

459

Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΚΛΩΣΤΟΎΦΑΝΤΟΥΡΓΙΑΣ

“ΤΟ ΜΕΤΑΞΙ ΑΡΑΧΝΩΝ ΣΤΗΝ ΚΛΩΣΤΟΎΦΑΝΤΟΥΡΓΙΑ”

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ:

ΜΑΡΙΑ Θ. ΚΑΤΣΙΚΗ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΑΙΓΑΛΕΩ 2009

Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΚΛΩΣΤΟΪΦΑΝΤΟΥΡΓΙΑΣ

“ΤΟ ΜΕΤΑΞΙ ΑΡΑΧΝΩΝ ΣΤΗΝ ΚΛΩΣΤΟΪΦΑΝΤΟΥΡΓΙΑ”

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ:

ΜΑΡΙΑ Θ. ΚΑΤΣΙΚΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Δρ. ΕΥΘΥΜΙΟΣ ΓΡΑΒΑΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ 2009

Αφιερωμένη στον Παύλο Συμενάκη

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στη κα Ροντίκα Τούντη, καθηγήτρια στα ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, για τη βοήθειά της στην αναζήτηση και στην παροχή του υλικού της πτυχιακής εργασίας μου.

Επίσης, ευχαριστώ τον Καθηγητή του Τμήματος Κλωστοϋφαντουργίας Γεώργιο Πρινιωτάκη για τις υποδείξεις του και την παροχή πολύτιμων πληροφοριών σχετικά με τη βιβλιογραφία που έπρεπε να ανατρέξω.

Τέλος, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ Ευθύμιο Γράβα για την επίβλεψη και την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής εργασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT	9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ ‘ΤΟ ΜΕΤΑΞΙ ΑΡΑΧΝΩΝ’..... 10

1.1 Ιστορική αναδρομή του μεταξιού αράνης.....	10
1.2 Μετάξι αραχνών.....	11
1.3 Οι αδένες μεταξιού.....	13
1.4 Είδη αραχνών και το μετάξι τους.....	14
1.5 Αποκτώντας κυστοειδή μετάξι και μετάξι σάκου αυγού.....	17
1.6 Τύλιγμα του μεταξιού.....	18
1.7 Η δομή του ιστού της αράχνης.....	19
1.8 Μορφολογία των ινών μεταξιού.....	20
1.8.1 Εισαγωγή.....	20
1.8.2 Υλικά και μέθοδοι.....	20
1.8.3 Αποτελέσματα.....	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ ‘ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ’ 22

2.1 Βασική δομή της εφελκυστικής δοκιμασίας	22
2.2 Ιδιότητες του μεταξιού αράχνης.....	24
2.3 Εργαστηριακά όργανα.....	27
2.4 Παράμετροι δοκιμασίας.....	27
2.5 Προσδιορισμός των εφελκυστικών ιδιοτήτων.....	28
2.6 Σύγκριση μεταξιών.....	29
2.7 Πορίσματα.....	31

2.8 Η visco-elastic συμπεριφορά του μεταξιού	33
2.8.1 Εισαγωγή.....	33
2.8.2 Η visco-elasticity των ινών.....	34
2.8.3 Η visco-elasticity του μεταξιού.....	34
2.8.4 Η εξάρτηση του ποσοστού επιμήκυνσης του μεταξιού.....	36
2.8.5 Τα αποτελέσματα του ποσοστού επιμήκυνσης.....	36
2.8.6 Επίδραση της καμπύλης τάσης-επιμήκυνσης για το αραχνομετάξι.....	37
2.8.7 Τα αποτελέσματα του ζωζ του μήκους.....	37
2.8.8 Μερικά εκπληκτικά αποτελέσματα.....	38
2.9 Το κυστοειδές αραχνομετάξι.....	38
2.10 Επίλογος.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ ‘ΤΟ ΕΥΡΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΞΙΟΥ’	41
3.1 Τεχνητό μετάξι αραχνών.....	41
3.2 Χρήσεις.....	42
3.3 Οφέλη.....	43
3.4 Εφαρμογές.....	43
3.5 Το ενδιαφέρον του Αμερικανικού στρατού για το αραχνομετάξι.....	44
3.6 Το μετάξι αραχνών στην εφαρμοσμένη υφαντουργία.....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ ‘ΕΠΙΛΟΓΟΣ’	48
4.1 Μετάξι αραχνών, Το οικολογικό υλικό του αύριο?.....	48
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το μετάξι των αραχνών είναι εξαιρετικά δυνατό και ανθεκτικό και θα μπορούσε να αναδειχθεί ανάμεσα στα υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα αν μπορούσε να αναπαραχθεί μέσα στο εργαστήριο, σε μεγάλες ποσότητες. Για το βάρος του είναι δυνατότερο από το ατσάλι και, σε αντίθεση με τις ίνες που παράγονται σήμερα και είναι βασισμένες στο πετρέλαιο, παράγεται με μια φιλική προς το περιβάλλον διαδικασία από μια μέθοδο βασισμένη στο νερό. Η γνώση της πρωτεϊνικής δομής και της λειτουργίας των ακροφυσίων της αράχνης θα βοηθήσει τους επιστήμονες να δημιουργήσουν το συνθετικό μετάξι. Οι συνθετικές πρωτεΐνες παράγονται σήμερα σε μια ποικιλία γενετικά μεταλλαγμένων οργανισμών και, τόσο οι εταιρείες, όσο και τα πανεπιστήμια ερευνούν την διαδικασία κλώσης.

