν τα αμινοξέα (5% του αζωτούχου κλάσματος του πράσινου κόκκου) (Flament, 2001, Schwan & Fleet, 2014), η καφεΐνη (0,9-2,2%) και η τριγονελίνη (1%). Από τις αποθηκευτικές πρωτεΐνες, αυτές που έχουν απομονωθεί είναι η αλβουμίνη και η γλοβουλίνη, με τη δεύτερη να συναντάται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από την πρώτη. Οι κύριες αποθηκευτικές πρωτεΐνες (μοιάζουν με αυτές των οσπρίων και απομονώνονται από το ενδοσπέρμιο κόκκων *arabica* σε όξινο υδατικό διάλυμα) είναι οι 11S γλοβουλίνες (δύο ομόλογες πρωτεΐνες με ομοιότητα πάνω από 98%), οι οποίες βρίσκονται στο χυμοτόπιο και αντιπροσωπεύουν τον μεγαλύτερο όγκο των κυττάρων, καθώς και τις μισές διαλυτές πρωτεΐνες (Waters et al., 2017).

Τα ελεύθερα αμινοξέα και τα πεπτίδια είναι αζωτούχες ενώσεις οι οποίες έχουν μεγάλη σημασία για τον σχηματισμό του αρώματος του ροφήματος καφέ καθώς είναι πρόδρομοι για τις πηκτικές ουσίες που εμφανίζονται κατά το καβούρδισμα. Η μελέτη των

Shimizu και Mazzafera (2000) έδειξε ότι τα ελεύθερα αμινοξέα και οι αποθηκευτικές πρωτεΐνες είχαν πτωτική τάση κατά τη διαδικασία του φυτρώματος. Οι ίδιοι συγγραφείς κατέγραψαν τα σημαντικά ελεύθερα αμινοξέα των κόκκων καφέ, τα οποία παρουσίασαν μείωση κατά το φύτρωμα. Αυτά ήταν η ασπαραγίνη, το γλουταμινικό οξύ, το ασπαραγινικό οξύ, η αλανίνη, η λυσίνη, η σερίνη και η γλουταμίνη. Το μόνο αμινοξύ, το οποίο βρέθηκε να αυξάνεται σε ποσότητα, ήταν η τυροσίνη. Σύμφωνα με τους Murkonis και Derler (2006), το κυρίαρχο αμινοξύ στους κόκκους θεωρείται η αλανίνη, με μέση συγκέντρωση 1200 μg/g στους κόκκους *robusta* και 680 μg/g στους κόκκους *arabica*. Δεύτερη έρχεται η αργινίνη με μέση συγκέντρωση 800 μg/g στους κόκκους *robusta* και 360 μg/g στους κόκκους *arabica*. Ωστόσο οι Shimizu και Mazzafera (2000) υποστήριξαν ότι στα κλάσματα των διαλυτών πρωτεϊνών, κυρίαρχα αμινοξέα ήταν το γλουταμινικό οξύ και η γλυκίνη, ακολουθούμενα σε μικρότερες (αλλά σημαντικές) ποσότητες από τη λευκίνη, την ασπαραγίνη, την αλανίνη, τη λυσίνη και τη σερίνη (Waters et al., 2017)

3.2.3. ΛΙΠΙΔΙΑ, ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ ΚΑΙ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ

3.2.3.1. ΛΙΠΙΔΙΑ

Τα λιπίδια στον καφέ χρησιμεύουν ως φορείς γεύσεων και λιποδιαλυτών βιταμινών και συμβάλλουν παράλληλα στην υφή και τη συνολική αίσθηση λιπαρότητας στο στόμα. Βρίσκονται κατά κύριο λόγο στο ενδοσπέρμιο και σε πολύ μικρές ποσότητες στην επιφάνεια του καρπού (*coffee wax*) (Waters et al., 2017, Speer et al., 2006). Το είδος *C. arabica* περιέχει κατά μέσο όρο 15-17% λίπος, ενώ η ποικιλία *robusta* περιέχει περίπου 10%. Τα κλάσματα των λιπιδίων περιλαμβάνουν κυρίως τριγλυκερίδια (TGAs), εστέρες διτερπενικών αλκοολών και λιπαρά οξέα. Τα τριγλυκερίδια είναι ένας βασικός παράγοντας για το άρωμα που παρουσιάζει ο καβουρδισμένος καφές και τα λιπαρά οξέα από τα οποία αποτελούνται εκφράζονται ως ελεύθερα λιπαρά οξέα (FFAs) και είναι όμοια με αυτά των ελαίων των λαχανικών. Τα κυριότερα είναι το λινελαϊκό ($C_{18:2}$), το παλμιτικό ($C_{16:0}$) και το ελαϊκό ($C_{18:1}$) οξύ. Οι δύο σημαντικές ποικιλίες καφέ έχουν παρόμοια περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα, αλλά διαφέρουν στις αναλογίες που έχει η καθεμία σε στεατικό και ελαϊκό οξύ.

Τα διτερπένια που υπάρχουν στους πράσινους κόκκους είναι κυρίως πεντακυκλικές διτερπενικές αλκοόλες. Ο *Arabica* περιέχει καφεστόλη και καφεόλη (*kahweol*), ενώ η *robusta* περιέχει καφεστόλη και μικρές ποσότητες καφεόλης και 16-O-μεθυλοκαφεόλης (16-O-methylkahweol), οι οποίες απαντούν μόνο σε αυτό το είδος και αποτελούν δείκτη παρουσίας *robusta* σε μείγματα καφέ. Επιπλέον, στους πράσινους κόκκους καφέ έχει

βρεθεί ότι υπάρχουν τοκοφερόλες, με την α-τοκοφερόλη να είναι σε κυριαρχία (Waters et al., 2017, Speer et al., 2006).

Πίνακας 3.3. Σύσταση λιπιδίων πράσινων κόκκων καφέ (δεδομένα από Maier, 1981: cited by Speer et al., 2006)

ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ	% ΞΗΡΗΣ ΟΥΣΙΑΣ
Τριακυλογλυκερόλη	75.2
Εστέρες διτερπενικών αλκοολών και λιπαρών οξέων	18.5
Διτερπενικές αλκοόλες	0.4
Εστέρες στερολών και λιπαρών οξέων	3.2
Στερόλες	2.2
Τοκοφερόλες	0.04-0.06
Φωσφατίδια	0.1-0.5
Παράγωγα τρυπταμίνης	0.6-1.0

3.2.3.2. BITAMINEΣ ΚΑΙ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στους πράσινους κόκκους έχουν βρεθεί οι βιταμίνες E, C και B (B₁, B₂, B₆, B₁₂) και σε μικρότερη αναλογία η νιασίνη, το φολικό οξύ και το παντοθενικό οξύ, οι οποίες όμως είτε δεν περνούν στο τελικό ρόφημα ή καταστρέφονται κατά το καβούρδισμα, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών. Ο Clark το 2003 κατέγραψε τα ιχνοστοιχεία που εντόπισε στους πράσινους κόκκους. Σε μεγαλύτερες ποσότητες βρέθηκαν το κάλιο (K), το μαγνήσιο (Mg) και το ασβέστιο (Ca) και σε μικρότερες το νάτριο (Na), ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn), το ρουβίδιο (Rb), ο ψευδάργυρος (Zn), ο χαλκός (Cu), το στρόντιο (Sr), το χρώμιο (Cr), το βανάδιο (V), το βάριο (Ba), το νικέλιο (Ni), το κοβάλτιο (Co), ο μόλυβδος (Pb), το μολυβδαίνιο (Mo), το τιτάνιο (Ti) και το κάδμιο (Cd) (Waters et al., 2015).

3.2.4. ΚΑΦΕΪΝΗ

Η καφεΐνη (1,3,7-τριμεθυλοξανθίνη), συνιστά αλκαλοειδές πουρίνης και είναι ένας δευτερεύον μεταβολίτης του καφέ. Ο καταβολισμός πουρίνης της καφεΐνης περιλαμβάνει την αποικοδόμησή της μέσω διαδοχικής απομεθυλίωσης σε διοξείδιο του άνθρακα και αμμωνία (Oestreich-Janzen, 2010). Στο φυτό του καφέ, η βιοσύνθεση της καφεΐνης λαμβάνει χώρα στα φύλλα και στο περικάρπιο, στο εξωτερικό δηλαδή μέρος του καρπού. Σε παλαιότερα φύλλα, η περιεκτικότητα σε καφεΐνη είναι χαμηλότερη, συγκριτικά με τα νεοσχηματισμένα. Στους ιστούς του περικαρπίου, το φως διεγείρει έντονα το στάδιο της μεθυλίωσης για τη σύνθεση της καφεΐνης. Όταν ο σπόρος μέσα στον καρπό αρχίζει να

μεγαλώνει, η καφεΐνη μετατοπίζεται μέσω των μεμβρανών και συσσωρεύεται στο ενδοσπέρμιο. Εκεί, η τελική συγκέντρωση επιτυγχάνεται οκτώ μήνες μετά την ανθοφορία. Η περιεκτικότητα των κόκκων καφέ σε καφεΐνη εξαρτάται από το είδος και την ποικιλία και κυμαίνεται από 0,6% στη Laurina έως και 4% σε κάποια ακραία είδη Robusta. Οι μέσες τιμές αποτυπώνονται στον (Πίνακα 3.4). Η περιεκτικότητα της καφεΐνης σε ξηρό δείγμα δεν επηρεάζεται από την επεξεργασία μετά τη συγκομιδή, ούτε από το καβούρδισμα. Η ευρωπαϊκή νομοθεσία ορίζει μέγιστη περιεκτικότητα σε υπολειμματική καφεΐνη 0,3% στον καβουρδισμένο καφέ, ενώ γενικά ορίζει την ποσότητα καφεΐνης σε 0,1% επί ξηρής ουσίας. Οι πρότυπες αναλυτικές μέθοδοι για τον προσδιορισμό της καφεΐνης χρησιμοποιούν χρωματογραφικό διαχωρισμό και φασματομετρική ανίχνευση. Παρόλο που η καφεΐνη ως καθαρή χημική ουσία έχει σαφώς πικρή γεύση, διαδραματίζει μόνο ένα μικρό ρόλο στην απόδοση της πικρής αίσθησης στο τελικό προϊόν (Oestreich-Janzen, 2010). Οι πράσινοι κόκκοι του Arabica περιέχουν περίπου 1,5% καφεΐνη (επί ξηρού βάρους), ενώ του Robusta μπορεί να ξεπεράσει τα 2,5%.

Πίνακας 3.4. Περιεκτικότητα σε καφεΐνη διαφόρων ειδών και ποικιλιών καφέ (Oestreich-Janzen, 2010)

ΕΙΔΟΣ	ΠΟΙΚΙΛΙΑ	ΦΥΛΛΟ (% Ξ.Β)	ΚΟΚΚΟΣ (% Ξ.Β.)
<i>C. arabica</i>	Mundo Novo	0.98	1.11
	Typica	0.88	1.05
	Catual	0.93	1.34
	Laurina	0.72	0.62
<i>C. canephora</i>	Robusta	0.46	>4
	Kouilou/Conillon	0.95	2.36
	Laurentii	1.17	2.45

3.2.5. ΧΛΩΡΟΓΕΝΙΚΟ ΟΞΥ (CQA)

Τα χλωρογενικά οξέα είναι μια ομάδα φαινολικών ενώσεων (Farah, 2006), οι οποίες διανέμονται ευρέως στα φυτά ως δευτερογενείς μεταβολίτες και εντοπίζονται στον κόκκο του καφέ σε σχετικά μεγάλες ποσότητες. Η μητρική δομή του είναι ένα σύζευγμα τετραϋδροξυ-κυκλοεξανικού καρβοξυλικού οξέος (κινικό οξύ) και καφεϊκού οξέος (3,4-διυδροξυ κινικό οξύ). Λόγω ισομερών στο τμήμα κυκλοεξανίου και υποκαταστάσεων στον αρωματικό δακτύλιο, δημιουργείται μια ολόκληρη οικογένεια χλωρογονικών οξέων.

Ο Πίνακας 3.5 δείχνει τα τυπικά περιεχόμενα του πράσινου καφέ Arabica και Robusta σε χλωρογενικά οξέα. Για αναλυτικό προσδιορισμό επιλέχθηκε η μέθοδος HPLC. Το

χλωρογενικό οξύ βιοσυντίθεται στο περισπέρμιο και συσσωρεύεται στο ενδοσπέρμιο των κόκκων, ενώ μετατρέπονται σε μονο-CQA (caffeylquinic, καφεΰλοκυνικό οξύ) κατά την τελευταία φάση ωρίμανσης των κόκκων. Ως di-CQAs θα επηρέαζε αρνητικά την αισθητηριακή ποιότητα του καφέκαι στην περίπτωση μη-ομοιόμορφης ωρίμανσης και ταυτόχρονης συγκομιδής, τα ανώριμα «κεράσια» πουθα περιλαμβάνονταν στη συγκομιδή, θα επηρέαζαν τη γεύση του τελικού ροφήματος. Το καβούρδισμα μειώνει σταδιακά την ποσότητα των ελεύθερων χλωρογενικών οξέων στον καφέ, δημιουργώντας μια σειρά προϊόντων μετασχηματισμού.

Οι χλωρογενικές λακτόνες παρουσιάζουν έντονη πικρία και πιθανές βιολογικές επιπτώσεις. Εντός της σειράς των ισομερών, τα 1,5 ισομερή είναι τα πιο συνηθισμένα. Οι CQA του πράσινου καφέ μετατρέπονται, μέσω αντιδράσεων τύπου Maillard, σε πιο πολύπλοκα μακρομόρια, δηλαδή μελανοϊδίνες και αποσυντίθεται εν μέρει σε κινικό οξύ και καφεϊκό οξύ, για να σχηματίσουν κινιδίδια και να ενσωματωθούν σε μελανοϊδίνες. Ένας άλλος μετασχηματισμός οδηγεί, μέσω αποκαρβοξυλίωσης και κυκλοποίησης, σε φαινυλινδάνες που αναγνωρίζονται ως ένα έντονα πικρό συστατικό του καφέ (Oestreich-Janzen, 2010).

Πίνακας 3.5. Τυπικός προσδιορισμός περιεχομένου χλωρογενικού οξέος (CGA) και παρόμοια με CGA συστατικά σε εμπορικούς κόκκους πράσινου καφέ (Oestreich-Janzen, 2010)

ΕΝΩΣΗ	<i>C. arabica</i> % Ξ.Β.	<i>C. robusta</i> % Ξ.Β.
CQA	5.2-6.5	5.5-8.0
pCoQA	0.03-0.07	0.05-0.06
FQA	0.3-0.5	0.7-1.5
diCQA	0.7-1.0	1.4-2.5
CFQA	Δεν ανιχνεύτηκε	0.2-0.3

3.2.6. ΤΡΙΓΩΝΕΛΛΙΝΗ

Η τριγωνελλίνη ή αλλιώς N-μεθυλονικοτινικό οξύ, είναι ένα παράγωγο πυριδίνης (Farah, 2006), το οποίο συντίθεται σε όλα τα μέρη του φυτού, αλλά η μεγαλύτερη συγκέντρωσή της βρίσκεται στους νεαρούς ιστούς, όπως τα φύλλα, τα άνθη, το περικάρπιο και οι κόκκοι. Η περιεκτικότητα της τριγωνελλίνης στους πράσινους κόκκους κυμαίνεται από 0,6% έως 1,3% στον Arabica και από 0,3% έως 0,9% στον Robusta, ενώ κατά τη διαδικασία του καβουρδίσματος αποικοδομείται περίπου στο 50% της αρχικής συγκέντρωσης (Belitz et al., 2009).

3.2.7. ΠΤΗΤΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ

Για τους πράσινους κόκκους, σε αντίθεση με τους καβουρδισμένους, έχουν αναφερθεί μόλις 200 πτητικές ενώσεις, οι οποίες χάνονται στα επόμενα στάδια επεξεργασίας των κόκκων, μέχρι το τελικό ρόφημα. Η μόνη ένωση που καταγράφηκε από τους Lee και Shibamoto το 2002 στους πράσινους και στους καβουρδισμένους κόκκους ήταν η 2-μεθοξυ-3-(2-μεθυλοπροπυλο)-πυραζίνη [2-methoxy-3-(2-methylpropyl)-pyrazine]. Στις πτητικές ενώσεις των πράσινων κόκκων περιλαμβάνονται, εν γένει, οι ομάδες των υδρογονανθράκων, των ανώτερων αλκοολών, των αλδεϋδών, των κετονών, των οξέων, των εστέρων, των λακτονών, των θειούχων ενώσεων, των φουρανίων και των φαινολών (Pereira et al., 2018).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΚΟΚΚΩΝ

ΚΑΦΕ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΓΚΠΟΜΙΔΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΖΥΜΩΣΗΣ

4.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΦΕ

Οι κόκκοι καφέ πρέπει να απομακρύνονται από τα φρούτα και να αφαιρείται μέρος της υγρασίας τους, με σκοπό τη μείωση σε επίπεδο 11-12%, ώστε να εξασφαλιστεί η ασφαλής αποθήκευσή τους πριν την πώληση. Αυτό επιτυγχάνεται με μια διαδικασία που ονομάζεται «στέγνωμα». Η απομάκρυνση της υγρασίας και πραγματοποιείται πριν το καβούρδισμα. Η αφαίρεση της υγρασίας μπορεί να γίνει με τρεις μεθόδους που είναι γνωστές ως μέθοδοι ζύμωσης και διακρίνονται σε ξηρή, υγρή και ημίξηρη (Hoffmann, 2018). Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία αυτής της επεξεργασίας, οι μη-ψημένοι κόκκοι καφέ χαρακτηρίζονται ως «πράσινος καφές» (green coffee) (Batista, 2016). Στη βιομηχανική πρακτική, ο όρος «defect» χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας για να υποδηλώσει ελαττωματικούς κόκκους που προσδίδουν άσχημη γεύση στο τελικό ρόφημα. Σε αυτούς περιλαμβάνονται οι υπερώριμοι «μαύροι κόκκοι» (black beans), οι «ξινισμένοι» κόκκοι (sour beans) που έχουν προέλθει από καρπούς, οι οποίοι ζυμώθηκαν στο έδαφος, οι «ανώριμοι» κόκκοι (immature beans) που προέρχονται από ανώριμους καρπούς, καθώς και οι «ανώριμοι μαύροι κόκκοι» (immature black beans), οι οποίοι έχουν προέλθει από ανώριμους καρπούς και εμφανίζουν οξειδωμένη επιφάνεια. Τέλος υπάρχουν οι «σκαμμένοι» κόκκοι (bored beans), οι οποίοι έχουν προέλθει από καρπούς που προσβλήθηκαν από έντομα, με αποτέλεσμα να φέρουν ελαττώματα που είναι ευδιάκριτα κατά τη διαλογή (Farah et al., 2006).

Η διαδικασία της ξήρανσης είναι το πιο κρίσιμο στάδιο, αφού επηρεάζει την τελική ποιότητα του πράσινου καφέ, καθώς και την ασφάλεια του τελικού προϊόντος. Ο καφές που δεν έχει αφυδατωθεί επαρκώς είναι επιρρεπής σε ταχεία φθορά που προκαλείται από μύκητες και βακτήρια κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Τέλος, η κακή επεξεργασία των κόκκων μπορεί να αποδώσει στο ρόφημα καφέ γεύση ζύμωσης και ένα δυσάρεστο flavour που θυμίζει στάβλο και σάπια φρούτα (Hoffmann, 2018). Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι πανομοιότυπα δείγματα καφέ που υπέστησαν διαφορετική επεξεργασία (το ένα δείγμα ξηρή μέθοδο ενώ το άλλο υγρή), έδωσαν ροφήματα διαφορετικής ποιότητας και σύνθεσης. (Selmar et al., 2002, Knopp et al., 2005). Οι Gonzalez-Rios et al. (2007b), σε πειράματα που έκαναν, διαπίστωσαν ότι τα ροφήματα που προέρχονταν από την υγρή μέθοδο επεξεργασίας είχαν επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, όπως οι φρουτώδεις νότες και οι νότες καραμέλας. Αντίθετα όσα προέρχονταν από κόκκους που είχαν υποστεί ξηρή μέθοδο επεξεργασίας είχαν ξινή, καμένη και πικρή γεύση.

