



**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Αφρισμός κατά τη στοματική επεξεργασία»

«Foaming during oral processing»

ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

ΓΚΙΝΟΥ ΕΛΕΝΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2021

«Αφρισμός κατά τη στοματική επεξεργασία»

«Foaming during oral processing»

Υποβολή Πτυχιακής Διατριβής που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του Πτυχίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος (πρώην Α.Τ.Ε.Ι.Θ – Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης)

Εισηγητής:

Ριτζούλης Χρήστος

Επιμέλεια:

Αναστασιάδου Κωνσταντίνα

Γκίνου Ελένη

Ευχαριστίες:

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον εισηγητή μας κ. Ριζούλη Χρήστο για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές του για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μας εργασίας.

Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της συμπεριφοράς των συστατικών του σάλιου όταν έρθουν σε επαφή με τρόφιμα κατά τις συνθήκες της στοματικής επεξεργασίας. Το σάλιο μελετάται ως αφρός. Καθώς οι αφροί είναι εγγενώς ασταθή συστήματα, διερευνάται η αφριστική ικανότητα του σάλιου και η ικανότητα σταθεροποίησής του, κατά τη διάρκεια της στοματικής επεξεργασίας, με έμφαση στη σταθερότητα υπό την παρουσία συστατικών των τροφίμων.

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τον αφρισμό του σάλιου κατά την στοματική επεξεργασία, πραγματοποιούνται πειράματα με τεχνητό σάλιο (SSF) και μυξίνη που προσομοιώνουν το ανθρώπινο φυσικό σάλιο, σύμφωνα με το πρωτόκολλο INFOGEST.

Στην πρώτη ομάδα δειγμάτων SSF προστέθηκε 1% από την γλυκοπρωτεϊνική μυξίνη προς παρασκευή δειγμάτων αναφοράς. Στην δεύτερη ομάδα δειγμάτων, στα οποία υπάρχει ήδη το δείγμα αναφοράς του τεχνητού σάλιου προστέθηκε ο ιξωδοτροπικός (παχυντικός) παράγοντας κόμμι γκουάρ (E412) σε συγκεντρώσεις 0.01%, 0.1%, 0.25% και 0.50%. Στην τρίτη ομάδα δειγμάτων του τεχνητού σάλιου, προστέθηκε ο σταθεροποιητής Tween 20 (E432) σε συγκεντρώσεις 0.01%, 0.1% και 1.0%. Αυτές οι ομάδες δειγμάτων βρέθηκαν σε περιβάλλον με pH 7 κατά την έκθεση τους σε *in vitro* στοματικές συνθήκες. Η σταθερότητα των αφρών μελετήθηκε ως προς την μείωση του όγκου του συστήματος υγρού – αέρα με το χρόνο.

Διαπιστώθηκε ότι το σάλιο μπορεί να δράσει ως αφριστικό σύστημα, κατά την στοματική επεξεργασία, αλλά και ότι μοντέλα των συστατικών των τροφίμων, όπως το κόμμι γκουάρ και το Tween 20, επηρεάζουν τη σταθερότητα του αφρού. Αυτό καταδεικνύει ότι η ανάμειξη σάλιου – τροφίμου επιφέρει αλλαγές στην κολλοειδή κατάσταση του βλωμού (μπουκιάς), με επιπτώσεις στην οργανοληπτική αξιολόγηση και στην υφή, αλλά και στην προκατεργασία των τροφίμων προς πέψη, ανάλογα με την ποσότητα και τις ιδιότητες του σάλιου.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	6
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	6
2.1 Κολλοειδή Συστήματα.....	6
2.2 Αφροί.....	8
2.2.1 Αφρισμός.....	9
2.2.2 Σταθερότητα Αφρών.....	9
2.2.3 Αποσταθεροποίηση Αφρών	13
2.3 Σταθεροποιητές.....	18
2.3.1 Tween (E432).....	18
2.3.2 Κόμμι γκουάρ (E412).....	19
2.4 Ανάλυση της Στοματικής Επεξεργασίας της Τροφής – (Food Oral Processing)	20
2.5 Σάλιο	21
2.5.1 Σύσταση-Ρόλος του Σάλιου.....	22
2.6 Τεχνητό Σάλιο (SSF) και in vitro προσομοίωση στοματικών συνθηκών επεξεργασίας της τροφής.....	25
2.6.1 Πρωτόκολλο μοντέλου πέψης: InfoGest.....	25
3. Σκοπός της Εργασίας.....	27
4. Πειραματικό Μέρος.....	27
4.1 Υλικά και Μέθοδοι	27
4.1.1 Υλικά.....	27
4.1.2 Μέθοδοι.....	28
5. Αποτελέσματα – Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	30
6. Συμπεράσματα.....	37
7. Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	38
8. Βιβλιογραφία	38

1. Εισαγωγή

Οι αφροί (διασπορές αέρα σε υγρό) είναι θεμελιώδεις κολλοειδείς καταστάσεις των τροφίμων και βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε προϊόντα ζαχαροπλαστικής (γλυκά, παγωτά, σαντιγί), σε προϊόντα αρτοποιίας (ψωμί, αρτύματα), στις βιομηχανίες μύρας και ποτών, αλλά και στις βιομηχανίες καλλυντικών και απολυμαντικών. Συγκεκριμένα, για να σχηματιστεί αφρός θα πρέπει να πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις : α) Αύξηση της επιφάνειας με μηχανική διεργασία η οποία μπορεί να επιτευχθεί με ανάδευση, διασπορά μεγάλου όγκου αερίου σε υγρό, ή έγχυση αερίου σε υγρό, β) Ύπαρξη επιφανειοδραστικών συστατικών για την μείωση της επιφανειακής τάσης, γ) Πιο γρήγοροι χρόνοι σχηματισμού του αφρού από ότι οι χρόνοι αποσταθεροποίησης του. Ως διφασικά συστήματα διασποράς αερίου σε υγρή συνεχή φάση, οι αφροί είναι θερμοδυναμικά ασταθή συστήματα, που ορίζονται από την αφριστική τους ικανότητα και την ικανότητα σταθεροποίησης τους.

Σύμφωνα με μελέτες, το σάλιο αποτελεί παράγοντα αφρισμού. Η παρουσία φυσαλίδων αέρα που σχηματίζονται κατά την στοματική επεξεργασία, δηλαδή κατά την ανάμιξη του σάλιου με την τροφή στο στάδιο της διάτμησης, μπορούν να θεωρηθούν θεμελιώδους σημασίας, όπως αντίστοιχα και η παρουσία φυσαλίδων αέρα στην σαντιγί και στην μύρα.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, στην ενότητα 2 παρουσιάζεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση για την μελέτη των ιδιοτήτων των αφρών, στις ενότητες 3 και 4 γίνεται αναφορά του σκοπού και της μεθοδολογία της έρευνας αντίστοιχα, ενώ στην ενότητα 5, αξιολογούνται τα αποτελέσματα για την διεξαγωγή συμπερασμάτων.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Κολλοειδή Συστήματα

Τα κολλοειδή συστήματα χαρακτηρίζονται ως σύνθετες καταστάσεις της ύλης (στερεή, υγρή, αέρια). Αποτελούν ετερογενή (πολυφασικά) μίγματα με διεσπαρμένα συμπαγή σωματίδια (μικκύλια) της τάξεως των 1-1000nm τα οποία συνυπάρχουν αιωρούμενα παρόλες τις σημαντικές διαστάσεις τους και έχουν την ιδιότητα σκέδασης του φωτός με βάση το φαινόμενο Tyndall. Ονομάζονται δυαδικά λόγω ύπαρξης δύο συστατικών και ανάλογα με την φυσική κατάσταση της ύλης στην συνεχή και διεσπαρμένη φάση, γίνεται και η ταξινόμηση των διαφόρων τύπων κολλοειδών συστημάτων (Πίνακας 1). Αναγκαία προϋπόθεση για την δημιουργία τους είναι η

μικρή έως μηδενική διαλυτότητα της ουσίας μιας φάσης στην ουσία της άλλης φάσης. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι ιστοί ζωικών, φυτικών οργανισμών, το αίμα και το τοίχωμα των κυττάρων είναι κολλοειδή συστήματα.

Πίνακας 1. Κατηγορίες κολλοειδών συστημάτων με χαρακτηριστικά παραδείγματα (Ριτζούλης, 2015).

ΦΑΣΗ		Συνεχής		
		Στερεή:	Υγρή:	Αέρια:
Διεσπαρμένη	Στερεή:	Σαλάμια	Πηκτή	Καπνός
	Υγρή:	Βούτυρο	Γαλακτώματα	Ομίχλη
	Αέρια:	Ψωμί	Αφροί	-

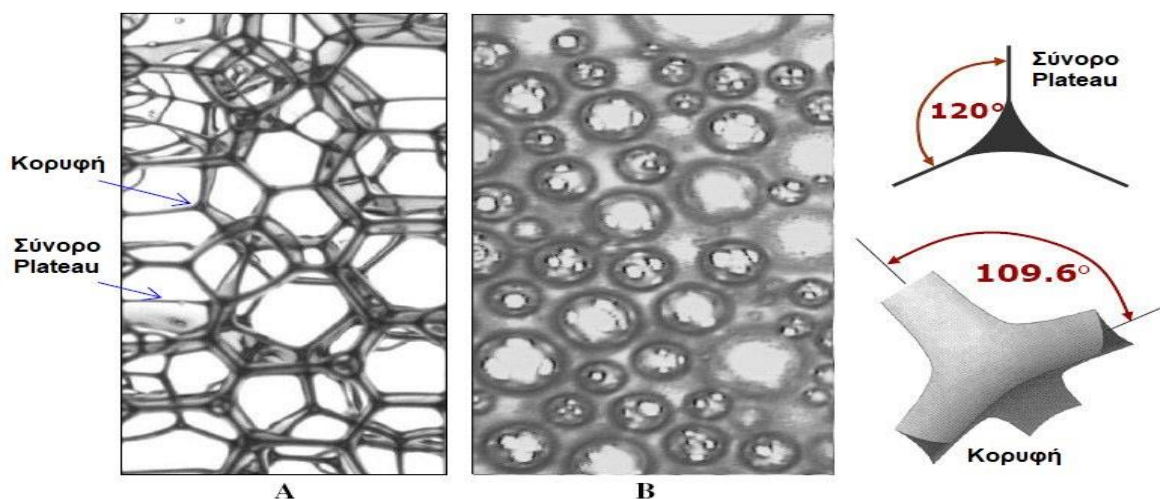
Με βάση τον Πίνακα 1 διαπιστώνεται ότι κολλοειδή μπορούν να σχηματίσουν όλες οι καταστάσεις της ύλης, εκτός από τον συνδυασμό αερίου-αερίου γιατί τα αέρια υπό κανονικές συνθήκες διαλύονται το ένα στο άλλο και δημιουργούν ομογενή συστήματα μοριακής τάξης. Οι μέθοδοι παρασκευής των κολλοειδών συστημάτων ανήκουν σε δύο κατηγορίες, τις μεθόδους διασκόρπισης με τη χρήση αδρομερούς ύλης (διαστάσεων >500nm) και τις μεθόδους συσσωμάτωσης με την χρήση κολλοειδών διασπορών (διαστάσεων 1-500nm), που αποτελούν την πράξη της πέψης.

Είναι ασταθή συστήματα τα οποία υπόκεινται σε μεταβολές, όπου υπό ευνοϊκές συνθήκες τα σωματίδια συναθροίζονται δημιουργώντας μικρά συσσωματώματα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την συσσωμάτωση τους είναι η θέρμανση, η ψύξη, η έντονη ανάδευση, η προσθήκη ηλεκτρολύτη. Σύμφωνα με τους νόμους της θερμοδυναμικής, η αποσταθεροποίηση των συστημάτων αυτών συμβαίνει εξαιτίας της τάσης μείωσης της ελεύθερης ενέργειας, που προκύπτει από την προσκόλληση των σωματιδίων.

2.2 Αφροί

Ως αφροί ορίζονται τα διφασικά συστήματα διασποράς αερίου σε υγρή συνεχή φάση και αποτελούν κolloειδή συστήματα διασποράς. Κατά κανόνα στους αφρούς, ο όγκος της διεσπαρμένης αέριας φάσης είναι κατά πολύ μεγαλύτερος του όγκου της συνεχούς φάσης. Παραγωγή αφρού συμβαίνει όταν αέρας εμβολιάζεται μέσα σε υγρό και εκχέεται σε αυτό με μορφή φυσαλίδων. Έτσι αφροί προκύπτουν όταν αέριο εκτονώνεται από ένα ή περισσότερα ακροφύσια μέσα στην κύρια μάζα υγρού ή όταν υγρό και αέριο αναδεύονται μαζί. Ο αέρας ή κάποιο άλλο αέριο εισέρχεται κάτω από την επιφάνεια του υγρού, όπου εκτείνεται για να περιβάλλει το αέριο με ένα υγρό υμένιο, που ονομάζεται λαμέλα (Saint-Jalmes et al., 1999).

Δομικά ο αφρός συνίσταται από αέριο και κλάσματα περιορισμένου όγκου υγρού, τα οποία τον ταξινομούν ως υγρό ή ξηρό, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1. Ο υγρός αφρός περιέχει κλάσματα υγρού όγκου 10-20% και οι φυσαλίδες μπορούν να περιγραφούν ως σφαιρικές. Εναλλακτικά ο ξηρός αφρός περιέχει κλάσματα υγρού όγκου κάτω από 10% και οι φυσαλίδες του χαρακτηρίζονται ως πολυεδρικές. Όταν τρεις ή περισσότερες φυσαλίδες πλησιάσουν η μία την άλλη, τα διπλοτοιχώματα καμπυλώνονται με την κοιλότητα από την πλευρά του αερίου και σχηματίζουν τα λεγόμενα σύνορα Plateau. Εκείνα με την σειρά τους συνενώνονται και οι συζεύξεις αυτές ονομάζονται κόμβοι. (Anazadehsayed and Naser, 2017).



Σχήμα 1. Τυπικές δομές ξηρού/πολυεδρικού αφρού (A) και υγρού/σφαιρικού αφρού (B), (Hoehler και Cohen-Addad, 2005).