ABSTRACT

Spider silk is extremely strong and tough and could improve upon materials currently in use if it could be reproduced in a laboratory, in large quantities. For its weight it is stronger than steel, and unlike high performance petroleum based fibers currently produced, it is made in an environmentally friendly process from a water-based solution. Knowing the protein structure and how a spider's spinneret works will help scientists create synthetic silk. Synthetic proteins are currently being produced in a variety of genetically altered organisms, and companies and universities alike are investigating spinning processes.

1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΞΙΟΥ ΑΡΑΧΝΗΣ

Πριν από 2 αιώνες περίπου, έγιναν προσπάθειες από τους Γάλλους να αξιοποιήσουν το μετάξι αραχνών στην κλωστοϋφαντουργική βιομηχανία. Με μεγάλη επιμονή ένας πρωτοπόρος, ο κύριος Bon από το Languedoc της Γαλλίας, συνέλεξε έναν μεγάλο αριθμό κουκουλιών αραχνών και από το λεπτό γκρίζο μετάξι έκανε μερικές γυναικείες κάλτσες και γάντια οι οποίες εκτέθηκαν ενώπιον της ακαδημίας των επιστημών στο Παρίσι το 1710. Ένας φυσικός και εντομολόγος, ο Rente Reaumur, τον καιρό που ήταν εντεταλμένος να ερευνήσει την δυνατότητα της εκτροφής των αραχνών για το μετάξι τους, βρήκε πολλές αζεπέραστες δυσκολίες και αναγκάστηκε να δώσει μια δυσμενή έκθεση. Οι αράχνες ήταν δύσκολο να «διοικηθούν», επειδή ήταν επιθετικές, ανήσυχες, και κανιβαλιστικές. Ήταν δύσκολο να κρατηθούν σε μεγάλες ομάδες δεδομένου ότι θα πάλευαν και θα καταβρόχθιζαν η μια την άλλη. Επιπλέον η παραγωγή του μεταξιού ήταν μικρή σε ποσότητα και η ίνα τόσο λεπτή ώστε ήταν δύσκολο να αξιοποιηθεί στην παραγωγή υφασμάτων.

Το 1984, ο Δρ Wilder, ένας αμερικάνος χειρουργός του στρατού, επανέφερε την ιδέα της χρήσης του μεταξιού αράχνης στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα. Επέλεξε τις αράχνες *Nephila clavipes* και πρότεινε την μέθοδο αρμέγματος περιελίσοντας τις ίνες άμεσα από την αράχνη, αντί της συλλογής των κουκουλιών. Ανακάλυψε ότι το προϊόν ζωής για 450 αράχνες περίπου θα χρειάζονταν να παράγει μια γιάρδα των αγαθών μεταξιού. Επίσης οι *Nephila madagascarensis* αράχνες είχαν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή μεταξένιου ενδύματος. Παρόλα αυτά, ένας μεγάλος αριθμός αραχνών που χρειάζεται για να παραχθεί ένα γραμμάριο μεταξιού καθιστά την διαδικασία παραγωγής μεταξιού αράχνης για την κλωστοϋφαντουργική βιομηχανία μη πρακτική και μη οικονομική.

1.2 ΜΕΤΑΞΙ ΑΡΑΧΝΩΝ

Από σχετικές μελέτες έχει διαπιστωθεί ότι το μετάξι των αραχνών που αποτελεί τον κυκλικό ιστό (πλέγμα) εμφανίζει εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες. Ο λόγος για αυτό είναι ασαφής αλλά μια πιθανή εξήγηση είναι ότι η εξελικτική προσαρμογή έχει οδηγήσει στην βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων του μεταξιού που αποτελεί το κυκλικό πλέγμα σε σύγκριση με αυτό από άλλα αρθρόποδα.

Οι αράχνες που δημιουργούν το κυκλικό πλέγμα έχουν τυπικά 5 με 7 διαφορετικούς αδένες, που ο καθένας από αυτούς παράγει έναν συγκεκριμένο τύπο μεταξιού. Εντούτοις όλοι αυτοί έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα τα οποία είναι:

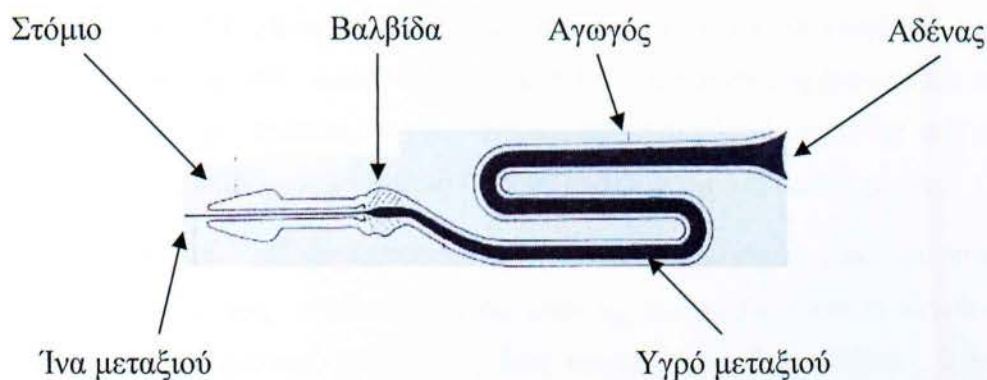
- 1) η εξ ολοκλήρου πρωτεϊνική σύσταση
 - 2) η μετάβαση από μια διαλυτή ουσία σε μια αδιάλυτη μορφή που είναι ουσιαστικά αμετάκλητη,
 - 3) τα αμινοξέα που κατέχονται από αλανίνη, σερικίνη και γλυκίνη ενώ αντίθετα το μετάξι του μεταξοσκώληκα έχει τις ουσιαστικές ποσότητες άλλων αμινοξέων όπως η γλουταμίνη, η τυροσίνη, η λευκίνη
-) η/οι πρωτεΐνη(ες) συντίθεται από αγνώστου αριθμού και μοριακού βάρους.

Αυτοί οι τύποι μεταξιών ποικίλουν στις μηχανικές ιδιότητες τους καλύπτοντας ένα ρύ φάσμα εφελκυστικής δύναμης και επιμήκυνσης. Είναι γνωστό ότι το μετάξι αραχνών είναι ένα ημικρυστάλλινο πολυμερές, αλλά το ποσό, η σύνθεση, ο οξυοξείδισμός και η δομή παραμένουν ακόμα θέματα προς συζήτηση.

Λόγω της ποικιλομορφίας στην μικροδομή και τις ιδιότητες των διαφορετικών αραχνό-μεταξιών παρέχεται η ευκαιρία για την ανάπτυξη μιας νέας κατηγορίας βιολογικών προϊόντων.

Η παραγωγή αραχνό-μεταξιού αρχίζει στην άκρη του σημαντικότερου κυστοειδή αδένου, όπου παράγεται το 90% της πρωτεΐνης του μεταξιού. Το πρωτεϊνικό μετάξι απορροφάται ως ένα λιωμένο, μεγάλου μοριακού βάρους πολυμερές στο υδάτινο περιβάλλον των αδένων της αράχνης. Τα πιο πρόσφατα στοιχεία μοριακού βάρους δείχνουν το μετάξι του κυστοειδή αδένου, η φμπροΐνη να έχει μοριακό βάρος κατά μέσο όρο (Mn) 720.000 και ο δείκτης πολυμοριακότητας (Mw/Mn) 1.03 καθώς το μοριακό της βάρος υποβιβάζεται με την κλώση και την γήρανση. Μετά από την δίοδο και την επεξεργασία μέσω των αγωγών, το πρωτεϊνικό μετάξι αλλάζει από ένα διαλυμένο πολυμερές σε ένα αδιάλυτο στερεό με χαμηλότερο κατά 30% μοριακό βάρος και σημαντικά αυξανόμενη πολυδιάσπαση.

Το αρχικό βήμα της παραγωγής μεταξιού περιλαμβάνει την κατάποση των πρωτεϊνών ως βορρά, ανακυκλώνοντας περιστασιακά το μετάξι τους. Οι πρωτεΐνες συσσωρεύονται στους αδένες και σχηματίζουν μια υγρή φάση κρυστάλλου, η οποία είναι πρωτεϊνική κατά το 50% του βάρους και ακόμα παραμένει κάπως διαλυτή. Η σύνθεση της πρωτεΐνης πραγματοποιείται από ειδικευμένα κύτταρα στην άκρη του αδένος και εκκρίνεται στην κοιλότητα του όπου και αποθηκεύεται σε διαλυτή μορφή. Καθώς η πρωτεΐνη περνά από τους αγωγούς οδηγείται στα ακροφύσια, προκαλούνται δυνάμεις διάτμησης και πίεσης με αποτέλεσμα την ευθυγράμμιση των πολυπεπτιδικών αλυσίδων. Το πιο ενδιαφέρον κομμάτι της βιοσύνθεσης για την αράχνη *Nephila clavipes*, πραγματοποιείται περίπου 4mm πριν την έξοδο της πρωτεΐνης από τον αγωγό και περιλαμβάνει την εκτόπιση του υπερβάλλον νερού από την πρωτεϊνική φάση για να διαμορφώσει τις ίνες μεταξιού. Την ώρα που η πρωτεΐνη φτάνει στο τέλος του αγωγού, είναι τόσο αδιάλυτη όσο το εξωθημένο μετάξι. Η διάμετρος των ινών μπορεί να ποικίλει εξαιτίας μιας βαλβίδας που ρυθμίζεται από την μυϊκή δράση, στο τέλος του αγωγού. [Σχ.1]



Σχήμα 1 Διαγραμματική παρουσίαση της μορφοποίησης του μεταξιού της αράχνης *Araneus*.