4.1.1. ΞΗΡΗ ΜΕΘΟΔΟΣ (Natural process)

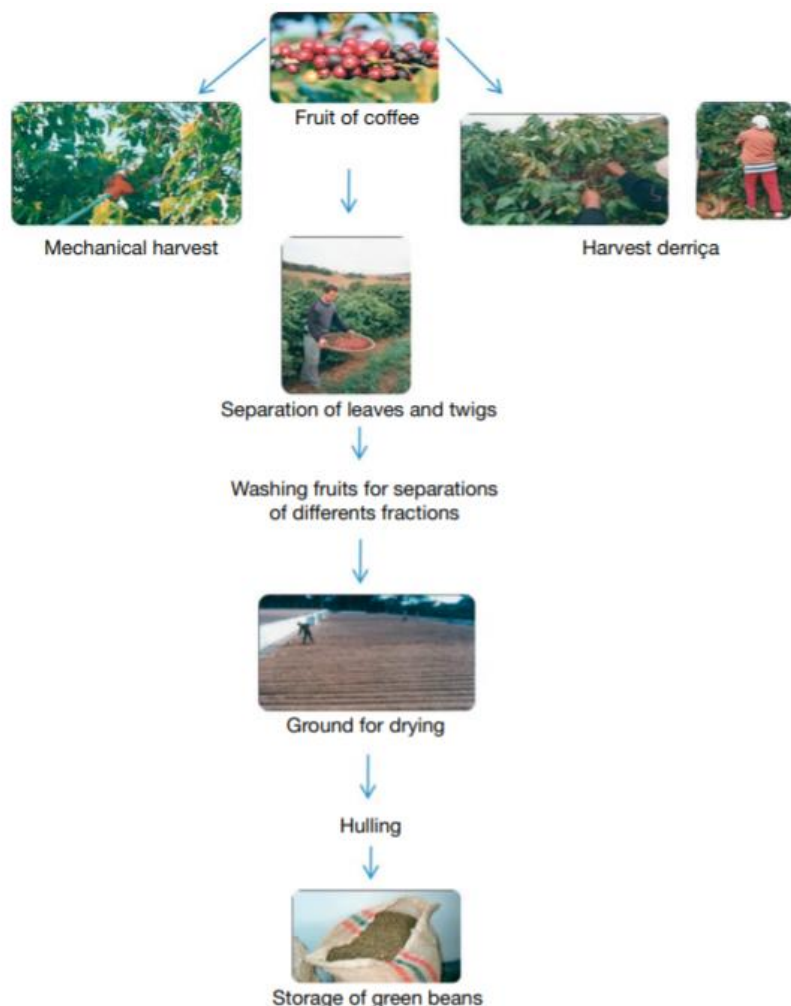
Η ξηρή μέθοδος, γνωστή και ως φυσική μέθοδος, είναι η παλαιότερη και απλούστερη τεχνική επεξεργασίας, καθώς είναι λιγότερο απαιτητική σε εξοπλισμό, απ' ό,τι οι άλλες μέθοδοι. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ξηραίνεται ολόκληρο το κεράσι και η διαδικασία καθίσταται φιλική προς το περιβάλλον, καθώς παράγει χαμηλές ποσότητες στερεών και υγρών αποβλήτων, ενώ αποφεύγεται η παραγωγή λυμάτων με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικές ύλες.

Αρχικά, τα κεράσια που συλλέγονται ταξινομούνται και καθαρίζονται, με σκοπό να διαχωριστούν τα υπερβολικά κατεστραμμένα και παράλληλα να αφαιρεθούν ξένα σώματα όπως βρωμιά, χώμα, κλαδιά και φύλλα. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί με το χέρι, χρησιμοποιώντας μεγάλα κόσκινα. Τυχόν ανεπιθύμητα κεράσια και ξένα σώματα παραμένουν στην κορυφή του κόσκινου. Στη συνέχεια απλώνονται είτε σε πλακόστρωτα/πεζούλια είτε σε ειδικές κατασκευές (υπερυψωμένα «κρεβάτια») από συγκριμένα υλικά, ώστε να μειωθεί η περιεκτικότητά τους σε υγρασία, με έκθεση στον ήλιο. Οι παραγωγοί που χρησιμοποιούν τα «κρεβάτια» πετυχαίνουν καλύτερο αερισμό μεταξύ των κερασιών και συνεπώς πιο ομοιόμορφο στέγνωμα. Μια άλλη ενέργεια που είναι απαραίτητη για το ομοιόμορφο στέγνωμα, αλλά και για την αποφυγή της ζύμωσης σε αυτό το στάδιο ή το σάπισμα, είναι η συχνή ανάδευση και το αναποδογύρισμα των κερασιών. Όταν τα κεράσια στεγνώσουν σε επιθυμητό επίπεδο (11-12% υγρασία), συλλέγονται και αποθηκεύονται σε ειδικά σιλό για περίπου 1-2 μήνες, στη συνέχεια δε οι κόκκοι διαχωρίζονται μηχανικά από τον φλοιό και την περγαμηνή που τους περιβάλλει και ταξινομούνται.

Η ξηρή μέθοδος προσδίδει στον καφέ συγκεκριμένο, ευχάριστο άρωμα και ιδιαίτερη γεύση, αλλά, σε ορισμένες περιπτώσεις, οι χαρακτήρες αυτοί μπορεί να γίνουν δυσάρεστοι. Αποδίδει φρουτώδεις γεύσεις στο φλιτζάνι, με νότες μούρων, φράουλας ή τροπικών φρούτων, ανεξαρτήτως της ποικιλίας και του εδάφους. Όμως, συχνά αποδίδει πολύ δυσάρεστη γεύση και οσμή που θυμίζουν στάβλο και κοπριά ζώων (Hoffmann, 2018). Αυτό έχει σαν συνέπεια, η μέθοδος αυτή να χρησιμοποιείται για χαμηλής ποιότητας καφέ, ο οποίος χάνει την εμπορική του αξία και διατίθεται σε τοπικές αγορές λιανικής (σούπερ μάρκετ).

Η ξηρή μέθοδος δεν συνιστάται σε πολύ βροχερές περιοχές, όπου η υγρασία της ατμόσφαιρας είναι πολύ υψηλή ή όπου βρέχει συχνά κατά τη διάρκεια της συγκομιδής (Batista, 2016). Χρησιμοποιείται κυρίως σε περιοχές που δεν υπάρχει εύκολη πρόσβαση σε νερό, όπως η Αιθιοπία και η Βραζιλία. Το 90% του καφέ arabica που παράγεται σε αυτές τις

χώρες υφίσταται επεξεργασία με αυτή τη μέθοδο, όπως και ο καφές robusta. Άλλες χώρες, στις οποίες χρησιμοποιείται η ξηρή μέθοδος, είναι η Αϊτή, η Παραγουάη, η Ινδία και ο Ισημερινός.



Εικόνα 4.1. Κύρια βήματα που εμπλέκονται στη ζύμωση φυσικού καφέ με την ξηρή μέθοδο (Batista, 2016)

4.1.2. ΥΓΡΗ ΜΕΘΟΔΟΣ (Washed Process)

Η υγρή μέθοδος ονομάζεται και μέθοδος «πλύσης». Είναι η πιο ακριβή μέθοδος επεξεργασίας, καθώς απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και μεγάλες ποσότητες νερού. Στόχος αυτής της μεθόδου είναι η απομάκρυνση της σάρκας του καρπού από τους κόκκους, πριν αυτοί υποβληθούν σε ξήρανση μέσω της ηλιακής ενέργειας.

Όπως σε όλες τις μεθόδους επεξεργασίας, έτσι και στην υγρή μέθοδο, αρχικά πρέπει να γίνει ο διαχωρισμός των κερασιών από τυχόν φύλλα ή κλαδιά. Στη συνέχεια, τα κεράσια μεταφέρονται σε δεξαμενές με νερό, όπου γίνεται η διαλογή των ώριμων από τους ανώριμους καρπούς. Οι τελευταίοι επιπλέουν, λόγω διαφορετικής πυκνότητας, και έτσι

απομακρύνονται πριν προχωρήσει η διαδικασία της ξήρανσης. Στη συνέχεια, μεταφέρονται σε ειδικές μηχανές πολτοποιήσης, όπου, μέσω της τριβής που προκαλείται στο κεράσι, απομακρύνεται η σάρκα και η επιδερμίδα από τον κόκκο, αποφεύγοντας τον τραυματισμό του. Η σάρκα που έχει απομακρυνθεί χρησιμοποιείται σαν λίπασμα. Οι εναπομείναντες κόκκοι έχουν ακόμα το σπερματόδερμα, το ενδοκάρπιο και μία κολλώδη, βλενώδη επιφάνεια, η οποία αποτελείται από 84,2% νερό, 8,9% πρωτεΐνη, 4,1% ζάχαρη, 0,91% πηκτινικές ουσίες και 0,7% τέφρα. Για να μπορέσει να απομακρυνθεί ένα μεγάλο ποσοστό από αυτή τη βλέννα, οι κόκκοι μεταφέρονται με ρεύμα νερού σε δεξαμενές ζύμωσης για 12-48 ώρες. Εκεί, η βλέννα υδρολύεται από ένζυμα του καφέ, καθώς και από παρόμοια ένζυμα που βρίσκονται στην επιδερμίδα των καρπών. Στο τέλος αυτής της διαδικασίας, η βλέννα έχει αποικοδομηθεί σε τέτοιο βαθμό, ώστε να αφαιρείται πολύ εύκολα κατά τη μετέπειτα διαδικασία πλύσης των κόκκων που πραγματοποιείται σε δεξαμενές με καθαρό νερό ή με χρήση ειδικού εξοπλισμού πλυσίματος. Η διάρκεια και η ταχύτητα της ζύμωσης εξαρτώνται από το υψόμετρο, το πάχος του βλεννογόνου, τη συγκέντρωση των ενζύμων και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο πιο γρήγορα εξελίσσεται η ζύμωση. Ωστόσο, μεγαλύτερη παραμονή των κόκκων στο στάδιο της ζύμωσης μπορεί να προκαλέσει δυσάρεστη οσμή και γεύση. Στη συνέχεια, οι κόκκοι ξηραίνονται στον ήλιο, είτε σε τσιμεντένια δάπεδα/κρεβάτια ή σε μηχανικά ξηραντήρια με ρεύμα ζεστού αέρα (65-85°C). Όταν ολοκληρωθεί αυτό το στάδιο, η περγαμνή που είναι ακόμη προσκολλημένη στους κόκκους αφαιρείται μηχανικά με αποφλοιωτικές μηχανές.

Όταν η διαδικασία της πλύσης ακολουθηθεί με ακρίβεια, διασφαλίζεται ότι η ποιότητα των κόκκων του καφέ θα διατηρηθεί καλύτερα και ο πράσινος καφές θα είναι ομοιογενής, αποκτώντας υψηλότερη οικονομική αξία. Από αυτή τη μέθοδο προκύπτει ο λεγόμενος «πλυμένος» καφές, ο οποίος δίνει πιο «μαλακό» ρόφημα, με λιγότερο «σώμα» και μεγαλύτερη οξύτητα, από ό,τι ο καφές που παράγεται με τη φυσική μέθοδο. Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται για όλους τους καφέδες *arabica* και χρησιμοποιείται στην Κολομβία, στην Κένυα, στις χώρες της κεντρικής Αμερικής και στη Χαβάη (δεν χρησιμοποιείται στη Βραζιλία, στην Αιθιοπία και στην Υεμένη). Αναφορικά με την ποικιλία *robusta*, μόνο ένα μικρό ποσοστό της παραγωγής επεξεργάζεται με αυτόν τον τρόπο (Belitz et al., 2009, Hoffmann, 2018).



Εικόνα 4.2. Κύρια βήματα που εμπλέκονται στη ζύμωση φυσικού καφέ με την υγρή μέθοδο (Batista, 2016)

4.1.3. ΗΜΙΞΗΡΗ ΜΕΘΟΔΟΣ (Semi-washed process)

Η ημίξηρη μέθοδος αποτελεί ενδιαμέση διαδικασία, μεταξύ ξηρής και υγρής επεξεργασίας. Μετά τη συλλογή και διαλογή, τα κεράσια αποφλοιώνονται και ξηραίνονται μερικώς, μέχρις ότου επιτευχθεί ποσοστό υγρασίας 30-35% (αντί του 11-12% της ξηρής μεθόδου). Στη συνέχεια αφαιρείται και η περγαμνή (σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους επεξεργασίας) και ακολουθεί η τελική ξήρανση των κόκκων, μέχρι η υγρασία να φτάσει τα επίπεδα ασφαλείας για μικροβιολογικές προσβολές κατά την αποθήκευση. Η επεξεργασία αυτή δίνει ένα ρόφημα καφέ με χαμηλότερη οξύτητα, περισσότερο «σώμα» και γεύσεις ξύλου, χρώματος, καπνού και δέρματος. Χρησιμοποιείται στην Ινδονησία (Hoffmann, 2018).



Εικόνα 4.3. Κύρια βήματα που εμπλέκονται στη ζύμωση φυσικού καφέ με την ημίξηρη μέθοδο (Batista, 2016)

Οι πράσινοι κόκκοι που παράγονται μέσω φυσικής επεξεργασίας χρησιμοποιούνται συνήθως σε μίγματα εσπρέσο, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στη διαμόρφωση των τελικών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του καφέ. Επιπλέον, η ζύμωση και η ξήρανση του καφέ πρέπει να πραγματοποιείται με συγκεκριμένη σειρά, ώστε να ελέγχεται η ανάπτυξη νηματοειδών μυκήτων που μπορεί να επηρεάσουν το άρωμα και να παράξουν μυκοτοξίνες. Οι διαφορετικές μέθοδοι επεξεργασίας των καρπών αποτελούν δείκτες ποσοτικών και ποιοτικών διαφορών, όσον αφορά τους εμπλεκόμενους μικροοργανισμούς. Η ξηρή διαδικασία χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ποικιλότητα μικροβιακών ειδών, έναντι τωνυπολοίπων μεθόδων, επειδή η επεξεργασία αφορά ολόκληρο το κεράσι. Στις άλλες μεθόδους, η απομάκρυνση του φλοιού και της σάρκας, απομακρύνει ταυτόχρονα και τους μικροοργανισμούς.

4.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΖΥΜΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΦΕ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΖΥΜΩΣΕΩΝ

Με τον όρο «ζύμωση» εννοείται μια μικροβιακή μεταβολική διαδικασία που χρησιμοποιεί σάκχαρα, παρουσία ή απουσία οξυγόνου (αερόβια ή αναερόβια αντίστοιχα). Είναι η διαδικασία κατά την οποία σύνθετα μόρια διασπώνται σε μικρότερα, δίνοντας υγρά προϊόντα και αέρια (πτητικές ενώσεις) (Haile et al., 2019). Η ζύμωση στον καφέ αφορά τη διαδικασία κατά την οποία η σάρκα και η βλέννα που περιβάλλουν τους κόκκους του καφέ αποικοδομούνται μέσω μικροβιακής δράσης. Με τη διαδικασία αυτή προκύπτει πληθώρα μεταβολιτών, οι οποίοι προσδίδουν εξαιρετική πολυπλοκότητα στη γεύση του ροφήματος. Οι μεταβολίτες αυτοί μπορεί να περιλαμβάνουν οργανικά οξέα, ανώτερες αλκοόλες και εστέρες (Pereira et al., 2015). Η βλέννα του καφέ αποτελείται από 84,2% νερό, 8,9% πρωτεΐνες, 4,1% σάκχαρα, 0,91% πηκτίνη και 0,7% τέφρα (Belitz et al., 2009). Επηρεάζει τον χρόνο ξήρανσης των κόκκων (ενίστε τον επιμηκύνει) και ορισμένες φορές είναι αιτία δημιουργίας μούχλας, παράγοντες που επηρεάζουν την τελική ποιότητα του ροφήματος (Haile et al., 2019). Για τον λόγο αυτό, η ζύμωση είναι απαραίτητη, ώστε να απομακρυνθεί αυτό το υλικό.

4.2.1. ΦΥΣΙΚΗ ΖΥΜΩΣΗ

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην αποδόμηση της βλέννας των κόκκων, μέσω των ενζύμων που απαντούν φυσικά στον καρπό ή έχουν παραχθεί από τη φυσική μικροχλωρίδα του περιβάλλοντος. Οι κόκκοι καφέ, αφού προηγουμένων αφαιρεθεί μέρος της σάρκας με μηχανικό τρόπο, τοποθετούνται σε δεξαμενές από μπετόν ή ξύλο ώστε να ζυμωθούν, είτε κάτω από νερό, είτε με συνεχή αποστράγγιση του νερού και χρήση των υγρών που εκκρίνουν οι ίδιοι οι καρποί. Προτιμάται η τελευταία διαδικασία, η οποία είναι γνωστή και ως ξηρή ζύμωση. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το χρόνο της φυσικής ζύμωσης είναι το στάδιο ωρίμανσης των καρπών, η θερμοκρασία, η τιμή του pH, η συγκέντρωση ιόντων, η ποικιλία του καφέ, το πλήθος των μικροοργανισμών που λαμβάνουν μέρος, καθώς και η συχνότητα αερισμού. Ως εκ τούτου, μπορεί να διαρκέσει από 20 έως 100 ώρες. Έχει αποδειχθεί ότι η πτώση της θερμοκρασίας και της τιμής του pH επιβραδύνει το ρυθμό ζύμωσης και οι αερόβιες ζυμώσεις πραγματοποιούνται πιο γρήγορα από τις αναερόβιες. Ωστόσο, οι αναερόβιες ζυμώσεις που πραγματοποιούνται κάτω από το νερό, αποδίδουν περισσότερες πτητικές ουσίες, οι οποίες ενδέχεται να επηρεάσουν την ποιότητα του ροφήματος. Προκειμένου να αποφευχθούν οι δυσάρεστες συνέπειες της εκτεταμένης ζύμωσης, η όλη διαδικασία θα πρέπει να πραγματοποιείται υπό απόλυτα ελεγχόμενες συνθήκες (Nigam, 2014).

Τα τρία πιο σημαντικά ένζυμα που παράγονται από μικροοργανισμούς κατά τη διάρκεια της ζύμωσης του καφέ είναι η λυάση της πηκτίνης, η πολυγαλακτουρονάση και η πηκτινο-μεθυλεστεράση. Πολλυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι οι μικροοργανισμοί που παράγουν αυτά τα ένζυμα είναι στελέχη των ζυμών *Candida parapsilosis*, *Debaryomyces hansenii*, *Kluyveromyces marxianus*, *Pichia guilliermondii*, *P. fermentans*, *P. kluyveri* και *Saccharomyces cerevisiae* και συνεπώς θεωρείται ότι διαθέτουν πηκτινολυτική δράση (Pereira et al., 2018). Η πολυγαλακτουρονάση είναι το κύριο ένζυμο που εμπλέκεται στην ζύμωση του καφέ και καταλύει την υδρόλυση του α-1,4 γλυκοζιτικού δεσμού του πηκτινικού οξέος (πολυγαλακτουρονικό οξύ). Τέλος, η μεθυλική εστεράση της πηκτίνης είναι υπεύθυνη για την αποεστεροποίηση της μεθοξυλομάδας της πηκτίνης, σχηματίζοντας πηκτικό οξύ και μεθανόλη (Haile et al., 2019).