2.2.1 Αφρισμός

Οι αφροί συνίστανται από χιλιάδες μικροσκοπικές φυσαλίδες μηχανικής ή χημικής προέλευσης και παράγονται μέσα σε ένα υγρό. Αν αυτές οι φυσαλίδες αυξηθούν και συσσωρευτούν στην υγρή επιφάνεια γρηγορότερα από ότι αποσυντίθενται, δημιουργείται αφρισμός. Πραγματικός αφρισμός πραγματοποιείται μόνο όταν το υγρό που μεσολαβεί μεταξύ δύο φυσαλίδων λεπταίνει έως ότου δημιουργηθεί λαμέλα, αντί να διαρρηγνύεται στο σημείο της πιο κοντινής προσέγγισης. Η παρουσία ενός αφρού και συγκεκριμένα η έκτασή του, αντιπροσωπεύει μια ισορροπία μεταξύ των διεργασιών που τον δημιουργούν και των δυνάμεων που προκαλούν την καταστροφή του.

Γενική αποδοχή αποτελεί το γεγονός ότι τα καθαρά υγρά δεν αφρίζουν. Η παράμετρος που μπορεί να διαχωρίσει ένα αφριστικό διάλυμα από ένα μη αφριστικό είναι η ικανότητα του πρώτου να αντιστέκεται στην αραίωση του υγρού υμενίου, επιτρέποντας παράλληλα την γενική αραίωση να συνεχιστεί. Επιπλέον για να κατανεμηθεί ένα διάλυμα ως αφριστικό θα πρέπει να περιέχει υγρά υμένα που παρουσιάζουν ελαστικότητα (Vardar-Sukan, 1998).

Η ελαστικότητα των υγρών υμενίων ενός αφρού επιτυγχάνεται με την μείωση της συγκέντρωσης της τασιενεργής ουσίας στην επιφάνειά του και την ταυτόχρονη αύξηση της επιφανειακής τάσης, καθώς επεκτείνεται η περιοχή πιθανής ρήξης. Η ανισορροπία των δυνάμεων που προκύπτει, προκαλεί την κίνηση της επιφάνειας που περικλείει την προαναφερθείσα περιοχή προς το αραιωμένο σημείο, προκειμένου να εξισώσει τις επιφανειακές τάσεις. Η κίνηση των επιφανειακών στρωμάτων παρασύρει μαζί και στρώματα από τον υποκείμενο όγκο υγρού, αποτρέποντας έτσι την αραίωση. Το αυτό-θεραπευόμενο αυτό φαινόμενο, που είναι ισχυρά αυτόνομο έναντι της εξίσωσης επιφανειακών τάσεων, αναφέρεται συχνά ως ελαστικότητα Gibbs-Marangoni (Vardar-Sukan, 1998).

2.2.2 Σταθερότητα Αφρών

Οι αφροί τροφίμων είναι θερμοδυναμικά ασταθή συστήματα, όπου η φάση του αέρα διασκορπίζεται σε μια υγρή μήτρα και κατά συνέπεια απαιτούν εξωτερική ενέργεια για την παραγωγή και την διατήρησή τους. Για αυτόν τον λόγο υπάρχει ανάγκη να οριοθετηθούν στην διεπιφάνεια αέρα/υγρού τασιενεργά μόρια, για να τους σταθεροποιήσουν. Η πιο σημαντική απαίτηση για τον σχηματισμό αφρού είναι η γρήγορη μείωση της ελεύθερης ενέργειας (επιφανειακής τάσης) της νεοσχηματισθείσας επιφάνειας, με την βοήθεια επιφανειοδραστικής

ουσίας. Τα τασιενεργά τείνουν να μεταναστεύουν στις διεπιφάνειες, όπου η συνολική ελεύθερη ενέργεια του μορίου είναι χαμηλότερη από ότι σε κάθε μία από τις δύο φάσεις (Liang et al., 2020).

Η μείωση έντασης της διεπιφάνειας μεταξύ συνεχών και διεσπαρμένων φάσεων πραγματοποιείται με την προσθήκη επιφανειοδραστικών ουσιών διαφόρων ειδών. Ένα κοινό επιφανειοδραστικό είδος, γνωστό και ως επιφανειοδραστικό μικρού μορίου, είναι τα μονογλυκερίδια, τα οποία διαδραματίζουν βασικό ρόλο στη διατήρηση σταθερότητας του αφρού και στην πρόληψη καταστροφής του, που προκαλείται από την αποστράγγιση υγρών, την συγχώνευση και την δυσαναλογία. Επιπλέον σημαντικές κατηγορίες επιφανειοδραστικών είναι οι σάπωνες λιπαρών οξέων, τα υδατοδιαλυτά πολυμερή και τα συνθετικά τασιενεργά, που σχηματίζουν συμπαγή μονομοριακά στρώματα στη διεπιφάνεια υγρού αερίου. Εκτός αυτών σημαντικότερη κατηγορία επιφανειοδραστικών ουσιών, με τελείως διαφορετικό τρόπο δράσης, είναι ορισμένες διαλυτές πρωτεΐνες που με την ανάδευση και την προσρόφησή τους στην διεπιφάνεια μετουσιώνονται, καθίστανται αδιάλυτες και σχηματίζουν πολυμοριακά ανθεκτικά στρώματα που οδηγούν σε σταθερούς αφρούς (Liang et al., 2020).

Η αφριστική συμπεριφορά δείχνει να επηρεάζεται από ιδιότητες, όπως η επιφανειακή τάση, το ιξώδες και η ιονική δύναμη. Η ζωή του αφρού μπορεί να βελτιωθεί από υψηλό ειδικό όγκο και επιφανειακά ιξώδη που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση δυνάμεων μεταξύ γειτονικών τασιενεργών μορίων στην υγρή επιφάνεια. Ένα υψηλό επιφανειακό ιξώδες καθυστερεί την αποστράγγιση του υγρού μέσα στα διπλοτοιχώματα, που προκαλείται εξαιτίας της βαρύτητας και ενισχύει έτσι την αντοχή του υμενίου. Συνεπώς υπάρχει μια καλή συσχέτιση μεταξύ του υψηλού επιφανειακού ιξώδους και της αφριστικής σταθερότητας (Vardar-Sukan, 1998).

Μεταξύ άλλων παραγόντων η σταθερότητα ενός αφρού εξαρτάται ισχυρώς από την παρουσία πτητικών συστατικών και από την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της υγρής και της αέριας φάσης. Η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να αυξήσει την πίεση στα κανάλια Gibbs-Plateau και να έχει ως αποτέλεσμα την αποσταθεροποίηση του αφρού. Εκτός αυτού υψηλές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης είναι ικανές να οδηγήσουν σε υψηλή τάση αποδόμησης των τασιενεργών ουσιών, που προστίθενται στον αφρό για να τον σταθεροποιήσουν. Προκειμένου να αποφευχθεί η αποσταθεροποίηση του αφρού εξαιτίας τέτοιων συνθηκών, συχνά προτείνεται η προσθήκη νανοσωματιδίων (NPs) σε αφριστικά διαλύματα, τα οποία βετιώνουν σημαντικά την σταθερότητα ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις. Συγκριτικά με τα τασιενεργά ή τα πολυμερή τα

νανοσωματίδια είναι πιο σταθερά και συσσωματώνονται μη αναστρέψιμα στα υμένια του αφρού λόγω της υψηλής ενέργειας προσρόφησης τους (Zhou et al., 2020).

Ο όγκος και η σταθερότητα ενός αφρού μπορούν, ωστόσο, να επηρεαστούν και από το pH. Οι πρωτεΐνες, οι οποίες συχνά χρησιμοποιούνται για την σταθεροποίηση των αφρών, παρουσιάζουν την ελάχιστη διαλυτότητα και την μέγιστη δημιουργία αφρού στο ισοηλεκτρικό τους σημείο. Επιπλέον ορισμένες τασιενεργές ουσίες δεν αφρίζουν σε τιμές pH εκτός του ισοηλεκτρικού, καθώς η αφριστική σταθερότητα στις τιμές αυτές είναι φτωχή (Vardar-Sukan, 1998).

2.2.2.1 Μέθοδοι Μέτρησης Σταθερότητας Αφρών

Η διάλυση μιας διεσπαρμένης φάσης σε μία κινητή φάση για την δημιουργία αφριστικού συστήματος, καθώς και η μέτρηση της σταθερότητας των αφρών μπορούν να πραγματοποιηθούν με τη χρήση πλήθους τεχνικών. Η δημιουργία φυσαλίδων με μηχανική ανάδευση (επιφανειακός αερισμός), η έγχυση αερίου σε ένα υγρό διάλυμα, ο σχηματισμός πυρήνων και οι χημικές αντιδράσεις αποτελούν ορισμένες από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται ευρέως για την δημιουργία αφριστικών συστημάτων πριν τη μέτρηση της σταθερότητάς τους (Bois et al., 2020).

Οι κύριες παράμετροι οι οποίες χαρακτηρίζουν τους αφρούς και την απόδοσή τους είναι η αφριστική τους ικανότητα (foamability) η οποία καθορίζεται στο στάδιο του σχηματισμού του αφρού, δηλαδή είναι η ικανότητά του να εγκλωβίζει αέρα και η ικανότητα σταθεροποίησης (foam stability) του που αναφέρεται στην διάρκεια ζωής του, δηλαδή στην δυνατότητα του αφρού να συγκρατεί τον αέρα για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Όσον αφορά στην αφριστική ικανότητα, οι αφροί μετά την δημιουργία τους υποβάλλονται σε διάφορες τεχνικές, όπως αυτές της ογκομετρικής, της ηλεκτρικής και της οπτικής μέτρησης σταθερότητας, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

Ογκομετρική Τεχνική

Η ογκομετρική τεχνική αποτελεί την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη πειραματική μέθοδο για την μέτρηση της σταθερότητας αφριστικών συστημάτων. Κατά την μέθοδο αυτή κατάλληλο υδατικό διάλυμα ορισμένου όγκου ομογενοποιείται σε ποτήρι ζέσεως και σχηματίζεται αφρός, που στη συνέχεια μεταφέρεται σε βαθμονομημένο κύλινδρο. Εκεί ο όγκος του αφρού καταγράφεται τη στιγμή της παρασκευής του και αφήνεται σε ηρεμία, με την μέτρηση του όγκου του αφρού επαναλαμβάνεται σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα (Wilde, 1996).

Εναλλακτικά η παρούσα τεχνική μπορεί να πραγματοποιηθεί με την βοήθεια πιπέτας Pasteur, με τη χρήση της οποίας μεταφέρεται ο υγροποιημένος αφρός σε διαφορετικό ποτήρι ζέσεως ή σε τρυβλίο και εν συνεχεία μετράται ο όγκος του ανά τακτά χρονικά διαστήματα σε ηλεκτρονικό ζυγό.

Ο προσδιορισμός της αφριστικής σταθερότητας μέσω μετρήσεων με την ογκομετρική τεχνική, καθορίζεται από μετρήσεις του ρυθμού ελάττωσης του όγκου του αφρού ή του περιεχόμενου υγρού στον αφρό με το χρόνο. Πιο συγκεκριμένα μέτρο της αφριστικής ικανότητας, βάσει της ογκομετρικής τεχνικής, αποτελεί το κλάσμα του αρχικού όγκου του αφρού σε $t=0$, προς τον όγκο του αρχικού υγρού του διαλύματος από το οποίο παρασκευάστηκε ο αφρός, ενώ μέτρο της σταθερότητας του αφρού αποτελούν τα κλάσματα της μεταβολής του όγκου του αφρού, προς τον αρχικό όγκο αφρού και της μεταβολής του όγκου του υγρού κλάσματος του αφρού, προς τον αρχικό όγκο του υγρού (Wilde, 1996).

Ηλεκτρική Τεχνική

Οι αφροί ως κολλοειδή συστήματα αποτελούνται από τη συνεχή υγρή φάση και την ασυνεχή αέρια φάση, εκ των οποίων η πρώτη είναι ηλεκτρικά αγώγιμη, ενώ η δεύτερη μη αγώγιμη. Καθώς το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να περάσει μόνο μέσα από την υγρή φάση του αφρού, η χρήση της ηλεκτρικής τεχνικής είναι κατάλληλη για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το υγρό κλάσμα του αφρού. Συγκεκριμένα η ηλεκτρική τεχνική δίνει τη δυνατότητα μέτρησης της αγωγιμότητας που εμφανίζει ο αφρός σαν συνάρτηση του χρόνου. Μέσω του ρυθμού μεταβολής της αγωγιμότητάς του, μπορεί να προσδιοριστεί η μεταβολή του υγρού κλάσματος στον αφρό και επομένως ο ρυθμός αποσταθεροποίησής του (Phianmongkhol and Varley, 1999).

Η αποσταθεροποίηση του αφρού εμφανίζεται από μετρήσεις σε ύψη που καθορίζονται στο εσωτερικό του. Προκειμένου να ληφθούν οι μετρήσεις αυτές, είναι απαραίτητη η ύπαρξη αναλυτή σήματος, με την λειτουργία του να βασίζεται στην εφαρμογή εναλλασσόμενου ρεύματος σε παράλληλα ηλεκτρόδια. Καθώς το υγρό κλάσμα αποστραγγίζεται από τον αφρό και διαβρέχει τα ηλεκτρόδια, προκαλούνται μεταβολές της αγωγής του ρεύματος μέσα στο αφριστικό σύστημα. Οι μεταβολές αυτές μετατρέπονται τελικά από τον αναλυτή σε μεταβολές τάσης συνεχούς ρεύματος, το οποίο και καταγράφεται μέσω μετατροπέα αναλογικού-ψηφιακού σήματος σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (Wilde, 1996).

Οπτική Τεχνική

Τα τελευταία χρόνια εμφανίζονται ολοένα και περισσότερες καινοτόμες μέθοδοι μέτρησης σταθερότητας αφρών. Αυτοματοποιημένες συσκευές που χρησιμοποιούν οπτικές μεθόδους μέτρησης δίνουν την δυνατότητα καθορισμού των χαρακτηριστικών αφριστικών συστημάτων, όπως εκείνων του όγκου του αφρού, της σταθερότητας, της αποσταθεροποίησης και της δομή του.