Εάν η βαλβίδα είναι σχεδόν κλειστή, η μετάβαση του υγρού σε στερεό μετάξι πραγματοποιείται άμεσα πίσω από την βαλβίδα. Όταν η βαλβίδα είναι στην «ανοικτή θέση» η κοιλότητα του στομίου γεμίζει με υγρό μετάξι ενώ το νήμα σε στερεή μορφή διαμορφώνεται στην άκρη του στομίου.

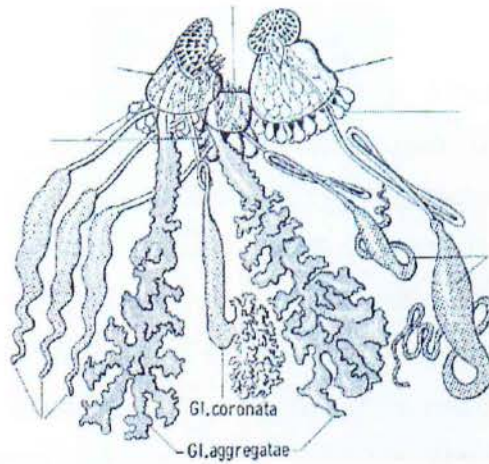
Η διαδικασία μετάβασης από την υδροδιαλυτή μορφή σε αδιάλυτο στερεό νήμα μεταξιού δεν είναι ακόμα κατανοητή αλλά προφανώς τα μόρια της πολυπεπτιδικής αλυσίδας αλλάζουν τον προσανατολισμό τους από ένα α-σχηματισμό που είναι διαλυτή κυρίως με τους ενδομοριακούς δεσμούς υδρογόνου στην αδιάλυτη β-σχηματισμού μορφή με διαμοριακούς δεσμούς. Είναι εντούτοις μια αμετάκλητη διαδικασία.

Επιπλέον, διάφορες μελέτες έδειξαν ότι άλλοι παράγοντες όπως τα ιόντα μετάλλων και το pH μπορούν να αναμιγνύονται στην φυσική επεξεργασία μεταξιού από μεταξοσκώληκες και αράχνες. Αυτές οι μελέτες αποκαλύπτουν τις διαδοχικές αλλαγές στο pH και στο περιεχόμενο των μεταλλικών ιόντων καθώς η πρωτεΐνη του μεταξιού διατρέχει της εκκριτικής οδούς. Το pH και τα μεταλλικά ιόντα (ασβεστίου και μαγνησίου) μπορούν να είναι σημαντικά στον σχηματισμό μεταξιού από μεταξοσκώληκα ενώ τα ιόντα καλίου είναι πιθανώς απαραίτητα στη διαμόρφωση μεταξιού αραχνών.

1.3 ΟΙ ΑΔΕΝΕΣ ΜΕΤΑΞΙΟΥ

Μια αράχνη έχει 3 ζευγάρια ακροφυσίων στην κοιλία της: προηγούμενος, μεσαίος, και μεταγενέστερος(Σχ 2). Ο κάθε αδένας οδηγεί ένα συγκεκριμένο ακροφύσιο το οποίο ανοίγει προς τα έξω με την μορφή μικροσκοπικού στομίου. Κατά την διάρκεια της κατασκευής ενός πλέγματος ή ενός κουκουλιού τα ακροφύσια πρέπει να κινηθούν ανεξάρτητα, όμως πρέπει να είναι σε θέση να εργαστούν μαζί με έναν ιδιαίτερα συντονισμένο τρόπο. Τα ακροφύσια μπορούν να κινηθούν με διάφορους τρόπους: ανυψωτικά, χαμηλωτικά, περιστροφικά και να συγχρονιστούν έτσι ώστε να υπάρχει απόλυτη επικάλυψη. Το αποτελεσματικό εύρος εργασίας των ακροφυσίων ενισχύεται σε έναν μεγάλο βαθμό από τις κινήσεις της κοιλιακής χώρας.

Οι ακόλουθοι αδένες μπορούν να διακριθούν μορφολογικά και ιστολογικά σε: κυστοειδής αδένας, συμπλεγματικός αδένας, κυλινδρικοί και σωληνοειδή αδένες, συσσωματικός αδένας, αδένας της ίνας και μαστιγοειδείς αδένες. Ο κάθε αδένας διαμόρφωσης περιλαμβάνει τον βασικό αδένα, σε σχήμα αχλαδιού και έναν λεπτό αγωγό.



