



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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΩΝ ΜΠΑΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΣΤΟΜΑΤΙΚΗ ΤΟΥΣ ΡΕΟΛΟΓΙΑ**

ΜΑΚΡΗ ΧΡΙΣΤΙΝΑ – ΠΟΛΙΤΙΔΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΑΥΡΑ

Επιβλέπων καθηγητής: Ριτζούλης Χρήστος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2021

**ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΩΝ ΜΠΑΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΣΤΟΜΑΤΙΚΗ ΤΟΥΣ ΡΕΟΛΟΓΙΑ**

**ISOLATION OF OKRA HYDROCOLLOIDS AND
THEIR ORAL RHEOLOGY**

ΜΑΚΡΗ ΧΡΙΣΤΙΝΑ – ΠΟΛΙΤΙΔΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΑΥΡΑ

Περίληψη

Στο πλαίσιο της παρακάτω πτυχιακής εργασίας, εξετάστηκε η απομόνωση υδροκολλοειδών μπάμιας μέσω εκχύλισης, η σύσταση και οι ιδιότητες φυσικού και τεχνητού σάλιου, καθώς και η ρεολογία των προαναφερθέντων. Η παραλαβή των υδροκολλοειδών της μπάμιας πραγματοποιείται με τη μέθοδο των διαδοχικών εκχυλίσεων, από τις οποίες προκύπτουν κλάσματα με διαφορετικές συστάσεις. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε σύγκριση της χημικής σύστασης του σάλιου μεταξύ υγίων και ξηροστομικών ατόμων. Αφού παρουσιάστηκε η σύσταση τριών ευρέως χρησιμοποιούμενων μοντέλων τεχνητού σάλιου, εξετάστηκαν οι διαφορές μεταξύ των κύριων μυξινών ζωϊκής προέλευσης, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα ανθρώπινης μυξίνης κατά την παρασκευή τεχνητού σάλιου.

Αφότου συγκρίθηκε η σιαλική ροή μεταξύ διεγερμένου και μη διεγερμένου σάλιου, μελετήθηκε η μεταβολή του ιξώδους του σάλιου συναρτήσει της θερμοκρασίας, του pH και του ρυθμού διάτμησης. Ομοίως, για τους ίδιους ρυθμούς διάτμησης, σημειώθηκε ο τρόπος μεταβολής του ιξώδους μίγμάτων που περιέχουν υδροκολλοειδή μπάμιας σε διαφορετική ποσότητα. Παράλληλα, εξετάστηκε η επίδραση της κατανάλωσης διαφόρων τροφίμων στη ρεολογία του σάλιου και μελετήθηκε ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται το ιξώδες σε συνάρτηση με το ρυθμό διάτμησης σε μίγματα σάλιου και υδροκολλοειδών διαφορετικής αναλογίας.

Τέλος, συνοψίζονται τα συμπεράσματα της παρούσας βιβλιογραφικής έρευνας, τα οποία μπορούν να αποτελέσουν βάση για μελλοντικές πειραματικές έρευνες αλληλεπίδρασης μπάμιας – σάλιου.

Λέξεις Κλειδιά: μυξίνη, ιξώδες, AIS, HBSS, CHSS, DASS, πηκτίνη, ρυθμός διάτμησης, τεχνητό σάλιο

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΜΠΑΜΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΗ ΜΠΑΜΙΑΣ	1
1.1 Προέλευση	1
1.2 Στην Ελλάδα	1
1.3 Οφέλη και χρήσεις Μπάμιας	1
1.3.1 Διατροφικά οφέλη	2
1.3.2. Τεχνολογικά οφέλη	2
1.3.3 Φαρμακευτικά οφέλη	3
1.4 Χημική Σύσταση Μπάμιας	4
1.5 Υδροκολλοειδή τροφίμων	4
1.6 Οφέλη και χρήσεις Υδροκολλοειδών	5
1.6.1 Τεχνολογικές εφαρμογές στα τρόφιμα	5
1.6.2 Διατροφικά οφέλη	6
1.7 Επιλογή υδροκολλοειδών για τα τρόφιμα	7
1.8 Υδροκολλοειδή μπάμιας	7
1.9 Πηκτίνη	8
1.9.1 Γενικά	8
1.9.2 Οφέλη της πηκτίνης για τον άνθρωπο	9
1.9.3 Σχηματισμός πηκτής από πηκτίνη μπάμιας	10
1.10 Διαδοχικές Εκχύλισεις	12
1.10.1 AIS Εκχύλιση	12
1.10.2 HBSS Εκχύλιση	12
1.10.3 CHSS Εκχύλιση	12
1.10.4 DASS Εκχύλιση	13
2. ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΣΑΛΙΟΥ	15
2.1 Ρόλος του σάλιου	15
2.2 Ξηροστομία	16

2.3 Μυξίνη	18
2.3.1. Ρόλος της Μυξίνης στο σάλιο	18
2.3.2 Δομή της Μυξίνης.....	19
2.3.3 Κολλοειδείς αλληλεπιδράσεις.....	21
2.3.4 Σχηματισμός Συμπλόκων	22
2.4. Τεχνητό Σάλιο.....	24
2.4.1 Γενικά.....	24
2.4.2 <i>In vitro</i> μοντέλο πέψης	24
2.4.3 Μοντέλο προσομοίωσης ανθρώπινου σάλιου	25
2.4.4 Μυξίνες ζωικής προέλευσης	28
3. ΡΕΟΛΟΓΙΑ ΣΑΛΙΟΥ ΚΑΙ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΟΥΣ ΜΠΑΜΙΑΣ	30
3.1. Ρεολογικές ιδιότητες των ρευστών	30
3.2 Νευτώνια και μη νευτώνια ρευστά.....	31
3.3 Σιαλική ροή	32
3.3.1 Σάλιο σε κατάσταση ηρεμίας.....	32
3.3.2 Σάλιο σε διεγερμένη κατάσταση.....	33
3.3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη σιαλική ροή	33
3.4 Ιξώδες σάλιου	35
3.4.1 Μεταβολή ιξώδους με το χρόνο.....	35
3.4.2 Ιξώδες και θερμοκρασία	36
3.4.3 Ιξώδες και pH.....	38
3.4.4 Ιξώδες και ρυθμός διάτμησης.....	39
3.5 Επίδραση της κατανάλωσης τροφίμων στη ρεολογία του σάλιου	43
3.6 Επίδραση υδροκολλοειδών στη ρεολογία του σάλιου	45
3.7 Ρεολογία Μπάμιας	49
3.7.1 Επίδραση υδροκολλοειδών μπάμιας στο ιξώδες σε διαφορετικά υποστρώματα	49
3.7.2 Επίδραση των υδροκολλοειδών μπάμιας στο ιξώδες σε διαφορετικά pH	52

3.7.3 Επίδραση των διαφορετικών εκχυλισμάτων μπάμιας στο ιξώδες σε διαλύματα .	53
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	54
5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	57
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	58

1. ΜΠΑΜΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΗ ΜΠΑΜΙΑΣ

1.1 Προέλευση

Η μπάμια (*Hibiscus esculentus L.*) ανήκει στην οικογένεια των *Malvaceae*. Είναι φυτό που καλλιεργείται από τα αρχαία χρόνια στην Ινδία και την Αίγυπτο. Άρχισε να εξαπλώνεται στις χώρες της Μεσογείου, περίπου τον 17^ο αι.. Σήμερα καλλιεργείται σε μεγάλες εκτάσεις στη Βραζιλία, στην Ινδία, στις ΗΠΑ, αλλά και σε χώρες της Αφρικής. Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής της μπάμιας καταναλώνεται σα νωπός καρπός ενώ ένα σημαντικό μέρος επίσης μεταποιείται με κονσερβοποίηση, κατάψυξη ή παραγωγή τουρσιού. Στην Ινδία, οι μπάμιες χρησιμοποιούνται επίσης αποξηραμένες και κονιορτοποιημένες σαν σκόνη καρπών σε διάφορα φαγητά. Το χαρακτηριστικό του καρπού είναι μια βλεννώδης υφή, η οποία γίνεται έντονα αντιληπτή κατά το μαγείρεμα ή τη θερμική επεξεργασία (Παπάζογλου, 2015).

1.2 Στην Ελλάδα

Ευδοκίμει και καλλιεργείται σχεδόν σε όλη την Ελλάδα αλλά κυρίως στις περιοχές της Εύβοιας, της Λαμίας, των Τρικάλων, Ημαθίας, Πιερίας, Σερρών, Έβρου και Θεσσαλονίκης. Ανθίζει από τις αρχές καλοκαιριού μέχρι το φθινόπωρο (Παπάζογλου, 2015).

1.3 Οφέλη και χρήσεις Μπάμιας

Η μπάμια απασχολεί τα τελευταία χρόνια τους επιστήμονες για τα διάφορα διατροφικά, τεχνολογικά, και φαρμακευτικά οφέλη της.

1.3.1 Διατροφικά οφέλη

Σύμφωνα με τους Raj et al. (2020), η μπάμια έχει αντιοξειδωτική και αντιμικροβιακή δράση η οποία αυξάνεται με τη θερμική επεξεργασία, αλλά τη μεγαλύτερη δράση την παρουσιάζει κατά την εντερική φάση. Οι μπάμιες περιέχουν σημαντικές ποσότητες θρεπτικών ουσιών, όπως λιπίδια, αμινοξέα, διαιτητικές ίνες, υδατάνθρακες, βιταμίνες (A, C, K, φολικό οξύ, νιασίνη, χολίνη και β-καροτένιο) και μέταλλα. Επιπλέον, έχει και αντικαρκινική και αντιδιαβητική δράση. Οι σπόροι της μπάμιας περιέχουν υψηλά ποσοστά πρωτεϊνών που σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν συμπληρώματα πρωτεΐνης στη διατροφή, καθώς είναι πλούσιοι σε αμινοξέα. Παράλληλα, η μπάμια έχει υψηλή περιεκτικότητα σε φαινολικές ενώσεις που αποτελούνται κυρίως από ολιγομερείς κατεχίνες και παράγωγα φλαβονολών, ενώ το πολυφαινολικό προφίλ της επιδερμίδας αποτελείται κυρίως από παράγωγα υδροξυκινναμικής και κουερκετίνης. Οι μπάμιες δεν περιέχουν καθόλου κορεσμένα λιπαρά και είναι χαμηλής θερμιδικής αξίας. Διευκολύνουν τη διάδοση των ωφέλιμων βακτηρίων, που ονομάζονται προβιοτικά και βοηθούν στην βιοσύνθεση του συμπλέγματος της Βιταμίνης Β. Η κατανάλωσή τους συντελεί στην ανάπτυξη και επιδιόρθωση των ιστών του σώματος και στο σχηματισμό του κολλαγόνου (Kontogiorgos et al., 2012).

1.3.2. Τεχνολογικά οφέλη

Σύμφωνα με τους Kontogiorgos et al. (2012), η παχιά και λεπτή υφή των εκχυλισμάτων νερού από μπάμιες οφείλεται στην περιεκτικότητα αυτών σε πολυσακχαρίτες και αποτελεί ιδιαίτερο τεχνολογικό ενδιαφέρον. Τα εκχυλίσματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φυσικοί γαλακτωματοποιητές και σταθεροποιητές τροφίμων. Οι πολυσακχαρίτες που είναι υπεύθυνοι για αυτό το ρόλο, αποτελούνται από ραμνόζη, γαλακτουρονικό οξύ, γαλακτόζη, καθώς και από γλυκόζη και γλυκουρονικό οξύ. Η διαδοχική εκχύλιση, χρησιμοποιώντας μια σειρά ρυθμιστικών θερμών εκχυλισμάτων και χηλικών παραγόντων, απέδωσε κλάσματα αποτελούμενα από πηκτίνη και πολυδιακλαδισμένη ραμνογαλακτουρονάνη με υψηλά επίπεδα ακετυλομάδων και πλευρικών αλυσίδων γαλακτόζης. Επιπλέον,

σύμφωνα με τους Raj et al. (2020), έχουν αναφερθεί και πολλές βιομηχανικές εφαρμογές της μπάμιας, όπως συσκευασία τροφίμων, παρασκευή κέικ, προσρόφηση μετάλλων-ιόντων, αφαίρεση χρωμάτων και επεξεργασία λυμάτων.

1.3.3 Φαρμακευτικά οφέλη

Στην παραδοσιακή ιατρική έχουν χρησιμοποιηθεί καρποί μπάμιας για τη θεραπεία γαστρεντερικών διαταραχών και οδοντικών παθήσεων, εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας σε πολυσακχαρίτες, καθώς και ως διουρητικά για νεφρολογικές παθήσεις. Οι πολυσακχαρίτες αυτοί έχουν υπογλυκαιμικές ιδιότητες και αποτελέσματα ερευνών, έδειξαν ότι μπορούν να μειώσουν τα επίπεδα της χοληστερόλης στο πλάσμα των ποντικών. Πιο συγκεκριμένα, έχει βρεθεί ότι δεσμεύουν τη χοληστερόλη και τα χολικά οξέα που μεταφέρουν τοξίνες, τα οποία διοχετεύονται από το ήπαρ, καθώς επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί και ως υποκατάστατο του πλάσματος ή επέκτασης του όγκου του αίματος (Gemede et al., 2015).

1.4 Χημική Σύσταση Μπάμιας

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα κυριότερα συστατικά της μπάμιας:

Πίνακας 1. Χημική σύσταση της μπάμιας ανά 100g βρώσιμου τμήματος.

Συστατικό	Ποσότητα
Νερό	88,6g
Ενέργεια	144 KJ
Πρωτεΐνη	2,1g
Υδατάνθρακες	8,2g
Λίπος	0,2g
Ίνες	1,7g
Ασβέστιο	84mg
Φώσφορο	90mg
Σίδηρο	1,2mg
β-Καροτένιο	185mg
Ριβοφλαβίνη	0,08mg
Θειαμίνη	0,04mg
Νιασίνη	0,6mg
Ασκορβικό Οξύ	47mg

(Gemede et al., 2015)

1.5 Υδροκολλοειδή τροφίμων

Τα υδροκολλοειδή ή κόμμεα είναι μια ομάδα ευρύτατα διαδεδομένων πρόσθετων υλών στα τρόφιμα. Ουσιαστικά, πρόκειται για μια ομάδα προσθέτων με πολλές ιδιότητες και ρόλους. Τα υδροκολλοειδή είναι μακρομοριακές οργανικές ενώσεις που έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν πολλά μόρια νερού και να τροποποιούν τις ιδιότητες των συστατικών τροφίμων, με αποτέλεσμα την αύξηση του ιξώδους τους, δηλαδή την αύξηση της πηκτικότητας στα τρόφιμα. Λόγω αυτής της ιδιότητας τους, πολλές φορές χαρακτηρίζονται και ως πηκτικά ή σταθεροποιητές. Επίσης, επιτρέπουν την

πάχυνση, τη γαλακτωματοποίηση και την επικάλυψη των τροφίμων. Παράλληλα, η τροποποίηση των ρεολογικών χαρακτηριστικών είναι χρήσιμη για την τροποποίηση των αισθητηριακών ιδιοτήτων των τροφίμων. Τα υδροκολλοειδή είναι κυρίως φυτικής προέλευσης και σπάνια ζωικής. Μπορούν επίσης να είναι και συνθετικής προέλευσης (Manzoor et al., 2020).

Ταξινόμηση:

- Φυτικά εκχυλίσματα: αραβικό κόμμι, τραγακάνθιο κόμμι, πηκτίνη, ινουλίνη, κόμμι βασιλικού
- Κόμμεα σπόρων: κόμμι χαρουπιών, κόμμι γκουάρ, κόμμι βρώμης, κόμμι λιναρόσπορου
- Εκχυλίσματα από φύκια: αλγινικά, καραγεννάνες, άγαρ
- Μικροβιακά κόμμεα: κόμμι ξανθάνης, δεξτράνη
- Ζωικές πρωτεΐνες: ζελατίνη, χητίνη, χιτοζάνη
- Συνθετικά: Μεθυλοκυτταρίνη, μεθυλοαιθυλοκυτταρίνη, υδροξυαιθυλοκυτταρίνη, υδροξυλοπροπυλοκυτταρίνη, υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη, μικροκρυσταλλική κυτταρίνη (Manzoor et al., 2020; Li J.M. & Nie S.P., 2015).

1.6 Οφέλη και χρήσεις Υδροκολλοειδών

1.6.1 Τεχνολογικές εφαρμογές στα τρόφιμα

Παρακάτω, παραθέτονται ορισμένες από τις εφαρμογές στα τρόφιμα:

- Αλλαντικά: συνδετική ουσία
- Παγωτά και γρανίτες: παρεμποδιστής κρυστάλλων
- Αρώματα: ουσίες εγκλωβισμού
- Σοκολατούχα γάλατα: πυκνωτική ουσία

- Κατεψυγμένα τρόφιμα: παρεμποδιστής συναίρεσης
- Σάλτσες κέτσαπ: σταθεροποιητής
- Μπύρες: σταθεροποιητές αφρού
- Έτοιμες Σαντιγύ : εναερωτικοί παράγοντες

(Manzoor et al., 2020)

1.6.2 Διατροφικά οφέλη

Εκτός από τις λειτουργικές ιδιότητες, τα υδροκολλοειδή έχουν και πολλά διατροφικά οφέλη. Τα περισσότερα υδροκολλοειδή τροφίμων θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως διαιτητικές ίνες. Είναι ευρέως γνωστό ότι σε μια ισορροπημένη διατροφή, οι διαιτητικές ίνες είναι απαραίτητες. Έτσι, μερικά υδροκολλοειδή χρησιμοποιούνται για την αύξηση της περιεκτικότητας σε ίνες στα τρόφιμα. Υπάρχουν πολλά θετικά για την υγεία που συνδέονται με την κατανάλωση υδροκολλοειδών τροφίμων, τα οποία περιλαμβάνουν τη διαχείριση του βάρους, την ανοσολογική ρύθμιση, την υγεία του παχέος εντέρου, την πρόληψη καρδιαγγειακών παθήσεων και το γλυκαιμικό και ινσουλιναϊκό έλεγχο στο διαβήτη τύπου 2. Ορισμένες μελέτες έδειξαν ότι η κατανάλωση συγκεκριμένων υδροκολλοειδών θα μπορούσε να ρυθμίσει τη σύνθεση της εντερικής βακτηριακής χλωρίδας, προωθώντας τα καλά βακτήρια, όπως το *bifido* και το *lactobacillus*. Παράλληλα, μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη ζυμωτική δραστηριότητα, καθώς και στην παραγωγή λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας, αφού τα αυτά λιπαρά οξέα έχουν ουσιαστικά βιολογικά αποτελέσματα, συμπεριλαμβανομένης της διαφοροποίησης του κυτταρικού πολλαπλασιασμού, της απόπτωσης και προκαλούν αγγειογένεση (Manzoor et al., 2020).

1.7 Επιλογή υδροκολλοειδών για τα τρόφιμα

Η επιλογή ενός συγκεκριμένου υδροκολλοειδούς για την παρασκευή κάποιου τροφίμου εξαρτάται από το τεχνικό χαρακτηριστικό του, καθώς και από την τιμή και την ασφάλειά του για ανθρώπινη κατανάλωση. Για παράδειγμα, τα άμυλα είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα πηκτικά, λόγω του χαμηλού τους κόστους που προκύπτει από την υψηλή ετήσια παραγωγή. Ωστόσο, ένα πιο ακριβό πυκνωτικό, όπως το κόμμι ξανθάνης μπορεί να αποτελέσει καλύτερη επιλογή λόγω των πολλαπλών ρεολογικών ιδιοτήτων του (Manzoor et al., 2020).