Τα συγκεκριμένα συστήματα περιλαμβάνουν ένα ενσωματωμένο δοχείο δείγματος, που συνδέεται με εξωτερικό θερμοστάτη και μαγνητικό αναδευτήρα και στο οποίο τοποθετείται το προς μελέτη υγρό διάλυμα. Το διάλυμα στη συνέχεια μεταφέρεται, μέσω λεπτού αγωγού, σε δοχείο μέτρησης, όπου και δημιουργείται αφρός με την βοήθεια μονάδας ανάδευσης. Ο όγκος του αφρού και ο καθορισμός της σταθερότητάς του επιτυγχάνονται με σαρωτή επιφάνειας του αφρού με τη μέθοδο δομημένου φωτός, ενώ το υγρό κλάσμα και η δομή του αφρού μετρούνται με τη χρήση ολικής εσωτερικής αντανάκλασης από σαρωτή εσωτερικού του αφρού (<https://www.sita-lab.com/home/>).

2.2.3 Αποσταθεροποίηση Αφρών

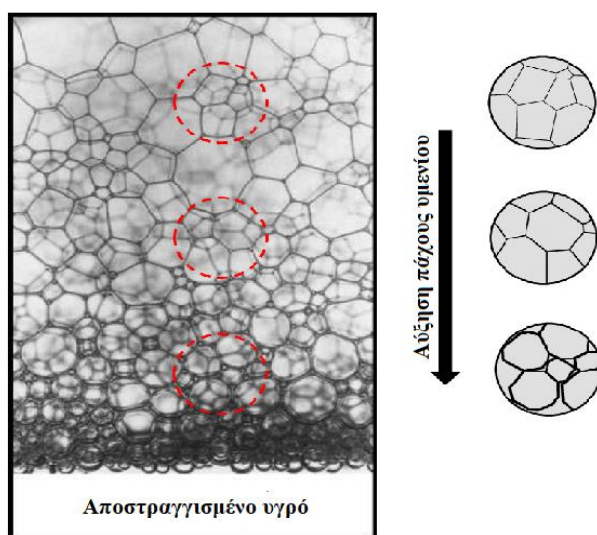
Η αστάθεια των κολλοειδών συστημάτων και πιο συγκεκριμένα των αφρών αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό τους και σημαντικό πρόβλημα στη χημεία των κολλοειδών. Σύμφωνα με τη θερμοδυναμική, η αστάθεια αυτή οφείλεται στην τάση που παρουσιάζουν τα συγκεκριμένα συστήματα να μειώσουν την ελεύθερη ενέργειά τους. Η διεπιφάνεια των κολλοειδών συστημάτων εμφανίζει μεγάλη τιμή θετικής ελεύθερης επιφανειακής ενέργειας με αποτέλεσμα τα σωματίδια και στην περίπτωση των αφρών οι φυσαλίδες, να προσκολλώνται η μία στην άλλη ώστε η διεπιφάνεια, έστω τοπικά, να εξαφανίζεται και η ελεύθερη ενέργεια του συστήματος να μειώνεται. Τέτοια συστήματα θα τείνουν πάντα, χωρίς όμως επιτυχία, προς μια κατάσταση ισορροπίας η οποία αντιστοιχεί στη διαίρεση του συστήματος σε δύο διαφορετικές φάσεις με ελάχιστη διεπιφάνεια, πράγμα που τους αποδίδει το βασικό στοιχείο της ετερογένειας που τα χαρακτηρίζει.

2.2.3.1 Μηχανισμοί Αποσταθεροποίησης

Η αποσταθεροποίηση του αφρού πραγματοποιείται με την βοήθεια ορισμένων διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη γήρανσή του και συχνά αναφέρονται ως μηχανισμοί αποσταθεροποίησης. Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι η αποστράγγιση του αφρού, η συγχώνευση, η δυσαναλογία, η συσσωμάτωση και η αναστροφή φάσεων (Dehdari et al., 2020).

Αποστράγγιση Αφρών

Η υγρή αποστράγγιση είναι ένας μηχανισμός που προκαλείται από τον διαχωρισμό βαρύτητας. Συγκεκριμένα το υγρό αποστραγγίζει υπό την επίδραση της βαρύτητας μέσω των διαύλων Plateau προς το κάτω μέρος του αφρού. Αυτό έχει ως συνέπεια, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, στην κορυφή του δείγματος το μεγαλύτερο μέρος του υγρού να έχει απομακρυνθεί, αφήνοντας έναν «ξηρό» αφρό από πολυεδρικές φυσαλίδες. Στο κάτω μέρος ο αφρός θα είναι «υγρός» και θα συνίσταται από περισσότερο σφαιρικές φυσαλίδες, όπως εμφανίζεται και στο Σχήμα 2 (Zhou et al., 2020).



Σχήμα 2. Σχηματική απεικόνιση αποστράγγισης αφρού ενός αφριστικού συστήματος (Zoheidi, 2018).

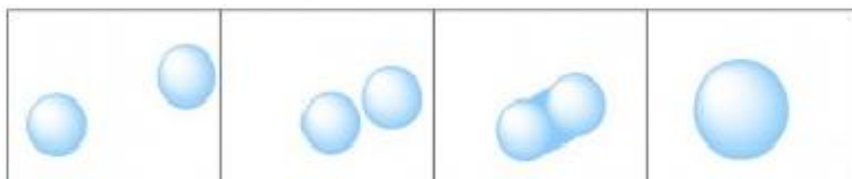
Εκτός από την μείωση του υγρού κλάσματος, ο μηχανισμός της αποστράγγισης μπορεί να προκαλέσει και ολική κατάρρευση του αφρού εξαιτίας της καταστροφής των εκτεθειμένων υμενίων. Το στράγγισμα του υγρού ανάμεσα από τις φυσαλίδες και ειδικότερα από τους διαύλους Plateau μειώνει το πάχος των υμενίων λόγω βαρυτικών δυνάμεων, φαινόμενο το οποίο μπορεί να επιδεινώσει ακόμα και η εξάτμιση του υγρού (Lioumbas et al., 2015).

Οι βαρυτικές δυνάμεις μπορεί να κατέχουν κυρίαρχο ρόλο στην διεργασία της αποστράγγισης, το φαινόμενο ωστόσο επιτείνεται και από τις δυνάμεις επιφανειακής τάσης. Φυσική συνέπεια της καμπυλότητας στα διπλοτοιχώματα των διαύλων Plateau είναι η εμφάνιση υποπίεσης στο εσωτερικό των διαύλων, με αποτέλεσμα το υγρό των υμενίων να ροφάται προς τους διαύλους και

να οδηγεί τα υμένια σε ρήξη. Ο αφρός καταστρέφεται όταν όλο το υγρό εκκρεύσει σιγά σιγά έξω από τα διπλοτοιχώματα, με αποτέλεσμα αυτά να λεπταίνουν σταδιακά. Όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός ρήξης των υμενίων τόσο πιο ασταθής θα είναι και ο αφρός (Zhou et al., 2020).

Συγχώνευση

Η διεργασία της συγχώνευσης πραγματοποιείται όταν παρακείμενες φυσαλίδες πλησιάσουν η μία την άλλη σε ένα αφριστικό σύστημα. Απουσία τασιενεργού τα υγρά υμένια που ενώνουν τις φυσαλίδες αυτές διαρρηγνύονται με αποτέλεσμα οι φυσαλίδες να συσσωματώνονται πλήρως, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3. Ένας τέτοιος μηχανισμός προκαλεί αύξηση του μεγέθους των φυσαλίδων του αφρού και ταυτόχρονη μείωση του πληθυσμού τους (Bhakta and Ruckenstein, 1997).



Σχήμα 3. Μοντέλο συγχώνευσης φυσαλίδων (Solsvik and Jakobsen, 2013).

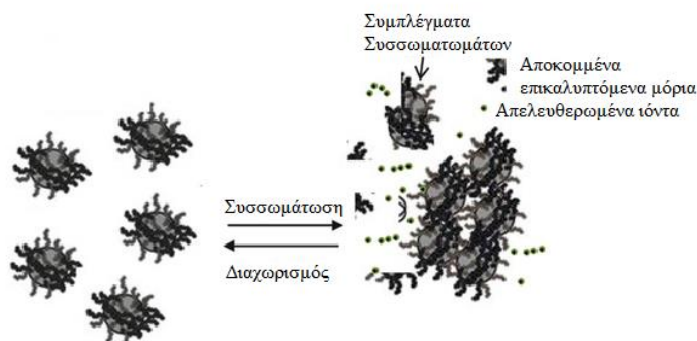
Η συγχώνευση θεωρείται ότι προκαλείται εξαιτίας της ανομοιομορφίας του μεγέθους των υμενίων που βρίσκονται ανάμεσα στις φυσαλίδες. Αυτή η διαφορά μεγέθους οδηγεί σε μια ανομοιομορφία των τιμών αποστράγγισης των υμενίων και επομένως των υμενιακών πυκνοτήτων εντός κάθε στοιχείου όγκου στον αφρό. Για παράδειγμα τα μικρότερα υμένια αποστραγγίζουν γρηγορότερα και υφίστανται ρήξη πιο σύντομα από τα μεγαλύτερα, προκαλώντας έτσι στις φυσαλίδες που τα περιέχουν να συγχωνευθούν. Κάτι τέτοιο οδηγεί σε μια διανομή μεγέθους φυσαλίδων στον αφρό, με τις φυσαλίδες να είναι μεγαλύτερες στις περιοχές που πραγματοποιείται συγχώνευση (Bhakta and Ruckenstein, 1997).

Συσσωμάτωση

Ο μηχανισμός της συσσωμάτωσης αποτελεί μια χημική διεργασία, κατά την οποία οι επιφάνειες των κολλοειδών σωματιδίων (αέριων φυσαλίδων) έρχονται σε επαφή μεταξύ τους και θερμοδυναμικές αλληλεπιδράσεις μικρού εύρους επιτρέπουν την πραγματοποίηση της

προσκόλλησης των σωματιδίων. Τα συσσωμάτωμα που δημιουργούνται περιλαμβάνουν ομάδες δύο ή περισσότερων αέριων φυσαλίδων, οι οποίες συγκρατούνται μεταξύ τους από δυνάμεις, δίνοντας έτσι τρισδιάστατες δομές χωρίς να συμβαίνει συγχώνευση, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4 (Ριτζούλης, 2015).

Οι περισσότερες διεργασίες συσσωμάτωσης είναι μορφοκλασματικές εκ φύσεως, με την μορφοκλασματική διάσταση να εξαρτάται από τον ρυθμό συσσωμάτωσης. Συγκεκριμένα όσο μικρότερος είναι ο ρυθμός συσσωμάτωσης, τόσο περισσότερο χρόνο έχουν οι φυσαλίδες αέρα να διαμορφωθούν σε μία πιο συμπαγή και πυκνή κατασκευή και τόσο μεγαλύτερη είναι η μορφοκλασματική διάσταση (Zhang, 2014).

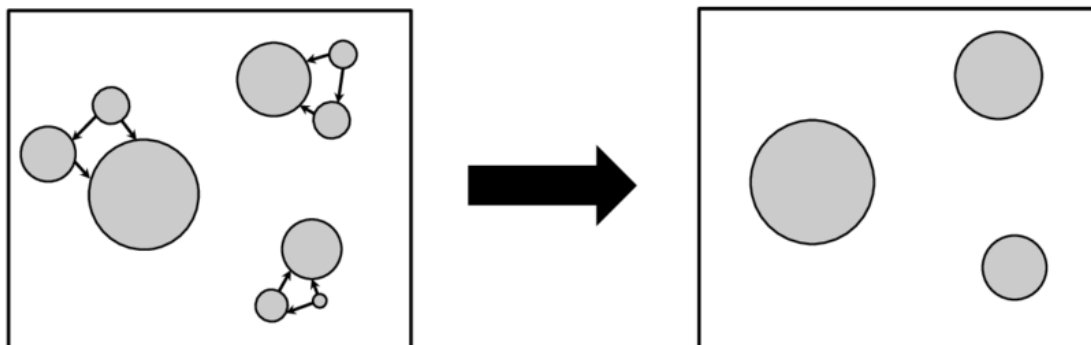


Σχήμα 4. Συσσωμάτωση κολλοειδών σταγονιδίων (Zhang, 2014).

Δυσαναλογία/Ωρίμανση κατά Ostwald

Η αποσταθεροποίηση ενός αφρού μπορεί να προκληθεί από ένα μηχανισμό διάχυσης, στον οποίο το αέριο διαχέεται ανάμεσα στα λεπτά υμένα από μικρότερες φυσαλίδες σε μεγαλύτερες. Αυτή η φυσική διεργασία είναι γνωστή ως δυσαναλογία και η κινητήριος δύναμη για αυτή την συμπεριφορά είναι η πίεση Laplace σε μια κυρτή επιφάνεια. Η δυσαναλογία σχετίζεται με ένα ευρύτερο φυσικοχημικό φαινόμενο που καλείται ωρίμανση κατά Ostwald. Κατά την διάρκεια του φαινομένου αυτού τα μόρια που βρίσκονται σε μικρότερες φυσαλίδες τείνουν να μεταφερθούν

στη συνεχή φάση εντονότερα απ' ότι τα μόρια που περιέχονται στις μεγαλύτερες φυσαλίδες. Έτσι οι μεγαλύτερες φυσαλίδες καταλήγουν να μεγαλώνουν εις βάρος των μικρότερων (Σχήμα 5). Τελικά η συνέπεια αυτών των διεργασιών είναι η απόλυτη τραχύτητα και η αποδόμηση του αφρού (Bhakta and Ruckenstein, 1997).