Σχήμα 2 Ο μηχανισμός ύφανσης της αράχνης *Nephila*. Μόνο το μισό του ζεύγους των αδένων μεταξιοῦ απεικονίζεται

1.4 ΕΙΔΗ ΑΡΑΧΝΩΝ ΚΑΙ ΤΟ ΜΕΤΑΞΙ ΤΟΥΣ

-*Araneus diadematus*

Η αράχνη του κήπου είναι ένα μέλος των αρθρόποδων. Αυτή είναι μεγάλη οικογένεια, με σχεδόν 2.500 είδη παγκοσμίως και στην Ευρώπη μόνο 18 γένη και 50 είδη περιγράφονται. Η *araneus diadematus* είναι το πιο πληθωρικό είδος αράχνης στην Ευρώπη και μπορεί να βρεθεί παντού μεταξύ Μαΐου και Νοεμβρίου. Δημιουργεί το πλέγμα της σε στεγασμένες περιοχές. Η θηλυκή αράχνη είναι μεγαλύτερη (16mm) από την αρσενική αράχνη (8mm).

Είναι εύκολα αναγνωρίσιμα εξαιτίας του άσπρου σταυρού στην πλάτη τους, και αυτός είναι ο λόγος που ονομάζονται αράχνες με τον σταυρό.

Η *araneus diadematus* μένει επίσης σε μέρη της βόρειας Αμερικής, σε ένα φάσμα που εκτείνεται από την Νέα Αγγλία και από το νοτιοανατολικά μέχρι τα βορειοδυτικά Ηνωμένα Έθνη και σε γειτονικά μέρη του Καναδά.

Τα χαρακτηριστικά χρώματα της αράχνης μπορεί να ποικίλουν από έντονο ανοιχτό κίτρινο σε πολύ σκούρο γκρι, αλλά όλες οι ευρωπαϊκές αράχνες κήπου έχουν διακριτικές κηλίδες στην πλάτη τους με πέντε ή περισσότερες άσπρες κηλίδες οι οποίες σχηματίζουν έναν σταυρό.

Είναι δύσκολο να προκαλέσεις μια αράχνη κήπου να σε τσιμπήσει- εάν το κάνει, το τσίμπημα είναι ελαφρώς δυσάρεστο και εντελώς ακίνδυνο.

-Araneus quadratus

Η *araneus quadratus* είναι μέλος της ίδιας οικογένειας όπως η προηγούμενη αράχνη κήπου που περιγραφικέ. Παρόλο που βρίσκεται συχνά ο αριθμός τους δεν είναι τόσο μεγάλως όπως της *araneus diadematus*. Η χρωματισμένη κοιλιά ποικίλει σημαντικά, από σκούρο κόκκινο-καφέ σε απαλό κίτρινο ή πράσινο.

Αυτή η αράχνη τοποθετείται είτε στο κέντρο του κυκλικού ιστού της είτε σε άντρο ενωμένο με λείο μετάξι. Παρά την ποικιλία στο χρωματισμό, αυτή η αράχνη είναι καταφανής καθώς έχει πάντα τέσσερις άσπρες κηλίδες στην κοιλιά της και ραβδωτά πόδια. Τα άσπρα στίγματα είναι πιο φανερά στα σκοτεινότερα δείγματα. Αυτή η αράχνη είναι συχνά ελαφρώς μεγαλύτερη από την *araneus diadematus*, ειδικά όταν φέρει αυγά. Μπορεί να βρεθεί σε χαμηλή βλάστηση, σε βοσκότοπους, και σε θαμνώδης περιοχή. Παρόλα αυτά το μετάξι αυτού του ζώου είναι ανάλογο με αυτό της *araneus diadematus*, ο μικρότερος πληθυσμός αυτού του ζώου περιόρισε την χρήση αυτής της ίνας για λεπτομερές διερευνήσεις .

-Araneus marmoreus

Αυτός είναι ο υφαντής ιστών. Αυτή η αράχνη έχει πολλές ποικιλίες χρωμάτων. Η πιο κοινή μορφή έχει ένα πορτοκαλί μπροστινό μέρος του σώματος με πορτοκαλί/άσπρες/μαύρες ραβδώσεις στα πόδια. Η κοιλιά σε αυτό το σχήμα είναι είτε πορτοκαλί ή κίτρινη με ένα σχήμα που μοιάζει με πρόσωπο για κάποιους παρατηρητές. Αυτό το είδος αράχνης έχει μικρότερο πληθυσμό από το είδος *A. Quadratus* και ούτε αυτό θα χρησιμοποιηθεί στην έρευνα των βιοιατρικών εφαρμογών καθώς δεν θα μπορούσαν να παραχθούν αρκετές ίνες.

-Argiope bruennichi

Από την ίδια οικογένεια όμως από άλλο γένος είναι η αράχνη σφήκα, *Argiope bruennichi*. Η ενήλικη θηλυκή αράχνη έχει ένα λαμπερό ασημένιο κεφάλι και μια κιτρινοπή κοιλιά με μαύρες και άσπρες γραμμές κατά μήκος.