1.8 Υδροκολλοειδή μπάμιας

Ένα πολύ καλό παράδειγμα κατανόησης των υδροκολλοειδών, είναι αυτό της μπάμιας. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, στα τεχνολογικά οφέλη της μπάμιας, χρησιμοποιείται κυρίως ως γαλακτωματοποιητής. Σύμφωνα με τους Lousinian et al (2017), η χρήση αυτή, οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητα σε πολυσακχαρίτες. Τα κύρια συστατικά των πολυσακχαριτών των υδατικών εκχυλισμάτων της μπάμιας, είναι οι μερικώς μεθυλιωμένες και ακετυλιωμένες ραμνογαλακτουράνες τύπου I με μικρούς πλευρικούς κλάδους υπολειμμάτων γαλακτοζυλίου. Με λίγα λόγια, η διαδικασία σχηματισμού υδροκολλοειδών μπάμιας, είναι η εξής: Αρχικά, τα μακρομόρια της στερεάς μήτρας της μπάμιας ενυδατώνονται από έναν υδατικό διαλύτη. Στη συνέχεια, τα ενυδατωμένα πλέον μακρομόρια, μεταφέρονται από τη στερεά μήτρα στην υδατική φάση. Τέλος, τα μακρομόρια χαλαρώνουν στην υδατική φάση, επηρεάζοντας τη ρεολογία του νερού και το μετατρέπουν σε ένα ιξώδες υδροκολλοειδές (Yuan et. al., 2018). Επίσης, να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τους Alba et al (2013), τα πολυσακχαριδικά εκχυλίσματα μπάμιας είναι καλοί γαλακτωματοποιητές σε χαμηλό pH, ενώ παράλληλα είναι και αποτελεσματικοί σταθεροποιητές γαλακτωμάτων.

1.9 Πηκτίνη

1.9.1 Γενικά

Σύμφωνα με τον Moslemi (2020), η πηκτίνη είναι ένας δομικός ετεροπολυσακχαρίτης που βρίσκεται στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών. Οι πηκτίνες απαντώνται φυσικά σε ανιονικά ετεροπολυσακχαρίδια πολυμερή που είναι πλούσια σε πολυγαλακτορονικό οξύ, ραμνόζη, γαλακτόζη, αραβινόζη, φρουκτόζη και ξυλόζη. Παράλληλα, οι πηκτίνες είναι ιδιαίτερα άφθονες στα φρούτα π.χ. μήλα, δαμάσκηνα, αχλάδια και εσπεριδοειδή από τα οποία εξάγεται και χρησιμοποιείται ως πηκτωματοποιητής. Είναι επίσης, γνωστές και με το όνομα «πηκτικοί πολυσακχαρίτες» (Elshahed et al., 2020).

Δομικά, η πηκτίνη είναι ένας από τους πιο σύνθετους φυσικούς πολυσακχαρίτες που βρίσκονται στη φύση. Η ομογαλακτουρονάνη (HG) είναι η πιο άφθονη μορφή πηκτίνης, που αντιπροσωπεύει έως και 60–65% της πηκτίνης. Το HG είναι ένα πολυμερές α-1,4-συνδεδεμένων μονάδων d-γαλακτουρονικού οξέος. Η ραχοκοκαλιά του γαλακτουρονικού οξέος σε HG θα μπορούσε να μέθυλο - εστεροποιηθεί σε O-6 και σε O-2 ή O-3 θέσεις. Η ραχοκοκαλιά HG συχνά υποκαθίσταται έντονα δημιουργώντας πρόσθετα μοτίβα πηκτίνης όπως ξυλογαλακτουρονάνη, απιογαλακτουρονάνη-1, γαλακτογαλακτουρονάνη ή αραβινογαλακτουρονάνη.

Η πηκτίνη είναι ένας μη εύπεπτος υδατάνθρακας και η αποδόμησή της στο ανθρώπινο γαστρεντερικό σύστημα, προκαλείται από ένα κλάσμα της μικροβιακής κοινότητας που βρίσκεται στο ανθρώπινο έντερο. Στη γαστρεντερική οδό επικρατούν αναερόβιες συνθήκες κι έτσι παίρνουν μέρος ατελείς διεργασίες ζύμωσης που οδηγούν στην παραγωγή τελικών προϊόντων ζύμωσης π.χ. λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας (SCFA). Ως τέτοιο, το μόριο πηκτίνης καθώς και τα προϊόντα μερικής και πλήρους αποικοδόμησής του, αλληλεπιδρούν με ανθρώπινα κύτταρα στο γαστρεντερικό σύστημα και μεσολαβούν σε ένα ευρύ φάσμα φυσιολογικών και ανοσολογικών λειτουργιών (Elshahed et al., 2020).

1.9.2 Οφέλη της πηκτίνης για τον άνθρωπο

Σύμφωνα με τον Moslemi (2020), η πηκτίνη είναι δημοφιλής σε διάφορους επιστημονικούς τομείς λόγω της διαθεσιμότητας, της ασφάλειας, της σχετικά χαμηλής τιμής και της λειτουργικότητάς της. Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερες έρευνες στοχεύουν στην ανακάλυψη των ωφελών της πηκτίνης στον άνθρωπο. Έδειξαν λοιπόν, ότι η πηκτίνη παίζει σημαντικό ρόλο στη φλεγμονή του εντέρου, στην ανοσοδιαμόρφωση και στην απορρόφηση φαρμάκων/ θρεπτικών ουσιών και έχει προωθηθεί ως συμπλήρωμα διατροφής για τη βελτίωση των επιπέδων χοληστερόλης, τη μείωση της αρτηριακής πίεσης και την προώθηση της γενικής υγείας του εντέρου (Elshahed et al., 2020).

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται ενδεικτικά, ορισμένες από τις χρήσεις της πηκτίνης στους διάφορους τομείς:

Πίνακας 2. Τομείς και Εφαρμογές της Πηκτίνης.

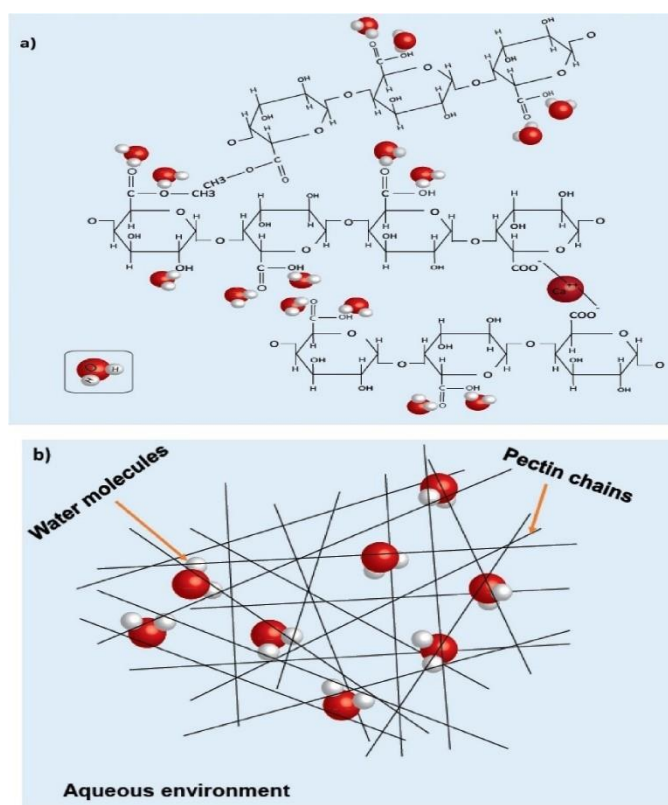
Τομέας	Εφαρμογή
Τεχνολογία Τροφίμων	Πρεβιοτικό και προβιοτικός φορέας
	Βελτίωση της υφής και της οργανοληπτικής αίσθησης στα γαλακτοκομικά προϊόντα
	Χαμηλότερη απορρόφηση λίπους σε πατατάκια
	Ενθυλάκωση
	Συσκευασία Τροφίμων
Διατροφή	Τρόφιμα απο 3-D εκτυπωτή
	Έλεγχος της πρόσληψης λίπους και ενέργειας στη διατροφή
	Έλεγχος της πρόσληψης υδατανθράκων στη διατροφή
Υγεία	Διουρητικός παράγοντας
	Θεραπεία παθήσεων στοματικής κοιλότητας
	Μείωση/Πρόληψη στομαχικών διαταραχών

(Moslemi et al., 2020)

1.9.3 Σχηματισμός πηκτής από πηκτίνη μπάμιας

Η πηκτίνη απο τη μπάμια μπορεί να σχηματίσει γέλη κάτω απο συγκεκριμένες μηχανικές, θερμικές και χημικές συνθήκες. Αρχικά, η δομή του βιοπολυμερούς χαλαρώνει και σπάει εξαιτίας θερμικών και μηχανικών δυνάμεων, μέσω των οποίων τα μόρια νερού μπορούν να διεισδύσουν στη δομή. Το νερό

προσκολλάται στην πηκτίνη με δεσμούς υδρογόνου σε υδροξυλο- και καρβοξυλομάδες (Σχήμα 1.α) και επίσης με φυσική παγίδευση (Σχήμα 1.β). Οι ομάδες μεθυλίου συμμετέχουν στην υδρόφοβη αλληλεπίδραση και η υψηλή μεθοξυ-πηκτίνη εμφανίζει χαμηλότερη διαλυτότητα στο νερό από το αντίστοιχο χαμηλό μεθοξύ. Όπως απεικονίζεται στο σχήμα 1.α, τα άτομα υδρογόνου σε μόρια νερού (λευκές σφαίρες) συνδέονται στα ηλεκτραρνητικά άτομα οξυγόνου σε υδροξυλο- και καρβοξυλομάδες πηκτίνης με τις οποίες σχηματίζονται δεσμοί υδρογόνου. Επιπλέον, σύμφωνα με το σχήμα 1.β, μερικά κλάσματα μορίων νερού καλύπτονται φυσικά και διακόπτονται από αλυσίδες πηκτίνης (Moslemi, 2020).



Σχήμα 1. Σχηματισμός Πηκτής: α) δεσμοί υδρογόνου και ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις μέσω μορίων H₂O και ιόντων ασβεστίου, αντίστοιχα, από λειτουργικές ομάδες πηκτίνης, β) φυσική παγίδευση μορίων νερού από αλυσίδες πηκτίνης (Moslemi, 2020).

1.10 Διαδοχικές Εκχυλίσεις

1.10.1 AIS Εκχύλιση

Κατά την πρώτη επεξεργασία των πολυσακχαριτών της μπάμιας, με χρήση αιθανόλης 70%, οι πολυσακχαρίτες παραλαμβάνονται υπό μορφή ιζήματος, και είναι τα ονομαζόμενα αδιάλυτα στην αλκοόλη στερεά (alcohol-insoluble solids –AIS). Η απόδοση των AIS φτάνει τα 5,8g / 100g φρέσκιας μπάμιας, συμπεριλαμβανομένων και των υλικών του κυτταρικού τοιχώματος. Με βάση τα αποτελέσματα των εκχυλίσεων, το περιεχόμενο σε σάκχαρα του AIS φαίνεται ότι αποτελείται από γλυκόζη, κυρίως σε ποσοστό 44 mol %, ακολουθεί η γαλακτόζη σε ποσοστό 17 mol %, και γαλακτουρονικό οξύ σε ποσοστό 16 mol %, σάκχαρα τα οποία προέρχονται από πολυσακχαρίτες όπως η πηκτίνη, οι ημικυτταρίνες (ξυλόζη και γλυκοξυλόζη) και η κυτταρίνη (Sengkhampan et al., 2008).

1.10.2 HBSS Εκχύλιση

Στη συνέχεια ακολουθεί η HBSS εκχύλιση, η οποία είναι η πρώτη από τις δευτερεύουσες εκχυλίσεις. Εδώ, εξετάζεται η εκχυλισιμότητα των πηκτινών, ημικυτταρινών και κυτταρινών. Η συγκεκριμένη μέθοδος γίνεται με θερμό ρυθμιστικό διάλυμα (Hot Buffer Soluble Solids - HBSS), το οποίο έχει την παρακάτω σύσταση: 35 mol% γαλακτουρονικού οξέος, 26 mol% ραμνόζης και 34 mol% γαλακτόζης. Η γαλακτόζη βρέθηκε ως το κύριο σάκχαρο στο κλάσμα HBSS (Skhampan et al., 2008).

1.10.3 CHSS Εκχύλιση

Η δεύτερη μέθοδος της δευτερεύουσας εκχύλισης, γίνεται με χηλικές ουσίες (Chelating Agent Soluble Solids - CHSS), όπως το EDTA. Με τη μέθοδο αυτή, υπολογίζεται η σύσταση του εκχυλίματος ως εξής: γαλακτουρονικό οξύ σε ποσοστό 63 mol%, γαλακτόζη 17 mol%, ραμνόζη 14 mol%, αραβινόζη 3 mol% και γλυκουρονικό οξύ 2 mol%. Η αραβινόζη παρατηρείται ότι δεν περιέχεται στο κλάσμα του HBSS. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά,

υπολόγισαν ότι η CHSS πηκτίνη αποτελείται περισσότερο από αλυσίδα ομογαλακτουράνης σε ποσοστό 74% και λιγότερο από ραμνογαλακτουράνη I (Sengkhamrarn et al., 2008).

1.10.4 DASS Εκχύλιση

Η τρίτη μέθοδος της δευτερεύουσας εκχύλισης γίνεται με αραιό αλκαλικό διάλυμα (Dilute Alkaline Soluble Solids – DASS). Στην προκειμένη περίπτωση, η σύσταση του εκχυλίσματος υπολογίζεται ως εξής: γαλακτουρονικό οξύ 48 mol%, γαλακτόζη 19 mol%, ραμνόζη και αραβινόζη 13 mol% το καθένα, γλυκόζη 4 mol% και γλυκουρινικό οξύ 2mol%. Μπορεί να υπολογιστεί ότι το κλάσμα DASS περιείχε 43% των τμημάτων RGI και 57% των τμημάτων ομογαλακτουράνης. Επιπλέον, το κλάσμα DASS εμπλουτίστηκε σχετικά σε αραβινόζη και γαλακτόζη (Sengkhamrarn et al., 2008).

Πίνακας 3. Σύνθεση των κλασμάτων που λαμβάνονται από τη διαδοχική εκχύλιση της μπάμιας σε σάκχαρα.

Σύσταση (mol%)	Τύπος Εκχύλισης			
	AIS	HBSS	CHSS	DASS
Ραμνόζη	3	26	14	13
Αραβινόζη	5	0	3	13
Φουκόζη	0	0	0	0
Ξυλόζη	5	0	0	0
Μανόζη	3	0	0	0
Γαλακτόζη	17	34	17	19
Γλυκόζη	44	1	1	4
Γαλακτουρονικό Οξύ	16	35	63	48
Απόδοση (g/100g AIS)	-	11,2	4,8	13,2

(Sengkhampan et al., 2008)

Η σύνθεση των σακχάρων της μπάμιας από τα αδιάλυτα στην αλκοόλη στερεά (AIS) παρουσιάζεται στον παραπάνω πίνακα. Πρώτα απ'όλα, σύμφωνα με τους Sengkhampan et al., φαίνεται ότι οι εκχυλίσεις HBSS και DASS έδωσαν τα κυριότερα κλάσματα σακχάρων, αφού είναι 11,2 g/100g AIS και 13,2 g/100g AIS αντίστοιχα. Το υπόλειμμα των AIS αποτελείται κυρίως από γλυκόζη (44 mol%), γαλακτόζη (17 mol%) και γαλακτουρονικό οξύ (16 mol%).

Το κλάσμα του HBSS αποτελούνταν από 35 mol% γαλακτουρονικών οξέων και επιπλέον από υψηλών ποσοτήτων ραμνόζης (26 mol%) και γαλακτόζης (34 mol%). Η γλυκόζη ήταν 1 mol%. Η γαλακτόζη βρέθηκε ως το κύριο

ουδέτερο σάκχαρο στο κλάσμα HBSS και περίπου το 30% του συνόλου της γαλακτόζης που υπάρχει στο AIS ανακτήθηκε σε αυτό το κλάσμα.

Στη συνέχεια, σε σύγκριση με το κλάσμα του HBSS, αυτό του CHSS περιείχε μεγαλύτερες ποσότητες γαλακτουρονικού οξέως (63 mol%) και σχεδόν τη μισή γαλακτόζη (17 mol%) και ραμνόζη (14 mol%), ενώ η γλυκόζη παρέμεινε ίδια. Στο συγκεκριμένο κλάσμα επίσης υπήρχε αραβινόζη 3 mol%, ενώ στο κλάσμα του HBSS δεν βρέθηκε. Η αναλογία ραμνόζης προς γαλακτουρονικό οξύ εδώ, είναι 0,2.

Τέλος, το κλάσμα DASS φαίνεται ότι περιέχει αρκετά υψηλές ποσότητες σε γαλακτουρονικό οξύ (48 mol%) και σε γαλακτόζη (19 mol%), ενώ έχει και 13 mol% σε ραμνόζη και αραβινόζη. Η αναλογία ραμνόζης προς γαλακτουρονικό οξύ (0,3) είναι υψηλότερη σε σχέση με αυτής του κλάσματος του CHSS.

2. ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΣΑΛΙΟΥ

2.1 Ρόλος του σάλιου

Η βλέννα είναι μία σύνθετη παχύρρευστη έκκριση, που συντίθεται από ειδικά καλυκοειδή κύτταρα στο κυλινδρικό επιθήλιο, το οποίο περιβάλλει όλα τα όργανα που εκτίθενται στο εξωτερικό περιβάλλον. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνεται η ωτορινολαρυγγική οδός και το γαστρεντερικό σύστημα, όπου η παρουσία της βλέννας λειτουργεί ως λιπαντικό επιτρέποντας την διέλευση της τροφής, βοηθά στη διατήρηση ενός ενυδατωμένου στρώματος πάνω από το επιθήλιο, αποτελεί φραγμό έναντι των μικροβίων και των βλαβερών ουσιών, καθώς επίσης δημιουργεί ένα διαπερατό στρώμα για την ανταλλαγή αερίων και θρεπτικών συστατικών μεταξύ αυτής και του επιθηλίου (Bansil & Turner, 2006).

Η βλέννα της στοματικής κοιλότητας αποτελεί τη σίελο (σάλιο), η οποία εκκρίνεται από τους σιελογόνους αδένες και παρουσιάζει τιμή pH η οποία κυμαίνεται μεταξύ 5.3 και 7.8. Το σάλιο αποτελείται ως επί το πλείστον από

νερό (~ 95%). Περιέχει επίσης, πρωτεΐνες (σταθερίνες, ιστατίνες, κυστίνες, πρωτεΐνες πλούσιες σε προλίνη, μυξίνες) εκ των οποίων το 0,3% αποτελούν οι μυξίνες (με κυρίαρχες τις MUC5B και MUC7), ένζυμα όπως η α-αμυλάση, η λυσοζίμη και η γλωσσική λιπάση, αλλά και αντιμικροβιακούς παράγοντες (Ahmad et al., 2020a).

Κατά την κατανάλωση τροφής, λαμβάνουν χώρα τόσο φυσικές όσο και χημικές μεταβολές που επηρεάζουν τη δομή του τροφίμου. Καθώς το τρόφιμο εισέρχεται στην στοματική κοιλότητα, από φυσικής άποψης παρατηρείται μεταφορά θερμότητας μεταξύ του τροφίμου και της στοματικής κοιλότητας, ενώ κατά την μάσηση πραγματοποιείται η μείωση μεγέθους των σωματιδίων του τροφίμου προκειμένου να καταστεί δυνατή η διέλευση τους από τον οισοφάγο. Από χημικής άποψης, κατά την ανάμιξη του τροφίμου με το σάλιο, το τρόφιμο ενυδατώνεται και στη συνέχεια, η μασημένη τροφή μετατρέπεται σε συνεκτικούς και γλιστερούς σβώλους εντός της στοματικής κοιλότητας (Ahmad et al., 2020b).