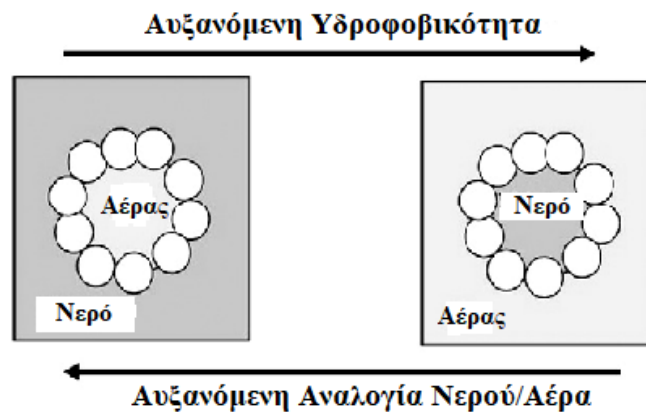


Σχήμα 5. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας της ωρίμανσης κατά Ostwald, που προκαλεί την μεγέθυνση των μεγαλύτερων φυσαλίδων και τη σμίκρυνση των μικρών φυσαλίδων (Zoheidi, 2018).

Αναστροφή Φάσεων

Αναστροφή φάσεων καλείται το φαινόμενο κατά το οποίο η διεσπαρμένη φάση ενός δυαδικού συστήματος γίνεται συνεχής και αντίστροφα. Η μετατροπή αυτή παρατηρείται σε παραδείγματα όπως αυτό της καταστροφής της σαπουνάδας, κατά την οποία πληθυσμός μεγάλου κλάσματος όγκου αέρα που είναι διεσπαρμένος σε λεπτά υμένια νερού, καταστρέφει στιγμιαία το νερό (σαπουνάδα), καθώς ο αέρας μετατρέπεται στη συνεχή φάση και το νερό των υμενίων σε μικρές σταγόνες διασκορπισμένες στον αέρα.

Η αναστροφή φάσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί εξαιτίας κάποιας μεταβολής στη σύνθεση του αφρού ή στις συνθήκες του συστήματος διασποράς. Συγκεκριμένα η μεταβατική αναστροφή πραγματοποιείται μέσω μιας εξελικτικής αλλαγής στην εγγενή υδροφοβικότητα μιας σταθερής αναλογίας νερού-αέρα, όπως εμφανίζεται και στο Σχήμα 6. Εναλλακτικά η μεταβολή της αναλογίας νερού-αέρα σε συστήματα που περιέχουν σωματίδια συγκεκριμένης διαβρεξιμότητας (υδρόφιλα ή υδρόφοβα) μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφική αναστροφή (Binks and Murakami, 2006).

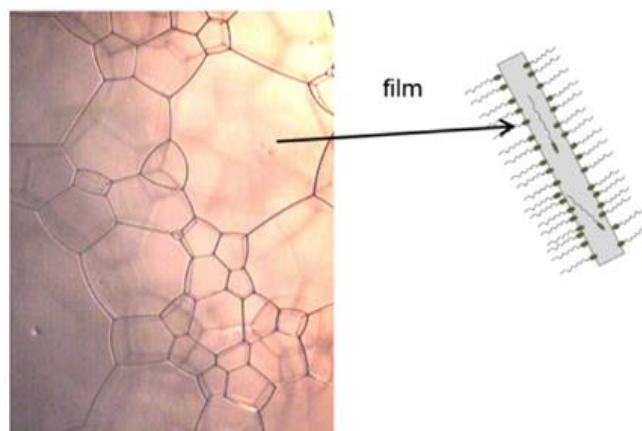


Σχήμα 6. Αναστροφή φάσεων αφρού (αέρα-σε-νερό) σε υγρή σταγόνα (νερό-σε-αέρα) (Eshtiaghi and Hargood, 2012).

2.3 Σταθεροποιητές

2.3.1 Tween (E432)

Η μακροπρόθεσμη σταθεροποίηση των αφρών είναι δύσκολο να επιτευχθεί σε σχέση με αυτή των γαλακτωμάτων, και για αυτό τον λόγο εξετάζεται η ενσωμάτωση σταθεροποιητών για την ενίσχυση της σταθερότητας η οποία θα προσφέρει εμπορική και τεχνολογική σημασία. Η χρήση του προσθέτου E432 με την εμπορική ονομασία Tween, ανήκει στην κατηγορία E400-499 που αποτελείται από πυκνωτικά, γαλακτώματα και σταθεροποιητές και έχει ιδιότητες αφρισμού. Η ικανότητα αφρισμού ή δημιουργίας γαλακτωμάτων οφείλεται στην παρουσία των αμφίφιλων μορίων στη δομή του, φέρει δηλαδή μια πολική ομάδα στο ένα άκρο του («κεφαλή») και μια υδρόφοβη ομάδα στο άλλο άκρο του («ουρά») (Σχήμα 7).



Σχήμα 7. Σχηματισμός αφρού με την βοήθεια τασιενεργού. Μέρος του τασιενεργού απορροφάται στην υγρή μεμβράνη ανάμεσα στις φυσαλίδες. Τα πολικά μέρη του τασιενεργού έρχονται σε επαφή με την συνεχή υγρή φάση, ενώ οι υδροφοβικές αλυσίδες («ουρά») προσανατολίζονται στην σχηματιζόμενη αέρια φάση (Bureiko et al., 2015).

Το Tween είναι ένα μη ιονικό, μη τοξικό, σταθερό πολυσορβικό τασιενεργό, χαμηλού μοριακού βάρους που σχηματίζεται από την αιθοξυλίωση της σορβιτάνης πριν από την προσθήκη λαυρικού οξέος (lauric acid: κορεσμένο λιπαρό οξύ με 12 άτομα άνθρακα). Οι διάφοροι αριθμοί 20, 40, 60, 80 υποδηλώνουν τον αριθμό των επαναλαμβανόμενων μονάδων πολυαιθυλενογλυκόλης (PEG: $\text{H}-(\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n-\text{OH}$) στο μόριο κατά την διαδικασία της αιθοξυλίωσης. Χαρακτηριστικές ιδιότητες των μη ιονικών τασιενεργών είναι η υδρόφιλη-λιπόφιλη ισορροπία (HLB) και η κρίσιμη συγκέντρωση των μικκυλίων (CMC) μετρημένη σε mol/m^3 . Η HLB αντιπροσωπεύει την διεπιφανειακή τάση που δημιουργείται μεταξύ της υγρής και λιπαρής φάσης και χρησιμοποιείται ως τρόπος μέτρησης της διαλυτότητας. Στα τασιενεργά Tween οι τιμές της HLB κυμαίνονται από 0.0-20.0, με τα Tween 20 και Tween 80 να έχουν τιμές 16.7 και 15.0, και 0.060 mol/m^3 και 0.012 mol/m^3 αντίστοιχα. (Samanta and Gosh, 2011). Οι διαφορετικές δομές των υδρόφοβων τμημάτων προκαλούν διαφορά στην προσρόφηση του κάθε τασιενεργού στην επιφάνεια αερίου-υγρού, με το Tween 20 να έχει καλύτερη υδατοδιαλυτότητα από τα άλλα που αναφέρθηκαν παραπάνω (Zhang et al., 2013).

2.3.2 Κόμμι γκουάρ (E412)

Το κόμμι γκουάρ είναι ένας μη ιονικός, διαλυτός στο νερό, πολυσακχαρίτης που αποτελείται από γαλακτόζη και μαννόζη. Δρα ως πηκτικό μέσο και εξαιτίας του υψηλού βαθμού πυκνότητας που έχει, δίνει την δυνατότητα με χρήση μικρής μόνο ποσότητας να αυξήσει το ιξώδες ενός προϊόντος. Επιπροσθέτως δρα ως ελαφρώς θιξοτροπικός γαλακτωματοποιητής δημιουργώντας συνθήκες

σταθεροποίησης σε στερεά σωματίδια και σε σταγόνες λαδιού, αποτρέποντας την καθίζηση και/ή διαχωρισμό και την συγχώνευση αντίστοιχα (<https://www.manischemicals.com/el/>).

2.4 Ανάλυση της Στοματικής Επεξεργασίας της Τροφής – (Food Oral Processing)

Το Στοματογοναθικό Σύστημα είναι το βιολειτουργικό σύνολο με το οποίο πραγματοποιούνται οι λειτουργίες της μάσησης, της κατάποσης, της αναπνοής και ομιλίας.

Συγκεκριμένα, η λειτουργία της μάσησης και της κατάποσης αποτελούν αντίστοιχα το στοματικό προπαρασκευαστικό στάδιο και το στοματικό προωθητικό στάδιο της επεξεργασίας της τροφής που εισέρχεται στο στόμα και των φάσεων κίνησης του βλωμού.

Η στοματική επεξεργασία της τροφής είναι μια διαδικασία που βασίζεται σε μια σειρά από ιδιαίτερα συντονισμένες στοματικές ενέργειες, ελεγχόμενες από τον εγκέφαλο. Η οπτική αναγνώριση της τροφής που θα καταναλωθεί οδηγεί σε γευστικά και οσφρητικά ερεθίσματα προκαλώντας κάποια έκκριση σάλιου σε πρώτο στάδιο. Η έκκριση αυτή υποδηλώνει την ασυνείδητη ή συνειδητή επιθυμία για δοκιμή και ευχαρίστηση.

Ακολουθεί η πρώτη μπουκιά που εισέρχεται μέσα στο στόμα ως αποτέλεσμα της κατάτμησης της τροφής λόγω των συνδυασμένων δράσεων της κάτω γνάθου (ανάσπαση-κατάσπαση), της γλώσσας, των παρειών, των χειλιών και όλων των εμπλεκόμενων μυών. Από άποψη φυσιολογίας, ο συνδυασμός κινήσεων της γλώσσας (περιστροφή, προώθηση, πίεση) επιτρέπει την μεταφορά του σχηματιζόμενου σωματιδίου τροφής προς την επιφάνεια των δοντιών για την περαιτέρω μείωση μεγέθους ή προς την στοματική κοιλότητα για τον σχηματισμό βλωμού.

Κατά την μάσηση, γίνεται η ανάμειξή της με σάλιο και βλέννα ώστε να σχηματιστεί ο βλωμός, ο οποίος θα έχει το κατάλληλο αποδεκτό μέγεθος και μαλακότητα υφής με σκοπό την ασφαλή κατάποση και την αποφυγή πνιγμού. Τα κύρια συστατικά του σάλιου που βοηθούν στην λίπανση του βλωμού είναι οι μυζίνες και το νερό και σχετίζονται σε κάποιο βαθμό με τις ρεολογικές και επιφανειακές ιδιότητες του βλωμού. Παρατηρείται και αυξημένη συγκέντρωση της υγρής φάσης στον βλωμό η οποία μεταβάλλεται κατά την χρονική διατήρηση και διάρκεια της μάσησης.

Η έναρξη της φάσης της κατάποσης προϋποθέτει την εφαρμογή ελαχίστου αριθμού μασητικών κύκλων ο οποίος σχετίζεται με τον αριθμό των τεμαχίων της τροφής και τον βαθμό εφύγρανσης –

λίπανσης από το σάλιο. Ο πρώτος μασητικός κύκλος αντιπροσωπεύει την μεταφορά και τοποθέτηση της τροφής στα πίσω δόντια με την γλώσσα και τις παρειές, οι οποίες σχηματίζουν τα πλάγια τοιχώματα της στοματικής κοιλότητας. Ακολουθούν και άλλοι μασητικοί κύκλοι οι οποίοι εκτελούνται με διαφορετικό τρόπο. Ο αριθμός των μασητικών κύκλων που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία του βλωμού, ποικίλλει και εξαρτάται από την υφή της τροφής, τον όγκο της και το εξατομικευμένο μασητικό πρότυπο του κάθε ατόμου. (https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3357/3/Chapter_02.pdf).

Πληροφοριακά, οι μασητικοί κύκλοι αποτελούν την τρισδιάστατη απεικόνιση κίνησης της κάτω γνάθου κατά την μάσηση. Κάθε μασητικός κύκλος περιλαμβάνει τρεις φάσεις: α) Άνοιγμα στόματος κατά την διάρκεια της οποίας η κάτω γνάθος κατασπάται, β) Κλείσιμο στόματος κατά την διάρκεια της οποίας η κάτω γνάθος ανασπάται, γ) Φάση σύγκλεισης (οδοντική φάση) κατά την οποία τα δόντια έρχονται σε επαφή. (<https://slideplayer.gr/slide/2982776/>)

2.5 Σάλιο

Το σάλιο παίζει σημαντικό ρόλο στην στοματική επεξεργασία των τροφίμων, τόσο σε δομικό επίπεδο όσον αφορά τον σχηματισμό του βλωμού, όσο και σε μοριακό επίπεδο, αλλά και στην στοματική υγεία με την διατήρηση της ισορροπίας των μικροβιακών αποικιών και την ρυθμιστική ικανότητα διατήρησης του pH μέσω του αυτοκαθαρισμού.

Συγκεκριμένα, σε δομικό επίπεδο, το σάλιο με υψηλό ιξώδες και ελαστική ικανότητα συμβάλει στον σχηματισμό συνεκτικού βλωμού και αυξάνει τον βαθμό εφύγρανσης – λίπανσης που θα οδηγήσει σε ασφαλής κατάποση. Σε μοριακό επίπεδο, αναδεικνύονται αρώματα, η γεύση των οποίων (γλυκό, αλμυρό, ξινό, πικρό, ουμάμι) γίνεται αντιληπτή από τους κατάλληλους αισθητήριους αδένες της γλώσσας, και αλληλεπιδρά με τα συστατικά των τροφίμων έχοντας ως αποτέλεσμα σημαντικές αλλαγές στην μακροδομή και στην υφή τους.

Οι μηχανισμοί που διέπουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των τροφίμων και του σάλιου περιλαμβάνουν επιφανειακή επικάλυψη και ομαδοποίηση, κολλοειδείς αλληλεπιδράσεις, δημιουργία σύμπλοκων ενώσεων, διάσπαση ενζύμων και δέσμευση αρωματικών ενώσεων (Mosca and Chen, 2017).