Υπάρχει ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον από τους επιστήμονες της βιομίμησης στο είδος *Argiope* εξαιτίας του άσπρου σταθεροποιητή ζικ-ζακ στο πλέγμα τους. Η λειτουργία του ζικ-ζακ του άσπρου μεταξιού στο πλέγμα τους δεν είναι σαφές. Υπάρχουν κάποιες ιδέες σε τι μπορεί να αποσκοπεί. Μπορεί να χρησιμοποιείται να προσελκύει έντομα από την εκπομπή της UV ακτινοβολίας. Μια άλλη εξήγηση είναι ότι αυτό υπάρχει για να εκφοβίζει τα αρπακτικά ζώα. Η αράχνη ταρακουνάει το πλέγμα σθεναρά όταν κάτι μεγάλο πλησιάζει το οποίο προκαλεί μια θολή άσπρη κηλίδα. Μια άλλη εξήγηση μπορεί να είναι ότι η αράχνη δημιουργεί το πλέγμα ορατό έτσι τα

μεγάλα ζώα δεν καταστρέφουν τον ιστό της. Η προσέλκυση ή η απόρριψη άλλων ζώων, η UV ακτινοβολία μιας πρωτεϊνικής ίνας είναι κάτι για το οποίο πολλές εφαρμογές μπορούν να εικαστούν.

-Larinoidea sclopetarius και Larinoidea cornutus

Οι *Larinoidea sclopetarius* και οι *Larinoidea cornutus*, επίσης από την οικογένεια Araneidae, τείνουν να μένουν σε ανθρώπινα σιδερένια αντικείμενα και σπάνια βρίσκονται σε βλάστηση. Η αράχνη μπορεί να είναι μαύρη και άσπρη αλλά υπάρχουν επίσης και ποικιλίες καφέ χρώματος. Αυτά τα είδη βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες και συλλέχθηκαν πάνω και γύρω από σκουπιδότοπους στο Chent, αλλά το μεταξύ τους ήταν μη χρησιμοποιήσιμο για περαιτέρω έρευνες. Το κουκούλι και οι ίνες του ήταν πολύ μικρές.

-Latrodectus hasselti and Staetoda tranglosai

Αυτή η μαύρη χήρα με την κόκκινη πλάτη ανήκει στην οικογένεια Theridiidae. Αυτή η αράχνη δεν θα μπορούσε να συλλεχθεί στην Chent ή να μεγαλώσει στα εργαστήρια μας για λόγους ασφαλείας.

Επίσης από την οικογένεια Theridiidae, αλλά πολύ μικρότερες είναι οι *Staetoda*. Αυτές οι μικρές αράχνες θα μπορούσαν να βρεθούν σε μεγάλες ποσότητες σε σκουπιδότοπους στην Chent. Παρόλο αυτά, αυτό το είδος θα μπορούσε να αποκτηθεί εύκολα αλλά το μεταξύ τους είναι τόσο λεπτό και μη χρησιμοποιήσιμο σε περαιτέρω έρευνες και εφαρμογές.

-Nephila clavipes

Η αράχνη με τον χρυσό ιστό έχει το πιο φανταχτερό και το πιο διερευνητικό μεταξύ από όλες τις αράχνες. Αυτές οι αράχνες είναι γνωστές ότι φτιάχνουν ένα μεγάλο ιστό χρώματος χρυσού. Αυτά τα πλέγματα μπορεί να είναι σε διάμετρο 2 m και κάποιες φυλές χρησιμοποιούν αυτά τα πλέγματα σαν δίκτυα ψαρέματος. Το τους μεταξύ έχει παραπάνω εξαιρετικές ιδιότητες. Αυτά τα ζώα δεν μένουν στο Βέλγιο, αλλά μερικά ζώα και οι σάκοι αυγών της *Nephila* μεταφέρονταν από το μουσείο της Αφρικής. Είναι δύσκολο να αναπαραχθούν σε εργαστηριακές συνθήκες. Υπολογίζονται σε ύψος 5 cm χωρίς τα πόδια και πάνω από 25 cm με τα πόδια τεντωμένα.

-Cyrtophora cirticola

Αυτές οι αράχνες ανήκουν στην οικογένεια Araneidae και ακόμα δεν χτίζουν κυκλικό πλέγμα. Αντίθετα οι αράχνες αυτές χτίζουν ένα πλέγμα σε σχήμα θόλου το οποίο μοιάζει με έναν συνδιασμό ανάμεσα σε ένα οριζόντιο Araneid κυκλικό πλέγμα και ένα Linyphiid επίπεδο πλέγμα. Το πλέγμα σχηματίζει ένα χωνί ενισχυμένο από πολλές πλεγμένες γραμμές στήριξης και η αράχνη τοποθετείται στη κορυφή του κώνου με τον σάκο αυγών της.

Αυτές οι αράχνες χτίζουν το πλέγμα τους σε κήπους και σε θάμνους παράπλευρα των δρόμων στην νότια Ευρώπη και στην βόρεια Αφρική. Στις περισσότερες ποικιλίες είναι ασπρόμαυρες αλλά μερικές φορές είναι και καφέ.