4.2.2. ΖΥΜΩΣΗ ΜΕ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΕΝΖΥΜΑ

Τα εμπορικά ένζυμα είναι γενικά μείγματα πηκτινολυτικών ενζύμων, αλλά μπορεί να περιέχουν ημικυτταρινάσες και κυτταρινάσες. Λόγω οικονομικών περιορισμών, αυτά τα ένζυμα δεν χρησιμοποιούνται ευρέως. Οι περισσότερες μονάδες επεξεργασίας περιορίζουν τη χρήση των εμπορικών ενζύμων κατά τις περιόδους μέγιστης παραγωγής ή όταν οι φυσικές ζυμώσεις εξελίσσονται με βραδύ ρυθμό (Nigam, 2014).

4.2.3. ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΖΥΜΩΣΗΣ

Δεδομένου ότι οι κόκκοι καφέ ζυμώνονται από μεγάλη ποικιλία μικροοργανισμών, η ποιότητα των προϊόντων καφέ ποικίλλει ανάλογα με τις πρώτες ύλες, παρόλο που έχει υποστεί επεξεργασία υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Πρόσφατα προτάθηκε η χρήση καλλιεργείων εκκίνησης ως εναλλακτική λύση για τον έλεγχο της διαδικασίας της ζύμωσης και για την προώθηση της ποιοτικής ανάπτυξης του καφέ. Ωστόσο, η πιθανή χρήση καλλιεργείων εκκίνησης για ζύμωση καφέ δεν έχει, προς το παρόν, μελετηθεί επαρκώς. Οι προοπτικές που δημιουργούνται από την εφαρμογή καλλιεργείων εκκίνησης αφορούν τη μείωση του χρόνου ζύμωσης (πηκτινολυτική δραστηριότητα) και τη βελτίωση του ελέγχου της διαδικασίας, τη βελτίωση της ποιότητας του καφέ (μέσω της παραγωγής μεταβολιτών που προσδίδουν ευχάριστη γεύση και άρωμα στο τελικό προϊόν), καθώς και τα χαρακτηριστικά ασφάλειας του προϊόντος (αναστολή της ανάπτυξης τοξινογόνων μυκήτων) (Pereira et al., 2015).

4.2.3.1. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΘΥΜΗΤΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

Η χρήση καλλιεργειών εκκίνησης, με σκοπό μια ελεγχόμενη ζύμωση, μπορεί να εξασφαλίσει την καλύτερη ποιότητα καφέ και να αυξήσει τα οικονομικά οφέλη για τους καλλιεργητές. Οι μικροοργανισμοί αναμένεται να μην είναι παθογόνοι, να μην είναι τοξικοί και παράλληλα να είναι προσαρμόσιμοι στις πρώτες ύλες και τη διαδικασία. Πρέπει επίσης να παράγουν αισθητηριακή ποιότητα, να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής, να μειώνουν το χρόνο επεξεργασίας και να καταστέλλουν την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών που σχετίζονται με τα τρόφιμα. Μέχρι σήμερα έχει αναφερθεί περιορισμένος αριθμός μελετών σχετικά με τη χρήση καλλιεργειών εκκίνησης για τη ζύμωση του καφέ. Η πρώτη μελέτη, από τους Agate και Bhat (1966), εισήγαγε με επιτυχία μια πρώτη καλλιέργεια εκκινητών ζύμωσης καφέ. Η μελέτη κατέδειξε ότι η προσθήκη ενός μείγματος τριών ειδών του γένους *Saccharomyces*, και ειδικότερα των *S. marxianus*, *S. bayanus* και *S. cerevisiae* var. *ellipsoideus*, διευκόλυνε τη διαδικασία ζύμωσης (Haile et al., 2019).

4.2.4. ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΚΟΚΚΩΝ ΚΑΦΕ ΚΑΙ Ο ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ

Η μικροβιακή οικολογία της ζύμωσης του καφέ έχει αναγνωριστεί πάνω από εκατό χρόνια κι έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες, όμως είναι ένας τομέας που χρήζει περαιτέρω έρευνας για να προσδιοριστούν συγκεκριμένες μικροβιακές ομάδες που επηρεάζουν την τελική ποιότητα. Οι μικροοργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για τη ζύμωση, φαίνεται να επηρεάζουν τη μέθοδο επεξεργασίας του καφέ και την ποιότητά του α) μέσω της διάσπασης της βλέννας και των βλενωδών υλικών, β) προσδίδοντας θετικά χαρακτηριστικά στη γεύση και το άρωμα του ροφήματος, γ) προσδίδοντας αρνητικά χαρακτηριστικά στη γεύση και το άρωμα του ροφήματος, δ) επηρεάζοντας την δημιουργία μυκοτοξινών (συνεπώς και την ασφάλεια του καφέ) και ε) μέσω του βιοελέγχου της ποιότητας (Schwan & Fleet, 2014).

Οι μικροοργανισμοί αυτοί είναι οι ζύμες (πχ. είδη των γενών *Pichia*, *Debaryomyces*, *Sacharomyces* και *Candida*), βακτήρια (της οικογένειας *Enterobacteriaceae*, οξυγαλακτικά βακτήρια και είδη του γένους *Bacillus*), καθώς και νηματοειδείς μύκητες (είδη των γενών *Aspergillus*, *Penicillium* και *Fusarium*). Ποικίλλουν ανάλογα με το είδος του καφέ, τις φυσικο-χημικές ιδιότητες της βλέννας, εξωτερικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία και το διαθέσιμο οξυγόνο, καθώς και με τη βιοχημική δράση που πραγματοποιείται στον καρπό. Στις τροπικές περιοχές, αναπτύσσονται ταχύτατα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (25-30°C).

Πρώτος ο Loew απέδωσε στις ζύμες τη διαδικασία της ζύμωσης το 1907, όταν αυτές σχημάτισαν αιθυλική αλκοόλη, διοξείδιο του άνθρακα και οξικό οξύ. Το 1931, ο Lilienfeld-Toal απομόνωσε αρκετά είδη ζυμών και βακτηρίων από καφέδες που είχαν ζυμωθεί στη Βραζιλία και διαπίστωσε ότι τα κολοβακτηρίδια ήταν τα κυρίαρχα είδη και παρήγαγαν οξέα. Η σύνδεση των οξυγαλακτικών βακτηρίων (LAB) με τη ζύμωση του καφέ έγινε πρώτη φορά από τους Pederson και Breed το 1946, καθώς τα οξέα που παρήγαγαν εμφανίστηκαν σε μεταγενέστερο στάδιο της διαδικασίας, όμως οι ίδιοι αμφισβήτησαν τη σχέση των βακτηρίων αυτών με την αποδόμηση της βλέννας. Την υπόθεση αυτή ενίσχυσαν οι Frank et al. το 1965, σε έρευνα που έκαναν σε καφέ που είχε ζυμωθεί στη Χαβάη το 1958. Στην ίδια τοποθεσία το 1965 από τους ίδιους ερευνητές, παρατηρήθηκε ότι από τα 168 βακτήρια που ταυτοποιήθηκαν, τα 44 είχαν την ικανότητα να διασπούν τη βλέννα σε 5 ώρες ή λιγότερο. Τα βακτήρια αυτά ανήκαν στο γένος *Erwinia* και συγκεκριμένα ήταν στελέχη του *E. dissolvens*. Ωστόσο, υπήρχαν και στελέχη τα οποία αποικοδομούσαν τη βλέννα σε 12 ή και περισσότερες ώρες (Schwan & Fleet, 2014).

Από σχετικές έρευνες, έχει παρατηρηθεί ότι πηγή των μικροοργανισμών αυτών μπορεί να είναι η επιφάνεια των κερασιών, το έδαφος, το νερό που χρησιμοποιείται για την πλύση των κερασιών, ο αέρας, τα χρησιμοποιούμενα εργαλεία, κλπ., με την επιφάνεια των φρούτων να κατέχει την πρώτη θέση. Η μικροχλωρίδα που ταυτοποιείται κατά τη ζύμωση, εξαρτάται από τον βαθμό ωρίμανσης του καρπού, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής και τη χρήση χημικών σκευασμάτων.

Είναι γενικά αποδεκτό ότι οι πράσινοι κόκκοι που έχουν προέλθει από την υγρή μέθοδο επεξεργασίας αποδίδουν καλύτερης ποιότητας τελικό ρόφημα καφέ, με περισσότερο σώμα, υψηλότερη οξύτητα και περισσότερο άρωμα. Σύμφωνα με τον Bytof et al. (2005), αυτό συμβαίνει γιατί, εκτός του ότι επιλέγονται μόνο οι ώριμοι καρποί, κατά την επεξεργασία των κερασιών συμβαίνουν πολλές μεταβολικές διεργασίες στους πράσινους κόκκους, με αποτέλεσμα να αλλάζει η χημική τους σύσταση. Ειδικότερα, το γλουταμινικό οξύ μετατρέπεται σε γ-αμινοβουτυρικό οξύ, μέσω της ενζυμικής α-αποκαρβοξυλίωσης. Η αντίδραση σχετίζεται με το στρες, λόγω έλλειψης νερού κατά τη ξήρανση, και είναι συγκεκριμένη για τον κάθε τρόπο επεξεργασίας που εφαρμόζεται. Επειδή τα ελεύθερα αμινοξέα θεωρούνται βασικές πρόδρομες ενώσεις για την ανάπτυξη της γεύσης και του χρώματος του καβουρδισμένου καφέ, τέτοιες αλλαγές μπορούν ενδεχομένως να εξηγήσουν τις αισθητηριακές διαφορές των διαφόρων τύπων καφέ που έχουν προέλθει από πλυμένους ή μη, κόκκους.

Η ζύμωση που λαμβάνει χώρα πρέπει να γίνεται ελεγχόμενα, ώστε να επιτευχθεί η παραγωγή ροφήματος υψηλής ποιότητας, με ευχάριστο άρωμα. Σε αντίθετη περίπτωση, μια αποτυχημένη ζύμωση έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη αλλοιογόνων οργανισμών που επηρεάζουν δυσμενώς, τόσο το άρωμα του καφέ, όσο και τη γεύση. Οι κόκκοι που έχουν προέλθει από παρατεταμένη ζύμωση συνήθως αναφέρονται ως «βρωμιά» (“stinkers”). Αυτοί οι υποβαθμισμένοι κόκκοι καφέ περιέχουν υπολειμματικό βλεννογόνο και σάκχαρα που αποτρέπουν την ξήρανση και, κατ’ αυτόν τον τρόπο, δημιουργούν ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη βακτηρίων και μυκήτων αλλοίωσης (Pereira et al., 2017).

Ενώ τα οξέα στον καφέ δεν πρέπει να απαντούν σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από 1 mg/mL, η ποιοτική υποβάθμιση των κόκκων ενθαρρύνει την παραγωγή ανεπιθύμητων ενώσεων, ιδίως προπιονικού και βουτυρικού οξέος, τα οποία προσδίδουν γεύση κρεμμυδιού. Τα είδη του γένους *Bacillus*, ειδικά το *B. megaterium*, μπορεί να είναι υπεύθυνα για το προπιονικό οξύ που βρίσκεται στους καφέδες που υποβάλλονται σε επεξεργασία μέσω ξηρής ή φυσικής επεξεργασίας. Όπως περιγράφεται από τους Silva et al. (2008a), το προπιονικό οξύ ανιχνεύεται σε υψηλές συγκεντρώσεις μόνο όταν η διαδικασία ζύμωσης προχωρήσει πέραν της βέλτιστης διάρκειας. Τα βακτηρίδια της οικογένειας *Enterobacteriaceae* οδηγούν στην παραγωγή υπερβολικής ποσότητας οξικού οξέος κατά τη διάρκεια παρατεταμένης ζύμωσης με ξηρή επεξεργασία. Οι Bade-Wegner et al. (1997) δηλώνουν ότι η παρατεταμένη ζύμωση μπορεί επίσης να παράξει λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας και τους εστέρες τους, όπως ο 2-μεθυλο βουτανοϊκός αιθυλεστέρας, ο 3-μεθυλο βουτανοϊκός αιθυλεστέρας και ο αιθυλεστέρας κυκλοεξανοϊκού οξέος. Τα παραπάνω παράγωγα, εάν είναι παρόντα σε συγκεντρώσεις υψηλότερες των τιμών 1,8, 13,9 και 14 mg/kg, αντίστοιχα, μπορεί να είναι επιζήμια για την ποιότητα του καφέ (Haile et al., 2019). Αντίθετα, η παρουσία μηλικού και κιτρικού οξέος (>1 mg/kg) προσδίδει μια επιθυμητή οξύτητα στο τελικό προϊόν (Schwan & Fleet, 2014).

Οι μυκοτοξίνες είναι τα παράγωγα που εκκρίνουν ορισμένοι υφομήκυτες. Οι σημαντικότερες είναι οι αφλατοξίνες B1, B2, G1, G2, η ωχρατοξίνη A (OTA), η πατουλίνη, η φουμονισίνη B1, η ζεαραλενόνη, η δεοξυνιβαλενόλη, η T-2 και η νιβαλενόλη. Η πρώτη αναφορά στις μυκοτοξίνες στον καφέ πραγματοποιήθηκε από τους Levi et al., το 1974 και βρέθηκε ότι, τόσο οι αερόβιες, όσο και οι αναερόβιες συνθήκες, ευνοούν την παραγωγή τους. Η μόνη τοξίνη που έχει βρεθεί είναι η ωχρατοξίνη και γι’ αυτό υπάρχουν νομοθετικά όρια για τους κόκκους που εισάγονται σε τρίτες χώρες. Στον καφέ, το είδος που έχει αναγνωριστεί ως η μεγαλύτερη πηγή ωχρατοξίνης είναι το *Aspergillus ochraceus*, καθώς και τα *A. carbonarius* και *A. niger* (Velmourougane et al. 2011a, Pereira et al., 2015). Σε κεράσια

που είχαν επεξεργαστεί με τη ξηρή μέθοδο, η συγκέντρωση ωχρατοξινών ήταν 100 ppb, δηλαδή δέκα φορές υψηλότερη από τα επιτρεπτά όρια της Βραζιλίας και είκοσι από εκείνα της Ευρώπης. Η εισβολή τοξικογενών μυκήτων στους πράσινους κόκκους μπορεί να γίνει μέσω εντόμων, όπως είναι το σκαθάρι του καφέ (*Hypothenemus hampei*). Έχει βρεθεί ότι η ξηρή μέθοδος επεξεργασίας αυξάνει τις πιθανότητες προσβολής από νηματοειδείς μύκητες, καθώς το κέρασι ξηραίνεται ολόκληρο και η ενεργότητα νερού στην αρχή της ζύμωσης είναι υψηλότερη από ότι στην υγρή μέθοδο. Αυτό έχει σαν συνέπεια την καθυστέρηση της αφυδάτωσης των κόκκων και τις ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη μυκήτων, ειδικά σε περιοχές με υψηλά ποσοστά ατμοσφαιρικής υγρασίας. Επιπροσθέτως, η βλέννα αποτελεί εξαιρετικό υπόστρωμα για τα στελέχη του *A. carbonarius*, συνεπώς κατά τη μέθοδο πλύσης που η βλέννα αφαιρείται, ο κίνδυνος μειώνεται (Bucheli & Taniwaki, 2002).

Η πρόληψη για τη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης μυκοτοξινών έγκειται κυρίως στις ορθές γεωργικές πρακτικές (GAPs), στις ορθές βιομηχανικές πρακτικές (GMPs) και στις ορθές πρακτικές υγιεινής (GHPs). (Velmouragane et al. 2011a). Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί ότι ορισμένες ζύμες και βακτήρια μπορούν να αναστείλουν την ανάπτυξη αυτών των μυκήτων και έχει προταθεί να γίνεται εμβολιασμός των καλλιεργειών με αυτούς τους μικροοργανισμούς. Στις ζύμες που ανταγωνίζονται τους μύκητες ανήκουν τα είδη *Pichia anomala*, *P. kluyveri*, *Debaryomyces hansenii*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Hanseniaspora unarum*, ενώ στα βακτήρια ανήκουν κάποια είδη των γενών *Leuconostoc*, *Lactobacillus* και *Enterococcus*. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται βιοέλεγχος των ανεπιθύμητων μυκήτων (Schwan & Fleet, 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΟΚΚΩΝ ΚΑΦΕ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΖΥΜΩΣΗΣ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

5.1. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΞΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ

Όπως έχει αναφερθεί, κατά τη ξηρή μέθοδο επεξεργασίας του καφέ, τα κεράσια αφήνονται να αφυδατωθούν με έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία. Κατά τη 10^η έως την 25^η ημέρα ξήρανσης, πραγματοποιείται φυσική ζύμωση, λόγω έκκρισης ενζύμων που διασπούν τον φλοιό και τη βλέννα. Από τη διεργασία αυτή παράγονται αιθανόλη και οξικό οξύ, γαλακτικό οξύ, βουτυρικό οξύ και ανώτερα καρβοξυλικά οξέα. Ωστόσο, οι καρποί που έχουν ξεραθεί σε υπερβολικό βαθμό, γίνονται εύθρυπτοι με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλοί σπασμένοι κόκκοι κατά την αποφλοιώση, ενώ οι καρποί που δεν έχουν ξεραθεί αρκετά γίνονται ευάλωτοι στην ανάπτυξη υφομυκήτων και βακτηρίων.

Στους καρπούς του καφέ έχουν εντοπιστεί επιφυτικοί και ενδοφυτικοί μικροοργανισμοί. Οι επιφυτικοί ποικίλλουν και περιλαμβάνουν ζύμες, βακτήρια και νηματοειδείς μύκητες. Μεταξύ των ενδογενών οργανισμών έχουν αναφερθεί βακτήρια, το είδος των οποίων εξαρτάται από το στάδιο ωρίμανσης του καρπού. Οι Miguel et al. (2013) και οι Vega et al. (2005), διαπίστωσαν ότι στα πρώιμα στάδια ανάπτυξης υπήρχαν είδη του γένους *Bacillus*, ενώ στα μεταγενέστερα στάδια που ο καρπός ήταν κοκκινωπός υπήρχε το είδος *Klebsiella oxytoca*. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη αυτών των μικροοργανισμών είναι οι συνθήκες της ατμόσφαιρας (θερμοκρασία, σχετική υγρασία), η δυνατότητα ανάπτυξης μέσα στη βλέννα με συγκεκριμένο pH, η διαθεσιμότητα οξυγόνου, η περιεκτικότητα σε σάκχαρα και η ενεργότητα ύδατος.

Στην αρχή της ξηρής μεθόδου, η ενεργότητα ύδατος είναι περίπου 0,9 και η τιμή του pH είναι 6,5, τιμές οι οποίες ευνοούν την ανάπτυξη βακτηρίων. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της ζύμωσης, η ενεργότητα ύδατος μειώνεται στο 0,7 περίπου και το pH στο 5,5, λόγω της δράσης ενδογενών ενζύμων των κόκκων και των μεταβολιτών των βακτηρίων. Στο στάδιο αυτό ευνοείται η ανάπτυξη ζυμών.

5.1.1. ΒΑΚΤΗΡΙΑ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΞΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Στην έρευνά τους οι Vaughn et al. (1958) και Silva et al. (2000, 2008), κατέγραψαν πολύ υψηλούς πληθυσμούς βακτηρίων στο αρχικό στάδιο της ζύμωσης. Το ίδιο κατέγραψαν και οι Gaime-Perraud et al. το 1993 σε νωπή σάρκα καφέ. Το 1972, οι Van Pee και Castelein κατέγραψαν έναν αρχικό πληθυσμό βακτηρίων ($2,5 \cdot 10^5$ cfu/g) που ανήκε κατά κύριο λόγο στην οικογένεια *Enterobacteriaceae* και ειδικότερα σε είδη του γένους

Klebsiella. Το πρώτο εικοσιτετράωρο ο πληθυσμός αυξήθηκε στο $15 \cdot 10^7$ cfu/g και μέχρι τις 72 ώρες είχε μειωθεί σε συγκέντρωση $35 \cdot 10^6$ cfu/g. Ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός ότι από αυτά τα βακτήρια το *Enterobacter dissolvens* ήταν πηκτινολυτικό.