2.2 Ξηροστομία

Μελέτες των Hershkovich & Nagler (2004) και των Granot & Nagler (2005) απέδειξαν τη στενή σύνδεση της χημικής σύστασης του σάλιου με την αίσθηση της γεύσης, την αντίληψη της θερμότητας και συνεπώς, μεταβολές στη φυσιολογική σύσταση του σάλιου μπορούν να θεωρηθούν υπεύθυνες για ποικίλες αισθητικές δυσλειτουργίες της στοματικής κοιλότητας. Σε αυτές περιλαμβάνεται και η ξηροστομία, μία κατάσταση η οποία εμφανίζεται συχνά σε άτομα που υποβάλλονται σε ραδιοθεραπείες, σε ηλικιωμένα άτομα, ή σε πάσχοντες από άλλα υποκείμενα νοσήματα, όπως το σύνδρομο Sjogrens, ο σακχαρώδης διαβήτης και οι λοιμώξεις της στοματικής κοιλότητας. Ωστόσο, σημειώνονται αρκετές περιπτώσεις ατόμων στα οποία η εμφάνιση ξηροστομίας δεν είναι εφικτό να αποδοθεί σε άλλα νοσήματα και οι παράγοντες που την πυροδοτούν δεν έχουν αποσαφηνιστεί πλήρως, δυσχεραίνοντας την αποτελεσματική θεραπεία των συμπτωμάτων.

Με στόχο την εύρεση της αιτίας που ευθύνεται για το παραπάνω, οι Hershkovich & Nagler (2004) και οι Granot & Nagler (2005) πραγματοποίησαν σύγκριση μεταξύ της σύστασης του σάλιου υγιών ατόμων και ατόμων που παρουσίαζαν συμπτώματα ξηροστομίας, τα οποία δεν αποδίδονταν σε άλλο παθολογικό αίτιο και σημείωσαν ορισμένες διαφορές στη σύσταση του σάλιου των μεν και των δε. Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν η συγκέντρωση Na, K, Cl, Ca, ουρικού οξέως, αλβουμίνης, αμυλάσης και ορισμένων ανοσογλοβουλινών (IgM, IgG, IgA, Sec. IgA), καθώς είναι γνωστό πως σχετίζονται με τη γεύση, την πέψη, έχουν προστατευτικό ρόλο και γενικότερα είναι υπεύθυνες για την δημιουργία υγιών συνθηκών της στοματικής κοιλότητας.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω ερευνών συγκρίνονται στον Πίνακα 3., όπου γίνεται σαφές ότι στη μελέτη των Hershkovich & Nagler (2004) όλοι οι παράμετροι που μελετήθηκαν παρουσίασαν αύξηση ως προς τη συγκέντρωσή του στο σάλιο των ξηροστομικών, με εξαίρεση το κάλιο και το ουρικό οξύ, των οποίων οι αποκλείσεις δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Μάλιστα, η πιο αξιοσημείωτη αύξηση παρατηρήθηκε στη συγκέντρωση της αλβουμίνης και των ανοσογλοβουλινών IgM και IgG. Ομοίως, από τη μελέτη των Granot & Nagler (2005) σημειώθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση στη συγκέντρωση K, Cl, Ca, IgA και αμυλάσης.

Οι αποκλίσεις αυτές στη συγκέντρωση των συστατικών του σάλιου, πιθανόν οφείλονται σε μεταβολές στην ισορροπία μεταξύ των μικροοργανισμών της στοματικής κοιλότητας και σε μεταβολές του pH του στόματος. Αποτέλεσμα της αλλοίωσης των φυσιολογικών συνθηκών της στοματικής κοιλότητας αποτελεί η ατροφία του βλεννογόνου του στόματος, μία κατάσταση που συνδέεται με την πρόκληση τοπικής νευροπάθειας και η οποία πιστεύεται πως αποτελεί μία αιτία για την εμφάνιση ξηροστομίας. Ωστόσο, περαιτέρω έρευνα είναι απαραίτητη για τη διεξαγωγή αξιόπιστου συμπεράσματος, όσο αφορά τη συσχέτιση μεταξύ της σύστασης του σάλιου και της πρόκλησης συμπτωμάτων ξηροστομίας (Hershkovich & Nagler, 2004; Granot & Nagler, 2005) .

Πίνακας 4. Σύγκριση χημικής σύστασης φυσικού σάλιου υγιών και ξηροστομικών ατόμων.

Συστατικά	(Hershkovich & Nagler, 2004)		(Granot & Nagler, 2005)	
	Υγιείς	Ξηροστομικοί	Υγιείς	Ξηροστομικοί
Na (meq/L)	9,02 ±0,38	15,95±1,80	9,63 ±4,90	24,70±6,50
K (meq/L)	24,46 ±0,95	29,68±1,18	22,40 ±2,50	30,90±2,90
Cl (meq/L)	-	-	22,60 ±3,60	43,60±4,70
Ca (meq/L)	-	-	4,00 ±1,30	7,70±1,50
Αμυλάση (IU/L)	1180,0±118,0	2794,0±338,0	1217.4±799.1	3264.9± 972.5
Αλβουμίνη (mg/dL)	4,60±3,20	16,04±2,32	11,13 ±2,79	10,20±3,10
Ουρικό Οξύ (mg/dL)	3,52±0,24	4,98±0,66	3,60 ±1,00	5,10±1,30
IgG (mg/dL)	0,79±0,15	4,48±0,66	0,60 ±0,20	0,80±0,20
IgM (mg/dL)	1,02±0,06	7,88±5,68	0,30 ±0,30	0,90±0,30
IgA (mg/dL)	24,34±1,26	35,08±3,36	22,80 ±4,80	45,10±5,70
Εκκριτική IgA (mg/dL)	434,0±15,50	654,0±0,37	456,40 ±44,40	524,50±6,80

(Hershkovich & Nagler, 2004; Granot & Nagler, 2005)

2.3 Μυξίνη

2.3.1. Ρόλος της Μυξίνης στο σάλιο

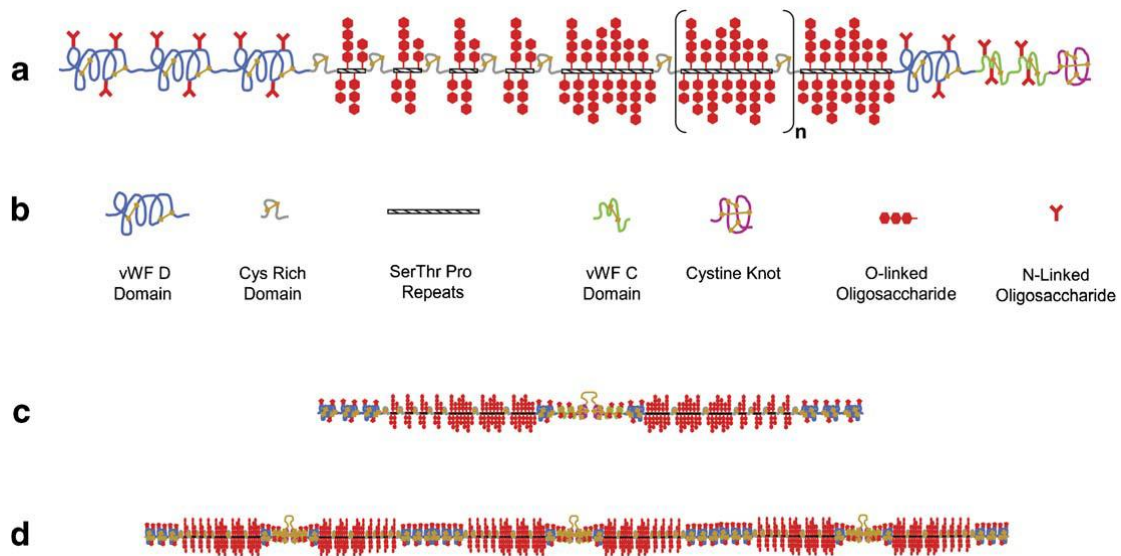
Σύμφωνα με τους Vingerhoeds et al. (2004), από τις πρωτεΐνες που περιέχονται στο σάλιο, πρωταρχικός είναι ο ρόλος της μυξίνης, μιας γλυκοπρωτεΐνης στην οποία οφείλεται η βλενοπροσκολλητική ικανότητα του σάλιου καθώς αυτό έρχεται σε επαφή με τα συστατικά των τροφών. Λειτουργώντας ως λιπαντικό μέσο, οι μυξίνες επηρεάζουν τη ρεολογική συμπεριφορά του σάλιου, όπως τις ιξώδεις και ελαστικές του ιδιότητες.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι ακόμη, η παρουσία της μυξίνης στο ιξωδοελαστικό βλεννώδες στρώμα που προστατεύει το επιθήλιο του στομάχου κατά τη διαδικασία της πέψης, δεδομένου ότι το pH της γαστρικής κοιλότητας είναι 1-2, ενώ το pH της επιφάνειας του επιθηλίου έχει τιμή 7 (Maleki et al., 2007).

2.3.2 Δομή της Μυξίνης

Στο σάλιο οι μυξίνες αντιπροσωπεύουν ένα ποσοστό μικρότερο από το 10-25% της συνολικής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες ($0,7 \text{ mg mL}^{-1}$). Πρόκειται για αρνητικά φορτισμένες ενώσεις υψηλού μοριακού βάρους (έως και της τάξεως του 10^{-6} Da) και ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες : τις επιθηλιακές μυξίνες (μυξίνες/μυκοσυστατικά) και τις μυξίνες του συνδετικού ιστού (μυκοπολυσακχαρίτες). Οι πρώτες διακρίνονται περαιτέρω σε ουδέτερες και όξινες, ενώ οι δεύτερες σε σιαλομυξίνες και θειομυξίνες (Ahmad et al., 2020a).

Οι μυξίνες είναι έντονα γλυκοζυλιωμένες πρωτεΐνες και περιέχουν σε ποσοστό μεγαλύτερο από 80% σάκχαρα, κυρίως N-ακετυλογαλακτοζαμίνη, N-ακέτυλογλυκοζαμίνη, φουκόζη, γαλακτόζη και σιαλικό οξύ (N-ακετυλονευραμινικό οξύ), καθώς και ίχνη μαννόζης και θείου. Η πρωτεϊνική ραχοκοκαλιά του μορίου απαρτίζεται από ακολουθίες των αμινοξέων προλίνη, σερίνη και θρεονίνη και αποτελεί το 20% της μοριακής μάζας της μυξίνης. Οι ολιγοσακχαρίτες διατάσσονται σε αλυσίδες αποτελούμενες από 5-15 μονομερή η καθεμιά και συνδέονται ακτινικά στην πρωτεϊνική ραχοκοκαλιά μέσω O-γλυκοζιπικούς δεσμούς, στις περιοχές της ραχοκοκαλιάς που είναι πλούσιες σε σερίνη και θρεονίνη. Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 1(a), η ραχοκοκαλιά αποτελείται από δύο διακριτές περιοχές: την κεντρική γλυκοζυλιωμένη περιοχή η οποία αποτελείται από συνεχείς ακολουθίες σερίνης, θρεονίνης και προλίνης και στην οποία περιέχεται το 60% των αμινοξέων της ραχοκοκαλιάς, καθώς και τη μη γλυκοζυλιωμένη περιοχή η οποία εμφανίζεται στα αμινο- και καρβοξυ- τελικά άκρα της ραχοκοκαλιάς. Τα μη γλυκοζυλιωμένα τμήματα περιέχουν ένα μεγάλο αριθμό περιοχών που είναι πλούσιες σε κυστεΐνη και φορτισμένα αμινοξέα (Bansil & Turner, 2006).



Σχήμα 2. (a) Σχηματική απεικόνιση γαστρικής μυξίνης χοίρου (PGM), (b) Απεικόνιση των συμβόλων που αντιστοιχούν στις γλυκοζυλιωμένες και μη γλυκοζυλιωμένες περιοχές του σχήματος (a), (c) διμερές αποτελούμενο από μονομερή συνδεδεμένα μέσω δισουλφιδικών δεσμών στα μη γλυκοζυλιωμένα τμήματα, (d) πολυμερές αποτελούμενο από την ένωση διμερών μέσω δισουλφιδικών δεσμών (Bansil & Turner, 2006).

Το αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο της μυξίνης, σύμφωνα με τους Ahmad et al. (2020b), οφείλεται στα υπολείμματα σιαλικού οξέος ($pK_a \approx 2,611$) και στις σουλφιδικές ομάδες των ολιγοσακχαριτών που είναι συνδεδεμένοι στην ραχοκοκαλιά του μορίου ($pK_a \approx 1,12$). Στην παρουσία των παραπάνω ομάδων οφείλεται το χαμηλό ισοηλεκτρικό σημείο της μυξίνης (pI), το οποίο κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 2 και 3. Έτσι, γίνεται φανερό ότι αλλαγές στο pH, επηρεάζουν τον ιονισμό του σιαλικού οξέος και των αμινοξέων της ραχοκοκαλιάς της μυξίνης. Συγκεκριμένα, τα μόρια της μυξίνης φορτίζονται αρνητικά σε pH πάνω από το ισοηλεκτρικό σημείο και η πυκνότητα του φορτίου της μυξίνης αυξάνεται με την αύξηση του pH. Ο ρόλος του pH είναι σημαντικός στην αλληλεπίδραση μεταξύ των μορίων της μυξίνης, που οδηγούν στην συνένωση τους και στον σχηματισμό πηκτής (Maleki et al., 2007).

Σύμφωνα με τους Ahmad et al. (2020b), Ο αμφιφιλικός χαρακτήρας της γλυκοπρωτεΐνης είναι αποτέλεσμα της υδρόφιλης συμπεριφοράς των γλυκοζυλιωμένων περιοχών και της υδροφοβικής συμπεριφοράς των μη

γλυκοζυλιωμένων περιοχών του μορίου. Όταν τα μόρια της μυξίνης βρίσκονται στη διεπιφάνεια μεταξύ του επιθηλίου και της στοματικής κοιλότητας, προσανατολίζουν τις υδρόφιλες (πολικές) γλυκοζυλιωμένες τους περιοχές του προς την υδατική φάση. Η γλυκοζυλίωση της πρωτεϊνικής ραχοκοκαλιάς συμβάλλει στην προστασία του μορίου και επιτρέπει την ένωση με την υδατική φάση με αποτέλεσμα τις ικανότητες σχηματισμού πηκτής των μυξινών (Lousinian et al., 2018).

2.3.3 Κολλοειδείς αλληλεπιδράσεις

Η αλληλεπίδραση κολλοειδών τροφίμων, όπως γαλακτωμάτων με το σάλιο, μπορεί να οδηγήσει στην αποσταθεροποίηση τους. Οι βασικοί μηχανισμοί αποσταθεροποίησης των γαλακτωμάτων στη στοματική κοιλότητα, όταν αυτά έρθουν σε επαφή με το σάλιο είναι η κροκίδωση και η συσσωμάτωση. Η κροκίδωση αποτελεί μια αντιστρεπτή ή μη αντιστρεπτή διαδικασία, που οφείλεται σε ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των σταγονιδίων και διακρίνεται στην κροκίδωση υπό εκκένωση και στην κροκίδωση υπό γεφύρωση. Η κροκίδωση υπό εκκένωση προκύπτει λόγω της παρουσίας μη απορροφήσιμων βιοπολυμερών στη συνεχή φάση του γαλακτώματος, ενώ η κροκίδωση υπό γεφύρωση οφείλεται στην προσρόφηση βιοπολυμερών στην επιφάνεια των σταγονιδίων, τα οποία λειτουργούν ως γέφυρα μεταξύ των σταγονιδίων οδηγώντας στη συνένωση τους. Τα πολυμερή του σάλιου που είναι υπεύθυνα για την κροκίδωση των γαλακτωμάτων εντός της στοματικής κοιλότητας είναι κυρίως οι μυξίνες.

Μελέτες των Vingerhoeds et al. (2015) οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι πρωτεϊνικά σταθεροποιημένα γαλακτώματα τροφίμων κροκιδώνονται ακαριαία ερχόμενα σε επαφή με το σάλιο, εξαιτίας της μυξίνης που περιέχεται σε αυτό. Επιπλέον έρευνες των Silletti et al. (2007) έδειξαν ότι η κροκίδωση των γαλακτωμάτων στο σάλιο ποικίλλει ανάλογα με το φορτίο του χρησιμοποιούμενου γαλακτωματοποιητή και συνεπώς, εξαρτάται από το είδος του φορτίου στην επιφάνεια των σταγονιδίων. Γαλακτώματα με χαμηλό αρνητικό ή ουδέτερο φορτίο αποσταθεροποιούνται μέσω κροκίδωσης υπό

εκκένωση, σε συνδυασμό με αλληλεπιδράσεις van der Waals, ενώ η αποσταθεροποίηση γαλακτωμάτων με θετικό φορτίο οφείλεται στις ελκτικές ηλεκτροστατικές δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την κροκίδωση υπό γεφύρωση. Τέλος, οι απωστικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σταγονιδίων και της μυξίνης σε γαλακτώματα με ισχυρό αρνητικό φορτίο δεν επιτρέπουν τη συνένωση τους, με αποτέλεσμα τα γαλακτώματα αυτά να μην κροκιδώνονται.

Η κροκίδωση των γαλακτωμάτων στο σάλιο φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά τις ρεολογικές ιδιότητες του γαλακτώματος, αυξάνοντας το ιξώδες, το μέτρο αποθήκευσης, καθώς και την ιξωδοελαστικότητα. Κατά συνέπεια, επηρεάζεται και ο τρόπος με τον οποίο γίνεται αντιληπτό το τρόφιμο κατά την κατανάλωσή του. Γαλακτώματα στα οποία ως γαλακτοματοποιητής χρησιμοποιήθηκε πρωτεΐνη ορού γάλακτος (με χαμηλό αρνητικό φορτίο) παρουσίασαν αντιστρέψιμη κροκίδωση και μικρή κατακράτηση στην επιφάνεια της γλώσσας. Τα γαλακτώματα αυτά γίνονται αντιληπτά ως κρεμώδη, λιπαρά και παχύρρευστα. Γαλακτώματα σταθεροποιημένα με λυσοζίμη, τα οποία φέρουν θετικό φορτίο παρουσίασαν μη αντιστρέψιμη κροκίδωση και κατακράτηση στη γλώσσα, δίνοντας τραχιά, ξηρή και στυφή αίσθηση στο στόμα (Mosca & Chen, 2017).

2.3.4 Σχηματισμός Συμπλόκων

Πρωτεΐνες του σάλιου πλούσιες στο αμινοξύ προλίνη έχουν την τάση να δεσμεύονται πάνω στα μόρια των πολυφαινολών, όπως των ταννίνων. Η δέσμευση αυτή των πρωτεϊνών του σάλιου όπως της μυξίνης, είναι αποτέλεσμα υδροφοβικών αλληλεπιδράσεων με τις αρωματικές ενώσεις των ταννίνων. Κατά συνέπεια, σχηματίζονται σύμπλοκα μεταξύ πρωτεϊνών και πολυφαινολών τα οποία οδηγούνται σε κατακρήμνιση, αποτρέποντας την αλληλεπίδραση των πρωτεϊνών με άλλα συστατικά όπως ένζυμα και την απορρόφηση τους από το γαστρεντερικό σύστημα. Η καθίζηση των πρωτεϊνών αποτελεί την αιτία της ξηρότητας και της στυφής υφής που προκαλείται κατά την κατανάλωση τροφίμων πλούσιων σε πολυφαινόλες,

όπως το κρασί, λόγω της μείωσης του ιξώδους του σάλιου και της αύξησης του συντελεστή τριβής αντίστοιχα .

Ο σχηματισμός συμπλόκων μεταξύ των πρωτεϊνών του σάλιου και των πολυφαινολών οδηγεί επίσης, σε μείωση της απελευθέρωσης των υδρόφοβων αρωματικών συστατικών. Έρευνες των Genovese et al. (2009), σημείωσαν ελαττωμένη απελευθέρωση αρώματος κατά την επαφή του σάλιου με κόκκινο κρασί, σε αντίθεση με το λευκό κρασί. Η παρατήρηση αυτή οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητα του κόκκινου κρασιού σε πολυφαινόλες και όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στον σχηματισμό συμπλόκων μεταξύ πολυφαινολών και μυξίνης. Πολυφαινόλες όπως οι ταννίνες του κρασιού, είναι γνωστό πως συγκρατούν τα υδρόφοβα αρωματικά συστατικά, με αποτέλεσμα της μειωμένη απελευθέρωσή τους.