Η όσφρηση, η γεύση και η μάσηση οδηγούν σε εξωκρινής έκκριση σάλιου το οποίο παράγεται από τους κύριους σιελογόνους αδένες · τις παρωτίδες, τους υπογνάθιους, τους υπογλώσσιους και τους δευτερεύοντες μικρότερους αδένες με ρυθμιστική ικανότητα αντίληψης της γεύσης, οι οποίοι ανάλογα με την θέση τους παίρνουν και τα αντίστοιχα ονόματα · χειλικός αδένας, στοματικός αδένας, γλωσσικός αδένας, οι οποίοι δίνουν διαφορετικό βαθμό εφύγρανσης - λίπανσης, ρυθμιστική ικανότητα στην οποία συμβάλουν οι ηλεκτρολύτες και το HCO_3^- και διαφορετική μοριακή σύσταση. Πιστεύεται επίσης ότι και το μέγεθος των σιελογόνων αδένων παίζει ρόλο και στην ποικίλη παραγωγή σάλιου.

Οι σιελογόνοι αδένες δομούνται από τις αδενοκυψέλες οι οποίες παράγουν υδαρές, βλεννώδες ή και μεικτό σάλιο ανάλογα τον τύπο του αδένος και την περιοχή της στοματικής κοιλότητας στην οποία βρίσκεται, καθώς και τους εκφορητικούς πόρους-αγωγούς οι οποίοι συμβάλλουν στη μεταφορά και στην αποβολή του σάλιου από τον αδένος.

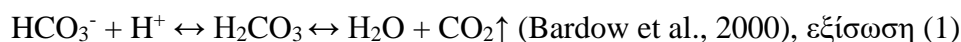
Συγκεκριμένα, οι παρωτίδες βρίσκονται μεταξύ του αυτιού και του άνω άκρου της κάτω γνάθου και εκκρίνουν λεπτόρρευστο, υδαρές σάλιο το οποίο αποτελείται από σιελική αμυλάση, λυσοζύμη, κυστατίνη, γλυκοπρωτεΐνες όπως η μυξίνη η οποία προκαλεί κροκίδωση των γαλακτωμάτων σε περίπτωση ανάμιξης τους με το σάλιο. Οι υπογνάθιοι αδένες βρίσκονται στο κατώτερο τμήμα της κάτω γνάθου και εκκρίνουν υδαρές και βλεννώδες σάλιο το οποίο αποτελείται από μυξίνη (MG1), κυστατίνη και σιελική αμυλάση. Οι υπογλώσσιοι αδένες βρίσκονται κάτω από την γλώσσα και το έκκριμα τους είναι πιο βλεννώδες, παχύρρευστο το οποίο αποτελείται από μυξίνες (MG1, MG2), σιελική αμυλάση και λυσοζύμη. (Roblegg et al., 2019).

2.5.1 Σύσταση-Ρόλος του Σάλιου

Το σάλιο είναι βιοχημικά ασταθές και περιέχει μεγάλο αριθμό επιθηλιακών κυττάρων. Λόγω της δομής του θα πρέπει να χαρακτηρίζεται ως ιστός βάσει της έρευνας του Glantz (1997) καθώς αποτελείται από μία συνεχή υγρή φάση στην οποία περιέχονται ηλεκτρολύτες όπως τα ιόντα καλίου, νατρίου, χλωρίου, τα διττανθρακικά και τα φωσφορικά ιόντα, ένα συνεχές δίκτυο γλυκοπρωτεϊνών μεγάλου μοριακού βάρους (όπως οι μυξίνες με κύριο λειτουργικό στόχο την στοματική λίπανση με σκοπό την πρόληψη της αφυδάτωσης των επιθηλιακών κυττάρων), τα μακρομόρια (όπως οι λιγότερο υδατοδιαλυτές πρωτεΐνες που υπάρχουν στον πυρήνα του) (Mosca

and Chen, 2017), αντιβακτηριακές ενώσεις – αντισώματα (όπως η immunoglobulinA (IgA)) και ένζυμα (όπως η α-αμυλάση, σιελική αμυλάση, λυσοζύμη, αλκαλική φωσφατάση).

Το pH του κυμαίνεται μεταξύ 5.6 και 7.6 και χαρακτηρίζεται ως ουδέτερο, με μέσο όρο 6.75 (Chen Jianshe, 2009). Αξίζει να σημειωθεί πως το pH του αυξάνεται κατά τα πρώτα 5 λεπτά μετά την πρόσληψη των περισσότερων τροφών και στην συνέχεια μειώνεται έχοντας τιμή 6.1, 15 λεπτά μετά την κατανάλωση της τροφής. Αυτή η μεταβολή οφείλεται στην ρύθμιση του συστήματος των διττανθρακικών ιόντων με την μετατροπή τους σε CO₂, η οποία απεικονίζεται στην παρακάτω εξίσωση (1):



Η εξουδετέρωση των οξέων γίνεται με την μετατροπή των διττανθρακικών ιόντων (HCO₃⁻) σε ανθρακικό οξύ (H₂CO₃), το οποίο με την δράση του ψευδαργυροεξαρτώμενου ενζύμου καρβονική ανυδράση διασπάται σε νερό (H₂O) και αέριο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

Έτσι, λειτουργεί ως ρυθμιστικό διάλυμα χάρης στο σύστημα των διττανθρακικών, φωσφορικών ιόντων και πρωτεϊνών και συμβάλει στην ομοίωση του στοματικού περιβάλλοντος. Με την απορρόφηση πρωτεϊνών, σχηματίζεται ένα ελαστικό επιφανειακό στρώμα στην διεπιφάνεια υγρού-αερίου που προσδίδει στο σάλιο την διεπιφανειακή ικανότητα σχηματισμού πηκτής.

Η διαμόρφωση της σύστασης του σάλιου εξαρτάται από την μετακίνηση των ηλεκτρολυτών διαμέσου του τοιχώματος των πόρων των αδενικών κυττάρων στους σιελογόνους αδένες. Σύμφωνα με τους Turner & Sugiyama (2002), η έκκριση του σάλιου προκύπτει από την συνδυασμένη δράση τεσσάρων συστημάτων μεταφοράς ιόντων τα οποία αποτελούνται από: 1) αντλία Na⁺/K⁺/ATPase, 2) συμμεταφορέα Na⁺/K⁺/2Cl⁻, 3) διάλυλο K⁺/Ca²⁺, 4) διάλυλο Cl⁻ /Ca²⁺, και πραγματοποιείται σε δύο φάσεις.

Η αντλία Na⁺/K⁺/ATPase διατηρεί χαμηλό το επίπεδο του ενδοκυττάρου Na⁺ και υψηλό το επίπεδο του K⁺ στα οποία συμβάλλει η κατανάλωση της ATPase.

Στο εσωτερικό του αδενικού κυττάρου γίνεται η ενεργειακή μεταφορά των 1Na⁺, 1K⁺, 2Cl⁻ του συμμεταφορέα Na⁺/K⁺/2Cl⁻.

Τα [Ca²⁺]_i παίζουν σημαντικό ρόλο στην ρύθμιση της ροής των K⁺, Na⁺ και Cl⁻ στα αδενικά κύτταρα. Η συμβολή των [Ca²⁺]_i οφείλεται στην δράση οργανικών ενώσεων-προϊόντων υδρόλυσης τα οποία λειτουργούν ως «διαβιβαστές σήματος» ή «αγγελιοφόροι» στο εσωτερικό

των κυττάρων. Μόρια που προέρχονται από τα φωσφολιπίδια των κυτταρικών μεμβρανών όπως η τριφωσφορική ινοσιτόλη [C₆H₁₅O₁₅P₃] ή IP₃ ως δευτεροί αγγελιοφόροι διαλύονται και διαχέονται ελεύθερα στο κυτταρόπλασμα. Δρα ως διάλυος ασβεστίου και μεταφέρει ιόντα Ca²⁺ από το ενδοπλασματικό δίκτυο (ER) στον ενδοκυττάριο χώρο (Taylor & Konieczny, 2016). Συγκεκριμένα, σε κατάσταση ηρεμίας, η συγκέντρωση του Ca²⁺ είναι χαμηλή και έτσι οι διάλυοι του K⁺ και Cl⁻ είναι κλειστοί. Όταν πραγματοποιηθεί διέγερση, η συγκέντρωση του Ca²⁺ αυξάνεται και έτσι απελευθερώνονται ιόντα Cl⁻, επέρχεται αύξηση της συγκέντρωσης του Na⁺ και μείωση της συγκέντρωσης του K⁺. Επιτυγχάνεται διαρροή των ιόντων Na⁺ διαμέσου των αδενικών κυττάρων από το μεσοκυττάριο υγρό στον αυλό του εκφορητικού πόρου. Έτσι το αρχικό ιστονικό υγρό μετατρέπεται σε υποτονικό υγρό, εξερχόμενο στον αυλό του εκφορητικού πόρου εξόδου του σιελογόνου αδένου (Ambudkar, 2014).

Υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στο σάλιο που προέρχεται από κάποια αισθητήρια διέγερση (stimulated saliva: Σάλιο διέγερσης) ανάλογα με τους αντίστοιχους τύπους εξωγενούς διέγερσης και στο σάλιο του οποίου η έκκριση οφείλεται στην παρουσία αυθόρμητων ήπιων μηχανικών ερεθισμάτων όπως είναι η κίνηση της γλώσσας ή της κάτω γνάθου (unstimulated saliva: Σάλιο ήπιας διέγερσης ή σάλιο ηρεμίας). Οι διαφορές αυτές απεικονίζονται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) :

Πίνακας 2. Φυσικοχημικές ιδιότητες και σύσταση σάλιου ήπιας διέγερσης και σάλιου διέγερσης (Sarkar et al., 2019).

Παράμετροι	Σάλιο ήπιας διέγερσης	Σάλιο διέγερσης
Βασικοί Σιελογόνοι αδένες	Υπογνάθιοι και υπογλώσσιοι αδένες	Παρωτίδες
Παρωτίδες	28% έκκριση	53% έκκριση
Υπογνάθιοι & υπογλώσσιοι αδένες	68% έκκριση	46% έκκριση
Δευτερεύοντες Σιελογόνοι αδένες	4% έκκριση	1% έκκριση
Ροή (mL/min)	0.12-0.46	0.20-2.0
pH	6.0-7.5	7.42-8.0

Συγκέντρωση πρωτεϊνών (mg/mL)	1.26-1.42	0.97-1.11
Στελική Αμυλάση (IU/L*10 ³)	454-516	422-580
Νάτριο (meq/L)	5.36-5.73	7.27-10.08
Κάλιο (meq/L)	19.33-21.48	18.0-18.39
Ασβέστιο (meq/L)	1.93-2.39	2.17-2.35
Επιφανειακή τάση (γ)	58.98	59.69
Ρυθμιστική ικανότητα ^(a) (mmolH ⁺ /L)	3.1-6.0	3.3-8.5

^(a)Roblegg et al., 2019

Εκτός από τις διαφορές στις φυσικοχημικές ιδιότητες του σάλιου ηρεμίας και του σάλιου διέγερσης που αναφέρθηκαν, υπάρχουν διαφορές και στην λειτουργία τους μέσα στην στοματική κοιλότητα. Το σάλιο ηρεμίας εμφανίζει ροή προς τον φάρυγγα, έχοντας ως σκοπό την κάθαρση της στοματικής κοιλότητας, ενώ το σάλιο διέγερσης έχει ως στόχο την επίτευξη της σιαλικής κάθαρσης από τις χημικές ουσίες που εισέρχονται στην στοματική κοιλότητα.

2.6 Τεχνητό Σάλιο (SSF) και in vitro προσομοίωση στοματικών συνθηκών επεξεργασίας της τροφής

2.6.1 Πρωτόκολλο μοντέλου πέψης: InfoGest

Έχουν δημιουργηθεί σκευάσματα υποκατάστατου του σάλιου με στόχο την προσομοίωση των ιοντικών συγκεντρώσεων, και του pH και την επίτευξη του βαθμού ιξωδο-ελαστικότητας χρησιμοποιώντας τεχνητές - εμπορικές ή ζωικές γλυκοπρωτεΐνες όπως η μυξίνη, διατηρώντας τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ανθρώπινου σάλιου.

Η δημιουργία των συγκεκριμένων σκευασμάτων, με την ονομασία προσομοιωμένου τεχνητού σάλιου (SSF: Simulated Salivary Fluid) συναντώνται σε στατικά και δυναμικά μοντέλα-μέθοδοι in vitro μάσησης και πέψης. Το πιο διαδεδομένο πρωτόκολλο είναι το INFOGEST το οποίο

χωρίζει την διαδικασία της πέψης των τροφίμων (digestion procedure) σε τρεις φάσεις, αυτές της στοματικής, της γαστρικής και της εντερικής. Οι τρεις φάσεις παίζουν σημαντικό ρόλο στην μεταξύ τους αλληλεπίδραση καθώς η στοματική διεργασία είναι πρόδρομος της γαστρικής προσομοιωμένης πέψης, για την επεξεργασία στερεών και ημι-στερεών τροφίμων.

Η χρήση του τεχνητού σάλιου βοηθάει σε ερευνητικές εργασίες και μοντέλα για την περαιτέρω κατανόηση της στοματικής επεξεργασίας και αποτελεί εύκολο δείγμα χειρισμού αποθήκευσης σε σχέση με το ανθρώπινο σάλιο το οποίο πέρα από θέματα ηθικής, υπάρχει κάποια δυσκολία ως προς την συλλογή του, τον χειρισμό του και την αποθήκευσή του. Η περαιτέρω διαχείριση του ανθρώπινου σάλιου ως δείγμα οδηγεί σε καταπονήσεις ως προς τα ρεολογικά, κολλοειδή και μηχανικά χαρακτηριστικά του.

Τα συστατικά του τεχνητού σάλιου σύμφωνα με τους Sarkar et al., (2019) περιλαμβάνουν κύριες ενώσεις (όπως NaCl, KCl και NaHCO₃ για την ρυθμιστική του ικανότητα), και άλλες ενώσεις και ηλεκτρολύτες που περιγράφονται παρακάτω (Πίνακας 3):

Πίνακας 3. Συστατικά τεχνητού σάλιου όπως προτάθηκαν από τους Sarkar et al., 2019.