Οι Silva et al. (2000) μελέτησαν τους μικροοργανισμούς που είχαν σχέση με τους καρπούς του καφέ κατά τη ξηρή μέθοδο επεξεργασίας σε 15 διαφορετικές φάρμες της Βραζιλίας, για διάστημα δύο ετών. Προέκυψαν δύο σημαντικά ευρήματα. Το πρώτο ήταν η μεγάλη ποικιλία μικροοργανισμών που βρέθηκε σε διαφορετικά δείγματα. Οι βακτηριακοί πληθυσμοί είχαν ένα εύρος από 10^4 έως 10^9 cfu/κόκκο, ανάλογα με τη φάρμα και τη χρονιά, χωρίς όμως να μπορεί να υπάρξει μια μικροβιακή συσχέτιση. Το δεύτερο εύρημα ήταν η μεγάλη ποικιλομορφία των γενών και ειδών που εντοπίστηκαν, και το συμπέρασμα ότι αυτή οφειλόταν ενδεχομένως στα διαφορετικά μέσα έκθεσης και μόλυνσης, όπως το έδαφος, ο αέρας, τα ζώα, τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια και η βροχόπτωση.

Το 2008, η ίδια ομάδα προσπάθησε να κάνει πιο συγκεκριμένη την έρευνά της, χρησιμοποιώντας μόνο ώριμους καρπούς (χαρακτηριστικό της υγρής μεθόδου επεξεργασίας). Η συλλογή των δειγμάτων γινόταν κάθε 48 ώρες μέχρι την 22^η ημέρα της ζύμωσης. Βρέθηκε ότι ο ίδιος ο θάμνος του καφέ είχε μια πληθώρα μικροοργανισμών, με τα βακτήρια να επικρατούν σε ποσοστό 96,3%. Μέχρι την 8^η ημέρα ο βακτηριακός πληθυσμός είχε μειωθεί στο 50% περίπου ($a_w=0,85$), ώσπου την 14^η ημέρα της ζύμωσης είχε πλέον μειωθεί κάτω από 10% ($a_w=0,82$). Από τα βακτήρια που ταυτοποιήθηκαν, τα κυριότερα ήταν τα *Tatumella tyseos*, *Pseudomonas putrefaciens*, *Proteus mirabilis*, *E. aerogenes*, *Acinetobacter* spp., καθώς και τα *Bacillus subtilis*, *B. macerans* και *B. megaterium*. Αξίζει να σημειωθεί ότι αρκετά από αυτά είχαν πηκτινολυτική δράση και ιδιαίτερα τα είδη του γένους *Bacillus*.

5.1.2. ΖΥΜΕΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΞΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Στην ίδια έρευνα, οι Silva et al. (2000, 2008a) κατέγραψαν 15 είδη ζυμών (200 αποικίες), εκ των οποίων, τα 7 είδη είχαν πηκτινολυτική δράση. Από τα είδη που ταυτοποιήθηκαν, το κυρίαρχο ήταν το *Debaryomyces hansenii* (~40%), ακολουθούμενο από το *Pichia guilliermondii* (~20%). Ωστόσο, συχνή ήταν και η εμφάνιση του γένους *Candida*. Τα είδη αυτά είχαν τους μεγαλύτερους πληθυσμούς κατά την 14^η-18^η ημέρα, το διάστημα δηλαδή που οι ζύμες είχαν φτάσει την υψηλότερη συγκέντρωση στο σύνολό τους (10^6 cfu/g), αν και εντοπιζόνταν σε όλη τη διάρκεια της ζύμωσης. Τα είδη που ενδεχομένως διασπούν τη σάρκα και το βλεννώδες υλικό του κόκκου είναι τα *D. hansenii*, *D.*

polymorphus, *P. anomala*, *P. holstii*, *P. burtonii*, *P. Guilliermondii* και *Arxula adenivorans* (Silva et al., 2000, 2008, 2013).

5.1.3. ΝΗΜΑΤΟΕΙΔΕΙΣ ΜΥΚΗΤΕΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΞΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Το διαφορετικό στάδιο ωρίμανσης των κόκκων κατά τη ξηρή μέθοδο επεξεργασίας οδηγεί σε ανομοιόμορφο στέγνωμα των καρπών και συνεπώς σε περισσότερες πιθανότητες να αναπτυχθούν τοξικογενείς μύκητες, λόγω της ημιτελούς αποδόμησης της βλέννας του κόκκου. Κατά τους Silva et al. (2000, 2008), η αποίκιση των υφομυκήτων στην ξηρή μέθοδο επεξεργασίας μπορεί να περιγραφεί σε 4 στάδια:

α) Κατά τις πρώτες τέσσερις ημέρες της ζύμωσης που η ενεργότητα νερού είναι περίπου 0,85, η συγκέντρωση των μυκήτων είναι σε χαμηλά επίπεδα ($\sim 10^2$ cfu/g) καθώς η παρουσία των βακτηρίων και των ζυμών λειτουργεί ανασταλτικά για την ανάπτυξή τους. Παρά τη μικρή συγκέντρωση, βρέθηκε πληθώρα ειδών. Κάποια από αυτά είναι τα *Cladosporium cladosporioides*, *Fusarium lateritium*, *F. solani*, *F. illudens*, *F. moniliforme* (sin. *verticilioides*), *F. nivale*, *Pestalotia* sp., *Paecilomyces* sp., *Penicillium minioluteum*, *P. roquefortii*, *P. solitum*, *P. funiculosum*, *P. brevicompactum*, *P. chrysogenum* και *P. crustosum*.

β) Μεταξύ της 6^{ης} και 12^{ης} ημέρας που η ενεργότητα νερού παρέμεινε στα ίδια επίπεδα, δεν βρέθηκε σημαντική διαφορά του πληθυσμού, αλλά ταυτοποιήθηκαν ακόμα τρία είδη μυκήτων (*P. purpurogenum*, *P. corylophilum*, *A. flavus*).

γ) Μεταξύ 14^{ης} και 18^{ης} ημέρας παρατηρήθηκαν νέα είδη του γένους *Fusarium*.

δ) Τέλος, τις τελευταίες ημέρες της ζύμωσης που η τιμή της ενεργότητας νερού είχε μειωθεί στο 0,71-0,63 (20^η-22^η ημέρα), παρατηρήθηκε αύξηση του πληθυσμού των μυκήτων σε επίπεδα της τάξης των 10^4 - 10^5 cfu/g. Από τα είδη που απομονώθηκαν σε αυτό το στάδιο, το γένος *Aspergillus*, έχει την ικανότητα να αναπτύσσεται σε χαμηλή ενεργότητα νερού και συνεπώς δυνητικά μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα κατά την αποθήκευση των κόκκων, ειδικά στις περιπτώσεις που δεν τηρούνται οι σωστές συνθήκες αποθήκευσης.

Αργότερα, οι Batista et al. (2009) και οι Taniwaki et al. (2003), διεξήγαγαν πιο ενδελεχή έρευνα, σχετικά με τη σχέση των τοξικογενών μυκήτων και τη ξηρή μέθοδο επεξεργασίας. Βρέθηκε ότι στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές η εμφάνιση της ωχρατοξίνης ήταν συνέπεια της ύπαρξης των ειδών *Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus niger*, και *Aspergillus carbonarius*, κάτι που υποδηλώνει ότι η μόλυνση έγινε μετά τη συγκομιδή, συνεπώς τα μέτρα ελέγχου κατά τα στάδια της ζύμωσης, του στεγνώματος, της αποθήκευσης και της διακίνησης ήταν ανεπαρκή (Schwan & Fleet, 2014).

5.2. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ

Σύμφωνα με τους Gonzalez-Rios et al. (2007), κατά την υγρή μέθοδο επεξεργασίας, ο καφές αποκτά τη γεύση του λόγω της μικροβιακής δράσης κατά τη ζύμωση, καθώς η εκτεθειμένη βλέννα αποτελεί ιδανικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Οι μικροβιακοί μεταβολίτες διαχέονται μέσα στον κόκκο και σε επόμενο στάδιο, στο καβούρδισμα, μετατρέπονται σε πτητικούς ενισχυτές γεύσης. Αυτή η μέθοδος επεξεργασίας υπερτερεί της ξηρής, καθώς ο χρόνος, η θερμοκρασία και η αλλαγή του νερού μπορούν να ελεγχθούν πιο εύκολα, ρυθμίζοντας έτσι τη διαδικασία της ζύμωσης, πετυχαίνοντας την επιθυμητή ποιότητα και αποτρέποντας κάποια πιθανή αλλοίωση της γεύσης. Λόγω του ότι η ζύμωση ξεκινά μετά την αφαίρεση της σάρκας, η διάρκειά της είναι μικρότερη από τη διάρκεια της ξηρής επεξεργασίας (περίπου 48 ώρες) και η πτώση του pH από 6 σε 4,3 είναι ταχύτερη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η ποικιλομορφία των μικροοργανισμών να είναι μικρότερη κατά τη ζύμωση με αυτή τη μέθοδο επεξεργασίας που χαρακτηρίζεται κυρίως από την παρουσία βακτηρίων και ζυμών.

5.2.1. ΒΑΚΤΗΡΙΑ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Αρκετές έρευνες έχουν διεξαχθεί σχετικά με την ταυτοποίηση και τον πληθυσμό των βακτηρίων κατά τη ζύμωση στην υγρή επεξεργασία. Από τους πρώτους ήταν οι Pederson και Breed το 1945, οι οποίοι πήραν τα δείγματά τους από την Κολομβία και το Μεξικό. Απομόνωσαν σφαιρικά και ραβδοειδή βακτήρια, τα οποία παρουσίαζαν πηκτινολυτική δράση, χωρίς όμως να αποδομούν εντελώς τη βλέννα. Αυτά τα βακτήρια ήταν τα *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* και *Streptococcus faecalis*.

Οι Agate και Bhat το 1966 διαπίστωσαν πως τα βακτήρια που ταυτοποίησαν στην Ινδία δεν παρουσίαζαν πηκτινολυτική δράση, συνεπώς δεν λάμβαναν μέρος στη διαδικασία αποδόμησης της σάρκας των κόκκων. Ο πληθυσμός τους έφτανε μόλις τα 10^5 - 10^6 cfu/mL, με αποτέλεσμα να υπερτερούν πληθυσμιακά οι ζύμες. Τα βακτήρια αυτά ανήκαν στα γένη *Streptococcus*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium* και *Proteus*.

Οι Frank και Dela Cruz το 1964 και οι Frank et al., το 1965, μελέτησαν τη μικροβιακή οικολογία του καφέ στην περιοχή της Χαβάη, στο εργαστήριο. Σημαντική πληροφορία ήταν το γεγονός ότι το βακτήριο *Enterobacter dissolvens* ήταν πληθυσμιακά κυρίαρχο και είχε την ικανότητα να διασπάσει το βλεννώδες υλικό. Ωστόσο απομονώθηκαν και είδη του γένους *Paracolobactrum* και *Escherichia*, χωρίς να έχουν κάποια ιδιαίτερη δράση.

Οι Avallone et al. το 2001 και το 2002, μελέτησαν την μικροβιακή οικολογία σε καρπούς καφέ στο Μεξικό. Σε αυτή την περίπτωση ο πληθυσμός των βακτηρίων που εντοπίστηκε ήταν μεγαλύτερος των ζυμών και κυμαινόταν μεταξύ 10^7 και 10^8 cfu/mL καθ' όλη τη διάρκεια της ζύμωσης, γεγονός που αποδόθηκε στην υψηλή μόλυνση του νερού της δεξαμενής που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία. Τα κυριότερα είδη που απομονώθηκαν ήταν το *Erwinia herbicola*, είδη του γένους *Klebsiella* καθώς και οξυγαλακτικά βακτήρια (LAB). Κάποια από αυτά τα βακτήρια είχαν την ικανότητα να αποικοδομούν τη βλέννα, όμως έχαναν αυτή την ικανότητα όταν η τιμή του pH του νερού στο οποίο γινόταν η ζύμωση ήταν όξινη (3,5-5,5). Η μείωση του pH του νερού αποδόθηκε στη δράση των οξυγαλακτικών βακτηρίων, τα οποία παρήγαγαν οξικό και γαλακτικό οξύ. Η μείωση αυτή του pH είχε σαν αποτέλεσμα τη διόγκωση και διάσπαση των πολυσακχαριτών του βλεννογόνου των κόκκων.

Οι Holzapel και Müller το 2007 από την έρευνα που έκαναν στην Ανατολική Αφρική, παρατήρησαν ότι ο πληθυσμός των βακτηρίων αυξήθηκε κατά τη διάρκεια της ζύμωσης μέσα σε δεξαμενή από 10^2 - 10^3 cfu/g σε 10^8 cfu/g, μέσα σε μόλις μία ημέρα. Κυρίαρχα ήταν τα οξυγαλακτικά βακτήρια και ποιο συγκεκριμένα είδη που ανήκαν στα γένη *Weissela*, *Lactobacillus* και *Leuconostoc*.

Οι Massawe και Lifa υποστήριξαν το 2010 ότι τα οξυγαλακτικά βακτήρια ενδεχομένως να είναι υπεύθυνα για την διάσπαση της βλέννας του κόκκου του καφέ, χωρίς όμως να συμμετέχουν στη διαδικασία της ζύμωσης. Επιπλέον θεώρησαν ότι η ανάπτυξη αυτών των βακτηρίων ευνοήθηκε από τις αναερόβιες συνθήκες που επικρατούσαν στη δεξαμενή κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, καθώς και ότι η ύπαρξή τους επέτρεψε την πτώση του pH, γεγονός που οδήγησε με τη σειρά του στην αναστολή του πολλαπλασιασμού άλλων βακτηρίων, ευνοώντας την ανάπτυξη των ζυμών.

5.2.2. ΖΥΜΕΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Από τις έρευνες που έχουν διεξαχθεί από τα παλαιότερα χρόνια έως σήμερα, έχει διαπιστωθεί πως οι ζύμες που λαμβάνουν μέρος στην ζύμωση των καρπών του καφέ έχουν μεγάλη ποικιλομορφία, καθώς έχουν εντοπιστεί πολλά και διαφορετικά είδη. Η απομόνωση ειδών που αποδομούν τη βλέννα των κόκκων έχει καταγραφεί, τόσο σε καφέ Arabica, όσο και σε καφέ Robusta. Παρατηρήθηκε ότι ο πληθυσμός των ζυμών στα πρώτα στάδια της ζύμωσης ήταν 10^4 cfu/g και μέσα σε δύο ημέρες αυξήθηκε σε 10^7 cfu/g (Masoud et al., 2004).

Αρχικά, από τους Agate και Bhat το 1966 στην Ινδία και από τους Van Pee και Castelein το 1971 στο Κονγκό, κατά την υγρή ζύμωση, εντοπίστηκαν τα είδη *Saccharomyces marxianus*, *S. Bayanus*, *S.cerevisiae* και *S. cerevisiae* var. *ellipsoideus*, *S.marxianus*, *Schizisaccharomyces* spp., *Candida guilliermondii*, *C. parapsilosis*, *C. pelliculosa*, *Rhodotorula mucilaginosa* και *Torulopsis fumata*. Αργότερα οι Avallone et al. το 2001 απομόνωσαν από υγρή ζύμωση στο Μεξικό τα είδη *Cryptococcus laurentii*, *Kloeckera apis apicutata*, *Cryptococcus albidus* και *Candida guilliermondii* (Pereira et al., 2015). Από τα παραπάνω είδη, αυτά που παρουσίασαν κάποια πηκτινολυτική δράση ήταν εκείνα του γένους *Saccharomyces*. Τα υπόλοιπα εντοπίστηκαν στην επιφάνεια των καρπών και δεν φαίνεται πως επηρεάζουν την αποδόμηση της βλέννας. Ωστόσο, η παραγωγή αλκοολών, οξέων και εστέρων από αυτές τις ζύμες, συμβάλλει στη γεύση και το άρωμα του τελικού ροφήματος. Τέλος, σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Masoud et al. το 2004 στην Τανζανία της Αφρικής, απομονώθηκαν κάποια στελέχη των ειδών *Pichia anomala* και *P. kluyveri*, τα οποία είχαν έντονη δράση της πολυγαλακτουρονάσης, με αποτέλεσμα τη συμβολή τους στην αποδόμηση της βλέννας, αφού τα ένζυμα που έχουν είναι ενεργά στις χαμηλές τιμές pH που επικρατούν κατά τη ζύμωση.

5.2.3. ΝΗΜΑΤΟΕΙΔΕΙΣ ΜΥΚΗΤΕΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Από τις έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, δεν υπάρχουν αναφορές για νηματοειδείς μύκητες που παίρνουν μέρος στην αποδόμηση του βλεννώδους υλικού των κόκκων καφέ. Όσα είδη έχουν απομονωθεί ήταν, είτε επιφυτικά και βρίσκονταν στην επιφάνεια των κόκκων ή στο δέντρο, είτε ενδοφυτικά και βρίσκονταν σε διάφορα μέρη του φυτού, όπως η σάρκα και ο κόκκος. Τα κυριότερα είδη που απομονώθηκαν ήταν τα *Acremonium* spp., *Aspergillus fumigatus*, *A. niger*, *A. pseudodeflectus*, *A. sumatrense*, *A. tubingiensis*, *Eurotium ruber*, *Fusarium solani*, *Giberrella* sp., *Penicillium brevicompactum*, *P. roseorubrum*, *P. crustosum* και το γένος *Pseudozyma* στους κόκκους (Vega et al., 2006, 2008) και *P. olsonii* και *P. steckii* στην πούλπα.

Τα χαμηλά επίπεδα πληθυσμού αυτών των μυκήτων δεν αναιρεί την ύπαρξη και παραγωγή ωχρατοξίνης. Οι Suárez-Quiroz et al. (2004) εντόπισαν χαμηλά επίπεδα αυτής της τοξίνης σε πράσινους κόκκους καφέ (0,2 μg/kg) από τα είδη *A. ochraceus* και *A. niger*. Αυτό οφείλεται ενδεχομένως στις αναερόβιες συνθήκες που επικρατούν στις δεξαμενές πλύσης. Η αύξηση της μόλυνσης δύναται να πραγματοποιηθεί στο στάδιο της ξήρανης, ιδιαίτερα όταν η ζύμωση είναι ημιτελής και υπάρχουν υπολείμματα βλέννας στον κόκκο (Schwan & Fleet, 2014).

5.3. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΗΜΙΞΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ

Σε αυτή τη μέθοδο επεξεργασίας, αποχωρίζεται μηχανικά ένα μέρος τις σάρκας και τα «κεράσια» εκτίθενται στο ήλιο, με σκοπό να μειωθούν τα ποσοστά υγρασίας τις. Τα στοιχεία που έχουμε σχετικά με τη μικροβιακή οικολογία των κόκκων, σε αυτή την περίπτωση, προκύπτουν από τις μελέτες των Vilela et al. (2010) στη Βραζιλία, των Velmourougane et al. (2011a) στην Ινδία και των Gonzalez-Rios et al. (2007a) στο Μεξικό.

5.3.1. ΒΑΚΤΗΡΙΑ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΗΜΙΞΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Σύμφωνα με τις παραπάνω μελέτες, τα βακτήρια που κυριαρχούσαν κατά την ημίξηρη μέθοδο επεξεργασίας ήταν τα *Enterobacter agglomerans* ($5 \cdot 10^6$ cfu/g), *Escherichia coli* ($2 \cdot 10^6$ cfu/g), *Bacillus cereus* ($1 \cdot 10^6$ cfu/g), *Bacillus megaterium* ($1 \cdot 10^2$ cfu/g), *Bacillus macerans* ($2 \cdot 10^3$ cfu/g) και *L. plantarum* ($4 \cdot 10^4$ cfu/g). Όσο προχωρούσε η επεξεργασία, ο πληθυσμός των βακτηρίων μειώθηκε στο 10^2 cfu/g, εκτός από εκείνον του *L. Plantarum*, το οποίο βρισκόταν σε σταθερή συγκέντρωση (10^4 cfu/g), πιθανότατα λόγω του χαμηλού pH που είχε δημιουργηθεί (περίπου 3,3). Άλλα είδη που εντοπίστηκαν ήταν τα *Acinetobacter sp.*, *B. subtilis*, *Bacillus sp.*, *E. herbicola*, *Klebsiella pneumoniae*, *L. brevis*, *Lactococcus lactis*, *L. mesenteroides* και *Serratia sp.*

Οι Velmourougane et al. (2008), εντόπισαν σε ποικιλίες arabica και robusta τα γένη *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Serratia* και *Pseudomonas*, καθώς και γένη οξυγαλακτικών βακτηρίων.