Οι van Ruth et al. (2014) μελέτησαν την επίδραση της μυξίνης και της α-αμυλάσης στο συντελεστή κατανομής του αέρα ως προς την υγρή φάση σε εστέρες και κετόνες διαφορετικής υδροφοβικότητας. Οι επιστήμονες παρατήρησαν ότι τόσο η μυξίνη όσο και η α-αμυλάση οδήγησαν σε μείωση της απελευθέρωσης αρωματικών ενώσεων, λόγω κυρίως υδροφοβικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συστατικών αυτών και των αρωματικών ενώσεων, σε συνδυασμό με άλλες ιοντικές (πχ. ηλεκτροστατικές) αλληλεπιδράσεις. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν επίσης, τη δράση του ενζύμου εστεράση στο ανθρώπινο σάλιο, η οποία προκαλεί υδρόλυση των εστέρων σε οξύ και αλκοόλη. Σημειώνεται ότι η ίδια έρευνα παρουσίασε αποκλίσεις όσο αφορά την απελευθέρωση αρώματος σε ανθρώπινο σάλιο σε σχέση με το τεχνητό σάλιο, πιθανόν λόγω διαφορετικής σύστασης του ανθρώπινου σάλιου σε πρωτεΐνες (Mosca & Chen, 2017).

2.4. Τεχνητό Σάλιο

2.4.1 Γενικά

Η χρήση φυσικού ανθρώπινου σάλιου σε *in vitro* πειράματα για τη μελέτη της αλληλεπίδρασής του με τρόφιμα, θεωρείται ακατάλληλη τόσο για ηθικούς, όσο και για πρακτικούς λόγους. Η συλλογή ανθρώπινων δειγμάτων παρουσιάζει αφενός, ηθικούς περιορισμούς και αφετέρου, έχει παρατηρηθεί διαφορά στη χημική σύσταση του σάλιου από άτομο σε άτομο. Επίσης, η ανάμιξη δειγμάτων από έναν αντιπροσωπευτικό πληθυσμό ατόμων με σκοπό την παρασκευή ενός «μέσου δείγματος σάλιου» θεωρείται αναξιόπιστη, ενώ πρόβλημα παρουσιάζεται και στη διατήρηση της σταθερότητας του ανθρώπινου σάλιου σε συνθήκες εκτός της στοματικής κοιλότητας. Για την αντιμετώπιση των παραπάνω περιορισμών, κρίθηκε απαραίτητη η παρασκευή τεχνητού σάλιου για ερευνητικούς σκοπούς, η παραγωγή του οποίου είναι εύκολη και δεν παρουσιάζει ηθικούς φραγμούς (Panda et al., 2020).

2.4.2 *In vitro* μοντέλο πέψης

Για την προσομοίωση των συνθηκών του ανθρώπινου γαστρεντερικού συστήματος έχουν αναπτυχθεί διάφορα *in vitro* μοντέλα. Η διέλευση των τροφίμων από τη στοματική κοιλότητα έχει διάρκεια δευτερολέπτων ή λίγων λεπτών και λόγω του ουδέτερου pH του σάλιου, δεν αναμένονται μεταβολές που να επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τη διαδικασία της πέψης. Για το λόγο αυτό αρκετά μοντέλα πέψης δεν περιλαμβάνουν τη στοματική φάση, η οποία αποτελεί πιθανόν και το στάδιο της πεπτικής οδού που είναι δυσκολότερο να προσομοιωθεί.

Επιστήμονες της InfoGest ανέπτυξαν ένα τυποποιημένο στατικό μοντέλο πέψης, το οποίο μιμείται τα τρία στάδια της πέψης: τη στοματική φάση, τη γαστρική φάση και την εντερική φάση. Το πρωτόκολλο αυτό εφαρμόζεται για τη μελέτη της συμπεριφοράς απλών τροφίμων ή συγκεκριμένων συστατικών των τροφίμων μέσα στη γαστρεντερική οδό. Δεδομένου ότι αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η μελέτη της αλληλεπίδρασης συστατικών της

μπάμιας με το σάλιο, θα γίνει αναφορά αποκλειστικά στο πρώτο στάδιο του μοντέλου που αποτελεί τη στοματική φάση.

Διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στη στοματική κοιλότητα όπως η μείωση μεγέθους της τροφής μέσω της μάσησης, η αντίληψη του αρώματος, της γεύσης κλπ., με εξαίρεση την αξιολόγηση της υφής, δεν λαμβάνονται υπόψη στο παραπάνω μοντέλο, καθώς δεν επηρεάζουν την μετέπειτα διαδικασία της πέψης. Στη στοματική φάση ανάλογα με το είδος του τροφίμου, υγρό ή στερεό, ακολουθείται η κατάλληλη διεργασία, ώστε στη συνέχεια το τρόφιμο να συνεχίσει την πορεία του στη γαστρική φάση. Υγρά τρόφιμα αναμιγνύονται σε αναλογία 1:1 με τεχνητό σάλιο ή τεχνητό γαστρικό υγρό, περνώντας απευθείας στη γαστρική φάση. Αντίθετα, σε στερεά τρόφιμα ακολουθείται αρχικά μια διαδικασία μείωσης μεγέθους του τροφίμου σε κρεατομηχανή και στη συνέχεια, το τρόφιμο αναμιγνύεται με τεχνητό σάλιο 1:1 v/w, στο οποίο έχει γίνει προσθήκη α-αμυλάσης (πχ. 5mL σάλιου για κάθε 5g τροφίμου). Σύμφωνα με το πρωτόκολλο, παρόλο που σε πραγματικές συνθήκες ο χρόνος επαφής του τροφίμου με το σάλιο πλησιάζει τα 30 δευτερόλεπτα, στην πράξη υποδεικνύεται πως για να αναπαράγεται με ακρίβεια η στοματική φάση, 2 λεπτά ανάμιξης είναι καταλληλότερος χρόνος. Τέλος, η θερμοκρασία ανάμιξης τεχνητού σάλιου και τροφίμου είναι οι 37°C. (Mackie & Rigby, 2015).

2.4.3 Μοντέλο προσομοίωσης ανθρώπινου σάλιου

Η παρασκευή τεχνητού σάλιου αποσκοπεί στην βέλτιστη προσομοίωση των συνθηκών pH, του ιζώδους και της ιοντικής ισχύς που επικρατούν στο ανθρώπινο σάλιο. Ανάλογα με τους ερευνητικούς σκοπούς, η σύστασή του τεχνητού σάλιου μπορεί να ποικίλλει. Έτσι, σε πειράματα που αφορούν τη μελέτη του αμύλου, γίνεται προσθήκη α-αμυλάσης. Το τεχνητό σάλιο μπορεί να περιέχει ιοντικές ενώσεις αποτελούμενες από τρία έως εννιά διαφορετικά ιόντα (Sarkar et al., 2019).

Στον Πίνακα 1. παρουσιάζεται η αναλυτική χημική σύσταση ενός ευρέως χρησιμοποιούμενου μοντέλου τεχνητού σάλιου όπως αυτό παρασκευάστηκε από τον Sarkar και τους συνεργάτες του, σε σύγκριση με το τεχνητό σάλιο

βάσει του πρωτοκόλλου του στατικού μοντέλου πέψης της InfoGest. Τέλος, πραγματοποιείται σύγκριση με το μοντέλο τεχνητού σάλιου των Mackie και Rigby, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την *in vitro* μελέτη της κινητικής διαλυτοποίησης εμπορικών αλάτων στο σάλιο.

Πίνακας 5. Χημική σύσταση μοντέλων τεχνητών σάλιων για διαφορετικές έρευνες.

Χημική Ονομασία	Συστατικά	Sarkar et al., (2019)	Mackie & Rigby, (2015)	Quilaqueo & Aguilera, (2015)
Χλωριούχο νάτριο	NaCl	1,594 g/L	-	0,877 g/L
Χλωριούχο κάλιο	KCl	0,202 g/L	1,125 g/L	0,477 g/L
Υδροχλώριο	HCl	-	0,040 g/L	-
Νιτρικό αμμώνιο	NH ₄ NO ₃	0,328 g/L	-	-
Ανθρακικό Αμμώνιο	(NH ₄) ₂ CO ₃	-	0,006 g/L	-
Μονοποτάσιο φωσφορικό	KH ₂ PO ₄	0,636 g/L	0,503 g/L	1,045 g/L
Όξινο ανθρακικό νάτριο	NaHCO ₃	-	1,142 g/L	5,208 g/L
Χλωριούχο Μαγνήσιο Εξαϋδρικό	MgCl ₂ (H ₂ O) ₆	-	0,030 g/L	-
Διυδρικό χλωριούχο ασβέστιο	CaCl ₂ (H ₂ O) ₂	-	0,221 g/L	0,441 g/L
Κιτρικό κάλιο	K ₃ C ₆ H ₅ O ₇ ·H ₂ O	0,308 g/L	-	-
Ουρικό νάτριο	C ₅ H ₃ N ₄ O ₃ Na	0,021 g/L	-	-
Ουρία	H ₂ NCONH ₂	0,198 g/L	-	-
Γαλακτικό νάτριο	C ₃ H ₅ O ₃ Na	0,146 g/L	-	-
Χοίρεια γαστρική μυξίνη Τύπου II		0-30 g/L	-	2,160
Απιονισμένο νερό		1L	1L	1L

(Mackie & Rigby, 2015; Quilaqueo & Aguilera, 2015; Sarkar et al., 2019)

2.4.4 Μυξίνες ζωικής προέλευσης

Υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμες μυξίνες ζωικής προέλευσης, όπως η χοίρεια γαστρική μυξίνη (PGM) και η υποσιαγόνια μυξίνη βοοειδούς (BSM), οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως για την παρασκευή τεχνητού σάλιου και παρουσιάζουν διαφορές ως προς τη δομή και την προσρόφηση, καθώς και ως προς τη λιπαντική τους ικανότητα. Η βασική διαφορά των δύο τύπων μυξινών έγκειται στην περιεκτικότητά τους σε σιαλικά οξέα ($pK_a = 2,5$), η οποία είναι υπεύθυνη για την ανιονική συμπεριφορά τους. Συγκεκριμένα, τα σιαλικά οξέα όπως το N-ακετυλονευραμινικό οξύ, βρίσκονται συνδεδεμένα τόσο στη γλυκοζυλιωμένη περιοχή της ραχοκοκαλιάς της μυξίνης, όσο και στα δύο αμινο-τερματικά άκρα του μορίου, σε συνδυασμό με άλλους όξινους ολιγοσακχαρίτες ($pK_a = 1$). Η BSM έχει υψηλότερο αρνητικό φορτίο από την PGM, λόγω της μεγαλύτερης συγκέντρωσης της σε σιαλικά οξέα και συνεπώς, παρουσιάζει υψηλότερες τιμές δυναμικού-ζ.

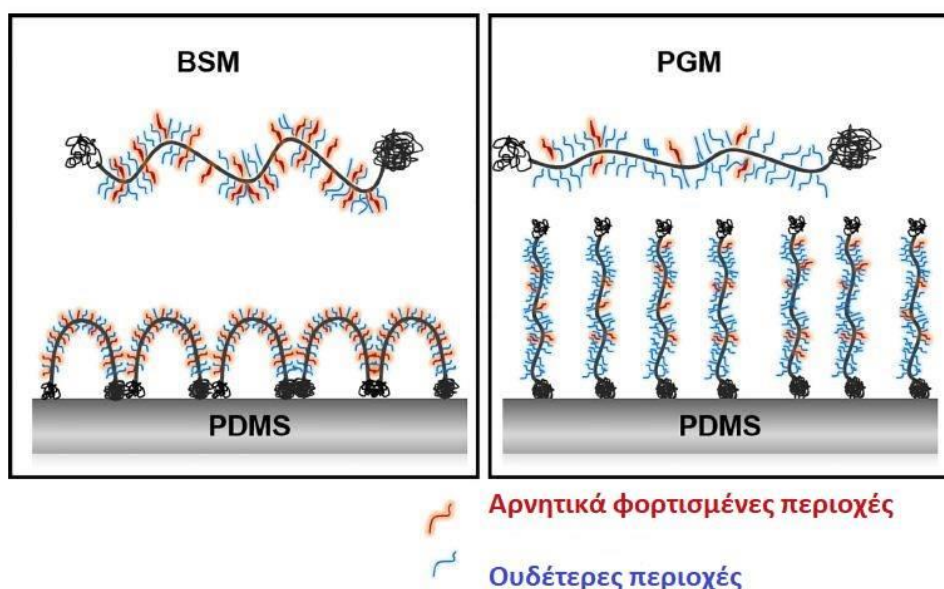
Όσο αφορά τη δομή των δύο μυξινών, πειράματα με τη βοήθεια μικροσκοπίου ατομικής δύναμης (AFM) και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου διέλευσης (TEM), οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι το μέγεθος της PGM είναι μικρότερο από αυτό της BSM. Αποδείχθηκε ότι η PGM δομείται από μία πεπτιδική ραχοκοκαλιά μήκους 40-50 nm, πάνω στην οποία συνδέονται ακτινικά αλυσίδες σακχαριτών μήκους 2,5 nm και από δύο σφαιρικά τερματικά άκρα ακτίνας 9 nm.

Το αρνητικό φορτίο των μυξινών αποτελεί τον κύριο παράγοντα που επηρεάζει την προσρόφηση τους επάνω σε μη πολικές επιφάνειες. Ειδικότερα, παρατηρείται συσσώρευση αρνητικού φορτίου πάνω στις μη πολικές, υδροφοβικές επιφάνειες, με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται η περεταίρω προσρόφηση των μυξινών σε αυτές. Η BSM λόγω υψηλότερου αρνητικού φορτίου προσδένεται ισχυρότερα επάνω στις επιφάνειες αυτές και η ικανότητα προσρόφησης της εξαρτάται σημαντικά από το pH. Αντίστοιχα, λόγω χαμηλότερου αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου η πρόσδεση της PGM στην επιφάνεια πολυδιμεθυλοσιλοξάνης (PDMS), σύμφωνα με το σχήμα 2., είναι ασθενέστερη και εξαρτάται σε λιγότερο βαθμό από το pH. Κατά συνέπεια, η μάζα της PGM που προσροφάται στην υδρόφοβη επιφάνεια είναι μεγαλύτερη

σε σχέση με την προσροφημένη μάζα της BSM. Στην ισχυρότερη πρόσδεση της BSM μπορεί να αποδοθεί επίσης, ο σχηματισμός ελαστικότερου φιλμ πάνω στην επιφάνεια της PDMS σε σχέση με την PGM.

Η λιπαντική ικανότητα των δύο μυξινών, επηρεάζεται κυρίως από την ικανότητα προσρόφηση τους επάνω σε υδρόφοβες επιφάνειες καθώς και από τη σταθερότητα των σχηματιζόμενων φιλμ και σε λιγότερο βαθμό από την ποσότητα της προσροφημένης μάζας. Ενώ τόσο η BSM όσο και η PGM μπορούν αν χρησιμοποιηθούν ως λιπαντικά μέσα σε διαστάσεις νανοκλίμακας, η BSM σε διαστάσεις μακροκλίμακας παρουσίασε καλύτερη λιπαντική ικανότητα, σύμφωνα με μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε επιφάνεια πολυστυρενίου.

Από τα παραπάνω, γίνεται φανερό ότι η χρήση της BSM ως αντικατάστατο ανθρώπινης μυξίνης αποτελεί την καλύτερη επιλογή για την παρασκευή τεχνητού σάλιου. Μάλιστα, αύξηση της καθαρότητάς της μέσω διάλυσης ή χρωματογραφικών τεχνικών μπορεί να οδηγήσει σε ακόμη περισσότερο ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα (Sarkar et al., 2019).



Σχήμα 3. Προσρόφηση χοίρειας γαστρικής μυξίνης (PGM) και υποσιαγόνας μυξίνης βοοειδούς επί επιφάνειας πολυδιμεθυλοσιλοξάνης (PDMS) σε ουδέτερο pH (Sarkar et al., 2019).

3. ΡΕΟΛΟΓΙΑ ΣΑΛΙΟΥ ΚΑΙ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΟΥΣ ΜΠΑΜΙΑΣ

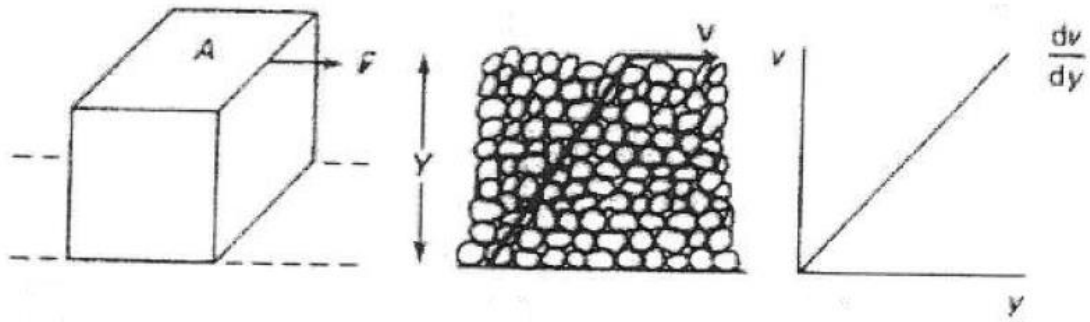
3.1. Ρεολογικές ιδιότητες των ρευστών

Ρεολογία ονομάζεται η επιστήμη που μελετά την παραμόρφωση στερεών υλικών και τη ροή της υγρής ύλης υπό την επίδραση κάποιας τάσης.

Οι ιδιότητες που αναφέρονται στη συμπεριφορά ενός ρευστού όταν αυτό ρέει υπό την επίδραση μίας ή περισσότερων δυνάμεων, καθώς και η συμπεριφορά ενός στερεού υλικού όταν παραμορφώνεται υπό την επίδραση μίας ή περισσότερων δυνάμεων, ονομάζονται μηχανικές ιδιότητες. Στην περίπτωση που λαμβάνεται υπόψη και ο χρόνος επίδρασης της δύναμης πάνω στο υλικό, τότε οι ιδιότητες ονομάζονται ρεολογικές (Ραφαηλίδης, 1987).

Το ιξώδες (viscosity) είναι η πιο χαρακτηριστική ιδιότητα ρεολογικής συμπεριφοράς ενός ρευστού ή ημίρρευστου προϊόντος. Η φυσική του σημασία είναι η αντίσταση των ρευστών στη ροή, αποτελεί, δηλαδή, μέτρο της εσωτερικής τριβής των μορίων των ρευστών. Η παράμετρος που επηρεάζει κυρίως την τιμή του ιξώδους είναι η θερμοκρασία. Ειδικότερα, με αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται το ιξώδες των υγρών, ενώ το ιξώδες των αερίων αυξάνεται.

Στο σχήμα 4. απεικονίζεται ένα τμήμα ρευστού ανάμεσα σε δύο παράλληλες πλάκες επιφάνειας A , που απέχουν μεταξύ τους απόσταση y , η μία των οποίων είναι ακίνητη ενώ η άλλη κινείται με σταθερή ταχύτητα V . Για την επίτευξη σταθερής ταχύτητας και με δεδομένη την ύπαρξη δύναμης τριβής, λόγω επαφής της πλάκας με το ρευστό, απαιτείται εφαρμογή σταθερής δύναμης F . Το ρευστό ανάμεσα στις δύο πλάκες θα κινηθεί και αυτό και μάλιστα τα ενδιάμεσα τμήματα του ρευστού θα κινηθούν με κλιμακούμενη ταχύτητα από $v=0$ έως $v=V$.



Σχήμα 4. Εφαρμογή διατμητικής τάσης και προφίλ της ταχύτητας που προκύπτει για της διάφορες στιβάδες του ρευστού συναρτήσει του ύψους (Καλογιάννη, Σημειώσεις μαθήματος).

Ως διατμητική τάση (τ , shear stress) ορίζεται ο λόγος της δύναμης F προς την επιφάνεια A , ενώ η μεταβολή της ταχύτητας του ρευστού σε συνάρτηση με το ύψος της στιβάδας ονομάζεται ταχύτητα διάτμησης ή ρυθμός διάτμησης ($\dot{\gamma}$, shear rate). Διατμητική τάση και ρυθμός διάτμησης συνδέονται μέσω του ιξώδους (μ), το οποίο ορίζεται ως ο λόγος της διατμητικής τάσης προς το ρυθμό διάτμησης (Καλογιάννη, Σημειώσεις μαθήματος).