1.5 ΑΠΟΚΤΩΝΤΑΣ ΚΥΣΤΟΕΙΔΗ ΜΕΤΑΞΙ ΚΑΙ ΜΕΤΑΞΙ ΣΑΚΟΥ ΑΥΓΟΥ

Οι αράχνες *Araneus diadematus* συλήχθηκαν τον Σεπτέμβρη- Οκτώβρη στην Chent. Τα καλύτερα μέρη να βρουν αράχνες κήπου ήταν κατά μήκος του θαμνοφράχτη δίπλα σε νερό at the Coupure, και σε γρασιδί και σε αγρούς με θάμνους στην Damproot και στο Technologiepark στην Zwijnaarde.

Διατηρούταν τρυπωμένες σε πλαστικά κουτιά (4x10x3cm) σε συνθήκες εργαστηρίου. Μια ή δυο φορές την εβδομάδα ταΐζονταν με έντομα. Όλες οι αράχνες πέθαναν στο τέλος Νοεμβρίου και πριν πεθάνουν δημιούργησαν ένα σάκο αυγών με εκατοντάδες αυγά.

Στη φύση τοποθετούν τους σάκους αυγών τους ανάμεσα σε παλιά φύλα, σε φρέσκα φύλλα, σε απορρίμματα και σε σκοτεινές γωνίες όπως κάτω από μια στέγη. Ως εκ τούτου οι γωνίες των πλαστικών κουτιών με καπάκι ήταν χρωματισμένες μαύρο. Φαινόταν ότι οι σάκοι των αυγών τοποθετούνταν περισσότερο σε σκοτεινές γωνίες από ότι οι άχρωμοι. Η υπόθεση είναι ότι το ζώο προτιμά να τοποθετεί τον σάκο αυγών του σε ένα απόκρυφο μέρος, όπου προστατεύονταν από τα αρπαχτικά και τις ακραίες καιρικές συνθήκες. Επειδή οι αράχνες δεν είναι ικανές να προσκολληθούν το μετάξι τους σε ένα λείο πλαστικό, πειραματίστηκαν σε διαφορετικά υποστρώματα όπως αυλακωτό χαρτόνι και γυαλόχαρτο. Μολονότι οι αράχνες ήταν ικανές να προσκολληθούν το μετάξι τους σε ένα πλαστικό καπάκι, προτιμούσαν το μαύρο χαρτόνι. Ένας μέσος σάκος αυγών από μια αράχνη κήπου ζυγίζει περίπου 10 mg.

Περαιτέρω έρευνες στην δομή του σάκου αυγού αποκάλυψε ότι δημιουργείται από διαφορετικά στρώματα. Κινηματογραφώντας μια αράχνη κατασκευάζοντας τον σάκο αυγών της, ήταν σαφές τι γινόταν και με ποια σειρά. Η αράχνη πρώτα προσκολλούσε κάποια μετάξια πάνω από το υπόστρωμα. Αυτά προσάπτονταν στο

υπόστρωμα με σύνδεση δίσκων, όπως με κολλώδη ταινία πάνω από νήμα. Το πρώτο στρώμα του μεταξιού του σάκου αυγών τοποθετείται πάνω στο βασικό στρώμα. Οι ίνες του σάκου αυγών δεν σταθεροποιούνται στο υπόστρωμα αλλά στις ίνες μεταξιού. Τότε τα αυγά τοποθετούνται στο πρώτο στρώμα, χωρίς καθόλου μετάξι ανάμεσα στα αυγά. Η δεύτερη μόνωση του στρώματος τοποθετείται πάνω από τα αυγά και καλύπτονται από ένα εξωτερικό στρώμα. Τα διαφορετικά στρώματα ήταν ορατά κατά την διάρκεια της κατασκευής, αλλά αργότερα μπορούσαν εύκολα να αποσυνδεθούν.

Για πείραμα του εφελκυσμού λαμβάνονταν ίνες μερικών εκατοστών από τον σάκο αυγών. Δεν ήταν πιθανόν να ληφθούν αυτές οι ίνες χωρίς ενδεχομένως να καταστραφούν ή να προειδοποιηθούν οι μηχανικές ιδιότητες του μεταξιού. Για αυτό ο χειρισμός γινόταν όσο προσεκτικά ήταν δυνατόν.