5.3.2. ΖΥΜΕΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΗΜΙΞΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Οι ζύμες που ταυτοποιήθηκαν σε αυτή τη μέθοδο επεξεργασίας είχαν μεγάλη ποικιλία, τόσο σε συγκεντρώσεις, όσο και σε είδη. Στην έρευνα που διεξήχθη στη Βραζιλία, η *Pichia anomala* είχε συγκέντρωση της τάξης του 10^4 cfu/g, η οποία παρέμεινε σταθερή έως και 216 ώρες κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Σύμφωνα με τους Silva et al. (2013), αυτό οφείλεται πιθανότατα στην πηκτινολυτική δράση του μικροοργανισμού. Άλλα είδη ζυμών που εντοπίστηκαν ήταν τα *Arxula spp.*, *Candida ernobii*, *C. fukuyamaensis*, *C. membranifaciens*, *C. carpophila*, *H. uvarum*, *Kloeckera sp.*, *Kluyveromyces spp.*, *Pichia caribbica*, *Rhodotorula mucilaginosa*, *S. Bayanus* και *Torulasporea delbrueckii*.

5.3.3. ΝΗΜΑΤΟΕΙΔΕΙΣ ΜΥΚΗΤΕΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΗΜΙΞΗΡΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Οι νηματοειδείς μύκητες που εντοπίστηκαν είχαν πολύ μικρές συγκεντρώσεις, συνεπώς θεωρείται ότι δεν λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία της ζύμωσης. Τα πιο

σημαντικά είδη που μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα του καφέ είναι τα *Aspergillus tubingensis*, *A. versicolor*, *P. decumbens* και *Cladosporium cladosporioides*, με το τελευταίο να προσδίδει θετικά χαρακτηριστικά (Schwan & Fleet, 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΦΡΥΞΗ (ΚΑΒΟΥΡΔΙΣΜΑ)

Μόλις αφυδατωθούν, οι ωμοί πράσινοι κόκκοι (8-12% της αρχικής περιεκτικότητας σε υγρασία) είναι ιδιαίτερα σκληροί, χαρακτηριζόμενοι από πράσινες-γαιώδεις οσμές. Προκειμένου να αναδείξουν το άρωμά τους, οι κόκκοι πρέπει να υποστούν ειδική θερμική επεξεργασία που είναι γνωστή ως φρύξη ή καβούρδισμα. Το καβούρδισμα αποτελεί την πιο σημαντική διαδικασία που υφίστανται οι πράσινοι κόκκοι, στη διάρκεια της οποίας πραγματοποιούνται πολύπλοκες φυσικοχημικές και άλλες διεργασίες, με το σχηματισμό των πτητικών αρωματικών ουσιών να είναι μείζονος σημασίας. Ταυτόχρονα, μη-πτητικές ενώσεις όπως η καφεΐνη, η τριγονελλίνη, τα χλωρογενικά οξέα, τα λιπίδια, οι πρωτεΐνες και οι υδατάνθρακες, έχουν ενεργό ρόλο στον σχηματισμό του αρώματος και της γεύσης του ροφήματος, δεδομένου ότι αφενός προσδίδουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως η πικράδα, η στυπτικότητα και η γλυκύτητα, και αφετέρου όντας οι ίδιες πρόδρομοι πτητικών ενώσεων.

Η διαδικασία του καβουρδίσματος είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, από άποψη χημικών μεταβολών. Οι ενώσεις που παράγονται από τις αρχικές αντιδράσεις μπορούν να λάβουν μέρος σε μετέπειτα χημικές διαδικασίες, σχηματίζοντας σειρά άλλων ενώσεων που επηρεάζουν το flavor του ροφήματος. Οι κύριες αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά το καβούρδισμα είναι η αντίδραση Maillard, η αποικοδόμηση Strecker, η υδρόλυση και η πυρόλυση (Toledo et al., 2016). Το καβούρδισμα γίνεται σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 190°C έως 220°C και διαρκεί από λίγα δευτερόλεπτα, μέχρι και 15-20 λεπτά περίπου. Σταδιακά, ιδίως στις υψηλότερες θερμοκρασίες, οι πρωτεΐνες, τα σάκχαρα, οι φαινόλες και άλλες ενώσεις αρχικά λαμβάνουν μέρος σε καρβονυλο-άμινο αντιδράσεις Maillard, ακολουθούμενες από αντιδράσεις αφυδάτωσης, κυκλοποίησης, πολυμερισμού και άλλους μετασχηματισμούς που οδηγούν στην παραγωγή σύνθετων αρωμάτων και γεύσεων (Belitz et al., 2009). Όταν οι κόκκοι έχουν ψηθεί στον επιθυμητό βαθμό, ψύχονται με νερό ή με κρύο αέρα, ώστε να διακοπεί η περαιτέρω μοριακή διάσπαση ή/και αλληλεπίδραση (Gloess et al., 2014).

Η διαδικασία από την οποία που περνούν οι κόκκοι, όταν ψήνονται, ονομάζεται πυρόλυση και αφορά τη θερμοχημική και φυσική διάσπαση του οργανικού υποστρώματος, απουσία οξυγόνου. Η διαδικασία περιλαμβάνει ταυτόχρονη τροποποίηση, τόσο της χημικής σύνθεσης, όσο και της φυσικής κατάστασης που είναι επίσης μη-αναστρέψιμη. Οι διαδικασίες αυτές περιγράφονται κατωτέρω.

6.1. ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΒΟΥΡΔΙΣΜΑΤΟΣ

Το πρώτο στάδιο του καβουρδίσματος είναι το «στέγνωμα» των πράσινων κόκκων (drying), δηλαδή η περαιτέρω μείωση της υγρασίας τους. Οι πράσινοι κόκκοι φτάνοντας στο στάδιο του καβουρδίσματος έχουν ένα ποσοστό υγρασίας 7-11%, ανάλογα με την επεξεργασία που έχουν υποστεί. Για να μπορέσουν να αποκτήσουν το τελικό καφέ χρώμα, θα πρέπει να δεχτούν μια μεγάλη ποσότητα θερμότητας ώστε να απομακρυνθεί μεγάλο μέρος της υγρασίας αυτής. Αυτή η φάση ψησίματος είναι ενδοθερμική (απορρόφηση θερμότητας) και λαμβάνει χώρα στους 50°C περίπου, με το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής ενέργειας που προσφέρεται στο σύστημα να καταναλώνεται για την μετουσίωση των πρωτεϊνών και την εξάτμιση του νερού.

Το δεύτερο στάδιο ονομάζεται «κιτρίνισμα». Σε αυτό το στάδιο οι κόκκοι αναδύουν ένα άρωμα που θυμίζει ρύζι μπασμάτι ή ψωμί. Σιγά-σιγά οι κόκκοι διογκώνονται, με αποτέλεσμα να σπάει το σπερματοδερμα που τους περιβάλλει και με τη βοήθεια ρευμάτων αέρα να απομακρύνεται και να συλλέγεται σε ειδικούς χώρους. Τα στάδια αυτά είναι πολύ σημαντικά, γιατί όταν οι κόκκοι δεν έχουν αφυδατωθεί ομοιόμορφα, δεν θα ψηθούν ομοιόμορφα. Αυτό θα αποδώσει ένα ρόφημα με δυσάρεστη γεύση που θα συνδυάζει την πικράδα από το εξωτερικό μέρος των κόκκων, με την οξύτητα και τη γεύση χορταριού από το ανεπαρκώς ψημένο εσωτερικό. Σε θερμοκρασία 100°C και άνω, ξεκινάει η αλλαγή του χρώματος των κόκκων προς το καστανό, καθώς τα οργανικά συστατικά πυρολύονται.

Όταν η θερμοκρασία φτάσει τους 150°C, περίπου, παράλληλα με την αύξηση της ταχύτητας των αντιδράσεων αμαύρωσης απελευθερώνονται πτητικά προϊόντα και πιο συγκεκριμένα νερό, διοξείδιο του άνθρακα και μονοξείδιο του άνθρακα. Στους 180-200°C, η πίεση (λόγω των αερίων) είναι πολύ μεγάλη, με αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου του κόκκου και τελικά το αναγκαστικό σκάσιμό του που απελευθερώνει το γνωστό σε όλους άρωμα του καφέ. Το στάδιο αυτό αποτελεί την τρίτηφάση του καβουρδίσματος και ονομάζεται «πρώτο σκάσιμο» (first crack). Από το σημείο αυτό κι έπειτα, ο υπεύθυνος του καβουρδίσματος μπορεί να επιλέξει τον τερματισμό της διαδικασίας, ανάλογα με το επιδιωκόμενο χρώμα του τελικού προϊόντος.

Στο τέταρτο στάδιο, το οποίο ονομάζεται «πορεία καβουρδίσματος» (roast development), όσο ο καφές δέχεται θερμότητα, αλλάζουν οι αναλογίες της οξύτητας και της πικράδας, και το χρώμα του κόκκου σκουραίνει σταδιακά. Όταν η φρύξη πραγματοποιείται σε ήπιες θερμοκρασίες (196–205°C), οι κόκκοι καταλήγουν με ελαφριά έως μέτρια καστανή απόχρωση. Αυτό συμβαίνει καθώς τα οργανικά οξέα των κόκκων (κιτρικό και μηλικό) αναμιγνύονται με σάκχαρα που έχουν διασπαστεί μέσω πυρόλυσης σε άλλα οξέα

(μυρμηκικό, οξικό και γαλακτικό), δίνοντας στο τελικό προϊόν ήπια έως μέτριας έντασης γεύση. Καθώς η θερμοκρασία του ψησίματος αυξάνεται (210-225°C), το χρώμα του καφέ γίνεται πιο σκούρο, μεσαίο, και οξέα όπως το χλωρογενικό οξύ αρχίζουν να αποδομούνται, με απώτερο σκοπό, αυτό να μειώσει τη στυπτικότητα και την οξύτητα του καφέ. Το ψήσιμο αυτό προσδίδει πληρέστερο σώμα και πλουσιότερη γεύση από τους περισσότερους άλλους τύπους ψησίματος. Όταν ο κόκκος έχει καραμελοποιηθεί πλήρως, υπό άριστες συνθήκες, αποκτά τελικό ποσοστό υγρασίας 1,5-3,5%.

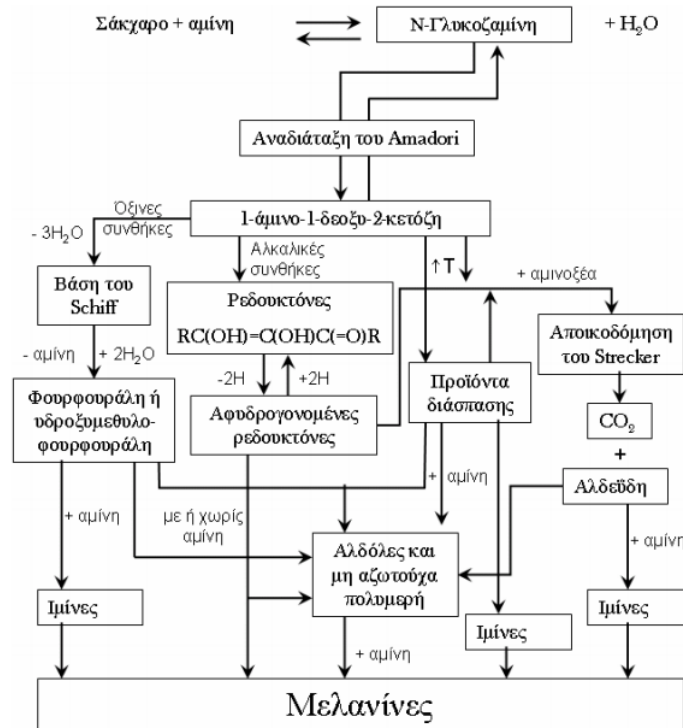
Το τελευταίο στάδιο, το οποίο δεν είναι επιθυμητό για ένα ποιοτικό ρόφημα καφέ, ονομάζεται «δεύτερο σπάσιμο» (second crack). Όταν συμβαίνει αυτό, το μεγαλύτερο μέρος της οξύτητας έχει χαθεί κι έχουν έρθει στην επιφάνεια του κόκκου τα ελαιώδη συστατικά. Το ρόφημα που παράγεται από αυτούς τους κόκκους αποδίδει καμένη γεύση στο φλιτζάνι. Αυτό συμβαίνει γιατί τα οξέα, οι τανίνες και διαλυτά συστατικά, όπως οι υδατάνθρακες, μειώνονται περαιτέρω, ενώ παράλληλα αυξάνεται η πικρότητα που προκύπτει από τις αντιδράσεις αμαύρωσης (Gloess et al., 2014, Hoffmann, 2018, Belitz et al., 2009).

6.2. ΒΙΟΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΡΩΜΑΤΟΣ

Η αντίδραση Maillard προάγει τη δημιουργία πολλών πτητικών ουσιών, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται πυριδίνες, πυραζίνες, φουράνια και πυρόλες. Η αντίδραση πραγματοποιείται μεταξύ καρβονυλομάδων των αναγωγικών σακχάρων και αμινομάδων αμινοξέων ή πρωτεϊνών σε θερμοκρασία δωματίου, αλλά οι υψηλές θερμοκρασίες του καβουρδίσματος (άνω των 160°C) την επιταχύνουν. Άλλοι παράγοντες που ευνοούν την αντίδραση είναι το pH, η υγρασία και η παρουσία ορισμένων μετάλλων.

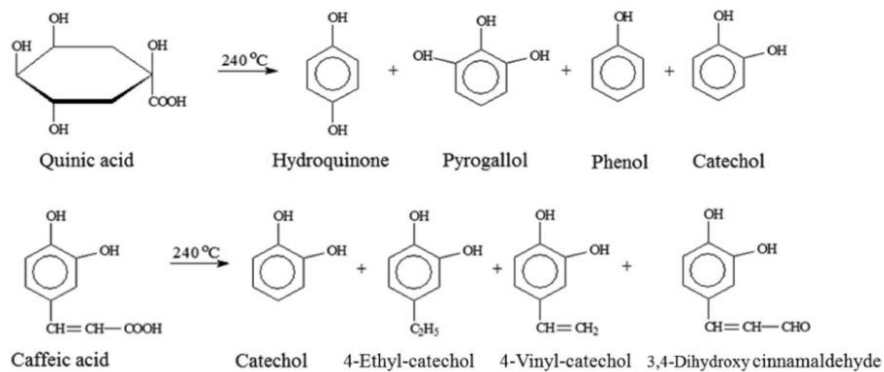
Κατά το πρώτο στάδιο της αντίδρασης αυτής (συμπύκνωση καρβονυλικής ομάδας με αμινομάδα), τα αναγωγικά σάκχαρα αντιδρούν με αμινοξέα παράγοντας γλυκοζυλαμίνη (Toledo et al., 2016). Κατά το δεύτερο στάδιο, τα προϊόντα αναδιάταξης Amadori (1-δεοξυ-1-αμινοκετόζη) παίρνουν μέρος σε αντιδράσεις διάσπασης, αφυδάτωσης και συμπύκνωσης, ακολουθώντας μια από τις τρεις κύριες μεταβολικές οδούς, ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες. Η πρώτη μεταβολική οδός αφορά την περαιτέρω απώλεια μορίων νερού και το σχηματισμό ρεδουκτονών και υδρογονωμένων ρεδουκτονών, οι οποίες στην ανηγμένη τους μορφή είναι ισχυρά αντιοξειδωτικά. Στο δεύτερο μονοπάτι, οι κετοζαμίνες διασπώνται παράγοντας υδρολυτικά παράγωγα με μικρή αλυσίδα, όπως η πυροσταφυλική αλδεΐδη, η ακετόλη, το διακετύλιο και άλλες ενώσεις που στη συνέχεια παίρνουν μέρος, μαζί με αμινοξέα, στην αποικοδόμηση Strecker και στο σχηματισμό αλδεϋδών και θειούχων ενώσεων (3-2-methylbutanal, methional, 3-mercapto-3-methylbutyl formate, 3-methyl-2-

butene-1-thiol, 2-furfurylthiol, methanethiol, and phenylacetaldehyde) (Pereira et al., 2018). Το τρίτο μονοπάτι (βάση του Schiff/μεταβολική οδός της φουρφουράλης) καταλήγει στον σχηματισμό φουρφουράλης και υδροξυμεθυλοφουρφουράλης. Όλα αυτά τα παράγωγα αντιδρούν περαιτέρω με αμινοξέα, στην τρίτη φάση, για να σχηματίσουν μελανές ενώσεις (μελανοΐδινες) (<http://ikee.lib.auth.gr/record/76051/files/gri-2007-590.pdf>).

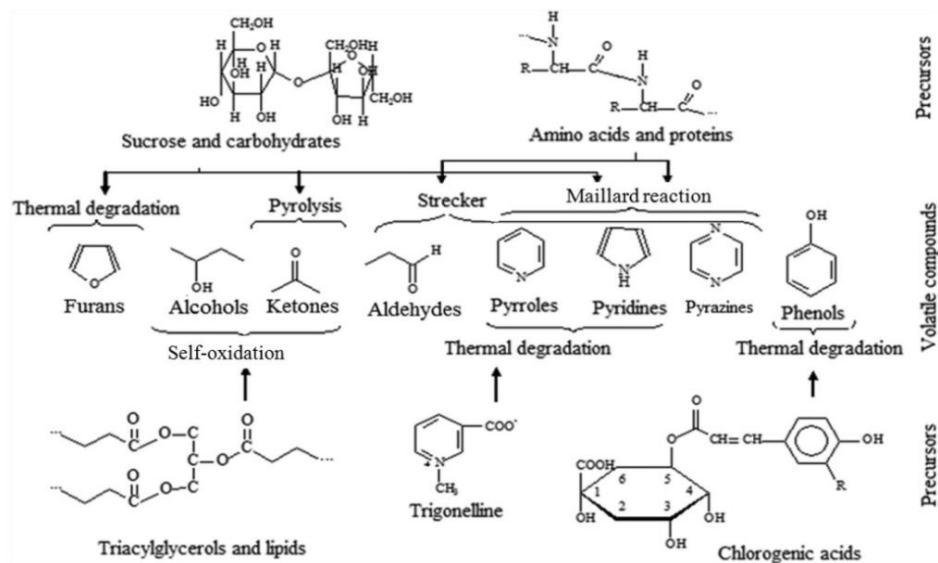


Σχήμα 6.1. Απεικόνιση των αντιδράσεων Maillard όπως δόθηκε από τον Hodge (1953)

Κατά την πυρόλυση, παράγονται προϊόντα που συμβάλλουν στο κλάσματων αρωματικών ενώσεων του καφέ, με τα φαινολικά παράγωγα να είναι σε κυριαρχία. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η διάσπαση των παράγωγων των χλωρογενικών οξέων, κινικού και καφεϊκού σε κατεχόλη και 3,4-διυδροξυκινναμωμική αλδεΐδη, αντίστοιχα.