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{dv}{dy}} \quad (1)$$

3.2 Νευτώνια και μη νευτώνια ρευστά

Με βάση τη ρεολογική τους συμπεριφορά, τα ρευστά διακρίνονται σε νευτώνια και μη νευτώνια. Νευτώνια ονομάζονται τα ρευστά των οποίων η τιμή του ιξώδους είναι σταθερή και ανεξάρτητη από την ταχύτητα διάτμησης και το χρόνο (πχ. νερό, λάδι). Τα ρευστά των οποίων το ιξώδες εξαρτάται από την ταχύτητα διάτμησης ή/και το χρόνο από την έναρξη της διάτμησης, χαρακτηρίζονται ως μη νευτώνια (πχ, τοματοπολτός, γαλακτώματα) και το ιξώδες σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται φαινομενικό.

Στα μη νευτώνια ρευστά στα οποία η τιμή του ιξώδους είναι ανεξάρτητη από τη χρονική διάρκεια της διάτμησης (χρονικά ανεξάρτητη ρεολογική

συμπεριφορά) ανήκουν τα ψευδοπλαστικά, τα διασταλτικά και τα ρευστά τύπου Bingham και Casson. Αύξηση της ταχύτητας διάτμησης προκαλεί μείωση του ιξώδους των ψευδοπλαστικών ρευστών και αύξηση του ιξώδους των διασταλτικών ρευστών αντίστοιχα.

Για τα ρευστά αυτά η διατμητική τάση συναρτήσεται της ταχύτητας διάτμησης περιγράφεται από τη σχέση (2), όπου n είναι ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς και κ ο συντελεστής συνεκτικότητας. Για τα διασταλτικά ρευστά ισχύει $n > 1$, ενώ για τα ψευδοπλαστικά $n < 1$.

$$\tau = \kappa \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

Τα μη νευτώνια ρευστά των οποίων η τιμή του ιξώδους εξαρτάται από τη χρονική διάρκεια της διάτμησης (χρονικά εξαρτώμενη ρεολογική συμπεριφορά), διακρίνονται στα θιξότροπα και στα ρεοπηκτικά. Με την πάροδο του χρόνου και υπό σταθερή ταχύτητα διάτμησης, μειώνεται το ιξώδες των θιξότροπων ρευστών (πχ. μαγιονέζα), ενώ το ιξώδες των ρεοπηκτικών παρουσιάζει αύξηση. Μεταβάλλοντας παράλληλα, την ταχύτητα διάτμησης, και συγκεκριμένα αυξάνοντας την, αυξάνεται και η διατμητική τάση των θιξοτροπικών ρευστών. Αντίθετα, μείωση της ταχύτητας διάτμησης οδηγεί σε μείωση της διατμητικής τάσης, η οποία ωστόσο, ακολουθεί διαφορετική πορεία από αυτήν που παρατηρείται κατά την αύξησης της ταχύτητας διάτμησης. Με παρόμοιο τρόπο, συμπεριφέρονται και τα ρεοπηκτικά ρευστά (Καλογιάννη, Σημειώσεις μαθήματος).

3.3 Σιαλική ροή

3.3.1 Σάλιο σε κατάσταση ηρεμίας

Η ημερήσια παραγωγή σάλιου σε υγιή άτομα κυμαίνεται από 0,5 έως 1L. Όταν οι σιελογόνοι αδένες βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας, δηλαδή όταν δε δέχονται ερεθίσματα, το σάλιο χαρακτηρίζεται ως σάλιο σε κατάσταση ηρεμίας (unstimulated saliva). Το σάλιο αυτό παράγεται από την αντίδραση των σιελογόνων αδένων η οποία συμβαίνει αυθόρμητα και επιτείνεται από την κίνηση της γλώσσας και της κάτω γνάθου. Η σιαλική ροή σε κατάσταση

ηρεμίας είναι 0,3-0,4mL/min, ωστόσο παρουσιάζονται μεγάλες διακυμάνσεις. Ροή σάλιου μικρότερη από 0,1mL/min σε κατάσταση ηρεμίας αποτελεί ένδειξη μειωμένης παραγωγής σάλιου. Σε κατάσταση ηρεμίας, οι παρωτίδες και οι υπογνάθιοι σιελογόνοι αδένες συνεισφέρουν σε ποσοστό 25% και 60%, αντίστοιχα, στο συνολικό όγκο του παραγόμενου σάλιου. Τόσο οι υπογλώσσιοι όσο και το σύνολο των ελάσσονων σιελογόνων αδένων παράγουν ποσότητα σάλιου, η οποία συνολικά αντιστοιχεί στο 14-18% του σάλιου σε κατάσταση ηρεμίας (Levine, 2011).

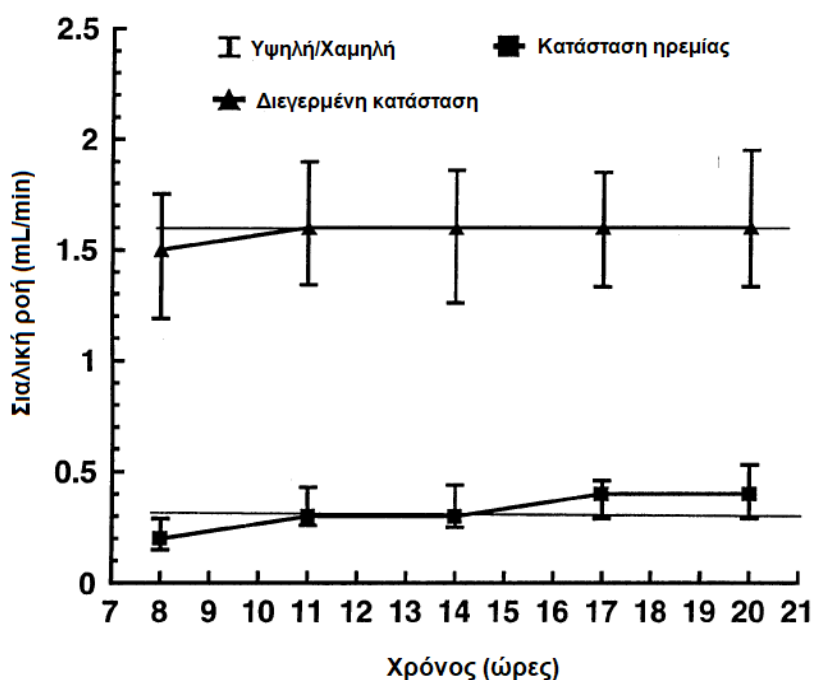
3.3.2 Σάλιο σε διεγερμένη κατάσταση

Ως σάλιο σε διεγερμένη κατάσταση (stimulated saliva), χαρακτηρίζεται το σάλιο που εκκρίνεται παρουσία μηχανικών, γευστικών και όξινων ερεθισμάτων και ο όγκος του είναι μεγαλύτερος από τον όγκο του σάλιου που εκκρίνεται σε κατάσταση ηρεμίας. Σε κατάσταση διέγερσης, οι παρωτίδες συνεισφέρουν σημαντικά περισσότερο στο συνολικό όγκο του παραγόμενου σάλιου, προσεγγίζοντας το 35% του συνολικού όγκου του. (Levine, 2011).

3.3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη σιαλική ροή

Η ροή του σάλιου επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως τον βαθμό ενυδάτωσης, τη στάση του σώματος, την έκθεση στο φως, την παρουσία γευστικού ή οσφρητικού ερεθίσματος, το μέγεθος των σιελογόνων αδένων, παθολογικές καταστάσεις και τη λήψη φαρμακευτικών ουσιών. Όσο αφορά στην παρουσία γευστικών ερεθισμάτων, σημειώνεται ότι η μάσηση σκληρών τροφών οδηγεί σε αυξημένη σιαλική ροή. Ομοίως, αύξηση της ροής του σάλιου προκαλείται από ορμονικές μεταβολές κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης, καθώς και από έντονη συναισθηματική φόρτιση ή από τη λήψη συμπαθομιμητικών φαρμάκων. Αντίθετα, ορμονικές μεταβολές, σχετιζόμενες με την εμμηνόπαυση, αγχώδεις καταστάσεις και η λήψη αντιαδρενεργικών και αντιχολινεργικών φαρμάκων οδηγούν σε ελάττωση της σιαλικής ροής (Levine, 2011).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένας τρόπος διέγερσης του σάλιου είναι η μάσηση της τροφής. Οι Rantonen & Meurman (1998), για τη μελέτη της σιαλικής ροής, συνέλεξαν δείγματα σάλιου από 30 υγιή άτομα 5 φορές κατά τη διάρκεια της ημέρας, ανά διαστήματα τριών ωρών. Για τη διέγερση του σάλιου χρησιμοποιήθηκε κερί παραφίνης (1g), το οποίο οι εξεταζόμενοι κλήθηκαν να μασήσουν με σταθερό ρυθμό. Ο χρόνος συλλογής του σάλιου ήταν 5 λεπτά σε κατάσταση ηρεμίας και 3 λεπτά ύστερα από διέγερση. Τα αποτελέσματα της πειραματικής μελέτης παρουσιάζονται στο Σχήμα 5., όπου επιβεβαιώνεται ότι σε κατάσταση διέγερσης ο όγκος του παραγόμενου σάλιου στον ίδιο χρόνο είναι μεγαλύτερος από ότι σε κατάσταση ηρεμίας (Rantonen & Meurman, 1998).



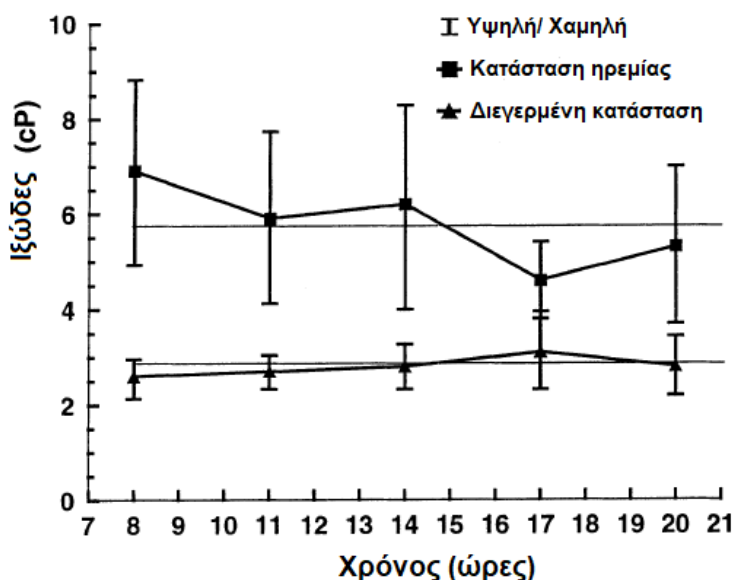
Σχήμα 5. Μέσοι όροι σιαλικής ροής σε διεγερμένη κατάσταση και κατάσταση ηρεμίας κατά τη διάρκεια της ημέρας, σε πληθυσμό 30 ατόμων (n=30). Οι ευθείες γραμμές αντιπροσωπεύουν την αντίστοιχη μέση σιαλική ροή (Rantonen & Meurman, 1998).

3.4 Ιξώδες σάλιου

3.4.1 Μεταβολή ιξώδους με το χρόνο

Η λιπαντική ικανότητα του σάλιου είναι στενά συνδεδεμένη με το ιξώδες του σάλιου, το οποίο εξαρτάται άμεσα από τον ρυθμό διάτμησης και τη χρονική διάρκεια της διάτμησης. Συνεπώς, το σάλιο ανήκει στα μη νευτώνια ρευστά. Οι Rantonen & Meurman (1998), μελέτησαν τη μεταβολή του ιξώδους του σάλιου σε κατάσταση ηρεμίας και σε κατάσταση διέγερσης συναρτήσει του χρόνου. Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε σε συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας (37°C) και ρυθμού διάτμησης (90 s⁻¹).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στο σχήμα 6., όπου γίνεται φανερό ότι διέγερση του σάλιου προκαλεί ελάττωση του ιξώδους. Παρατηρείται ακόμη, ότι η τιμή του ιξώδους σε κατάσταση ηρεμίας ήταν η ελάχιστη στις 17:00, ενώ την ίδια ώρα το ιξώδες του σάλιου διεγερμένης κατάστασης παρουσίασε τη μέγιστη τιμή του. Σημειώνεται ωστόσο, ότι οι μεταβολές του ιξώδους στο διεγερμένο σάλιο δεν ήταν στατιστικά σημαντικές, με άλλα λόγια η τιμή του ιξώδους παρέμεινε σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, γεγονός που σύμφωνα με τους επιστήμονες δεν ήταν αναμενόμενο και χρήζει περαιτέρω έρευνας (Rantonen & Meurman, 1998).



Σχήμα 6. Μέσοι όροι ιξώδους σάλιου σε διεγερμένη κατάσταση και κατάσταση ηρεμίας κατά τη διάρκεια της ημέρας, σε πληθυσμό 30 ατόμων (n=30). Οι ευθείες γραμμές αντιπροσωπεύουν το αντίστοιχο μέσο ιξώδες (Rantonen & Meurman, 1998).

Αντίθετα, η μεταβολή του ιξώδους συναρτήσσει του χρόνου σε κατάσταση ηρεμίας έχει στατιστική σημασία και μπορεί να αποδοθεί στην αύξηση της σιαλικής ροής κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπως αποδεικνύεται από το Σχήμα 5.

Ένας ακόμη παράγοντας, που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για την ερμηνεία της μείωσης του ιξώδους σε κατάσταση ηρεμίας, είναι οι μεταβολές στην έκκριση γλυκοπρωτεϊνών του σάλιου. Πρόκειται κυρίως για γλυκοπρωτεΐνες μεγάλου μοριακού βάρους, όπως η μυξίνη MG1, οι οποίες εκκρίνονται από τους υπογλώσσσιους και υπογνάθιους σιελογόνους αδένες, καθώς και από τους σιελογόνους αδένες της υπερώας και παρουσιάζουν καλή λιπαντική ικανότητα. Είναι γνωστό ότι οι γλυκοπρωτεΐνες που εκκρίνονται από τους υπογλώσσσιους σιελογόνους αδένες, έχουν μεγαλύτερη ελαστικότητα από εκείνες που εκκρίνονται από τους υπογνάθιους και τους σιελογόνους αδένες της υπερώας. Συνεπώς, οι μεταβολές του ιξώδους που παρατηρήθηκαν σε κατάσταση ηρεμίας, πιθανόν αποτελούν ένδειξη για την έκκριση διαφορετικών γλυκοπρωτεϊνών του σάλιου σε διάφορες χρονικές στιγμές.

Αντίστοιχα, η σταθερότητα του ιξώδους του σάλιου σε διεγερμένη κατάσταση κατά την διάρκεια της ημέρας μπορεί να συσχετιστεί με την αυξημένη έκκριση σάλιου από της παρωτίδες. Το σάλιο αυτό, η έκκριση του οποίου εντείνεται λόγω μάσησης, είναι φτωχό σε μυξίνες και συνεπώς, παρουσιάζει μειωμένη λιπαντική ικανότητα συγκριτικά με το σάλιο σε κατάσταση ηρεμίας (Rantonen & Meurman, 1998).

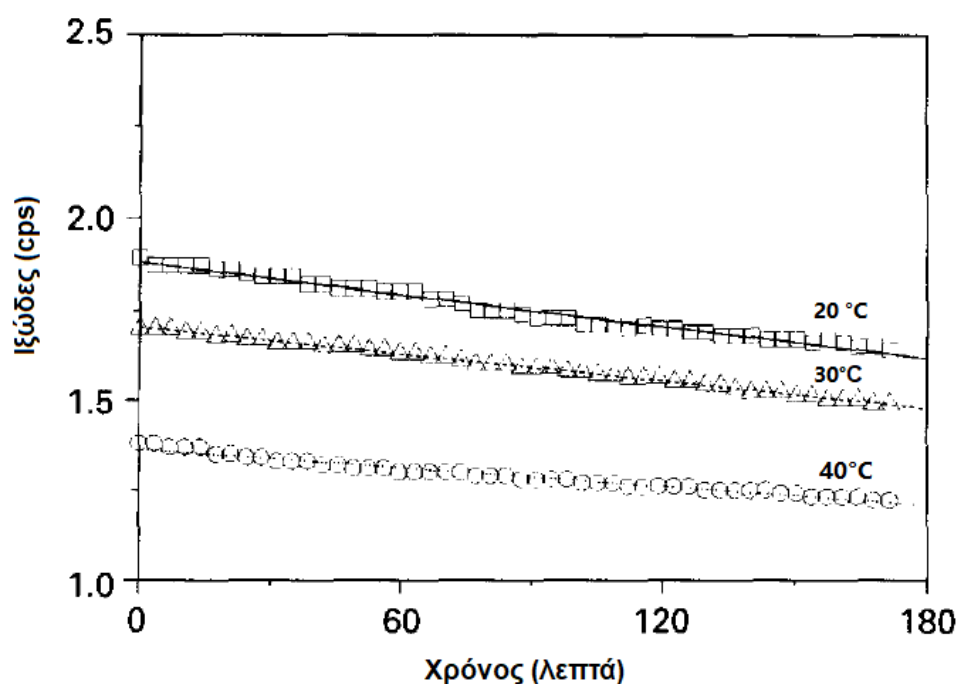
3.4.2 Ιξώδες και θερμοκρασία

Με στόχο τη μελέτη της μεταβολής του ιξώδους του σάλιου ανάλογα με τη θερμοκρασία και την επίδραση που έχει ο χρόνος στη μεταβολή αυτή, οι Kusy & Schafer (1995), πραγματοποίησαν μια σειρά από μετρήσεις του ιξώδους στο σάλιο ενός ατόμου, σε διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας. Το σάλιο που μελετήθηκε υπέστη προηγουμένως μηχανική διέγερση, μέσω της μάσησης ενός κομματιού παραφίλμ και η μέτρηση του ιξώδους πραγματοποιήθηκε υπό εφαρμογή σταθερής διαμητικής τάσης 450 s^{-1} . Οι τιμές του ιξώδους

καταγράφηκαν ανά 5 λεπτά σε θερμοκρασία 20°C, 30°C και 40°C αντίστοιχα, ενώ η καταγραφή διήρκησε συνολικά 3 ώρες.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 7., όπου γίνεται φανερό ότι αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση στο ιξώδες του διεγερμένου σάλιου, ενώ με την πάροδο του χρόνου το ιξώδες του σάλιου παρουσιάζει μικρή αλλά αισθητή μείωση. Η ελάττωση αυτή σημειώθηκε εξίσου σε όλες τις εξεταζόμενες θερμοκρασίες και συνεπώς, δεν οφείλεται στη διαφορετική θερμοκρασία αλλά στην πάροδο του χρόνου (Kusy & Schafer, 1995).

Η παρατήρηση αυτή έρχεται σε αντιπαράθεση με τη μελέτη των Rantonen & Meurman (1998), σύμφωνα με την οποία το ιξώδες του διεγερμένου σάλιου που εξετάστηκε παρέμεινε αμετάβλητο κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 7. Μεταβολή του ιξώδους διεγερμένου σάλιου συναρτήσει του χρόνου, σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν ανά 5 λεπτά και η συνολική καταγραφή διήρκησε 3 ώρες (Kusy & Schafer, 1995).