Τεχνητό σάλιο (Simulated Salivary Fluid – SFF), pH=7	
Συστατικά	Συγκέντρωση στο SSF (mmolL⁻¹)
KCl	15.1
KH ₂ PO ₄	3.7
NaHCO ₃	13.6
NaCl	-
MgCl ₂ (H ₂ O) ₆	0.15
(NH ₄) ₂ CO ₃	0.06
HCl (για την ρύθμιση του pH)	1.1

Για την διεξαγωγή πειραμάτων, η χρήση του τεχνητού σάλιου χρησιμοποιείται για την δημιουργία προσομοιωμένων στοματικών συνθηκών και λειτουργιών επεξεργασίας της προσλαμβανόμενης τροφής, με τον συνδυασμό πρόσθετης μυξίνης, καζεϊνικών ενώσεων και αμυλάσης.

Κύριοι στόχοι του πρωτόκολλου INFOGEST είναι η τυποποίηση των in vitro μεθόδων και η δημιουργία πειραματικών συνθηκών οι οποίες να συνάδουν με τις in vivo μεθόδους επεξεργασίας, για την επίτευξη ισοδύναμων αποτελεσμάτων (Brodkord et al., 2019).

3. Σκοπός της Εργασίας

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη του αφρισμού υδροκολλοειδών τροφίμων σε συνθήκες που προσομοιάζουν τη στοματική επεξεργασία τροφίμων, προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για τον αφρισμό κατά τη διάρκεια της τελευταίας. Πραγματοποιείται επίσης η εξέταση συνεργιστικών αποτελεσμάτων μεταξύ μυξίνης και του πηκτικού παράγοντα κόμμι γκουάρ (E412), και του σταθεροποιητή Tween 20 (E432) σε περιβάλλον με pH 7 κατά την έκθεση τους σε in vitro στοματικές συνθήκες.

4. Πειραματικό Μέρος

4.1 Υλικά και Μέθοδοι

4.1.1 Υλικά

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Υλικά πειραματικής διαδικασίας.

Υλικά	Αγορά-προέλευση υλικών
Υπερκάθαρο νερό	ELGA Purelab Flex apparatus (Veolia Water Technologies, High Wycombe, United Kingdom)
Μυξίνη από στομάχι χοίρου (τύπου II)	Sigma – Aldrich (St. Louis, MO)
Χλωριούχο κάλιο (KCl)	Mallinkrodt (St. Louis, MO)
Δισόξινο φωσφορικό κάλιο (KH ₂ PO ₄)	Merck (Darmstadt, Germany)
Διττανθρακικό νάτριο (NaHCO ₃)	Mallinkrodt (St. Louis, MO)
Χλωριούχο νάτριο (NaCl)	Merck (Darmstadt, Germany)
Ένυδρο(6) χλωριούχο μαγνήσιο (MgCl ₂ (H ₂ O) ₆)	ChemLab (Zedelgem, Belgium)
Ανθρακικά άλατα αμμωνίου (NH ₄) ₂ CO ₃	AppliChem (Darmstadt, Germany)

Guar Gum (E412)	(Χρησιμοποιήθηκε μικροποσότητα από το εργαστήριο Τεχνολογίας Κρέατος του Τμήματος)
Πολυσορβιτόλη 20 (Tween 20 (E432)) υγρής μορφής	Sigma – Aldrich (St. Louis, MO)

4.1.2 Μέθοδοι

Παρασκευή Τεχνητού Σάλιου

Για την τυποποίηση και την αναπαραγωγή των μετρήσεων, χρησιμοποιείται ως πειραματική πλατφόρμα πέψης ένα από τα πιο συνηθισμένα in vitro γαστρεντερικά μοντέλα, το μοντέλο πέψης InfoGest.

Η παρασκευή του τεχνητού σάλιου ξεκινάει αρχικά από την προετοιμασία των (stock) διαλυμάτων ηλεκτρολυτικών ενώσεων και για το τελικό διάλυμα όγκου 400 mL χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μονάδες μέτρησης των αντιδραστηρίων. (Πίνακας 5)

Πίνακας 5. Σύνθεση τεχνητού σάλιου (SSF) σύμφωνα με το πρωτόκολλο InfoGest.

Τεχνητό σάλιο (SSF)	
Άλατα	Όγκος (mL)
KCl	15.1
KH ₂ PO ₄	3.7
NaHCO ₃	6.8
NaCl	-
MgCl ₂ (H ₂ O) ₆	0.5
(NH ₄) ₂ CO ₃	0.06

Προσομοίωση στοματικών συνθηκών – στοματικού μοντέλου

Αρχικά, παρασκευάστηκαν αφριστικά διαλύματα στοματικού υγρού, συνολικού όγκου 100mL το καθένα με την προσθήκη 1% β/ο μυξίνης. Το τεχνητό σάλιο ομογενοποιείται με την μυξίνη με την βοήθεια αναδευτήρα στροβιλισμού έως πλήρους διάλυσης της.

Σημαντικές παράμετροι των αφρών αποτελούν το κλάσμα όγκου του αερίου και το μέγεθος των φυσαλίδων τα οποία εξαρτώνται από τα συστατικά σχηματισμού των αφρών.

A) Προσθήκη κόμμεος γκουάρ (E412)

Στο διάλυμα τεχνητού σάλιου-μυξίνης προστίθενται διαφορετικές συγκεντρώσεις (0.01% , 0.1%, 0.25%, 0.50%) κόμμι γκουάρ, όπου και ομογενοποιείται με την βοήθεια του αναδευτήρα στροβιλισμού για την δημιουργία του τελικού διαλύματος.

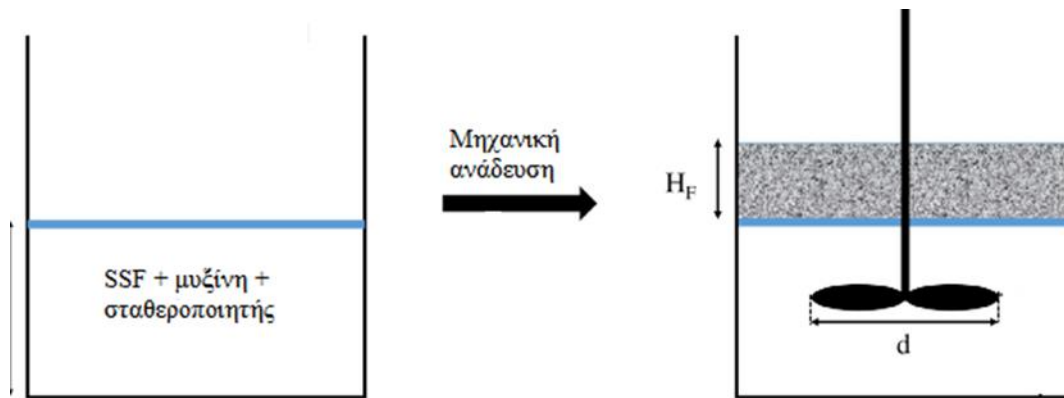
B) Προσθήκη Tween 20 (E432)

Στο διάλυμα τεχνητού σάλιου-μυξίνης προστίθενται διαφορετικές συγκεντρώσεις (0.01%, 0.1%, 1%) Tween 20, όπου και ομογενοποιείται με την βοήθεια του αναδευτήρα στροβιλισμού για την δημιουργία του τελικού διαλύματος.

Στην συνέχεια, το διάλυμα αναταράσσεται για 1 λεπτό με μιξεράκι χειρός με σκοπό τον σχηματισμό αφρού, με την αναπαράσταση της διαδικασίας να εμφανίζεται στο Σχήμα 8. Η ικανότητα αφρισμού των πρόσθετων παραγόντων σε σχέση και με το ποσοστό της συγκέντρωσης τους στο διάλυμα του τεχνητού σάλιου-μυξίνης μετριέται με την οπτική παρατήρηση του ύψους του σχηματιζόμενου αφρού μετά το τέλος της ανάδευσης.

Το αφριστικό διάλυμα τοποθετείται σε τρυβλία των 30mL και παρατηρείται η πορεία του κλάσματος αέρα μέσα σε υγρό υπό την μορφή φυσαλίδων. Μέτρο της σταθερότητας του αφρού, βάση της ογκομετρικής τεχνικής, αποτέλεσαν τα κλάσματα της μεταβολής του όγκου του αφρού, προς τον αρχικό όγκο αφρού και της μεταβολής του όγκου του υγρού κλάσματος του αφρού, προς τον αρχικό όγκο του υγρού. Καθ' όλη την διάρκεια της πειραματικής διεργασίας, ανά 15 λεπτά γίνεται δειγματοληψία για περαιτέρω ανάλυση.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για 60-120 λεπτά, έως ότου παρατηρηθεί μερική κατάρρευση του αφρού. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν εις τριπλούν.

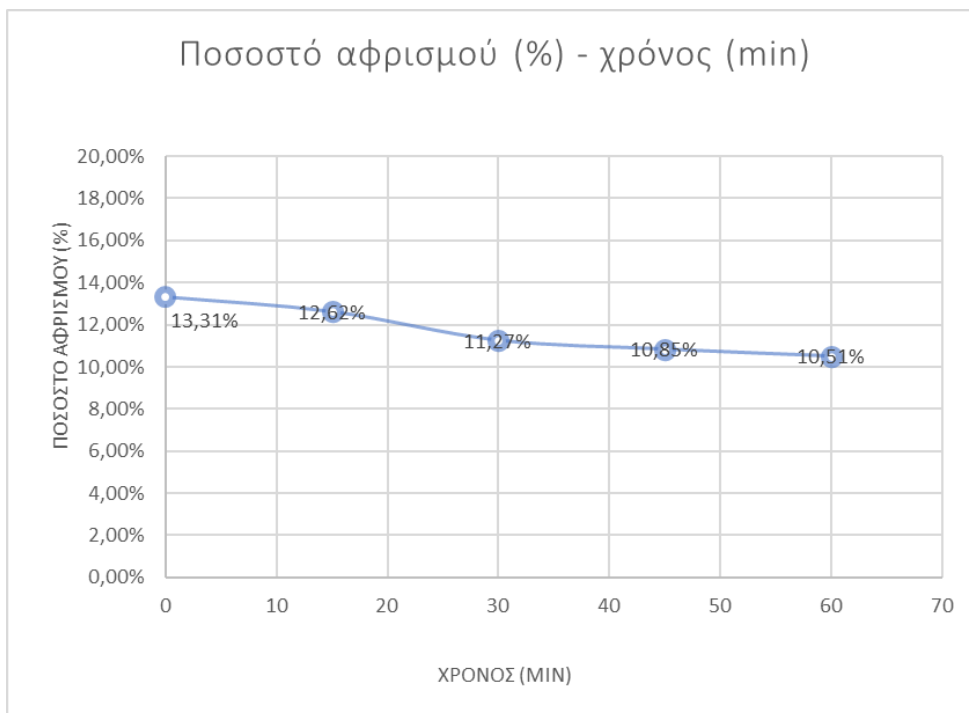


Σχήμα 8. Σχηματική απεικόνιση διεξαγωγής πειράματος. Αφρισμός διαλύματος τεχνητού σάλιου (SSF) με την προσθήκη μυξίνης και σταθεροποιητικών παραγόντων για την παρατήρηση του σχηματιζόμενου αφρού (H_F : ύψος σχηματιζόμενου αφρού) και την διάρκεια ζωής του (Bois et al., 2020).

5. Αποτελέσματα – Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

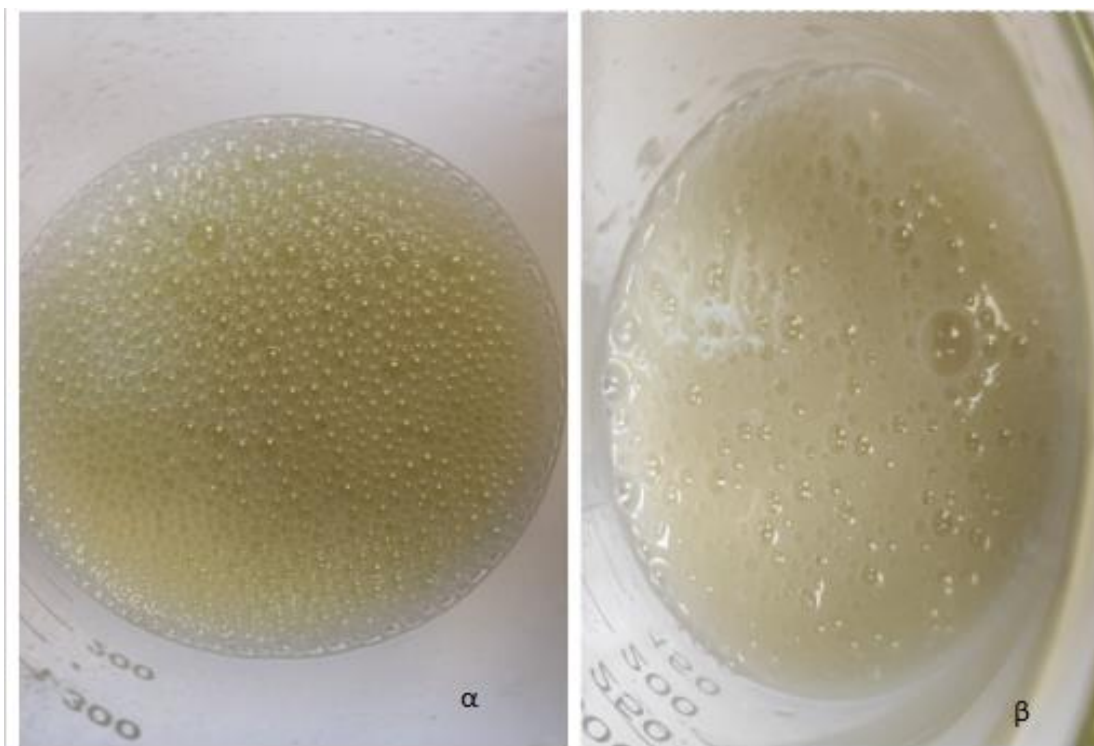
Σε πρώτο στάδιο, παρατηρείται πως ο αφρισμός ενός συστήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο παρασκευής του. Η χρήση ηλεκτρικών συσκευών ανάδευσης όπως είναι ο αναμίκτης χειρός ή το μπλέντερ κουζίνας οδηγούν στην δημιουργία αφρών με διάμετρο φυσαλίδων 0.01mm και 1mm, με τον τύπο των πτερωτών (έλικα, προπέλα, στρόβιλος) να επηρεάζει την ροή του αναδευόμενου υγρού και κατά συνέπεια τις ιδιότητες του αφρισμού του. (Bois et al., 2020)

Με την δημιουργία πρότυπων διαλυμάτων τεχνητού σάλιου (SSF) και προστιθέμενης μυξίνης 1% w/w, προέκυψε ότι η μυξίνη έχει την δυνατότητα σχηματισμού αφρού στο προσομοιωμένο σάλιο, τουλάχιστον μέσα στα χρονικά όρια που περιλαμβάνονται στην στοματική επεξεργασία της στερεής ή ημι-στερεής τροφής. Παρ' όλα αυτά, παρατηρείται σταδιακά μικρή μεταβολή του ποσοστού αφρισμού κατά την διάρκεια παρατήρησης της σταθεροποίησης του σχηματιζόμενου αφρού (Σχήμα 9).