Εικόνα 6.1. Διαγραμματική απεικόνιση της αποδόμησης του κινικού και καφεϊκού οξέος κατά την πυρόλυση (Toledo et al., 2016)



Εικόνα 6.2. Σχηματική απεικόνιση της σχέσης μεταξύ πρόδρομων ενώσεων και αρωματικών συστατικών (Toledo et al., 2016)

Ανάλογα με τον βαθμό καβουρδίσματος και την ανάπτυξη καστανού χρώματος (ελαφρύ, μέτριο, σκούρο), αναδύονται διαφορετικές πτητικές αρωματικές ενώσεις. Γενικά, εντοπίζονται οι ενώσεις 2,3-πεντανεδιόνη(2,3-pentanedione), 2,5-διμεθυλοπυραζίνη (2,5-dimethylpyrazine), 2-αιθυλοπυραζίνη (2-ethylpyrazine), 2,3-διμεθυλοπυραζίνη (2,3-dimethylpyrazine), 3-αιθυλο-2,5-διμεθυλοπυραζίνη (3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine), 2-μεθυλοβουτανάλη (2-methylbutanal), 2-αιθυλογουαϊακόλη (2-ethylguaiacol) και 4-βινυλογουαϊακόλη (4-vinylguaiacol). Μελέτες έχουν δείξει ότι κατά το ελαφρύ καβούρδισμα (light roast) που γίνεται κυρίως στην Αμερική, αναδύονται γλυκά αρώματα με νότες αμυγδάλου (sweet almond notes) που προέρχονται από τη φουρφουράλη και πιο λιπαρές νότες (buttery notes) προερχόμενες από τη 2-μεθυλοβουτανάλη (2-methylbutanal). Με την πάροδο του χρόνου, οι πιο πτητικές ενώσεις (πτητικά οξέα, φουράνια) χάνουν τη σημαντικότητά τους, πιθανότατα λόγω απωλειών που υφίστανται κατά το καβούρδισμα ή λόγω εκτεταμένης έκθεσης σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, ενώ παράλληλα αυξάνονται οι συγκεντρώσεις μη-πτητικών ενώσεων, όπως τα φουράνια, οι πυραζίνες και οι πυριδίνες.

Σύμφωνα με τους Morais et al. (2007), το μέτριο καβούρδισμα αποτελεί καλύτερη μέθοδο για την παραγωγή ροφημάτων γευστικής δοκιμής, καθώς οι κακής ποιότητας κόκκοι διακρίνονται πιο εύκολα από τους καλής ποιότητας, λόγω των αρωματικών ενώσεων που αναδύουν. Συγκεκριμένα, οι πρώτοι ανέδυσαν 2-μεθυλοπροπανάλη (2-methylpropanal), 3-μεθυλοβουτανάλη (3-methylbutanal), 2-μεθυλοβουτανάλη (2-methylbutanal) και 2-(μεθυλοθειο-μεθυλο)φουράνιο [2-(methylthio-methyl)furan], ενώ οι δεύτεροι β-δαμασκηνόνη (β-damascenone). Οι Vasconcelos et al. (2007) και οι Franca et al. (2009)

διαπίστωσαν ότι, μετά το καβούρδισμα, οι κόκκοι κακής ποιότητας (συμπεριλαμβανομένων και ελαττωματικών κόκκων) είχαν πρασινωπή απόχρωση και το ρόφημα ήταν πιο ανοιχτόχρωμο, σε σχέση με κόκκους καλής ποιότητας, οι οποίοι (μετά από καβούρδισμα στις ίδιες συνθήκες) απέκτησαν καστανή χροιά, αποδίδοντας πιο σκουρόχρωμο ρόφημα.

Πίνακας 6.1. Αρωματικές ενώσεις σε καβουρδισμένους κόκκους (Toledo et al., 2016)

ΕΝΩΣΗ	ΑΝΑΔΥΟΜΕΝΕΣ ΝΟΤΕΣ
2,3-Butanedione	Buttery
2,3-Pentanedione	Oily-buttery
1-Octen-3-one	Mushroom
2-Hydroxy-3-methyl-2-ciclopenten-1-one	Sweet /caramel
Propanal	Roasted/fruity
2-Methylpropanal	Malty/fruity
3-Methylpropanal	Roasted cocoa
2- e 4-Methylbutanal	Buttery
Hexanal	Butter rancid
(E)-2-nonenal	Buttery
Methional	Cooked potato
Methanethiol (mercaptan)	Cooked potato
4-Methyl-2-buten-1-thiol	Smoke/roasted
2-Methyl-4-furanthiol (furfuryl mercaptan)	Meat
5-Dimethyl-trisulfide	Sulfur
2-Furfurylthiol	Roasted
2-Furanmethanethiol	Smoke/roasted
2-(methylthiol)propanal	Soy sauce
2-(Methylthio-methyl)furan	Smoke/roasted
3,5-Dihydro-4(2H)-thiophenone	Smoke/roasted
2-Acetyl-2-thiazoline	Roasted
4-Methylbutanoic acid	Sweet/acid
(E)-1-(2,6,6-Trimethyl-1-cyclohexa-1,3-dienyl)but-2-en-1-one (β-damascen)	Cookedapple/sweet/fruity
2-Ethyl-furaneol	Caramel
2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone (furaneol)	Caramel/sweet
4,5-Dimethyl-3-hydroxy- 2(5H)-furanone (sotolon)	Spicy
5-Ethyl-3-hydroxy-4-methyl-2(5H)-furanone (abhexon)	Spicy
2-Ethyl-4-hydroxy-5-methyl-4(5H)-furanone	Sweet/caramel
2-Methoxyphenol (guaiacol)	Phenolic/roasted
4-Methoxyphenol	Phenolic
4-Ethyl-2-methoxyphenol (4-ethyl-guaiacol)	Phenolic
4-Vinil-2-methoxyphenol (4-vinil-guaiacol)	Cravo
4-Ethenyl-2-methoxyphenol (4-ethenyl-guaiacol)	Phenolic
3-Methylindole	Coconut
4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (Vaniline)	Vanilla

Πίνακας 6.1 (... συνέχεια). Αρωματικές ενώσεις σε καβουρδισμένους κόκκους (Toledo et al., 2016)

ΕΝΩΣΗ	ΑΝΑΔΥΟΜΕΝΕΣ ΝΟΤΕΣ
2,3-Dimethylpyrazine	Hazelnut/roasted
2,5-Dimethylpyrazine	Hazelnut/roasted
2-Ethylpyrazine	Peanuts/roasted
2-Ethyl-6-methylpyrazine	Peanuts/roasted
2,3-Diethyl-5-methylpyrazine	Hazelnut/roasted
2-Ethyl-3,5-dimethylpyrazine	Earth/hazelnut/roasted
3-Ethyl-2,5-dimethylpyrazine	Earth
3-Isopropyl-2-methoxypyrazine	Earth
3-Isobutyl-2-methoxypyrazine	Earth
2-Etenyl-3,5-dimethylpyrazine	Earth
2-Etenyl-3-ethyl-5-methylpyrazine	Earth
6,7-dihydro-5H-ciclopentapyrazine	Hazelnut/roasted
6,7-Dihydro-5-methyl-5H-ciclopentapyrazine	Hazelnut/roasted
3-Mercapto-3-methylbutyl formate	Cat/Green/cassis
3-Mercapto-3-methylbutanol	Hazelnut/roasted

6.3. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΒΟΥΡΔΙΣΜΕΝΟΥ ΚΑΦΕ

Όταν ολοκληρωθεί το καβούρδισμα, οι τελικοί φρυγμένοι κόκκοι αποτελούνται από υδατάνθρακες, μελανοΐδινες, λιπίδια, πρωτεΐνες, ανόργανα συστατικά, αλειφατικά και χλωρογενικά οξέα, καφεΐνη, τριγονελλίνη και πτητικές ενώσεις (Πίνακας 6.2).

Πίνακας 6.2. Χημική σύσταση φρυγμένων κόκκων σε καφέ Arabica και Robusta (Belitz et al., 2009)

ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (%)	
	Arabica	Robusta
Καφεΐνη	1.3	2.4
Λιπίδια	17.0	11.0
Πρωτεΐνη	10.0	10.0
Υδατάνθρακες	38.0	41.5
Τριγονελλίνη, νιασίνη	1.0	0.7
Αλειφατικά οξέα	2.4	2.5
Χλωρογενικά οξέα	2.7	3.1
Πτητικές ενώσεις	0.1	0.1
Ανόργανα	4.5	4.7
Μελανοΐδινες	23.0	23.0

6.3.1. ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ

Η σακχαρόζη που υπάρχει στους πράσινους κόκκους καφέ αποικοδομείται κατά το καβούρδισμα και η συγκέντρωσή της μειώνεται σε 0,4-2,8%, ενώ σπάνια απαντώνται μονοσακχαρίτες (Belitz et al., 2009).

6.3.2. ΜΕΛΑΝΟΪΔΙΝΕΣ

Οι μελανοϊδίνες αποτελούν μια ετερογενή ομάδα αζωτούχων ενώσεων, η οποία περιλαμβάνει καστανόχρωμα πολυμερή που παράγονται κατά τα τελευταία στάδια της αντίδρασης Maillard ή μέσω της καραμελοποίησης υδατανθράκων και είναι παρούσες και στο διαλυτό κλάσμα του καβουρδισμένου καφέ. Προέρχονται από ένα πολύπλοκο μίγμα υδατανθράκων, αμινοξέων και φαινολικών ενώσεων που αλληλεπιδρούν στις υψηλές ιδίως θερμοκρασίες του καβουρδίσματος. Οι ενώσεις αυτές ευθύνονται για το χαρακτηριστικό χρώμα του ροφήματος καφέ, καθώς δύνανται να απορροφήσουν το φως σε μεγάλα μήκη κύματος (420 nm). Η περιεκτικότητά τους στους καβουρδισμένους κόκκους ανέρχεται σε 25%, μπορεί όμως να αυξηθεί περαιτέρω, με μεγαλύτερης διάρκειας καβούρδισμα. Η δομή αυτών των ενώσεων δεν έχει διευκρινιστεί ακόμα, αλλά όπως φαίνεται, το χλωρογενικό οξύ συμμετέχει σε τέτοιες αντιδράσεις αμαύρωσης Maillard, δεδομένου ότι το καφεϊκό οξύ έχει εντοπιστεί σε αλκαλικά υδρολύματα μελανοϊδινών. Ως δευτερεύοντα προϊόντα θερμικής αποικοδόμησης μιγμάτων υδατανθράκων και πρωτεϊνών, συμμετέχουν στο σχηματισμό πικρών γεύσεων στον καβουρδισμένο καφέ.

6.3.3. ΛΙΠΙΔΙΑ

Το λιπιδικό κλάσμα των κόκκων καφέ είναι πολύ σταθερό και υφίσταται μικρές μόνο μεταβολές κατά το καβούρδισμα. Το λινελαϊκό οξύ παραμένει κυρίαρχο, από ποσοστική άποψη, και ακολουθεί το παλμιτικό (Belitz et al., 2009).

Πίνακας 6.3. Σύσταση λιπιδίων φρυγμένων κόκκων καφέ (Belitz et al., 2009)

ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (%)
Τριακυλογλυκερόλες	78.8
Εστέρες διτερπενίων	15.0
Διτερπένια	0.12
Εστέρες στερολών	1.8
Στερόλες	0.34
Μη ταυτοποιημένες ενώσεις	4.0

6.3.4. ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ

Οι πρωτεΐνες υφίστανται εκτεταμένες μεταβολές, όταν θερμαίνονται παρουσία υδατανθράκων. Γενικώς, διαπιστώνονται σημαντικές μεταβολές, όσον αφορά τη σύσταση των αμινοξέων στο όξινο υδρόλυμα πρωτεϊνών, πριν και μετά το καβούρδισμα. Η ολική περιεκτικότητα αμινοξέων του υδρολύματος μειώνεται κατά 30%, περίπου, κυρίως λόγω της εκτεταμένης αποικοδόμησης μέσω καρβονυλο-άμινο αντιδράσεων. Η αργινίνη, το ασπαργινικό οξύ, η κυστεΐνη, η ιστιδίνη, η λυσίνη, η σερίνη, η θρεονίνη και η μεθειονίνη είναι ιδιαίτερα δραστικά αμινοξέα και τα τελικά επίπεδά τους στον καβουρδισμένο καφέ μειώνονται σημαντικά. Αντίθετα, η αλανίνη, το γλουταμινικό οξύ και η λευκίνη που είναι σταθερά αμινοξέα, παρουσιάζουν αύξηση.

Πίνακας 6.4. Σύσταση αμινοξέων του όξινου υδρολύματος σπόρων καφέ από την Κολομβία, πριν και μετά από το καβούρδισμα (Belitz et al., 2009)

AMINOΞΥ	Πράσινος καφές (%)	Φρυγμένος καφές (%)
Αλανίνη	4,75	5,52
Αργινίνη	3,61	0
Ασπαργινικό οξύ	10,63	7,13
Κυστίνη	2,89	0,69
Γλουταμινικό οξύ	19,80	23,22
Γλυκίνη	6,40	6,78
Ιστιδίνη	2,79	1,61
Ισολευκίνη	4,64	4,60
Λευκίνη	8,77	10,34
Λυσίνη	6,81	2,76
Μεθειονίνη	1,44	1,26
Φαινυλαλανίνη	5,78	6,32
Προλίνη	6,60	7,01
Σερίνη	5,88	0,80
Θρεονίνη	3,82	1,38
Τυροσίνη	3,61	4,35
Βαλίνη	8,05	8,05

6.3.5. ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Το κάλιο κυριαρχεί στην τέφρα του καφέ σε ποσοστό περίπου 1,1% και ακολουθούν τα στοιχεία ασβέστιο (0,2%) και μαγνήσιο (0,2%). Τα κυρίαρχα ανιόντα είναι ο φωσφόρος (0,2%) και το θείο (0,1%) (Belitz et al., 2009).

6.3.6. ΑΛΙΦΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΧΛΩΡΟΓΕΝΙΚΑ ΟΞΕΑ

Μεταξύ των πτητικών οξέων κυριαρχούν το μυρμηκικό και το οξικό οξύ, ενώ στα μη-πτητικά περιλαμβάνονται το γαλακτικό, το τρυγικό, το πυροσταφιλικό και το κιτρικό. Προϊόντα αποκοιδόμησης του κιτρικού οξέος είναι το ιτακονικό, το κιτρακονικό και το μεσακονικό οξύ, ενώ προϊόντα αποικοδόμησης του μηλικού οξέος είναι το φουμαρικό και το μηλεϊνικό οξύ. Η περιεκτικότητα των χλωρογενικών οξέων μειώνεται με τη διαδικασία του καβουρδίσματος (Belitz et al., 2009).

Πίνακας 6.5. Επίδραση του βαθμού καβουρδίσματος στην περιεκτικότητα καφέ Arabica και Robusta σε χλωρογενικό οξύ (Belitz et al., 2009).

Νωπό/βαθμός καβουρδίσματος	Arabica	Robusta
Νωπό	6,9%	8,8%
Χαμηλός	2,7%	3,5%
Μέτριος	2,2%	2,1%
Υψηλός	0,2%	0,2%

6.3.7. ΚΑΦΕΪΝΗ

Αν και η διαδικασία καβουρδίσματος λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία εξάχνωσης, κατά τη διάρκειά της αποικοδομείται μικρό μόνο ποσοστό της καφεΐνης που εξισορροπείται από την οργανική απώλεια βάρους (Oestreich-Janzen, 2010).

6.3.8. ΤΡΙΓΩΝΕΛΛΙΝΗ

Τα προϊόντα αποικοδόμησης της τριγωνελλίνης που παράγονται κατά το καβούρδισμα είναι το νικοτινικό οξύ (βιταμίνη Β₃), η πυριδίνη, η 3-μεθυλοπυριδίνη, ο μεθυλεστέρας του νικοτινικού οξέος, αλλά και οι αλκυλο-πυριδίνες και οι πυρόλες που ευθύνονται για το άρωμα του ροφήματος (Belitz et al., 2009).

6.3.9. ΠΤΗΤΙΚΕΣ (ΑΡΩΜΑΤΙΚΕΣ) ΕΝΩΣΕΙΣ

Το αρωματικό κλάσμα του καβουρδισμένου καφέ έχει εξαιρετικά περίπλοκη σύσταση. Το άρωμα μπορεί να προσεγγιστεί, σε μεγάλο βαθμό, μέσω του συνδυασμού 28 αρωματικών ενώσεων που απαντούν στον μέτρια καβουρδισμένο καφέ Arabica (Belitz et al., 2009). Το αρωματικό προφίλ του καφέ περιλαμβάνει τους ακόλουθους τόνους: γλυκές οσμές και οσμές καραμέλας, γαιώδεις οσμές, θειούχες οσμές και οσμές καβουρδίσματος, και οσμές καπνού και φαινόλης. Ο παρακάτω Πίνακας δείχνει ότι οι περισσότερες από τις

αρωματικές ενώσεις του καφέ μπορούν να αντιστοιχηθούν με αυτές τις αρωματικές νότες. Οι υπόλοιπες νότες αφορούν φρουτώδεις οσμές και οσμές μπαχαρικών. Μεγαλύτερη συνεισφορά στο άρωμα του καφέ έχει η 2-φουρφυρουλοθειόλη. Ένα σημαντικό μέρος της φουρφυρουλοθειόλης και άλλων θειολών απαντά στον καβουρδισμένο καφέ με τη μορφή δισουλφιδίων ενωμένων με κυστεΐνη, SH-πεπτιδία και πρωτεΐνες. Κατά το καβούρδισμα, ο σχηματισμός φουρφυρουλοθειόλης επιτείνεται από την περιεχόμενη ποσότητα νερού και το ελαφρά όξινο pH των κόκκων του καφέ γιατί, κάτω από αυτές τις συνθήκες, η πρόδρομη ένωση αραβινόζη απελευθερώνεται από τους πολυσακχαρίτες με υδρόλυση.

Πίνακας 6.6. Συγκεντρώσεις ισχυρών οσμοφόρων ουσιών σε καφέ ποικιλίας Arabica (Κολομβία) που υπέστη μέτριο βαθμό καβουρδίσματος και η απόδοσή τους κατά την παρασκευή αφεψήματος (Belitz et al., 2009).

A/A Ομάδα/οσμική ουσία	Συγκέντρωση (mg/kg)	Απόδοση (%)
Γλυκές οσμές/ομάδα που προσομοιάζει την οσμή της καραμέλας		
Μεθυλοπροπανόλη	28,2	59
2-Μεθυλοβουτανάλη	23,4	62
3-Μεθυλοβουτανάλη	17,8	62
2,3-Βουτανοδιόνη	49,4	79
2,3-Πεντανοδιόνη	36,2	85
4-Υδροξυ-2, 5-διμεθυλο-3(2 H)-φουρανόνη (HD3F)	120	95
5-Αιθυλο-4-υδροξυ-2-μέθυλο-3(2 H)-φουρανόνη (EHM3F)	16,7	93
Βανιλίνη	4,1	95
Ομάδα γαιωδών οσμών		
2-Αιθυλο-3, 5-διμεθυλοπυραζίνη	0,326	79
3-Αιθυλο-3, 5-διμεθυλοπυραζίνη	0,053	35
2,3-Διαιθυλο-5-μεθυλοπυραζίνη	0,090	67
2-Αιθυλο-3-αιθυλο-5-μεθυλοπυραζίνη	0,017	25
3-ισοβουτυλο-2-μεθοξυ-πυραζίνη	0,087	23
Ομάδα θειούχων οσμών/οσμών καβουρδίσματος		
2-Φουρφυρουλοθειόλη	1,70	19
2-Μέθυλο-3-φουρανοθειόλη	0,064	34
Μεθανοθειόλη	0,239	74
3-Μερκαπτο-3-μεθυλοβουτυλο-μυρμηκικό	0,1120	81
3-Μέθυλο-2-βουτένο-1-θειόλη	0,0099	85
Μεθανοθειόλη	4,55	72
Διμέθυλοτρισουλφίδιο	0,028	M.α.