3.4.3 Ιξώδες και pH

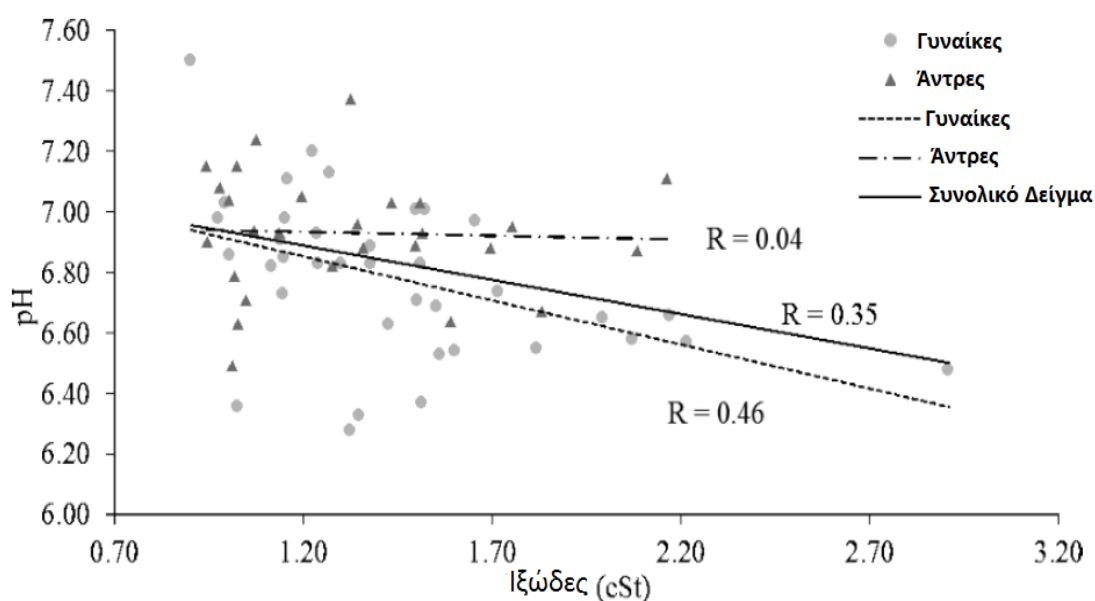
Η επίδραση της αλλαγής του pH στην τιμή του ιξώδους του σάλιου, μελετήθηκε από τους Foglio-Bonda και τους συνεργάτες του. Οι ερευνητές πραγματοποίησαν μετρήσεις του pH και του ιξώδους του σάλιου ενός συνόλου εθελοντών, σε κατάσταση ηρεμίας. Ο πληθυσμός που εξετάστηκε είχε μέση ηλικία 25,2 έτη και αποτελούνταν από άτομα και των δύο φύλων, χωρίς προβλήματα υγείας. Σε κάθε δείγμα σάλιου πραγματοποιήθηκαν έξι διαφορετικές μετρήσεις ιξώδους και pH, σε θερμοστατούμενο υδατόλουτρο 36°C.

Το μέσο ιξώδες του σάλιου στην αρχή των πειραματικών μετρήσεων βρέθηκε ίσο με 1,40 cSt (μη στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ γυναικών και ανδρών) και με την πάροδο του χρόνου παρουσίασε εκθετική μείωση έως μία τιμή κοντά στο 1,12 cSt. Η εκθετική αυτή μείωση του ιξώδους μπορεί να αποδοθεί σε διάφορες φυσικοχημικές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα κατά τη γήρανση του σάλιου, με σημαντικότερη την προσρόφηση των μυξινών στη διεπιφάνεια μεταξύ υγρής και αέριας φάσης.

Αντίθετα, η μέση τιμή του pH στην αρχή των μετρήσεων παρουσίασε σημαντική απόκλιση μεταξύ ανδρών και γυναικών, με το σάλιο των ανδρών να παρουσιάζει τιμή $\text{pH}=6,93$, ενώ αυτό των γυναικών $\text{pH}=6,78$. Σημειώνεται ότι η τιμή του pH παρουσίασε γραμμική αύξηση με μέσο ρυθμό αύξησης 0,03 μονάδες pH/λεπτό και στα δύο φύλα, γεγονός που οφείλεται στη συνεχή απώλεια CO_2 από το σάλιο κατά την έκθεση του στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Στο σχήμα 8., παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ του pH και του ιξώδους του σάλιου, η οποία στην περίπτωση των γυναικών αποδείχθηκε εντονότερη ($R=0,46$), σε σχέση με τον αντρικό πληθυσμό ($R=0,04$). Η γενική τάση που παρατηρήθηκε είναι πως καθώς το ιξώδες μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, το pH του σάλιου αυξάνεται. Είναι γνωστό πως το ιξώδες του σάλιου σε κατάσταση ηρεμίας οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη σύσταση του σε γλυκοπρωτεΐνες μεγάλου μοριακού βάρους και συγκεκριμένα στις μυξίνες που περιέχει, οι οποίες είναι ευαίσθητες στις διάφορες μεταβολές του pH. Έτσι, αποκλίσεις από τη φυσιολογική τιμή του pH μπορεί να προκαλέσουν

μεταβολές στη διαμόρφωση και την αλληλεπίδραση μεταξύ των μυξινών και κατά συνέπεια, να οδηγήσουν σε αλλαγές του ιξώδους. Τέτοιες αποκλίσεις του pH είναι εντονότερες, όταν συναντώνται παθολογικές καταστάσεις της στοματικής κοιλότητας και για τον λόγο αυτό η συσχέτιση μεταξύ pH και ιξώδους αναμένεται να είναι πιο εμφανής σε αυτές τις περιπτώσεις (Fogliobonda et al., 2014).

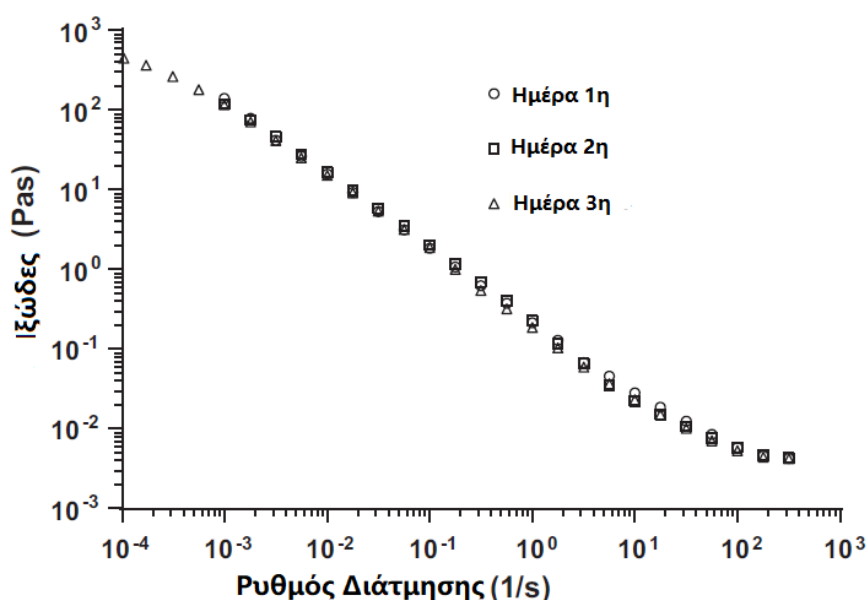


Σχήμα 8. pH συναρτήσεϊ ιξώδους σε σάλιο κατάστασης ηρεμίας (Fogliobonda et al., 2014).

3.4.4 Ιξώδες και ρυθμός διάτμησης

Μελέτες των Madsen et al. (2013) σε σάλιο διεγερμένης κατάστασης, οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι σε χαμηλές τιμές του ρυθμού διάτμησης, οι οποίες αντιστοιχούν σε μηδενική διατμητική τάση, το σάλιο παρουσιάζει συμπεριφορά νευτώνιου ρευστού. Με αύξηση του ρυθμού διάτμησης, το σάλιο μεταπίπτει σε ρεολογική συμπεριφορά που αντιστοιχεί στο μοντέλο Power Law, σύμφωνα με το οποίο η τιμή του ιξώδους μειώνεται με αύξηση του ρυθμού διάτμησης. Ρευστά με την παραπάνω ρεολογική συμπεριφορά χαρακτηρίζονται ως ψευδοπλαστικά. Τέλος, με περεταίρω αύξηση του ρυθμού

διάτμησης, η οποία αντιστοιχεί σε διατμητική τάση που τείνει στο άπειρο, το σάλιο επιστρέφει στη νευτώνια συμπεριφορά. Η παραπάνω τάση παρουσιάζεται στο Σχήμα 9., όπου γίνεται εμφανές το αρχικό πλατό που σχηματίζεται για χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης, η μετέπειτα περιοχή ψευδοπλαστικής συμπεριφοράς και τέλος, ένα δεύτερο πλατό για υψηλότερες τιμές του ρυθμού διάτμησης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περιοχή για τιμές του ρυθμού διάτμησης από 60 έως 160s^{-1} , όπου συναντάται η ψευδοπλαστική ρεολογική συμπεριφορά του σάλιου, καθώς οι τιμές αυτές προσομοιάζουν τις συνθήκες της στοματικής κοιλότητας κατά τη μάσηση και την κατάποση της τροφής (Madsen et al., 2013).



Σχήμα 9. Μεταβολή του ιξώδους σάλιου σε κατάσταση διέγερσης συναρτήσει αυξανόμενου ρυθμού διάτμησης. Χρησιμοποιήθηκε σάλιο ενός νεαρού εθελοντή και η συλλογή πραγματοποιήθηκε σε τρεις συνεχόμενες ημέρες (Madsen et al., 2013).

Διαφορές στην εξάρτηση του ιξώδους από το ρυθμό διάτμησης παρατηρήθηκαν μεταξύ του εκκρινόμενου, από τους διάφορους σιελογόνους αδένες, σάλιου. Ειδικότερα, το ιξώδες του σάλιου που εκκρίνεται από τους υπογλώσσιους σιελογόνους αδένες αποδείχθηκε πως μεταβάλλεται έντονα με το ρυθμό διάτμησης, και συγκεκριμένα παρουσιάζει σταδιακή μείωση με αυξανόμενο ρυθμό διάτμησης. Αντίθετα, το παραγόμενο από τους υπογνάθιους σιελογόνους αδένες, σάλιο, όπως και το σάλιο που εκκρίνεται

από τους αδένες της υπερώας, δε σημείωσε έντονη συσχέτιση μεταξύ του ιξώδους του και του ρυθμού διάτμησης, αφού η τιμή του ιξώδους παρέμεινε σχετικά σταθερή για αυξανόμενο ρυθμό διάτμησης και χαμηλότερη από ότι στο σάλιο των υπογλώσσων σιελογόνων αδένων. Τέλος, καμία εξάρτηση μεταξύ του ιξώδους και του ρυθμού διάτμησης δεν σημειώθηκε στην έκκριση σάλιου από τις παρωτίδες. Η παραπάνω παρατήρηση επιβεβαιώνει τη διαπίστωση των Rantonen & Meurman (1998), σύμφωνα με την οποία η σιαλική έκκριση των υπογλώσσων σιελογόνων αδένων εμφανίζει μεγαλύτερη ιξωδοελαστικότητα, χάρη στις εντονότερες ιξωδοελαστικές ιδιότητες των μυξινών που περιέχονται σε αυτή (van der Reijden et al., 1993).

Ενώ το εκκρινόμενο, από τους υπογνάθιους σιελογόνους αδένες, σάλιο παρουσιάζει χαμηλότερο ιξώδες, η σιαλική του ροή (10.0 ± 7.8 mL/ώρα) είναι μεγαλύτερη από αυτή του σάλιου που παράγεται από τους υπογλώσσους αδένες ($0,6 \pm 0,3$ mL/ώρα). Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνει ότι σε κατάσταση διέγερσης, κατά την οποία σύμφωνα με τους Rantonen & Meurman (1998) η σιαλική ροή είναι μεγαλύτερη, το εκκρινόμενο σάλιο προέρχεται κυρίως από τους υπογνάθιους σιελογόνους αδένες, ενώ σε κατάσταση ηρεμίας η μειωμένη σιαλική ροή οφείλεται στο σάλιο των υπογλώσσων σιελογόνων αδένων (van der Reijden et al., 1993).

Στον πίνακα 5. συνοψίζονται οι τιμές του ιξώδους και του ρυθμού διάτμησης που προέκυψαν από πειραματικές μετρήσεις διαφόρων ομάδων επιστημόνων. Λόγω της πολυπλοκότητας του ανθρώπινου σάλιου ως προς τη βιοχημική του σύσταση και των διακυμάνσεων που παρατηρούνται στη σύσταση του μεταξύ των ατόμων, η εκτίμηση των ρεολογικών του χαρακτηριστικών και συγκεκριμένα, του ιξώδους είναι μία διαδικασία εξαιρετικά δύσκολη. Επιπλέον, λόγω των διαφορετικών πρωτοκόλλων που ακολουθήθηκαν από τους επιστήμονες, τόσο κατά τη συλλογή του σάλιου, όσο και κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων, είναι αναμενόμενο τα αποτελέσματα να παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις. Παράγοντες που φαίνεται να επηρεάζουν τις μετρήσεις είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ηλικία, το φύλο, η κατάσταση υγείας και η προετοιμασία των εθελοντών πριν τη λήψη, το μέγεθος του εξεταζόμενου πληθυσμού, το μέσο διέγερσης και το

είδος του σάλιου, καθώς και τα εργαστηριακά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις του ιξώδους και του ρυθμού διάτμησης. Δεδομένου των παραπάνω, η δημιουργία ενός ιδανικού πρωτοκόλλου με στόχο την τυποποίηση της αξιολόγησης των ρεολογικών χαρακτηριστικών του σάλιου, θα αποτελούσε μία ερευνητική πρόκληση και ένα σημαντικό εργαλείο για μελλοντικές έρευνες.

Πίνακας 6. Ρυθμός διάτμησης και ιξώδες σάλιου σύμφωνα με διαφορετικές μελέτες.

Αναφορά	Θερμοκρασία (°C)	Ρυθμός Διάτμησης (s⁻¹)	Ιξώδες (cP)
(Davis, 1971)	25	1500	5
(Roberts, 1977)	37	11,5 - 230	3 - 14
(Balmer & Hirsch, 1978)	Θερμοκρασία δωματίου	1 - 1000	2 - 45
(Vissink et al., 1984)	35	0,0175 - 94,5	2,5 - 10
(van der Reijden et al., 1993)	37	1 - 300	1,48 - 1,60
(Preetha & Banerjee, 2005)	37	0,5 – 94,5	2,8 – 15,5
(Park et al., 2007)	37	90	2,52 ± 0,59
(Sajewicz, 2009)	20	450	2,33 ± 1,03
(Foglio-Bonda et al., 2014)	36	533,78	1,40 ± 0,39

(Davis, 1971; Roberts, 1977; Balmer & Hirsch, 1978; Vissink et al., 1984; van der Reijden et al., 1997 ; Preetha & Banerjee, 2005 ; Park et al., 2007 ; Sajewicz, 2009 ; Foglio-Bonda et al., 2014)

3.5 Επίδραση της κατανάλωσης τροφίμων στη ρεολογία του σάλιου

Είναι γνωστό ότι οι ρεολογικές ιδιότητες του σάλιου εξαρτώνται από το μέσο με το οποίο πραγματοποιείται η διέγερση του, δηλαδή από το είδος του τροφίμου το οποίο καταναλώνεται. Η έκκριση σάλιου και η μεταβολή του ιξώδους και της ελαστικότητάς του ανάλογα με το μέσο διέγερσης, μελετήθηκαν από τους Davies et al. (2009) και τους Stokes & Davies (2007), και τα αποτελέσματα των ερευνών τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

Αποδείχθηκε ότι η κατανάλωση τροφίμων με όξινο pH, όπως το κρύο τσάι με γεύση ροδάκινο ή το αναψυκτικό κόλας οδηγεί σε αυξημένη σιαλική ροή, σε σχέση με αυτήν που προκύπτει ύστερα από την κατανάλωση νερού. Μάλιστα, όσο μεγαλύτερη είναι η οξύτητα τόσο αυξάνεται και η σιαλική ροή, όπως διαπιστώνεται συγκρίνοντας τις τιμές σιαλικής ροής στα δείγματα σάλιου ύστερα από διέγερση με διαλύματα κιτρικού οξέος 0,1% και 0,25%, αντίστοιχα. Αυξημένη σιαλική ροή σε σύγκριση με την σιαλική ροή έπειτα από κατανάλωση νερού παρατηρείται και στην περίπτωση μηχανικής διέγερσης του σάλιου, για παράδειγμα μέσω της μάσησης τσίχλας ή της κατανάλωσης καραμέλας με άρωμα μέντας. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή το διεγερμένο σάλιο εμφανίζει όχι μόνο μικρότερη ροή, αλλά και σημαντικά μικρότερη ελαστικότητα, σε σχέση με τη διέγερση μέσω κατανάλωσης όξινων τροφίμων και ποτών. Η αυξημένη ελαστικότητα του σάλιου έπειτα από κατανάλωση τροφίμων/ποτών με χαμηλό pH, αποτελεί ένα μηχανισμό προστασίας των δοντιών από τον κίνδυνο διάβρωσης τους λόγω αυξημένης οξύτητας. Όσο αφορά στο ιξώδες του σάλιου δεν σημειώθηκαν σημαντικές αποκλίσεις ανάμεσα στα διαφορετικά μέσα διέγερσης που εξετάστηκαν (Stokes & Davies, 2007; Davies et al., 2009).

Πίνακας 7. Μέσοι όροι σιαλικής ροής, ιξώδους και ελαστικότητας σάλιου υπό σταθερό ρυθμό διάτμησης 100s^{-1} , ύστερα από διέγερση με διαφορετικά μέσα.

Μέσο Διέγερσης	pH μέσου διέγερσης	Σιαλική ροή (g/min)	Ιξώδες (mPas)	Ελαστικότητα (Pa)
Αναψυκτικό «Fizzy Cola» (Pepsi)	2,58	1,21	2,9	42,5
Κρύο τσάι με γεύση ροδάκινο (Lipton Ice Tea)	3,20	1,21	3,1	46,5
0,25% Κιτρικό Οξύ	-	1,17	4,54	51
Καραμέλα Μέντας (Tic Tac)	-	0,98	2,2	15,2
Τσίχλα (χωρίς άρωμα)	-	0,96 ^a	2,5 ^a	14,4 ^a
		1,05 ^b	3,16 ^b	16 ^b
Ανθρακούχο νερό (Highland)	4,88	0,87	2,1	20,7
0,1% Κιτρικό Οξύ	-	0,76	4,44	42
Μη ανθρακούχο νερό (Highland)	7,80	0,74 ^a	2,3 ^a	12,8 ^a
		0,67 ^b	3,28 ^b	20 ^b

^a : (Davies et al., 2009) ; ^b : (Stokes & Davies, 2007)

3.6 Επίδραση υδροκολλοειδών στη ρεολογία του σάλιου

Σύμφωνα με τους Manzoor et al. (2020), ο ρόλος των υδροκολλοειδών στα τρόφιμα είναι η αύξηση της πηκτικότητας και η σταθεροποίηση του τροφίμου, μέσω αύξησης του ιξώδους του. Ωστόσο, καθώς τα υδροκολλοειδή των τροφίμων έρχονται σε επαφή με το σάλιο της στοματικής κοιλότητας, αλληλεπιδρούν με τις γλυκοπρωτεΐνες του σάλιου, κυρίως με τη μυξίνη, το βασικό πηκτικό παράγοντα του σάλιου. Η αλληλεπίδραση αυτή, κάτω από ορισμένες συνθήκες του pH, προκαλεί μεταβολές στη ρεολογία του μίγματος που σχηματίζεται και ιδιαίτερα, στο ιξώδες. Συνεπώς, για την αξιολόγηση τόσο των ρεολογικών όσο και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών ενός τροφίμου και την ανάπτυξη νέων τροφίμων, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση των παραπάνω συστατικών κατά την κατανάλωσή τους (Yuan et al., 2018; Ahmad et al., 2020b).

Έρευνες με σκοπό τη μελέτη της μεταβολής του ιξώδους που προκαλεί η μίξη κοινών υδροκολλοειδών των τροφίμων με τη μυξίνη του σάλιου, βασίζονται στην παρασκευή διαλυμάτων μυξίνης - υδροκολλοειδών σε διαφορετική αναλογία και στη συνέχεια, στη μέτρηση του ιξώδους του σχηματιζόμενου διαλύματος υπό αυξανόμενο ρυθμό διάτμησης. Τα υδροκολλοειδή που εξετάστηκαν σε αλληλεπίδραση με τη μυξίνη είναι το ξανθανικό κόμμι, η ζελατίνη, η χιτοζάνη, η β-γλυκάνη και το κόμμι της μπάμιας και τα ιξώδη τους σε ρυθμούς διάτμησης $0,1 \text{ s}^{-1}$, 50 s^{-1} και 100 s^{-1} παρουσιάζονται στον πίνακα 8.