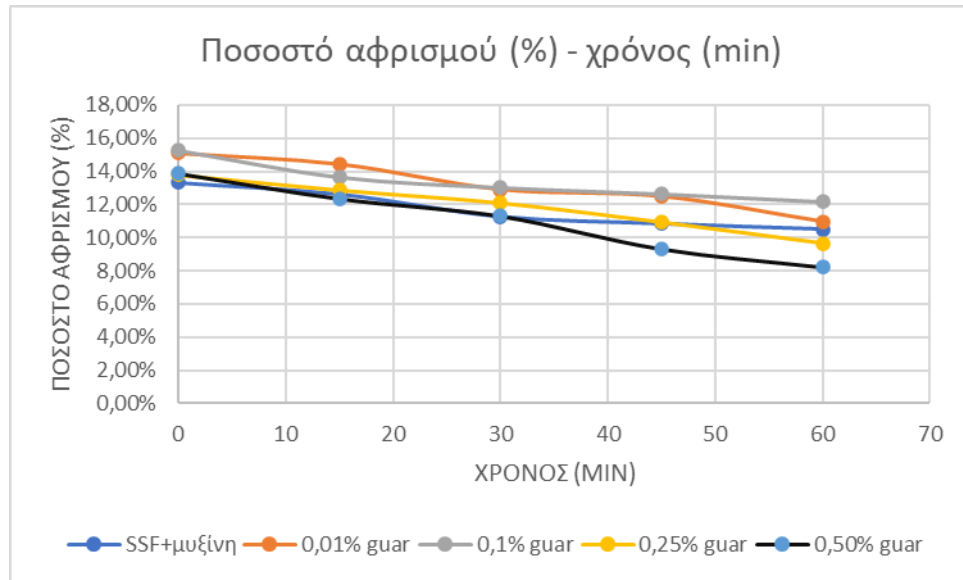
Σχήμα 9. Αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων πρότυπου διαλύματος τεχνητού σάλιου (SSF) + μυξίνης 1% .

Τα πρώτα πειράματα διεξήχθησαν με την προσθήκη κόμμεως γκουάρ διαφορετικών συγκεντρώσεων 0.01%, 0.1%, 0.25%, 0.50% w/w στο διάλυμα τεχνητού σάλιου με την μυξίνη (1% w/w). Εξαιτίας της πηκτικής του ικανότητας, δημιουργήθηκε ένα κολλοειδές σύστημα με αρκετά παχύρρευστη υφή στο οποίο παρατηρήθηκε μεγάλο ποσοστό διασκορπισμένων φυσαλίδων μικρού μεγέθους. (Σχήμα 10)



Σχήμα 10. Αποτέλεσμα πειραματικών μετρήσεων: α) SSF+1% μυζίνη + 0.25% guar, β) SSF+1% μυζίνη + 0.50% guar.

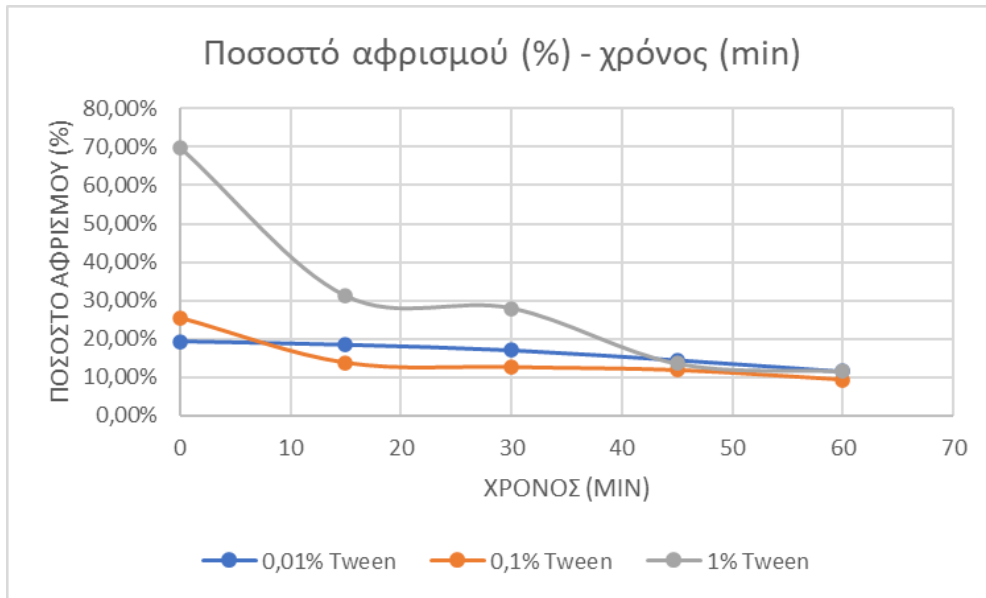
Το γκουάρ δεν εμφάνισε ικανοποιητική ποσότητα αφρού. Ωστόσο, το υψηλό ιξώδες οδήγησε σε μείωση του μεγέθους και της συγχώνευσης των φυσαλίδων, αποτρέποντας την γρήγορη αποστράγγιση του αφρού, όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 11.



Σχήμα 11. Αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων πρότυπου διαλύματος τεχνητού σάλιου (SSF) + μυξίνης 1% + κόμμι γκουάρ σε διαφορετικές συγκεντρώσεις.

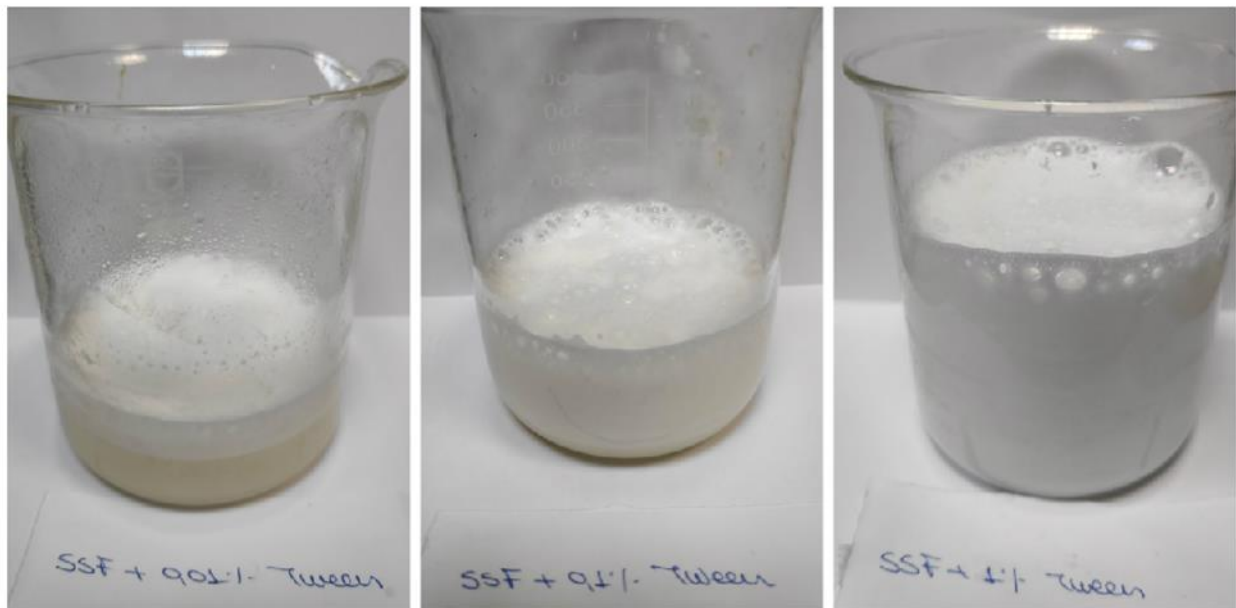
Στην συνέχεια, τα πειράματα διεξήχθησαν με την προσθήκη Tween 20 διαφορετικών συγκεντρώσεων 0.01%, 0.1%, 1% w/w στο διάλυμα τεχνητού σάλιου με την μυξίνη (1% w/w).

Με βάση το Σχήμα 12, η συγκέντρωση 1% Tween δίνει πιο έντονο αφρό σε σχέση με τα 0.01% και 0.1%. Παρατηρείται επικάλυψη των σημείων των τριών δειγμάτων στο διάστημα χρόνου 45-60' όπου και έχει καταστραφεί το μεγαλύτερο μέρος του αφρού. Καλύτερη σταθεροποίηση αφρού δίνει η συγκέντρωση 0.01% Tween καθώς ο ρυθμός καταστροφής της διεσπαρμένης φάσης είναι πιο σταθερός και αργός. Το διάλυμα SSF (τεχνητού σάλιου) +1% μυξίνης + 1% Tween ενώ αρχικά δίνει οπτικά έντονο, μεγάλης πυκνότητας αφρό, στα 15' μετά τον 1^ο αφρισμό, αποσταθεροποιείται αρκετά (μείωση 40%).

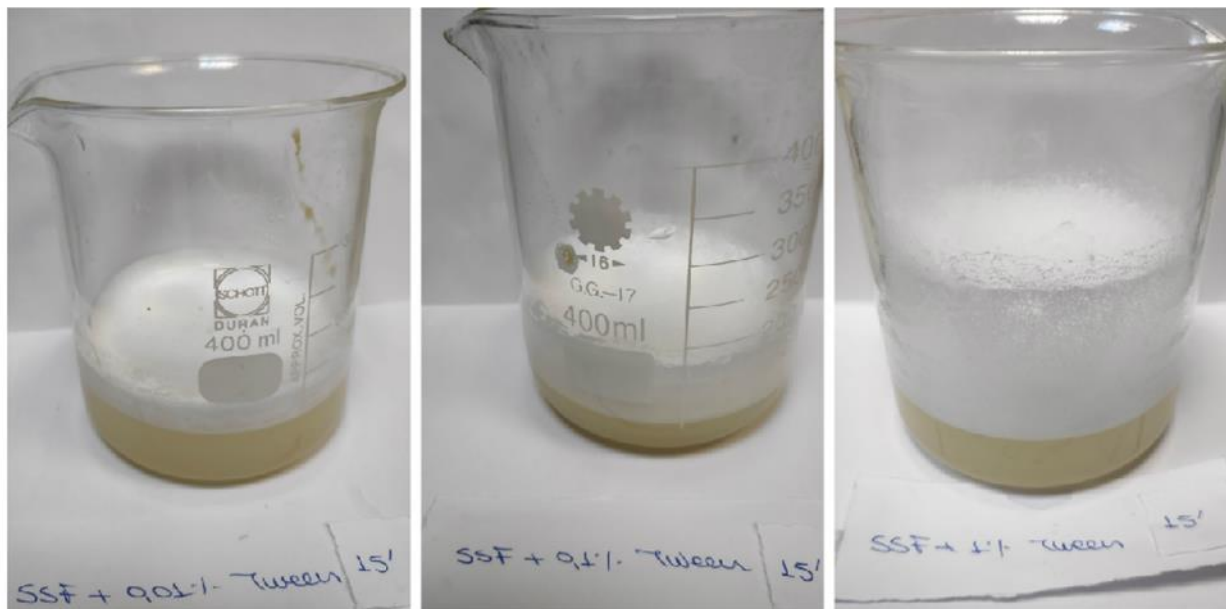


Σχήμα 12. Αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων πρότυπου διαλύματος τεχνητού σάλιου (SSF) + μυξίνης 1% + Tween 20 σε διαφορετικές συγκεντρώσεις.

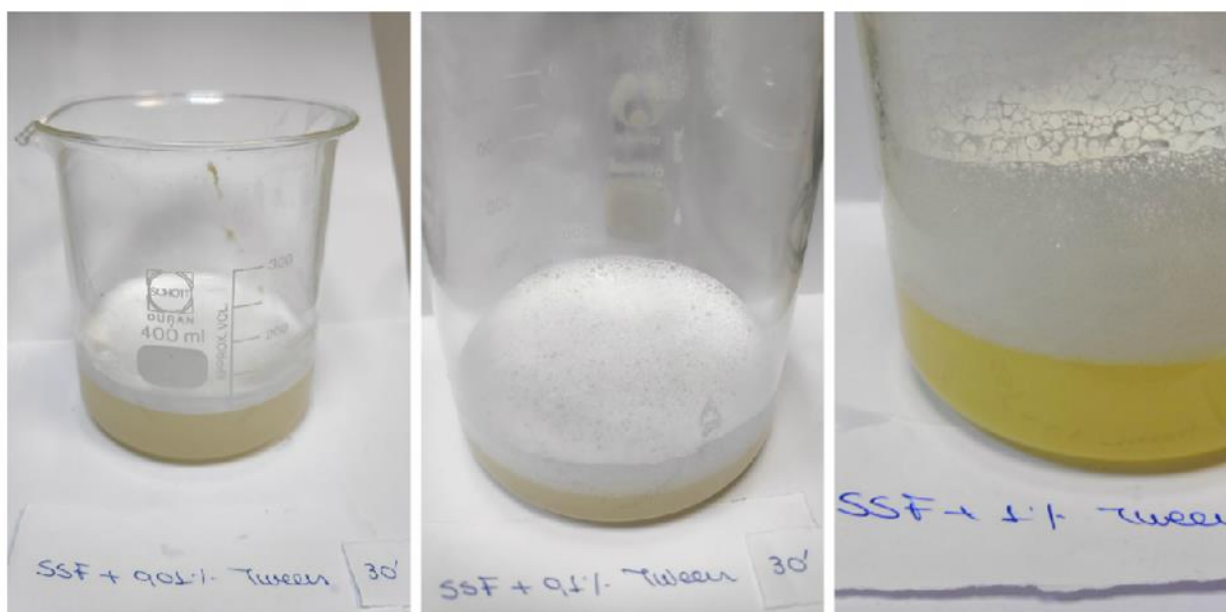
Παρακάτω, (Σχήμα 13-16), δίνεται η παράθεση φωτογραφιών από την διεξαγωγή του πειράματος για την καλύτερη κατανόηση και παρατήρηση του φαινομένου.