Πίνακας 6.6 (... συνέχεια). Συγκεντρώσεις ισχυρών οσμοφόρων ουσιών σε καφέ ποικιλίας *Arabica* (Κολομβία) που υπέστη μέτριο βαθμό καθουρδίσματος και η απόδοσή τους κατά την παρασκευή αφεψήματος (Belitz et al., 2009).

A/A Ομάδα/οσμική ουσία	Συγκέντρωση (mg/kg)	Απόδοση (%)
Ομάδα οσμών καπνού/οσμής φαινόλης		
Γουαϊακόλη	3,2	65
4-Αιθυλογουαϊακόλη	1,6	49
4-Βινυλογουαϊακόλη	55	30
Ομάδα φρουτωδών οσμών		
Ακεταλδεύδη	130	73
Προπανάλη	17,4	M.α.
(E)-β-Δαμασκινόνη	0,226	11
Ομάδα οσμών μπαχαρικών		
3-Υδροξυ-4,5-διμέθυλο-3(5 H)-φουρανόνη (HD2F)	1,58	78
5-Αιθυλο-3-Υδρομη-4-μέθυλο-2(5 H)-φουρανόνη (EHM2F)	0,132	M.α.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.7, οι καφέδες της ποικιλίας *Robusta* περιέχουν αλκυλοπυραζίνες και φαινόλες σε σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις από εκείνους της ποικιλίας *Arabica*. Αντίστοιχα, οι γαιώδεις νότες και οι νότες καπνού και φαινόλης είναι πιο έντονες στο αρωματικό τους προφίλ. Οι καφέδες *Arabica* είναι πιο πλούσιοι σε αρωματικά συστατικά με γλυκές νότες και νότες καραμέλας.

Πίνακας 6.7. Οσμικές ουσίες κλειδιά που επιτρέπουν τη διαφοροποίηση των ποικιλιών *Arabica* και *Robusta* (Belitz et al., 2009)

Αρωματική Ένωση	Συγκέντρωση (mg/kg)	
	<i>Arabica</i>	<i>Robusta</i>
2-Αιθυλο-3, 5-διμεθυλοπυραζίνη	0,326	0,940
2,3-Διαιθυλο-5-διμεθυλοπυραζίνη	0,090	0,310
Γουαϊακόλη	3,2	28,2
4-Αιθυλογουαϊακόλη	1,61	18,1
4-Βινυλογουαϊακόλη	55	178

Η αρωματική νότα του ακατέργαστου καφέ που προσομοιάζει με εκείνη της μαγειρεμένης πατάτας προέρχεται από τις 3-αλκυλο-2-μεθοξυπυραζίνες, με την 3-ισοβουτυλο-2-μεθοξυπυραζίνη να έχει την υψηλότερη αρωματική τιμή. Επειδή είναι πολύ

σταθερές ενώσεις ανταπεξέρχονται εύκολα τη διαδικασία του καβουρδίσματος. Ωστόσο, η διεργασία αυτή αποδίδει ενώσεις με πολύ έντονη οσμή που καλύπτουν τις οσμές των μεθοξυπυραζινών. Η γεύση πατάτας είναι ένα οργανοληπτικό ελάττωμα και παρατηρείται στον καβουρδισμένο καφέ μόνο όταν οι συγκεντρώσεις αλκυλομεθοξυπυραζινών αυξηθούν υπερβολικά. Αυτές οι ενώσεις συντίθενται από βακτήρια, τα οποία διεισδύουν στον καρπό του καφέ μετά από προσβολή εντόμων.

Το άρωμα του καφέ δεν είναι σταθερό, με αποτέλεσμα η νότα της φρεσκότητας να εξαφανίζεται γρήγορα. Από τις έντονα πτητικές αρωματικές ενώσεις, η μεθανοθειόλη εξατμίζεται πιο γρήγορα και ακολουθεί η ακετελαδεΐδη. Το αρωματικό προφίλ αλλάζει επειδή παραμένουν κυρίως οι αργά εξατμιζόμενες φουρανόνες. Έτσι, υπάρχει περίπτωση η αρωματική ισορροπία να καταστραφεί από την πικάντικη μυρωδιά της 3-υδροξυ-4,5-διμεθυλο-2(5H)-φουρανόνης (HD2F), καθώς μπορεί να εντοπιστεί μόνη της.

6.3.9.1. ΦΟΥΡΑΝΙΑ

Τα φουράνια αποτελούν την πιο άφθονη ομάδα πτητικών ενώσεων που εντοπίζονται στον καβουρδισμένο καφέ. Σχηματίζονται μέσω θερμικής αποικοδόμησης υδατανθράκων, ασκορβικού οξέος και ακόρεστων λιπαρών οξέων κατά το καβούρδισμα και η συγκέντρωσή τους κυμαίνεται από 3ppb έως 115 ppb. Οι ενώσεις αυτές εμφανίζουν σχετικά υψηλά κατώτατα όρια αισθητηριακής αντίληψης, σε σύγκριση με άλλες ομάδες πτητικών ενώσεων του καφέ και υπάρχει ανησυχία για πιθανές αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Ως εκ τούτου, η διαδικασία του εμπορικού καβουρδίσματος του καφέ έχει βελτιστοποιηθεί, ώστε να ελαχιστοποιείται η παρουσία αυτών των ενώσεων.

Ακόμη, λόγω της αισθητηριακής τους ισχύος, ενώσεις που περιέχουν θείο, όπως οι θειόλες συγκαταλέγονται στους πιο σημαντικούς παράγοντες διαμόρφωσης της γεύσης του καφέ, παρά τα χαμηλά επίπεδα συγκέντρωσης που παρουσιάζουν. Για παράδειγμα, η 2-φουρφυρολυθειόλη που έχει πολύ χαμηλό κατώφλι αισθητηριακής αντίληψης (0,01 ppb) εμφανίζει έντονο άρωμα ψητού. Αυτή η ένωση θεωρείται από πολλούς ως βασικό συστατικό του αρώματος του καφέ, με συχνές αναφορές στη βιβλιογραφία. Στην κατηγορία των ενώσεων που περιέχουν θείο ανήκουν επίσης το 3-μεθυλοθειοφαίνιο και η 2,4-διμεθυλο-5-αιθυλοθειαζόλη (2,4-dimethyl-5-ethylthiazole που προσδίδουν χαρακτηριστικό άρωμα κρέατος.

6.3.9.2. ΠΥΡΑΖΙΝΕΣ

Οι πυραζίνες αποτελούν γνωστή κατηγορία ενώσεων που προκύπτουν ως προϊόντα κατά το ψήσιμο τροφίμων και κηπευτικών προϊόντων, συμπεριλαμβανομένου του καφέ. Είναι μια πολυάριθμη ομάδα ενώσεων που απαντούν στον καφέ, χαρακτηριζόμενες από χαμηλές συγκεντρώσεις αισθητηριακού ορίου. Γενικά, οι πυραζίνες παρουσιάζουν γήινα αρώματα και οσμές ψητού. Ειδικότερα, έχει αναφερθεί ότι οι αιθυλοπυραζίνες και οι αιθενυλακυλοπυραζίνες συμβάλλουν στις γήινες νότες του αρώματος που χαρακτηρίζει την ποικιλία Robusta. Η πτητική 3-ισοβουτυλο-2-μεθοξυπυραζίνη, με εξαιρετικά χαμηλό αισθητηριακό όριο (0,002 ppb), απαντά σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε φρυγμένους κόκκους καφέ Arabica και, όπως έχει αναφερθεί, έχει σημαντικό αντίκτυπο στα χαρακτηριστικά του αρώματος αυτής της ποικιλίας. Αναμφισβήτητα, οι δύο πιο σημαντικές ενώσεις αρώματος είναι η 2-αιθυλ-3,5-διμεθυλοπυραζίνη και η 2,3-διαιθυλ-5-μεθυλοπυραζίνη. Πρόκειται για μια σημαντική ομάδα πτητικών ενώσεων του καφέ, τόσο ως προς την αφθονία, όσο και ως προς την αρωματική ισχύ. Οι κύριοι συντελεστές της γεύσης πιστεύεται ότι αποδίδονται στις ενώσεις 4-υδροξυ-2,5-διμεθυλο-3(2H)-φουρανόνη (furanol), 2-αιθυλ-4-υδροξυ-5-μεθυλο-3(2H)-φουρανόνη, 4,5-διμεθυλο-3-υδροξυ-2(5H)-φουρανόνη (sotolon) και 5-αιθυλο-3-υδροξυ-4-μεθυλο-2(5H)-φουρανόνη (abhexon), οι οποίες θεωρούνται υπεύθυνες για το γλυκό άρωμα καραμέλας και τις πικάντικες νότες του καβουρδισμένου καφέ.

6.4. ΠΤΗΤΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΡΩΜΑΤΟΣ

Οι Πίνακες 6.8-6.13 που ακολουθούν, παρουσιάζουν τις κυριότερες αρωματικές ενώσεις του καφέ, ομαδοποιημένες σύμφωνα με τις ιδιάζουσες νότες που προσδίδουν στο ρόφημα. Τα στοιχεία προέρχονται από τη χρωματογραφική μελέτη των Oestreich-Janzen, 2010, όπως αναγνωρίστηκαν χρησιμοποιώντας χρωματογραφία με ανιχνευτή FID (flame ionization detector).

Πίνακας 6.8. Συγκεντρώσεις αρωματικών ενώσεων καβουρδισμένου καφέ που προσδίδουν γλυκιά αίσθηση/άρωμα καραμέλας (Oestreich-Janzen, 2010).

ΝΟΤΕΣ ΚΑΡΑΜΕΛΑΣ ΓΛΥΚΙΕΣ ΝΟΤΕΣ	ΦΡΥΓΜΕΝΟΣ ΚΑΦΕΣ (mg/kg)	ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΟΣ ΚΑΦΕΣ (mg/kg)	ΑΙΣΘΗΣΗ
4-Hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone (furanol)	120	7.2	Caramel-like
2,3-Butane-dione (diacetyl)	49.4	3.1	Buttery
2,3-Pentane-dione	36.2	1.6	Buttery
2-Methylbutanal	23.4	0.9	Malty, pungent, sweet

Πίνακας 6.8 (... συνέχεια). Συγκεντρώσεις αρωματικών ενώσεων καθουρδισμένου καφέ που προσδίδουν γλυκιά αίσθηση/άρωμα καραμέλας (Oestreich-Janzen, 2010).

ΝΟΤΕΣ ΚΑΡΑΜΕΛΑΣ ΓΛΥΚΙΕΣ ΝΟΤΕΣ	ΦΡΥΓΜΕΝΟΣ ΚΑΦΕΣ (mg/kg)	ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΟΣ ΚΑΦΕΣ (mg/kg)	ΑΙΣΘΗΣΗ
2-Ethyl-4-hydroxy-5-methyl-3(2H)-furanone	16.7	0.8	Caramel-like
Methylpropanal	28.2	0.8	Malty, pungent, fruity
3-Methylbutanal	17.8	0.6	Malty, pungent, fruity
Vanillin	4.1	0.2	Sweet (vanilla)

Πίνακας 6.9. Αρωματικές ενώσεις καθουρδισμένου καφέ που προσδίδουν γαιώδεις οσμές (Oestreich-Janzen, 2010).

ΓΗΙΝΕΣ ΝΟΤΕΣ	ΦΡΥΓΜΕΝΟΣ ΚΑΦΕΣ (mg/kg)	ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΟΣ ΚΑΦΕΣ (mg/kg)	ΑΙΣΘΗΣΗ
2-Ethyl-3,5-dimethylpyrazine	0.326	0.017	Earthy, roasty
2,3-Diethyl-5-methylpyrazine	0.090	0.0036	Earthy, roasty
2-Ethenyl-3-ethyl-5-methylpyrazine	0.017	0.002	Roasty, earthy
3-Isobutyl-2-methoxypyrazine	0.087	0.0015	Earthy, roasty
2-Ethenyl-3,5-dimethylpyrazine	0.053	0.001	Roasty, earthy

Πίνακας 6.10. Αρωματικές ενώσεις καθουρδισμένου καφέ που προσδίδουν θειούχες οσμές και άρωμα ψητού (Oestreich-Janzen, 2010).

ΝΟΤΕΣ ΘΕΙΟΥ/ROASTY	ΦΡΥΓΜΕΝΟΣ ΚΑΦΕΣ (mg/kg)	ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΟΣ ΚΑΦΕΣ (mg/kg)	ΑΙΣΘΗΣΗ
Methanethiol	455	0.170	Putrid, sulfury
2-Furfurylthiol	1.7	0.017	Roasty (Coffee)
Methional	0.239	0.010	Potato-like, sweet
3-Mercapto-3-methylbutyl formate	0.112	0.0057	Catty, roasty
2-Methyl-3-furan-thiol	0.0064	0.0011	Meaty
3-Methyl-2-buten-1-thiol	0.0099	0.0006	Sulfurous, amine-like
Dimethyl trisulfide	0.28		Vegetable (cooked)

Πίνακας 6.11. Αρωματικές ενώσεις καθουρδισμένου καφέ που προσδίδουν άρωμα καπνιστού/φαινολικές ενώσεις (Oestreich-Janzen, 2010).

ΦΑΙΝΟΛΙΚΕΣ ΝΟΤΕΣ/ ΝΟΤΕΣ ΚΑΠΝΙΣΤΟΥ	ΦΡΥΓΜΕΝΟΣ ΚΑΦΕΣ (mg/kg)	ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΟΣ ΚΑΦΕΣ (mg/kg)	ΑΙΣΘΗΣΗ
4-Vinylguaiacol	55	0.74	Spicy, clove-like
Guaiacol	3.2	0.12	Phenolic, spicy
4-Ethylguaiacol	1.6	0.05	Spicy, clove-like

Πίνακας 6.12. Αρωματικές ενώσεις καβουρδισμένου καφέ που προσδίδουν φρουτώδη αρώματα (Oestreich-Janzen, 2010).

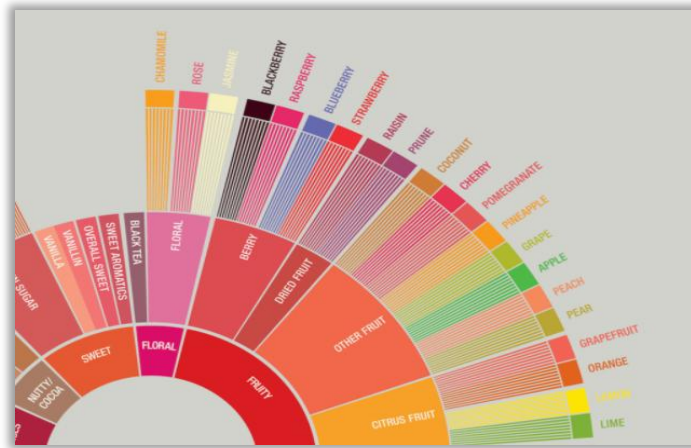
ΦΡΟΥΤΩΔΕΙΣ ΝΟΤΕΣ	ΦΡΥΓΜΕΝΟΣ ΚΑΦΕΣ (mg/kg)	ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΟΣ ΚΑΦΕΣ (mg/kg)	ΑΙΣΘΗΣΗ
Acetaldehyde	130	4.7	Fruity, winey
Propanal	17.4		
β-Damascenone	0.226	0.0016	Fruity, honey-like

Πίνακας 6.13. Αρωματικές ενώσεις καβουρδισμένου καφέ που προσδίδουν πικάντικες νότες (Oestreich-Janzen, 2010).

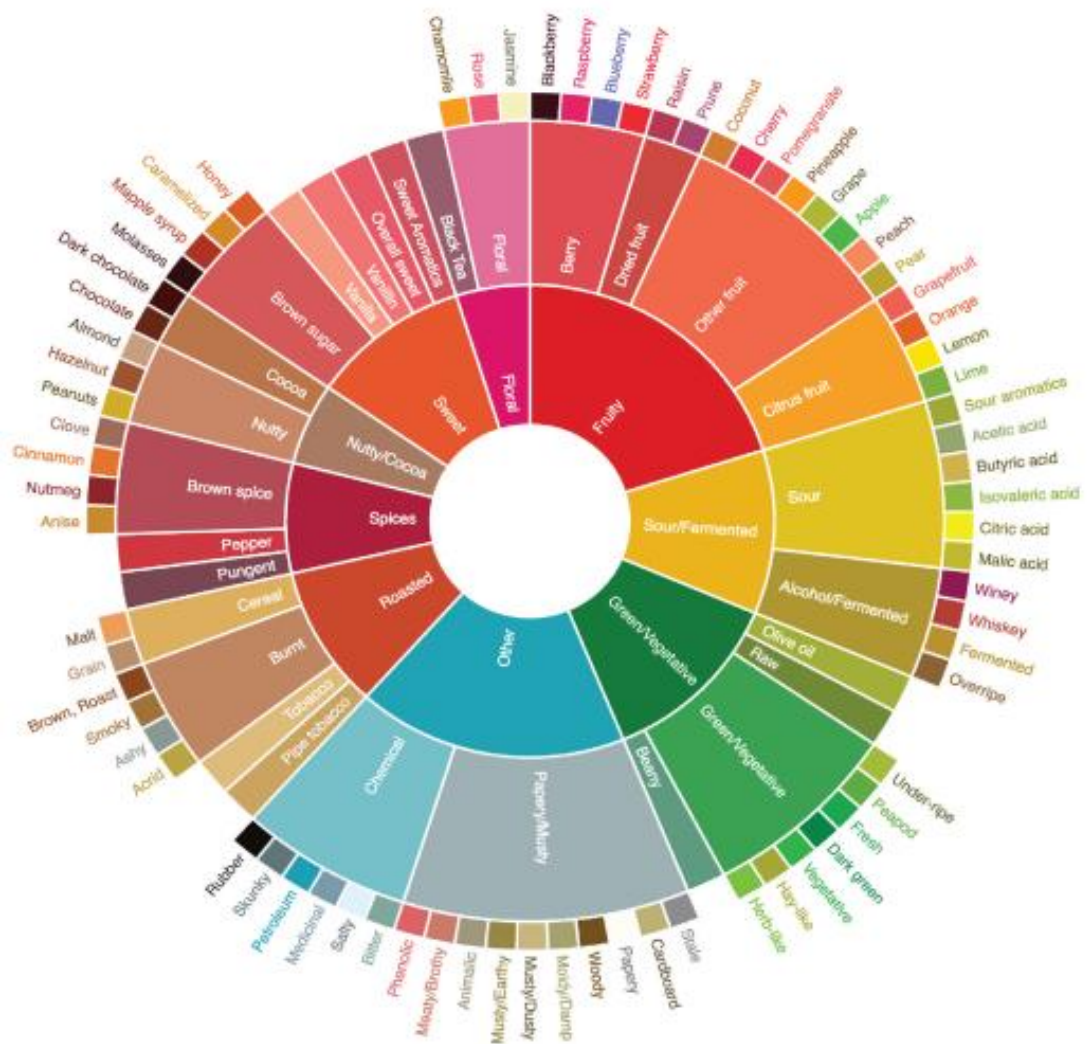
ΠΙΚΑΝΤΙΚΕΣ ΝΟΤΕΣ	ΦΡΥΓΜΕΝΟΣ ΚΑΦΕΣ (mg/kg)	ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΕΝΟΣ ΚΑΦΕΣ (mg/kg)	ΑΙΣΘΗΣΗ
3-Hydroxy-4,5-dimethyl-2-furanone (Sotolone)	1.6	0.08	Spicy
4-Ethyl-3-hydroxy-5-methyl(5H)-furanone	0.132		Spicy

6.5. FLAVOR WHEEL ΓΙΑ ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΡΟΦΗΜΑΤΟΣ ΚΑΦΕ

Στη βιομηχανία του καφέ, προκειμένου να αξιολογηθούν οι οργανοληπτικοί χαρακτήρες μη-αρωματισμένων ροφημάτων, οι ειδικοί μετέφρασαν κι αποτύπωσαν την απόδοση των παραπάνω αρωματικών ενώσεων σε τροχούς γεύσης (flavor wheels). Ο πρώτος τροχός γεύσης δημιουργήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του '90 από τον Ted Lingle που ήταν τότε διευθυντής της Αμερικανικής Ένωσης Ειδικών Προϊόντων Καφέ (Specialty Coffee Association of America, SCAA). Σήμερα, η ένωση αυτή, μαζί με την ένωση World Coffee Research, έχουν δημιουργήσει ένα νέο, πιο ολοκληρωμένο τροχό αρωμάτων και γεύσεων του καφέ. Οι περιγραφές στο κέντρο του τροχού είναι γενικότερες και χωρίζονται σε εννέα κατηγορίες/γευστικά προφίλ: χορτώδες/πράσινης βλάστησης, ξινό, φρουτώδες, ανθέων, γλυκό, ξηρών καρπών/κακάο, πικάντικο, καβουρδισμένο και «άλλο». Κατά τη μετάβαση προς το εξωτερικό του τροχού, αναγνωρίζονται πιο συγκεκριμένοι αρωματικοί χαρακτήρες, π.χ. νότες μούρων, οι οποίες αναλύονται στη συνέχεια σε νότες βατόμουρου, μύρτιλου, φράουλας, κλπ.). Ωστόσο για να μπορέσει κανείς να αντιληφθεί και να αναγνωρίσει/αποκρυπτογραφήσει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του ροφήματος καφέ, θα πρέπει προηγουμένως να έχει εξοικειωθεί με τους ιδιάζοντες αρωματικούς χαρακτήρες του αφεψήματος, μέσω γευστικών δοκιμών.