Πίνακας 8. Ιξώδες διαλύματων μυξίνης με κοινά υδροκολλοειδή τροφίμων (ξανθάνη, ζελατίνη, χιτοζάνη, β-γλυκάνη, πολυμερές μπάμιας Π.Μ.) διαφορετικής περιεκτικότητας, για ρυθμούς διάτμησης $0,1 \text{ s}^{-1}$, 50 s^{-1} και 100 s^{-1} , σε $\text{pH}=3$ ή/και $\text{pH}=7$.

	Αναλογία Μίγματος	$\text{pH} = 3$			$\text{pH} = 7$			
		$0,1 \text{ s}^{-1}$	50 s^{-1}	100 s^{-1}	$0,1 \text{ s}^{-1}$	50 s^{-1}	100 s^{-1}	
1% Δ/ΜΑ ΜΥΞ. - ΞΑΝΘ.	(10:0)	0,50	0,0045	0,0035	0,45	0,0033	0,0025	Ι Ξ Ω Δ Ε Σ (P a* s)
1% Δ/ΜΑ ΜΥΞ. - ΞΑΝΘ.	(8:2)	2,0	0,045	0,029	5,0	0,055	0,032	
1% Δ/ΜΑ ΜΥΞ. - ΞΑΝΘ.	(5:5)	20,0	0,19	0,10	35,0	0,19	0,11	
1% Δ/ΜΑ ΜΥΞ. - ΖΕΛ.	(6:4)	0,034	0,0024	0,0022	0,24	0,0040	0,0027	
1% Δ/ΜΑ ΜΥΞ. - ΧΙΤΟΖ.	(8:2)	0,53	0,0048	0,0036	-	-	-	
1% Δ/ΜΑ ΜΥΞ. - ΧΙΤΟΖ.	(5:5)	0,18	0,0039	0,0030	-	-	-	
1% Δ/ΜΑ ΜΥΞ. - ΧΙΤΟΖ.	(4:6)	0,09	0,0035	0,0032	-	-	-	
4% Δ/ΜΑ ΜΥΞ. - β-ΓΛΥΚ.	(4:0)	-	-	-	0,10	0,020	0,018	
4% Δ/ΜΑ ΜΥΞ. - β-ΓΛΥΚ.	(3:1)	-	-	-	2,0	0,16	0,14	
4% Δ/ΜΑ ΜΥΞ. - β-ΓΛΥΚ.	(2:2)	-	-	-	3,90	0,75	0,60	
4% Δ/ΜΑ ΜΥΞ. - β-ΓΛΥΚ.	(1:3)	-	-	-	13,0	3,0	2,3	
Δ/ΜΑ ΣΑΛΙΟΥ - Π.Μ.0%	(1:1)	-	-	-	0,078	0,0039	0,0030	
Δ/ΜΑ ΣΑΛΙΟΥ-Π.Μ.0,25%		-	-	-	0,080	0,018	0,015	
Δ/ΜΑ ΣΑΛΙΟΥ- Π.Μ.0,5%		-	-	-	0,60	0,045	0,030	
Δ/ΜΑ ΣΑΛΙΟΥ-Π.Μ.0,75%		-	-	-	2,6	0,090	0,060	
Δ/ΜΑ ΣΑΛΙΟΥ- Π.Μ.1.0%		-	-	-	7,0	0,15	0,10	

(Yuan et al., 2018; Yuan et al., 2019; Ahmad et al., 2020a; Ahmad et al., 2020b; Ahmad et al., 2021)

Η γενική τάση που παρατηρήθηκε σε όλα τα εξεταζόμενα διαλύματα μυξίνης-υδροκολλοειδών είναι ότι με αυξανόμενο ρυθμό διάτμησης το ιξώδες των διαλυμάτων μειώνεται, δηλαδή τα μίγματα εμφανίζουν θιξιοτροπική ρεολογική συμπεριφορά. Οι μετρήσεις του ιξώδους στο χαμηλότερο ρυθμό διάτμησης ($0,1s^{-1}$), αντιπροσωπεύουν τη ρεολογική συμπεριφορά του σχηματιζόμενου - μεταξύ μυξίνης και του υδροκολλοειδούς- πλέγματος, σε κατάσταση ηρεμίας. Με εξαίρεση τα μίγματα μυξίνης-χιτοζάνης, παρατηρείται ακόμη, ότι καθώς η περιεκτικότητα του υδροκολλοειδούς στα μίγματα αυξάνεται, αυξάνεται και το ιξώδες των μιγμάτων, γεγονός που υποδεικνύει την συνεργιστική δράση μεταξύ των υδροκολλοειδών και της μυξίνης. Αντίθετα, υπερβολική αύξηση της συγκέντρωσης της μυξίνης στο μίγμα σε σύγκριση με τη συγκέντρωση του υδροκολλοειδούς σε αυτό, προκαλεί ετερογένεια και μειώνει σημαντικά τις βλενοπροσκολλητικές ιδιότητες του μίγματος. Κατά συνέπεια, ελαττώνεται και το ιξώδες του διαλύματος (Ahmad et al., 2021).

Η παραπάνω συμπεριφορά δεν αντιστοιχεί ωστόσο, στα αποτελέσματα των ρεολογικών μετρήσεων στα μίγματα μυξίνης – χιτοζάνης, στα οποία σημειώθηκε ελάττωση του ιξώδους με αυξανόμενη προσθήκη χιτοζάνης στα μίγματα, σε χαμηλό ρυθμό διάτμησης $0,1s^{-1}$. Αντίθετα, σε μεσαίους και υψηλούς ρυθμούς διάτμησης το ιξώδες του μίγματος ήταν ανεξάρτητο από την αναλογία μυξίνης-χιτοζάνης σε αυτό. Σε κάθε αναλογία μυξίνης- χιτοζάνης όμως, το ιξώδες του διαλύματος βρέθηκε μικρότερο σε σύγκριση με το ιξώδες του διαλύματος που περιείχε αποκλειστικά χιτοζάνη χωρίς προσθήκη μυξίνης, του οποίου η τιμή παρέμεινε κοντά στα $0,25 Pa*s$ για όλο το εύρος των ρυθμών διάτμησης. Η παρατήρηση αυτή υποδηλώνει αρνητική συνεργιστική δράση μεταξύ των μορίων της χιτοζάνης και της μυξίνης, καθώς μίγματα μυξίνης-χιτοζάνης ελαττώνουν τη συνεκτικότητα των δικτύων που σχηματίζονται μεταξύ των μεμονωμένων μορίων της χιτοζάνης (Ahmad et al., 2020a).

Αξίζει να αναφερθεί, πως στα μίγματα σάλιου με προσθήκη υδατικού διαλύματος πολυμερούς μπάμιας, για ρυθμούς διάτμησης χαμηλότερους από αυτούς που εξετάζονται στον πίνακα 8. ($<0,1 s^{-1}$), η αύξηση της συγκέντρωσης του πολυμερούς της μπάμιας στο υδατικό της διάλυμα από 0%

σε 0,25%, αντί για την αναμενόμενη αύξηση του ιξώδους, επέφερε μείωση του ιξώδους. Η παρεκκλίνουσα αυτή συμπεριφορά σημειώθηκε αποκλειστικά κατά την προσθήκη του πολυμερούς από 0% σε 0,25% σε πολύ χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης και δεν έχει διερευνηθεί ακόμη η αιτία της. Με περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης του πολυμερούς στο μίγμα (0,25%-1%), το ιξώδες του μίγματος σημείωσε αύξηση, γεγονός που έρχεται σε συμφωνία με τη ρεολογική συμπεριφορά των υπόλοιπων μιγμάτων που μελετήθηκαν (Yuan et al., 2018).

Στην περίπτωση του μίγματος της μυξίνης με το ξανθανικό κόμμι, όπου οι καταγραφές του ιξώδους πραγματοποιήθηκαν τόσο σε όξινο όσο και σε ουδέτερο pH, σημειώθηκε λιγότερο έντονη αυξητική τάση του ιξώδους με προσθήκη ξανθανικού κόμμεος σε όξινο pH. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι σε ουδέτερες τιμές του pH, οι οποίες αντιστοιχούν στις συνθήκες που επικρατούν στη στοματική κοιλότητα, αυξάνεται ο ιονισμός, με αποτέλεσμα οι καρβοξυλομάδες της ξανθάνης και το σιαλικό οξύ της μυξίνης να αποκτούν ισχυρό αρνητικό φορτίο. Έτσι, η ηλεκτροστατική άπωση που προκαλείται μεταξύ των ομώνυμων φορτίων, οδηγεί σε ξεδίπλωμα των πολυμερικών αλυσίδων, οι οποίες στη συνέχεια, πλησιάζουν μεταξύ τους σχηματίζοντας πλέγμα, μέσω εστερικής απομάκρυνσης. Το σχηματιζόμενο πλέγμα βελτιώνει τη σταθερότητα του μίγματος και οδηγεί σε αύξηση του ιξώδους σε ουδέτερο pH (Ahmad et al., 2020b; Ahmad et al., 2021).

3.7 Ρεολογία Μπάμιας

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι ρεολογικές ιδιότητες των ρευστών αναφέρονται στις παραμορφώσεις που αυτά υφίστανται, όταν επιδρούν δυνάμεις, συναρτήσει του χρόνου. Έχει ήδη αναλυθεί η ιδιότητα του ιξώδους ως προς το σάλιο και παρακάτω θα αναλυθεί το ιξώδες, ως προς τα διάφορα προϊόντα υδροκολλοειδών μπάμιας.

Γενικά, οι ρεολογικές συμπεριφορές όπως το ιξώδες, η διατμητική τάση και ο ρυθμός διάτμησης είναι απαραίτητες, για να ληφθεί υπόψη μια ένωση σαν πιθανή προσθήκη σε τρόφιμα, με σκοπό τη βελτίωση των ρεολογικών του χαρακτηριστικών, τη μεταβολή της υψής του κ.α.

Η γνώση των ρεολογικών χαρακτηριστικών έχει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη νέων προϊόντων, τον ποιοτικό έλεγχο, την εκτίμηση της διάρκειας ζωής και την αισθητηριακή αξιολόγηση αυτών. Έτσι για όλα τα παραπάνω, απαιτείται καλύτερη κατανόηση της ρεολογικής συμπεριφοράς των υδροκολλοειδών της μπάμιας (Li et al., 2020).

3.7.1 Επίδραση υδροκολλοειδών μπάμιας στο ιξώδες σε διαφορετικά υποστρώματα

Υπάρχουν πολλές μελέτες που δείχνουν τον τρόπο με τον οποίο τα υδροκολλοειδή που προέρχονται από τον καρπό της μπάμιας, επηρεάζουν το ιξώδες και τις ιδιότητες των τροφίμων. Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας όπου περιγράφει τη μεταβολή του ιξώδους σε διαφορετικούς ρυθμούς διάτμησης ($0,1 \text{ s}^{-1}$, 50 s^{-1} , 100 s^{-1}) και σε διαφορετικά ποσοστά συγκεντρώσεων, που προέκυψαν από διαφορετικές μελέτες.

Πίνακας 9. Ιξώδη σε διαλύματα απο υδροκολλοειδή μπάμιας, σε διαφορετικές συγκεντρώσεις, και για ρυθμούς διάτμησης $0,1 \text{ s}^{-1}$, 50 s^{-1} και 100 s^{-1}

Αναφορά	Θερμοκρασία (°C)	Συγκέντρωση (w/v)	Ιξώδες (Pa*s)		
			$0,1 \text{ s}^{-1}$	50 s^{-1}	100 s^{-1}
Xu et al., (2019)	25	0,02	0,8	0,3	0,2
		0,04	1,2	0,32	0,18
		0,06	1,5	0,33	0,8
		0,08	2,7	1,40	0,8
Kpodo et al., (2017)	20	0,5	-	0,011	0,01
		1	-	0,03	0,025
		2	0,2	0,2	0,15
		3	0,8	0,7	0,5
		4	4	3	2
		5	9	5	3
Li et al., (2019)	25	0,2	0,09	0,017	0,013
		0,4	0,11	0,03	0,025
		0,6	0,155	0,053	0,05

(Kpodo et al., 2017; Li et al., 2019; Xu et al., 2019)

Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε απο τους Xu et al., (2019) σε γιαούρτια, τίθηκε το ζήτημα ότι οι πρωτεϊνικές πηκτές έχουν συνήθως χαμηλή αντοχή στο σχηματισμό πηκτής και είναι επιρρεπείς στη συναίρεση. Για να ενισχυθεί το δίκτυο καζεΐνης και να μειωθεί η συναίρεση, μελετήθηκαν και προστέθηκαν στο γάλα, διάφοροι πολυσακχαρίτες, μεταξύ άλλων και αυτός της μπάμιας. Απο παλαιότερη έρευνα που πραγματοποιήθηκε απο τους Hussein et al., 2011, αποδείχθηκε ότι η προσθήκη 0,1% w/v σε γιαούρτια, έχει θετική επίδραση στην εμφάνιση, στην υφή και στη γεύση. Έχει αποδειχθεί ότι η μπάμια είναι πλούσια σε πολύ-διακλαδισμένες πλευρικές αλυσίδες

ραμνογαλακτουρονάνης και σε μικρές αλυσίδες γαλακτόζης με υψηλό ιξώδες και με αυτόν τον τρόπο προσδίδει στα τρόφιμα τις επιθυμητές ρεολογικές ιδιότητες. Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε εκχύλισμα απο πούλπα μπάμιας. Τα εκχυλίσματα προστέθηκαν σε διαφορετικές συγκεντρώσεις, με σκοπό να μελετηθεί η επίδρασή τους στους διάφορους ρυθμούς διάτμησης. Με βάση τον πίνακα, για την έρευνα στα γιαούρτια, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση της μπάμιας στο δείγμα, τόσο μεγαλύτερο είναι και το ιξώδες. Επίσης, φαίνεται καθαρά ότι για κάθε διαφορετική συγκέντρωση, το ιξώδες μειώνεται όσο αυξάνεται ο ρυθμός διάτμησης.

Κατά τη μελέτη των Krho et al., 2017, προστέθηκε πηκτίνη μπάμιας σε διαφορετικές ποσότητες σε διάλυμα αλατιού και μετρήθηκε το ιξώδες τους στους διαφορετικούς ρυθμούς διάτμησης. Σε αυτή τη μελέτη φαίνεται, όπως και με τους Xu et al., (2019), ότι όσο αυξάνεται η ποσότητα της πηκτίνης στα δείγματα, τόσο αυξάνεται το ιξώδες. Παράλληλα, με βάση τα αποτελέσματα, το ιξώδες μειώνεται όσο αυξάνεται ο ρυθμός διάτμησης.

Τέλος, οι Li et al., 2020, μελέτησαν τον τρόπο με τον οποίο η προσθήκη διαφόρων ποσοτήτων πολυσακχαριτών απο πούλπα μπάμιας σε διαλύματα νερού, επηρεάζει το ιξώδες τους. Όπως ακριβώς και στις προηγούμενες έρευνες, φάνηκε κι εδώ η αύξηση του ιξώδους με αύξηση της ποσότητας της μπάμιας και ταυτόχρονα μείωση αυτού, κατά την αύξηση του ρυθμού διάτμησης.

Παρατηρείται λοιπόν και στις τρεις έρευνες, παρά τις διαφορές στις συγκεντρώσεις, ότι το ιξώδες των δειγμάτων μειώνεται με την αύξηση του ρυθμού διάτμησης. Αυτή η συμπεριφορά μείωσης του ιξώδους ανήκει σε ένα τυπικό ψευδοπλαστικό ρευστό. Στο 3.2 αναφέρθηκε ότι τα ρευστά στα οποία το ιξώδες μειώνεται όσο ο ρυθμός διάτμησης αυξάνεται, είναι τα λεγόμενα ψευδοπλαστικά. Αυτό συμβαίνει, διότι στην αρχή τα μόρια των υδροκολλοειδών (πολυμερών) της μπάμιας είναι τυχαία διατεταγμένα στο διάλυμα. Στο τέλος όμως, με την αύξηση του ρυθμού διάτμησης, ευθυγραμμίζονται καλύτερα προς την κατεύθυνση της διάτμησης με αποτέλεσμα τις λιγότερες αλληλεπιδράσεις μεταξύ γειτονικών πολυμερών

αλυσίδων. Συνεπώς παρουσιάζουν χαμηλό ιξώδες. Στις έρευνες αυτές, δίνεται βάση στους ρυθμούς διάτμησης με 50 s^{-1} , καθώς αυτή είναι και η τιμή που πλησιάζει πιο κοντά με τους ρυθμούς του σάλιου. Θα μπορούσαν λοιπόν, τα περιεχόμενα του παραπάνω πίνακα να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον, ως αναφορές σε θέματα στοματικής επεξεργασίας.

3.7.2 Επίδραση των υδροκολλοειδών μπάμιας στο ιξώδες σε διαφορετικά pH

Το ιξώδες των τροφίμων πολλές φορές επηρεάζεται από το pH. Το ίδιο δείγμα ενός προϊόντος θα έχει διαφορετικό ιξώδες σε διαφορετικό pH. Αυτό συμβαίνει και στην περίπτωση των υδροκολλοειδών της μπάμιας. Στον παρακάτω πίνακα, γίνεται παράθεση της έρευνας των Yuan et al., (2018), με βάση την οποία μελετήθηκε η διαφορετική συμπεριφορά του ιξώδους στα διαφορετικά pH (7 και 4) για ρυθμούς διάτμησης $0,1 \text{ s}^{-1}$, 50 s^{-1} , 100 s^{-1}

Πίνακας 10. Ιξώδη σε διαλύματα από υδροκολλοειδή μπάμιας, σε διαφορετικά pH (7 και 4) και για ρυθμούς διάτμησης $0,1 \text{ s}^{-1}$, 50 s^{-1} και 100 s^{-1}

Συγκέντρωση (w/v)	pH = 4			pH = 7			Ιξώδες (Pa*s)
	0,1 s^{-1}	50 s^{-1}	100 s^{-1}	0,1 s^{-1}	50 s^{-1}	100 s^{-1}	
0,25	0,08	0,05	0,04	0,3	0,15	0,07	
0,5	0,2	0,015	0,01	1,5	0,09	0,08	
0,75	0,25	0,09	0,07	6	0,3	0,1	
1	0,6	0,4	0,09	9	0,7	0,15	
1,25	1	0,5	0,1	10,5	0,75	0,2	
1,5	2	0,6	0,2	12	0,8	0,25	
1,75	8	0,7	0,3	16	0,85	0,3	

(Yuan et al., 2018)

Στη συγκεκριμένη έρευνα, εκχυλίστηκαν σε θερμό νερό τεμάχια μπάμιας, στη συνέχεια φιλτραρίστηκαν σε σίτα και τέλος η βλέννα λυοφιλιώθηκε. Με βάση τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα φαίνεται αρχικά, ότι και για τις δυο τιμές του pH, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση της μπάμιας, αυξάνεται σταθερά και το ιξώδες. Επίσης, τα υδροκολλοειδή της μπάμιας εμφανίζουν υψηλό ιξώδες, ειδικά σε pH 7 σε σύγκριση με το pH 4. Το αποτέλεσμα αυτό, οφείλεται στο γεγονός της συσσωμάτωσης των πολυμερών σε λιγότερες, μεγαλύτερες οντότητες.