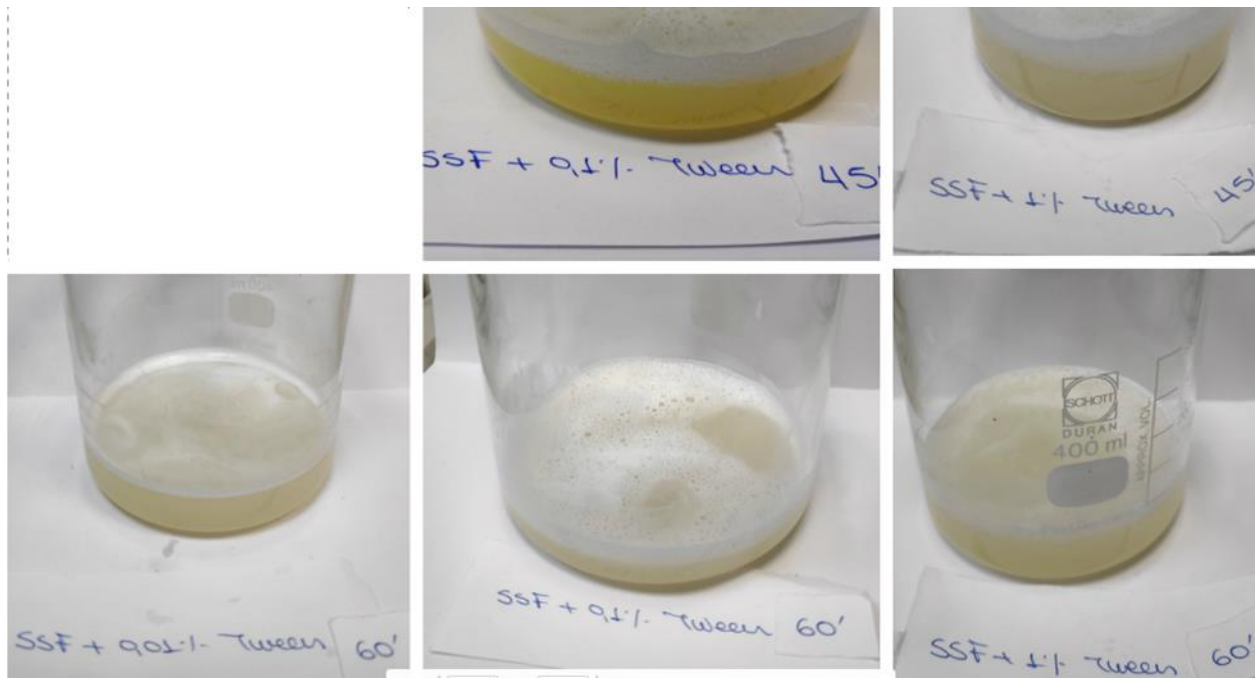
Σχήμα 13. 1^{ος} αφρισμός. Το διάλυμα SSF (τεχνητού σάλιου) +1% μυξίνης + 1% Tween 20 παρουσιάζει αφρό με μεγάλη διασπορά και επιφάνεια της διεσπαρμένης φάσης.



Σχήμα 14. Ο αφρός του 3^{ου} δείγματος αποσταθεροποιείται πιο έντονα σε $t=15'$, σε σχέση με τους άλλους αφρούς του 1^{ου} (προσθήκη 0.01% Tween 20) και 2^{ου} δείγματος (προσθήκη 0.1% Tween 20), όπου παρατηρείται μια πιο ήπια αποσταθεροποίηση, καταλήγοντας στην εμφάνιση πιο σταθερών αφρών.



Σχήμα 15. Δεν παρατηρείται έντονη αποσταθεροποίηση του αφρού στο 3ο δείγμα μεταξύ των χρονικών στιγμών 15' και 30'.



Σχήμα 16. Ο αφρός και των τριών δειγμάτων έχει αποσταθεροποιηθεί αρκετά έντονα χάνοντας μεγάλο μέρος της επιφάνειας του στις χρονικές στιγμές $t=45'$ και $t=60'$.

6. Συμπεράσματα

- Μοντέλα σάλιου εμφανίζουν αφριστική συμπεριφορά, παρουσία υδροκolloειδών και οι κolloειδείς αφριστικές τους ικανότητες επηρεάζονται όχι μόνο από τους εγγενείς σταθεροποιητές τους (μυξίνη), αλλά και από τα συστατικά της μασητικά επεξεργασμένης τροφής που υπόκειται σε διάτμηση.
- Η συγχώνευση (coalescence) εξαρτάται από την ανταγωνιστική δράση του ρυθμού απορρόφησης των τασιενεργών στις επιφάνειες των φυσαλίδων και του χρόνου αποστράγγισης-κατάρρευσης των σχηματιζόμενων αφρών.
- Το μέσο μέγεθος των φυσαλίδων μεταβάλλεται με τον χρόνο κατά την διάρκεια της αποστράγγισης. Χαρακτηριστικά, μεγάλου μεγέθους φυσαλίδες στην επιφάνεια του αφρού σπάνε πιο εύκολα και οδηγούν στην γρήγορη αποσταθεροποίηση του αφρού.
- Η προσθήκη πολυσακχαριτών όπως το κόμμι γκουάρ, επηρεάζει την σταθερότητα του συστήματος, καθώς προκαλεί τόσο μεταβολές στο ιξώδες, όσο και δημιουργία πλεγμάτων στην υδατική φάση. Συγκεκριμένα, το ιξώδες της συνεχούς φάσης αυξάνεται, όσο αυξάνεται και η αποτελεσματική συγκέντρωση των σταγονιδίων (ϕ). Η παρουσία του κόμμι γκουάρ στο σύστημα σε συγκεντρώσεις μεταξύ 0.1 και 0.5% συνεισφέρουν στην αύξηση του όγκου των φυσαλίδων του αφρού, με την αύξηση της ελαστικότητας και την πρόκληση ψευδοπλαστικής συμπεριφοράς.
- Ο χρόνος συνύπαρξης και συγχώνευσης των φυσαλίδων στα κolloειδή συστήματα υγρής συνεχούς φάσης και αέριας διεσπαρμένης φάσης θεωρείται συχνά ως ένδειξη της σταθερότητας του αφρού. Ο αφρός που παράγεται από το πρόσθετο Tween 20 είναι ασταθής γιατί επηρεάζεται από την ύπαρξη κινητού μονομοριακού στρώματος που ελέγχεται από τους μηχανισμούς Gibbs-Marangoni.

7. Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

- Μελέτη των ίδιων συστημάτων με πραγματικό σάλιο
- Μελέτη άλλων τασιενεργών όπως λεκιθίνη (λόγω διαφορετικού HLB και γιατί υπάρχει σε βιολογικά συστήματα)
- Μελέτη των ίδιων μοντέλων πέρα του στοματικού σε στομαχικό και εν συνεχεία σε εντερικό περιβάλλον.
- Μελέτη των αλληλεπιδράσεων των τασιενεργών με την μυζίνη σε μοριακό επίπεδο.

8. Βιβλιογραφία

Ξένη βιβλιογραφία

- Ambudkar I. S., (2014), Ca²⁺ signaling and regulation of fluid secretion in salivary gland acinar cell, Cell calcium, Volume 55, Issue 6, June 2014, Pages 297-305
- Anazadehsayed A. & Naser J. (2017), A combined CFD simulation of Plateau borders including films and transitional areas of liquid foams. Chemical Engineering Science, 166, 11-18
- Bardow, A., Moe, D., Nyvad, B., & Nauntofte, B. (2000). The buffer capacity and buffer systems of human whole saliva measured without loss of CO₂. Archives of oral biology, 45(1), 1-12.
- Bhakta A. & Ruckenstein E. (1997). Decay of standing foams: drainage, coalescence and collapse. Advances in Colloid and Interface Science, 70, 1-124
- Bois, R., Adriaio, O., Delaplace, G., Pezron, I., Nesterenko, A., & van-Hecke, E. (2020). Influence of process variables on foaming ability of surfactants: experimental study and dimensional analysis. Chemical Engineering Research and Design.
- Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., ... & Clemente, A. (2019). INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. Nature protocols, 14(4), 991-1014.
- Chen Jianshe, (2009), Food oral processing-A review, Food Hydrocolloids, Volume 23, Issue 1 , January 2009, Pages 1-25

- Dehdari B., Parsaei R., Riazi M., Rezaei N. & Zendejboudi S. (2020). New insight into foam stability enhancement mechanism, using polyvinyl alcohol (PVA) and nanoparticles. *Journal of Molecular Liquids*, 112755
- Denkov, N., Tcholakova, S., & Politova-Brinkova, N. (2020). Physicochemical control of foam properties. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*.
- Eshtiaghi, N., & Hapgood, K. P. (2012). A quantitative framework for the formation of liquid marbles and hollow granules from hydrophobic powders. *Powder technology*, 223, 65-76.
- Glantz Per-Olof, (1997), *Interfacial phenomena in the oral cavity, Colloids and Surfaces: Physicochemical and Engineering Aspects*, Volumes 123-124, May 1997, Pages 657-670
- Liang G., Chen W., Qie X., Zeng M., Qin F., He Z. & Chen J. (2020). Modification of soy protein isolates using combined pre-heat treatment and controlled enzymatic hydrolysis for improving foaming properties. *Food Hydrocolloids*, 105, 105764
- Lioumbas J.S., Georgiou E., Kostoglou M. & Karapantsios D. (2015). Foam free drainage and bubble size for surfactant concentrations below the CMC. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 487, 92-103
- Minekus M., Alminger M., Alvito P., Balance S., Bohn T., Bourlieu C., Carriere F., Boutrou R., Corredig M., Dupont D., Dufour C., Egger L., Golding M., Katakaya S., Kirkhus B., Le Feunteun S., Lesmes U., Macierzanka A., Mackie A., Marze S., McClements D.J., Menard O., Recio I., Santos C.N., Singh R.P., Vegarud G.E., Wickham M.S.J., Weitschies W., Brodkorb A., (2014). A standardized static in vitro digestion method suitable for food – an international consensus, *Food Func.*, 5, 1113
- Mosca A. C. & Chen J., (2017), *Food-saliva interactions: Mechanisms and implications*, *Trends in Food Science & Technology*, Volume 66, August 2017, Pages 125-134
- Offner, G. D., & Troxler, R. F. (2000). Heterogeneity of high-molecular-weight human salivary mucins, *Advances in dental research*, 14(1), 69-75.
- Phianmongkhol A., Varley J., (1999), A multi point conductivity measurement system for characterization of protein foams, *Colloids and Surfaces B: Bio interfaces*, Volume 12, Issues 3–6, 15 January 1999, Pages 247-259
- Roblegg E. & Coughran A. & Sirjani D., (2019), *Saliva: An all-rounder of our body*, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, Volume 142, September 2019, Pages 133-14

- Saint James A., Vera M.U. & Durian D.J. (1999). Uniform foam production by turbulent mixing: new results on free drainage vs. liquid content. *The European Physical Journal B*, 12, 67-73
- Sarkar A. & Xu F. & Lee S. , (2019), Human saliva and model saliva at bulk to adsorbed phases–similarities and differences, *Advances in Colloid and Interface Science* 273 (2019) 102034
- Solsvik, J., & Jakobsen, H. A. (2014). Bubble coalescence modeling in the population balance framework. *Journal of dispersion science and technology*, 35(11), 1626-1642.
- Taylor C. W. & Konieczny V., (2016), IP3 receptors: take four IP3 to open, *Science Signalling*, Volume 9, Issue 422, April 2016
- Turner J. R. & Sugiya H., (2002), Understanding salivary fluid and protein secretion, *Oral diseases* (2002), Salivary glands and saliva – Number I, 8, 3-11
- Vardar-Sukan F. (1998). Foaming: Consequences, prevention and destruction. *Biotechnology Advances*, 16(5-6), 913-948
- Zhou J., Ranjith P.G. & Wanniarachchi W.A.M. (2020). Different strategies of foam stabilization in the use of foam as fracturing fluid. *Advances in Colloid and Interface Science*, 102104
- Zoheidi, L. (2018). Flow Characterization of Milk Protein Foam Transport in Inner Geometries.

Ελληνική βιβλιογραφία

- Ριτζούλης Χ. (2015), *Γαλακτώματα και Αφροί, Φυσικοχημεία Τροφίμων*, Τεύχος 6, Σελίδες 127-129, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

Ιστότοποι

- https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3357/3/Chapter_02.pdf
[Αναστασιάδου Βασιλική, *Φυσιολογία Στοματογοναθικού Συστήματος Ηλικιωμένων Ατόμων*, Κεφάλαιο 2, Εργαστήριο Οδοντικής και Ανωτέρας Προσθητικής – Τομέας Προσθητικής, Τμήμα Οδοντιατρικής, Σχολής Επιστημών Υγείας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης], (Τελευταία προσπέλαση: 18/03/2020)

- <https://slideplayer.gr/slide/2982776/>
[Τσόλκα Παναγιώτα Δρ., Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Κύριες Λειτουργίες του Στοματογναθικού Συστήματος , Φυσιολογία Στοματογναθικού Συστήματος - Συγκλεισιολογία, Ενότητα 8, Τμήμα Οδοντικής Τεχνολογίας], (Τελευταία προσπέλαση: 18/03/2020)