Εικόνα 6.3. Μέρος τροχού γεύσης (<http://brewls.com/index.php/ar/articles/item/21-2017-10-12-21-39-57>)



Εικόνα 6.4. Τροχός flavor του καφέ (<http://brewls.com/index.php/ar/articles/item/21-2017-10-12-21-39-57>).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Καθώς η παραγωγή και κατανάλωση καφέ αυξάνει ολοένα και περισσότερο, έχει γίνει επιτακτική η ανάγκη να αναλυθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του αφεψήματος και το αίσθημα ικανοποίησης των καταναλωτών. Ξεκινώντας από την ποικιλία του φυτού και τις εδαφοκλιματικές συνθήκες, τη διαδικασία του φυτρώματος, αλλά και τις διαδικασίες επεξεργασίας μετά τη συγκομιδή των καρπών, είναι γεγονός ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν την τελική ποιότητα του ροφήματος καφέ είναι πολυάριθμοι και μπορεί να ποικίλλουν έντονα. Οι διεργασίες με τον ισχυρότερο αντίκτυπο στο flavor του παραγόμενου προϊόντος φαίνεται να εντοπίζονται κατ' αρχήν στη φάση της ανάπτυξης του φυτού, καθώς σε αυτό το στάδιο συντίθενται τα συστατικά που θα αποτελέσουν τις πρόδρομες ενώσεις για το τελικό άρωμα, ακολούθως δε στην επεξεργασία των κόκκων μετά τη συγκομιδή και ιδίως στη διαδικασία της ζύμωσης που τροποποιεί περαιτέρω τη χημική σύσταση των κόκκων, αλλά και στο στάδιο της φρύξης που ακολουθεί, κατά το οποίο παράγεται μεγάλος αριθμός πτητικών ενώσεων (μέσω αντιδράσεων Maillard), οι οποίες διαμορφώνουν τον τελικό αρωματικό χαρακτήρα του καφέ.

Μια από τις ενώσεις που συμβάλλουν ιδιαίτερα στη διαμόρφωση του ιδιαίζοντος αρώματος του καφέ είναι η 2-φουρφυουλοθειόλη, η οποία προσδίδει χαρακτηριστικές νότες ψητού. Ιδιαίτερα σημαντικό συστατικό του καφέ, λόγω των διεγερτικών ιδιοτήτων της, θεωρείται και η καφεΐνη που, ενώ έχει πικρή γεύση, δεν ευθύνεται εξ ολοκλήρου για την πικρή γεύση του ροφήματος. Είναι γνωστό ότι τα χλωρογενικά οξέα που παράγονται κατά τη διαδικασία της φρύξης σχηματίζουν μελανοΐδινες, οι οποίες ευθύνονται πρωτίστως για την πικρή γεύση στο τελικό προϊόν, αλλά και για τη χαρακτηριστική χροιά του ροφήματος. Για να μπορέσουν οι ειδικοί στον χώρο του καφέ να αναπτύξουν ένα κοινό κώδικα επικοινωνίας, δημιούργησαν τους τροχούς γεύσης και αρώματος (wheels of flavor) που περιγράφουν τους ιδιαίζοντες αρωματικούς και γευστικούς χαρακτήρες των διαφόρων ποικιλιών καφέ.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

Μανουσίδης Χ., (2016). Το εγχειρίδιο του καφέ, 3η έκδοση

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Agate, A. D. and Bhat, J. V. 1966. Role of pectinolytic yeasts in the degradation mucilage layer of *Coffea robusta* cherries. Applied and Environmental Microbiology [https://library.sweetmarias.com/wp-content/uploads/2020/08/RoleofPectinolyticYeastsintheDegradation-](https://library.sweetmarias.com/wp-content/uploads/2020/08/RoleofPectinolyticYeastsintheDegradation-ofMucilageLayerofCoffearobustaCherries-1966.pdf)

ofMucilageLayerofCoffearobustaCherries-1966.pdf

Arya, M., & Rao, L. J. M. (2007). An Impression of Coffee Carbohydrates. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 47(1), 51–67. doi:10.1080/10408390600550315

Avallone, S., Brillouet, J. M., Guyot, B., Olguin, E., and Guiraud, J. P. 2002. Involvement of pectolytic microorganisms in coffee fermentation. International Journal of Food Science and Technology . doi:10.1046/j.1365-2621.2002.00556.x

Avallone, S., Guiraud, J. P., Guyot, B., Olguin, E., and Brillouet, J. M. 2001a. Fate of mucilage cell wall polysaccharides during coffee fermentation. Journal of Agriculture Food Chemistry. doi: 10.1021/jf010510s

Batista, L. R., Chalfoun, S. M., Silva, C. F., Cirillo, M., Varga, E. A., and Schwan, R. F. 2009. Ochratoxin A in coffee beans (*Coffea arabica* L.) processed by dry and wet methods. Food Control. doi: 10.1016/j.foodcont.2008.10.003

Batista L.R. (2016). Encyclopedia of Food and Health, Coffee: Types and Production. doi:10.1016/b978-0-12-384947-2.00184-7

Bucheli, P. and Taniwaki, M. H. 2002. Research on the origin, and on the impact of post-harvest handling and manufacturing on the presence of ochratoxin A in coffee. Food Additives and Contaminants. doi: 10.1080/02652030110113816

Bytof G., S. E. Knopp, P. Schieberle, I. Teutsch, and D. Selmar, “Influence of processing on the generation of γ -aminobutyric acid in green coffee beans,” European Food Research Technology, vol. 220 doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-004-1033-z>

Belitz H. D., W. Grosch, P. Schieberle, Χημεία τροφίμων, 3η έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα, 2006

Clark, R. J. (2003). Green coffee. In: Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition

Clifford, M. N. (Ed.). (2012). Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage. Springer Science & Business Media

Conway, J. (January 2021), Statista, Coffee consumption worldwide from 2012/13 to 2020/21, <https://www.statista.com/statistics/292595/global-coffee-consumption/>

Da Rosa, S. D. V. F., McDonald, M. B., Veiga, A. D., Vilela, F. de L., & Ferreira, I. A. (2010). Staging coffee seedling growth: a rationale for shortening the coffee seed germination test. Seed Science and Technology, 38(2), 421–431. doi:10.15258/sst.2010.38.2.15

de Castro, R. D. and Marraccini, P. (2006). Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. *Braz. J. Plant Physiol.* 18:175–199, doi.org/10.1590/S1677-04202006000100013

Eira M., Silva A, Castro R., Dussert S., Walters C., Bewley D., Hilhorst H. (2006). Coffee seed physiology. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 149–163. doi:10.1590/S1677-04202006000100011

FAO. (2014). Worldwide production of coffee beans. Available from <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E>. Accessed March 20, 2015.

Farah, A., Monteiro, M. C., Calado, V., Franca, A. S., & Trugo, L. C. (2006). Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. *Food Chemistry*, 98(2), 373–380. doi:10.1016/j.foodchem.2005.07.032

Flament 2001. *Coffee Flavor Chemistry*. John Wiley and Sons, New York

Frank, H. A., Lum, N. A., and Dela Cruz, A. S. 1965. Bacteria responsible for mucilage layer decomposition in Kona coffee cherries. *Applied Microbiology*

Frank, H. A. and Dela Cruz, A. S. 1964. Role of incidental microflora in natural decomposition of mucilage layer in Kona coffee cherries. *Journal of Food Science*

Franca AS, Oliveira LS, Oliveira R, Agresti PC, Augusti R. 2009. A preliminary evaluation of the effect of processing temperature on coffee roasting degree assessment

Gaime-Perraud, I., Roussos, S., and Martinez-Carrera, D. 1993. Natural microorganisms of the fresh coffee pulp. *Micología Neotropical Aplicada*.

Gibson M., Newsham P. (2018). *Food Science and the Culinary Arts || Tea and Coffee.*, 353–372. doi:10.1016/B978-0-12-811816-0.00018-X

Gloess, A. N., Vietri, A., Wieland, F., Smrke, S., Schönbacher, B., López, J. A. S., Yeretian, C. (2014). Evidence of different flavour formation dynamics by roasting coffee from different origins: On-line analysis with PTR-ToF-MS. *International Journal of Mass Spectrometry*, 365-366, 324–337. doi:10.1016/j.ijms.2014.02.010

Gonzalez-Rios, O., Suarez-Quiroz, M. L., Boulanger, R., Barel, M., Guyot, B., Guiraud, J.-P., & Schorr-Galindo, S. (2007). Impact of “ecological” post-harvest processing on coffee aroma: II. Roasted coffee. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(3-4), 297–307. doi:10.1016/j.jfca.2006.12.004

Haile M., Kang W. H. (2019). The Role of Microbes in Coffee Fermentation and Their Impact on Coffee Quality. *Journal of Food Quality*, 2019, 1–6. doi:10.1155/2019/4836709

Hodge, J. E. (1953). Chemistry of browning reactions in model systems. *J. Agric. Food Chem*

Holzappel, W. and Müller, G. 2007. Kaffee. In: Holzappel, W. H. (Ed.), *Lebensmittel pflanzlicher Herkunft*, Behr's Verlag, Hamburg, Germany

Hoffmann, J. (2018), *The world atlas of coffee; From beans to brewing- coffees explored, explained and enjoyed*, 2nd edition

- Knopp, S.-E., Bytof, G., and Selmar, D. (2005) Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. *European Food Research and Technology*. Published online December 29, 2005; DOI: 10.1007/s00217-005-0172-1
- Lee, K.-G., & Shibamoto, T. (2002). Analysis of volatile components isolated from Hawaiian green coffee beans (*Coffea arabica* L.). *Food and Fragrance Journal*, 17, 349-351
- Levi, C.P., Trenk, H.L., and Mohr, H.K. 1974. Study of the occurrence of ochratoxin A in green coffee beans. *Journal of the Association of Official Analytical Chemistry*
- Lilienfeld-Toal, O. 1931. A fermentação do café. Secretaria de Agricultura, São Paulo
- Loew, O. (1907). Fermentation of cocoa with some comparative notes on the fermentation of tea and coffee. Annual Report of the Porto Rico Agricultural Experiment Station
- Masoud, W., Cesar, L. B., Jespersen, L., and Jakobsen, M. 2004. Yeast involved in fermentation of *Coffea arabica* in East Africa determined by genotyping and by direct denaturing gradient gel electrophores
- Massawe, G. A. and Lifa, S. J. 2010. Yeasts and lactic acid bacteria coffee fermentation starter cultures. *International Journal Postharvest Technology and Innovation*
- Miguel, P. S. B., Delvaux, J. C., Oliveira, M. N. V., Monteiro, L. C. P., Freitas, F. S., Costa, M. D., Totola, M. R., Moraes, C. A., and Borges, A. C. 2013. Diversity of endophytic bacteria in the fruits of *Coffea canephora*. *African Journal of Microbiology Research*
- Murkovic, M., & Derler, K. (2006). Analysis of amino acids and carbohydrates in green coffee. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 69(1-2), 25–32. doi:10.1016/j.jbbm.2006.02.001
- Nigam P.S., Singh A. (2014). *Encyclopedia of Food Microbiology* || Cocoa and Coffee Fermentations. 485–492. doi:10.1016/B978-0-12-384730-0.00074-4
- Oestreich-Janzen, S. (2010). *Comprehensive Natural Products II Chemistry of Coffee*, 1085–1117. doi:10.1016/B978-008045382-8.00708-5
- Pederson, C. S. and Breed, R. S. 1945. Fermentation of coffee. *Food Research*
- Pereira M., G. V. de, Carvalho Neto, D. P. de, Magalhães Júnior, A. I., Vásquez, Z. S., Medeiros, A. B. P., Vandenberghe, L. P. S., & Soccol, C. R. (2018). Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans – A review. *Food Chemistry*. doi:10.1016/j.foodchem.2018.08.061
- Pereira Vinícius de Melo, G., Soccol, V. T., Brar, S. K., Neto, E., & Soccol, C. R. (2015). Microbial ecology and starter culture technology in coffee processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(13), 2775–2788. doi:10.1080/10408398.2015.1067759
- Rodrigues C., Maia R., Ribeirinho M., Hildebrandt P., Gautz L., Prohaska T. and Maguas M. (2013). [Comprehensive Analytical Chemistry] Food Protected Designation of Origin. Methodologies and Applications Volume 60, Coffee, 573–598. doi:10.1016/B978-0-444-59562-1.00022-0

- Redgwell, R., & Fischer, M. (2006). Coffee carbohydrates. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 165–174. doi:10.1590/s1677-04202006000100012
- Rogers WJ, Michaux S, Bastin M, Bucheli P (1999) Changes to the content of sugars, sugar alcohols, myo-inositol, carboxylic acids and inorganic anions in developing grains from different varieties of Robusta (*Coffea Canephora*) and Arabica (*C. arabica*) coffees. *Plant Sci.* 149:115-123
- Schwan Rosane F., Fleet Graham H., *Cocoa and Coffee Fermentations*, 2015
- Selmar D., Bytof G, Knopp S. E., *New Aspects of Coffee Processing: The Relation Between Seed Germination and Coffee Quality* <https://library.sweetmarias.com/wp-content/uploads/2020/08/New-Aspects-of-Coffee-Processing-older-paper.pdf>
- Selmar, D., Bytof, G., and Knopp, S.-E. (2002) *New aspects of coffee processing: the relation between seed germination and coffee quality*
- Shimizu, M. M., & Mazzafera, P. (2000). Compositional changes of proteins and amino acids in germinating coffee seeds. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 43(3), 259–265. doi:10.1590/s1516-89132000000300003
- Silva, C. F., Batista, L. R., Abreu, L. M., Dias, E. S., and Schwan, R. F. 2008a. Succession of bacterial and fungal communities during natural coffee (*Coffea arabica*) fermentation. *Food Microbiology*
- Silva, C. F., Schwan, R. F., Dias, E. S., and Wheals, A. E. 2000. Microbial diversity during maturation and natural processing of coffee cherries of *Coffea arabica* in Brazil. *International Journal of Food Microbiology*. doi: 10.1016/s0168-1605(00)00315-9
- Silva, C. F., Vilela, D. M., Souza, C. C., Duarte, W. F., Dias, D. R., and Schwan, R. F. 2013. Evaluation of a potential starter culture for enhanced quality of coffee fermentation
- Silwar, R., and Lullman, C. 1988. The determination of mono- and disaccharides in green arabica and robusta coffees using high performance liquid chromatography. *Cafe. Cocoa, The*, 32:319–322
- Speer, K., & Kölling-Speer, I. (2006). The lipid fraction of the coffee bean. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 201–216. doi:10.1590/s1677-04202006000100014
- Suárez-Quiroz, M. L., González-Rios, O., Barel, M., Guyot, B., Schorr Galindo, S., and Guiraud, J. P. 2004. Study of ochratoxin A producing strains in coffee processing. *International Journal of Food Science and Technology*
- Sunarharum W., Williams D., Smyth H. (2014). Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. *Food Research International*, 62, 315–325. [doi:10.1016/j.foodres.2014.02.030](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.030)
- Taniwaki, M. H., Pitt, J. I., Teixeira, A. A., and Iamanaka, B. T. 2003. The source of ochratoxin A in Brazilian coffee and its formation in relation to processing methods. *International Journal of Food Microbiology*. doi:10.1016/s0168-1605(02)00310-0
- Teketay D. (1999), *History, botany and ecological requirements of coffee*, publication at: <https://www.researchgate.net/publication/284331870>

- Toledo, P. R. A. B., Pezza, L., Pezza, H. R., & Toci, A. T. (2016). Relationship Between the Different Aspects Related to Coffee Quality and Their Volatile Compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(4), 705–719. doi:10.1111/1541-4337.12205
- Van Pee, W. and Castelein, J. M. 1972. Study of the pectinolytic microflora, particularly the Enterobacteriaceae, from fermenting coffee in the Congo. *Journal of Food Science*
- Vasconcelos ALS, Franca AS, Gloria MBA, Mendonca JC. 2007. A comparative study of chemical attributes and levels of amines in defective green and roasted coffee beans. *Food Chem*
- Vaughn, R. H., Camargo, R. D. E., Fallange, H., Mello Ayres, G., and Sergedello, A. 1958. Observations on the microbiology of the coffee fermentation in Brazil. *Food Technology*
- Vega FE, Pava-Ripoll M, Posada F, Buyer JS. 2005. Endophytic bacteria in *Coffea arabica* L. *J. Basic Microbiol*
- Vega, F. E., Posada, F., Aime, M. C., Peterson, S. W., and Rehner, S. A. 2008. Fungal endophytes in green coffee seeds
- Vega, F. E., Posada, F., Peterson, S. W., Gianfagna, T. J., and Chaves, F. 2006. *Penicillium* species endophytic in coffee plants and ochratoxin A production
- Velmourougane, K., Bhat, R., Gopinandhan, T. N., and Panneerselvam, P. 2011a. Impact of delay in processing on mold development, ochratoxin-A and cup quality in Arabica and Robusta coffee. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*
- Velmourougane, K., Shanmukhappa, D. R., Venkatesh, K., Prakasan, C. B., and Jayarama. 2008. Use of starter culture in coffee fermentation—Effect on demucilisation and cup quality. *Indian Coffee*
- Vilela, D. M., Pereira, G. V. de M., Silva, C. F., Batista, L. R., and Schwan, L. R. 2010. Molecular ecology and polyphasic characterization of the microbiota associated with semi-dry processed coffee (*Coffea arabica* L.). *Food Microbiology*
- Waters, D. M., Arendt, E. K., & Moroni, A. V. (2015). Overview on the mechanisms of coffee germination and fermentation and their significance for coffee and coffee beverage quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(2), 259–274. doi:10.1080/10408398.2014.902804
- Waters D., Arendt E., Moroni A. (January 2017), Overview on the mechanisms of coffee germination and fermentation and their significance for coffee and coffee beverage quality, 22;57(2):259-274., doi: 10.1080/10408398.2014.902804

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<https://www.e-nomothesia.gr/diethneis-sunthekes/nomos-3203-2003-phek-295-a-23-12-2003.html>

<http://ikee.lib.auth.gr/record/76051/files/gri-2007-590.pdf>

<https://www.coffeeble.com/coffee-tasters-flavor-wheel/>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B1%CF%86%CE%AD%CF%82>

https://www.coffees.gr/flavor-wheel-coffee/?s_layout=13

<http://brewls.com/index.php/ar/articles/item/21-2017-10-12-21-39-57>