3.7.3 Επίδραση των διαφορετικών εκχυλισμάτων μπάμιας στο ιξώδες σε διαλύματα

Παράλληλα με τα υδροκολλοειδή μπάμιας, αυτά που επίσης επηρεάζουν το ιξώδες, είναι τα εκχυλίσματα αυτής. Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Sengkhampan et al., 2010, μελετήθηκε ο τρόπος με τον οποίο τα εκχυλίσματα HBSS και CHSS (0,1 % w/w) της μπάμιας επηρεάζουν το ιξώδες σε διαλύματα νερού σε σχέση με διάφορους ρυθμούς διάτμησης ($0,1 \text{ s}^{-1}$, 50 s^{-1} , 100 s^{-1}) σε θερμοκρασία $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Πίνακας 11. Ιξώδη σε διαλύματα από εκχυλίσματα μπάμιας, για ρυθμούς διάτμησης $0,1 \text{ s}^{-1}$, 50 s^{-1} και 100 s^{-1}

Εκχυλίσματα	Ρυθμός Διάτμησης (s^{-1})			Ιξώδες ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)
	0,1	50	100	
HBSS	0,9	0,45	0,3	
CHSS	0,08	0,4	0,3	

(Sengkhampan et al., 2010)

Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται οι μετρήσεις του ιξώδους σε διαλύματα νερού που περιέχουν σε ποσοστό 0,1% w/w τα εκχυλίσματα HBSS και CHSS για διαφορετικούς ρυθμούς διάτμησης. Παρατηρείται και για τα δυο εκχυλίσματα, ότι όσο προχωράει ο ρυθμός διάτμησης, τόσο μειώνεται το ιξώδες. Αυτό οφείλεται, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στην ψευδοπλαστική συμπεριφορά των διαλυμάτων. Παράλληλα το ιξώδες

μειώνεται αισθητά μεταξύ των δύο εκχυλισμάτων, με το HBSS να σημειώνει το μεγαλύτερο εκ των δυο. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι το εκχύλισμα HBSS περιέχει κυρίως ραμνογαλακτουράνη Ι με υπολείμματα ακετυλιωμένης ραμνόζης, ενώ το εκχύλισμα CHSS περιέχει σχετικά περισσότερη ομογαλακτουρονάνη. Αυτό υποδηλώνει ότι τα υδρόφοβα ακετυλιωμένα μόρια ραμνογαλακτουράνης στο HBSS, τα οποία μπορεί να συγκεντρωθούν από υδρόφοβες ενώσεις μέσω υπολειμμάτων ακετυλιωμένης ραμνόζης, αύξησαν το ιξώδες σε πολύ υψηλότερο επίπεδο από τα υπολείμματα ακετυλιωμένου γαλακτουρονικού οξέος που υπάρχουν στο CHSS.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- ❖ Αποδείχθηκε ότι το σάλιο ξηροστομικών ατόμων περιέχει αυξημένη συγκέντρωση K, Na, Cl, Ca, αμυλάσης, αλβουμίνης και ορισμένων ανοσογλοβουλίνων (IgM, IgG, IgA, Sec. IgA), με την αύξηση της συγκέντρωσης αλβουμίνης και ανοσογλοβουλίνων να είναι η πιο αξιοσημείωτη. Αιτία του παραπάνω, πιθανολογείται πως είναι οι μεταβολές της μικροβιακής χλωρίδας και του pH του στόματος, χωρίς ωστόσο να έχει αποδειχθεί ακόμη με ακρίβεια, η συσχέτιση της σύστασης του σάλιου με την εμφάνιση ξηροστομίας.
- ❖ Η χρήση της BSM ως υποκατάστατο ανθρώπινης μυξίνης για την παρασκευή τεχνητού σάλιου αποτελεί καλύτερη επιλογή από την PGM, διότι παρουσιάζει τόσο καλύτερη προσρόφηση επάνω σε μη πολικές επιφάνειες, όσο και βελτιωμένη λιπαντική ικανότητα. Αυτό αποδίδεται στην ισχυρότερο αρνητικό φορτίο της BSM, λόγω της αυξημένης περιεκτικότητάς της σε σιαλικά οξέα.
- ❖ Το σάλιο διεγερμένης κατάστασης παρουσιάζει αυξημένη σιαλική ροή και χαμηλότερο ιξώδες σε σχέση με το σάλιο σε κατάσταση ηρεμίας. Η μείωση του ιξώδους του πρώτου, το οποίο εκκρίνεται κατά κύριο λόγο

από τις παρωτίδες, οφείλεται στη χαμηλή περιεκτικότητα του σάλιου αυτού σε μυξίνες.

- ❖ Το ιξώδες του σάλιου σε κατάσταση ηρεμίας οφείλεται στις ευαίσθητες στη μεταβολή του pH, μυξίνες. Έτσι, διαπιστώθηκε ότι η αύξηση του pH του σάλιου, η οποία παρατηρείται συχνά σε περιπτώσεις ξηροστομίας, οδηγεί σε ελάττωση του ιξώδους του. Σε παθολογικές καταστάσεις της στοματικής κοιλότητας παρατηρείται συνεπώς, μία έντονη συσχέτιση μεταξύ του pH και του ιξώδους του σάλιου.
- ❖ Σε χαμηλές τιμές του ρυθμού διάτμησης, το σάλιο συμπεριφέρεται ως Νευτώνιο ρευστό, ενώ με αύξηση του ρυθμού διάτμησης παρατηρείται ελάττωση του ιξώδους, γεγονός που μαρτυρά την ψευδοπλαστική συμπεριφορά του, σε συνθήκες που συναντώνται εντός της στοματικής κοιλότητας. Τέλος, σε πολύ υψηλούς ρυθμούς διάτμησης το σάλιο επιστρέφει εκ νέου στη Νευτώνια συμπεριφορά.
- ❖ Σε μίγματα μυξίνης με διάφορα υδροκολλοειδή των τροφίμων σημειώθηκε κατά κανόνα, μείωση του ιξώδους με αυξανόμενη ρυθμό διάτμησης (θιξοτροπική συμπεριφορά) και μάλιστα, αυξανόμενη συγκέντρωση υδροκολλοειδούς οδήγησε σε αύξηση του ιξώδους των μιγμάτων. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει τη συνεργιστική δράση μεταξύ της μυξίνης και των υδροκολλοειδών, η οποία είναι εντονότερη σε ουδέτερο pH, λόγω της μεγαλύτερης σταθερότητας του πλέγματος που σχηματίζεται μεταξύ των ομώνυμα αρνητικά φορτισμένων μορίων της μυξίνης και των υδροκολλοειδών.
- ❖ Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των υδροκολλοειδών της μπάμιας σε ένα οποιοδήποτε δείγμα, αυξάνεται και το ιξώδες. Όμως, σε αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις, το ιξώδες είναι πολύ αυξημένο και παράλληλα, σε μικρές συγκεντρώσεις είναι πολύ μικρό. Συνεπώς θα ήταν σοφή η χρήση μιας μέσης ποσότητας υδροκολλοειδών, έτσι ώστε να μην είναι υπερβολικά ιξώδες, αλλά και να μην είναι και πολύ αραιό. Αυτό βέβαια, καθορίζεται και από τις προδιαγραφές του κάθε προϊόντος.

- ❖ Τα υδροκολλοειδή μπάμιας σε διαφορετικά υποστρώματα/ διαλύματα παρουσιάζουν ψευδοπλαστική συμπεριφορά όσο αυξάνεται ο ρυθμός διάτμησης. Το φαινόμενο αυτό, οφείλεται στο γεγονός ότι αρχικά τα μόρια των υδροκολλοειδών είναι σε τυχαίες θέσεις μέσα στο διάλυμα, ενώ με την έντονη επίδραση του ρυθμού διάτμησης σε αυτά, τα αναγκάζει να αποκτήσουν συγκεκριμένη κατεύθυνση και άρα έχουν λιγότερες αλληλεπιδράσεις τα μόρια μεταξύ τους.
- ❖ Όσο αυξάνεται το pH, τόσο αυξάνεται και το ιξώδες σε διαλύματα που περιέχουν υδροκολλοειδή μπάμιας. Το γεγονός αυτό, οφείλεται στη συσσωμάτωση των πολυμερών σε λιγότερες και μεγαλύτερες οντότητες.
- ❖ Τα εκχυλίσματα των HBSS παρουσιάζουν μεγαλύτερο ιξώδες από ότι αυτό των CHSS. Σε αυτό, πιθανόν να οφείλεται το γεγονός ότι τα υδρόφοβα ακετυλιωμένα μόρια ραμνογαλακτουράνης περιέχουν ακετυλιωμένη ραμνόζη, σε αντίθεση με το CHSS που περιέχει περισσότερη ομογαλακτουρονάνη. Επίσης, το υψηλότερο ιξώδες οφείλεται εν μέρει στο ότι οι πλέον ευδιάλυτες πηκτίνες έχουν ήδη εκχυλισθεί στην πρώτη εκχύλιση (HBSS).

5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Για την περαιτέρω μελέτη και βαθύτερη κατανόηση της αλληλεπίδρασης των υδροκολλοειδών της μπάμιας με το ανθρώπινο σάλιο, προτείνονται τα παρακάτω:

- Να γίνει παραλαβή καθαρού πολυσακχαρίτη μπάμιας και να μελετηθούν οι φυσικοχημικές του ιδιότητες.
- Να καθιερωθεί ένα ιδανικό πρωτόκολλο παρασκευής τεχνητού σάλιου, καθώς και ένα τυποποιημένο πρωτόκολλο για την αξιολόγηση των ρεολογικών χαρακτηριστικών του ανθρώπινου σάλιου, προκειμένου τα αποτελέσματα των διαφόρων ερευνών να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους.
- Να πραγματοποιηθεί μελέτη πάνω σε γαλακτώματα μπάμιας και ανθρώπινου σάλιου.
- Να πραγματοποιηθεί μελέτη της συμπεριφοράς πραγματικού φαγητού μπάμιας σε αλληλεπίδραση με το ανθρώπινο σάλιο.

Τέλος, να μας δοθεί σύντομα η δυνατότητα διεξαγωγής πειραμάτων στο εργαστήριο, προκειμένου να μελετήσουμε τα όσα αναφέραμε παραπάνω, στην πράξη.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Ahmad M., Ritzoulis C., Pan W. and Chen J. (2020a). Biologically-relevant interactions, phase separations and thermodynamics of chitosan–mucin binary systems. *Process Biochemistry*, **94**, 152-163.
- Ahmad M., Ritzoulis C., Pan W. and Chen J. (2020b). Molecular interactions between gelatin and mucin: Phase behavior, thermodynamics and rheological studies. *Food Hydrocolloids*, **102**, 105585.
- Ahmad M., Ritzoulis C., Chen J., Meigui H., Bushra R., Jin Y. and Xiao H. (2021). Xanthan gum-mucin complexation: Molecular interactions, thermodynamics, and rheological analysis. *Food Hydrocolloids*, **114**, 106579.
- Alba k., Ritzoulis C., Georgiadis N. and Kontogiorgos V. (2013). Okra extracts as emulsifiers for acidic emulsions. *Food Research International*, **54**, 1730-1737.
- Balmer R.T. and Hirsch S.R. (1978). The non-Newtonian behavior of human saliva. *Biorheology*, **74**, 125-129.
- Bansil R. and Turner B.S. (2006). Mucin structure, aggregation, physiological functions and biomedical applications. *Current opinion in colloid and interface science*, **11**, 164-170.
- Davies G.A., Wantling E. and Stokes J.R. (2009). The influence of beverages on the stimulation and viscoelasticity of saliva: Relationship to mouthfeel? *Food Hydrocolloids*, **23**, 2261-2269.
- Davis S.S. (1971). The rheological properties of saliva. *Rheologica Acta*, **10**, 28-35.
- Elshahed M.S., Miron A., Aprotosoiaie A.C. and Farag M.a. (2021). Pectin in diet: Interactions with the human microbiome, role in gut homeostasis, and nutrient-drug interactions. *Carbohydrate Polymers*, **255**, 117388.
- Foglio-Bonda A., Pattarino F. and Foglio-Bonda P.L. (2014). Kinematic viscosity of unstimulated whole saliva in healthy young adults.

European Review for Medical and Pharmacological Sciences, **18**, 2988-2994.

- Gemede H.F., Ratta N., Haki G.D., Woldegiorgis A.Z. and Beyene F. (2015). Nutritional Quality and Health Benefits of Okra (*Abelmoschus Esculentus*): A Review., *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, **4(2)**, 208-215.
- Granot M. and Nagler R.M. (2005). Association between Regional Idiopathic Neuropathy and salivary involvement as the possible mechanism for oral sensory complaints. *The Journal of Pain*, **6(9)**, 581-587.
- Hershkovich O. and Nagler R.M. (2004). Biochemical analysis of saliva and taste acuity evaluation in patients with burning mouth syndrome, xerostomia and/or gustatory disturbances. *Archives of Oral Biology*, **49**, 515-522.
- Hussein M.M., Hassan F.A.M., Daym H.H.A., Salama A., Enab A.K. and El-Galil A.A.A. (2011). Utilization of some plant polysaccharides for improving yoghurt consistency. *Annals of Agricultural Sciences*, **56**, 97 -103.
- Kontogiorgos V., Margelou I., Georgiadis N. and Ritzoulis C. (2012). Rheological characterization of okra pectins. *Food Hydrocolloids*, **29**, 356-362.
- Kpodo F.M., Agbenorhevi J.K., Alba K., Bingham R.J., Oduro I.N., Morris G.A. and Kontogiorgos V. (2017). Pectin isolation and characterization from six okra genotypes. *Food Hydrocolloids*, **72**, 323-330.
- Kusy R.P. and Schafer D.L. (1995). Rheology of stimulated whole saliva in a typical pre-orthodontic sample population. *Journal of Material Science: Materials in Medicine*, **6**, 385-389.
- Levine M. (2011). Topics in Dental Biochemistry. Springer International Publishing, Heidelberg Germany.
- Li J.M. and Nie S.P. (2015). The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids*, **53**, 46-61.

- Li Y., Wang X., Lv X., Wang X., Wang X., Cui J. and Yan M. (2020). Extractions and rheological properties of polysaccharide from okra pulp under mild conditions. *International Journal of Biological Macromolecules*, **148**, 510-517.
- Lousinian S., Dimopoulou M., Panayiotou C., and Ritzoulis C. (2017). Self-assembly of a food hydrocolloid: The case of okra mucilage. *Food Hydrocolloids*, **66**, 190-198.
- Lousinian S., Mackie A.R., Rigby N.M., Panayiotou C. and Ritzoulis C. (2008). Microcalorimetry of the intestinal mucus: Hydrogen bonding and self-assembly of mucin. *International Journal of Biological Macromolecules*, **112**, 555-560.
- Mackie A. and Rigby N. (2015). InfoGest Consensus Method. In: *The Impact of Food Bio-Actives on Gut Health: in vitro and ex vivo models*, (Verhoeckx K., Cotter P., López-Expósito I., Kleiveland C., Lea T., Mackie A., Requena T., Swiatecka D. and Wichers H., Ed). Springer International Publishing, Cham Switzerland, pp 13-22.
- Madsen K.D., Sander C., Baldursdottir S., Pedersen A.M.L. and Jacobsen J. (2013). Development of an ex vivo retention model simulating bioadhesion in the oral cavity using human saliva and physiologically relevant irrigation media. *International Journal of Pharmaceutics*, **448**, 373-381.
- Maleki A., Lafitte G., Kjøniksen A.L., Thuresson K. and Nyström B. (2007). Effect of pH on the association behavior in aqueous solutions of pig gastric mucin.
- Manzoor M., Singh J., Bandral J.D., Gani A. and Shams R. (2020). Food hydrocolloids: Functional, nutraceutical and novel applications for delivery of bioactive compounds. *International Journal of Biological Macromolecules*, **165(A)**, 554-567.
- Mosca A.C. and Chen J. (2017). Food-saliva interactions: Mechanisms and implications. *Trends in Food Science & Technology*, **66**, 125-134.
- Moslemi M. (2021). Reviewing the recent advances in application of pectin for technical and health promotion purposes: From laboratory to market. *Carbohydrate Polymers*, **254**, 117324.

- Panda S., Chen J. and Benjamin O. (2020). Development of model mouth for food oral processing studies: Present challenges and scopes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **66**, 102524.
- Park M.S., Chung J.W., Kim Y.K., Chung S.C. and Kho H.S. (2007). Viscosity and wettability of animal mucin solutions and human saliva. *Oral Diseases*, **13**, 181-186.
- Preetha A., Banerjee R. (2005). Comparison of artificial saliva substitutes. *Trends in Biomaterials and Artificial Organs*, **18(2)**, 178-186.
- Quilaqueo M. and Aguilera J.M. (2015). Dissolution of NaCl crystals in artificial saliva and water by video-microscopy. *Food Research International*, **69**, 373-380.
- Rantonen P.J.F. and Meurman J.H. (1998). Viscosity of whole saliva. *Acta Odontol Scand*, **56**, 210-214.
- Raj V., Shim J.J. and Lee J. (2020). Grafting modification of okra mucilage: Recent findings, applications, and future directions. *Carbohydrate Polymers*, **246**, 116653.
- Roberts B.J. (1977). A study of the viscosity of saliva at different shear rates in dentate and edentulous patients. *Journal of Dentistry*, **5(4)**, 303-309.
- Sajewicz E. (2009). Effect of saliva viscosity on tribological behaviour of tooth enamel. *Tribology International*, **42(2)**, 327-332.
- Sarkar A., Xu F. and Lee S. (2019). Human saliva and model saliva at bulk to adsorbed phases – similarities and differences. *Advances in Colloid and Interface Science*, **273**, 102034.
- Sengkhamparn N., Sagis M.C.L., Vries R., Schols H.A., Sajjaanantakul T. and Voragen A.G.J. (2010). Physicochemical properties of pectins from okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *Food Hydrocolloids*, **24**, 35-41.
- Sengkhamparn N., Verhoef R., Schols H.A., Sajjaanantakul T. and Voragen A.G.J. (2008). Characterisation of cell wall polysaccharides

from okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *Carbohydrate Research*, **344**, 1824-1832.

- Stokes J.R. and Davies G.A. (2007). Viscoelasticity of human whole saliva collected after acid and mechanical stimulation. *Biorheology*, **44**, 141-160.
- Van der Reijden W.A., Veerman E.C.I. and Nieuw Amerongen A.V. (1993). Shear rate dependent viscoelastic behavior of human granular salivas. *Biorheology*, **30**, 141-152.
- Vingerhoeds M.H., Blijdenstein T.B.J., Zoet F.D. and van Aken G.A. (2004). Emulsion flocculation induced by saliva and mucin. *Food Hydrocolloids*, **19**, 915-922.
- Vissink A., Waterman H.A., 's-Gravenmade E.J., Panders A.K. and Vermey A. (1984). Rheological properties of saliva substitutes containing mucin, carboxymethylcellulose or polyethylenoxide. *Journal of Oral Pathology*, **13**, 22-28.
- Xu K., Guo M., Du J. and Zhang Z. (2019). Okra polysaccharide: Effect on the texture and microstructure of set yoghurt as a new natural stabilizer. *International Journal of Biological Macromolecules*, **133**, 117-126
- Yuan B., Ritzoulis C. and Chen J. (2018). Extensional and shear rheology of a food hydrocolloid. *Food Hydrocolloids*, **74**, 296-306.
- Yuan B., Ritzoulis C. and Chen J. (2018). Extensional and shear rheology of okra hydrocolloid-saliva mixtures. *Food Research International*, **106**, 204-212.
- Yuan B., Ritzoulis C. and Chen J. (2019). Rheological investigations of beta glucan functionality: Interactions with mucin. *Food Hydrocolloids*, **87**, 180-186.

6.2 Ελληνική Βιβλιογραφία

- Καλογιάννη Ε.Π. Μελέτη ρεολογικών ιδιοτήτων Νευτώνιων και μη Νευτώνιων υγρών τροφίμων. *Εργαστηριακές Σημειώσεις Μηχανικής Τροφίμων Ι*. Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, πρώην Α.Τ.Ε.Ι.Θ.

- Παπάζογλου Σ., 14 Απριλίου 2015 (2015). Η Καλλιέργεια της Μπάμιας. Οδηγίες και συμβουλές. Εχθροί και Ασθένειες. Αντιμετώπιση. www.agroselida.blogspot.com (Πρόσβαση 2 Δεκεμβρίου 2020).
- Ραφαηλίδης Σ.Ν. (1987). *Σημειώσεις Μηχανικής Τροφίμων Ι*. Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, πρώην Α.Τ.Ε.Ι.Θ., σελ. 22-24.