1.6 ΤΥΛΙΓΜΑ ΤΟΥ ΜΕΤΑΞΙΟΥ

Οι αράχνες *Araneus diadematus* αφήνουν πάντα το μετάξι πίσω τους. Επίσης χρησιμοποιούν την ίνα αυτή για να σώσουν τους εαυτούς τους όταν πέφτουν, το οποίο εξηγεί την μεγάλη ανθεκτικότητα αυτών των ινών. Το μετάξι χρησιμοποιείται επίσης στην κατασκευή του πλέγματος, μαζί με ακτινωτά νήματα, νήματα στήριξης και ελικοειδή νήματα. Στην βιβλιογραφία περιγράφηκε πως οι αράχνες ναρκώνονται με διοξείδιο του άνθρακα και σταθεροποιούνται με ταινία. Χρησιμοποιώντας μια νέα μέθοδο δεν είναι απαραίτητο να αναισθητοποιούν ή να προσηλώνουν την αράχνη. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί την αρχή του κλοιού. Μια οπή δημιουργείται σε μια πλαστική επιφάνεια και η επιφάνεια μπορεί να ανοιχθεί μόνο από την μια πλευρά. Η αράχνη τοποθετείται στην οπή με την κοιλιά από την μια πλευρά της επιφάνειας και το κεφάλι με τα πόδια από την άλλη πλευρά. Η οπή είναι αρκετά μεγάλη για να μην βλάψει την αράχνη και αρκετά μικρή ώστε η αράχνη να μην μπορεί να μπουσουλίσει από άκρο σε άκρο της οπής. Καθώς τα πόδια χωρίζονται από την κοιλιά, δεν μπορούν να χρησιμοποιούνται στην διακοπή της τύλιξης του μεταξιού.

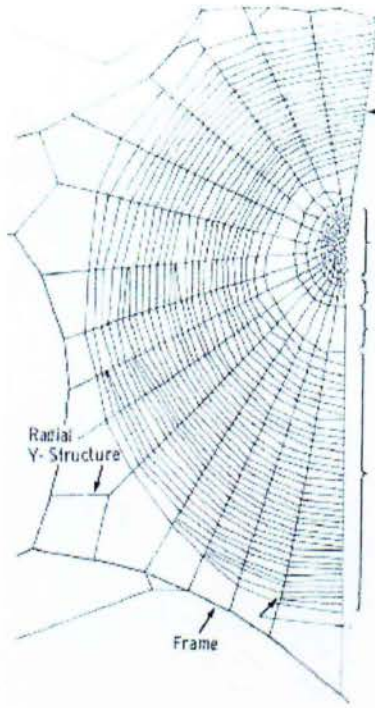
Η πλαστική επιφάνεια σταθεροποιήθηκε μπροστά από την μηχανή τυλίγματος. Ένα μέρος του μεταξιού λήφθηκε και αφαιρέθηκε από τα ακροφύσια της αράχνης και τοποθετήθηκε στους τροχούς περιστροφής της μηχανής τυλίγματος. Η τύλιξη γινόταν με σταθερή ταχύτητα 10cm/s που μπορούσε να ελεγχθεί.

Τυλίγοντας το μετάξι με αυτόν τον τρόπο, το μετάξι λαμβάνεται με έναν καθορισμένο τρόπο. Αυτή η μέθοδος τυλίγματος είναι δυσκολότερο να εκτελεστεί με ίνες του σάκου αυγών και σχεδόν αδύνατο με τα νήματα σύλληψης.

1.7 Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΙΣΤΟΥ ΤΗΣ ΑΡΑΧΝΗΣ

Ο κυκλικός ιστός της αράχνης είναι σίγουρα ο πιο γνωστός και αποτελείται από 3 στοιχεία (Σχ.3): α)τα ακτινωτά νήματα που συγκλίνουν σε ένα κεντρικό σημείο, β)τα νήματα βάσης, τα οποία σκιαγραφούν το πλέγμα και χρησιμεύουν ως περιοχή πρόσφυσης για τα ακτινωτά νήματα και γ) τα ελικοειδή νήματα (σπιράλ παγίδευσης) που στοχεύουν στην παγίδευση των εντόμων. Το ικρίωμα του κυκλικού πλέγματος περιλαμβάνει τα ακτινωτά και τα νήματα βάσης. Το σπιράλ παγίδευσης αντίθετα, αποτελείται από ένα νήμα που στερεώνεται με σταγονίδια κόλλας. Το επίστρωμα είναι υγροσκοπικό και το καθιστά ελαστικό. Το κυκλικό πλέγμα συνολικά είναι ένας συνδυασμός που περιλαμβάνει ισχυρή δομή με ακτινωτά νήματα και με πολύ ελαστικό σπιράλ παγίδευσης. Η βάση και οι ακτίνες παρέχουν μια μηχανικά σταθερή κατασκευή η οποία είναι επίσης κατάλληλη για την μετάδοση σημάτων. Η ελαστικότητα που έχει το νήμα είναι μια εφαρμογή για να πνίξει το θήραμα, όπως για παράδειγμα η πρόσκρουση και οι κινήσεις του εντόμου προκαλούν μικρή ζημιά, επειδή η κινητική ενέργεια απορροφάται κατά ένα μεγάλο μέρος από το ελαστικό σπιράλ παγίδευσης. Η εστία αποτελείται συνήθως από ακανόνιστα συνδεδεμένα νήματα. Ακριβώς γύρω από την εστία υπάρχει η ονομαζόμενη 'ζώνη ενύσχισης', αλλά αυτό το κομμάτι του πλέγματος δεν μπορεί πάντα να καθοριστεί σαν κάτι ξεχωριστό από την εστία. Πιο σημαντικό είναι το επόμενο τμήμα, η <<ελεύθερη ζώνη>>, στην οποία διασταυρώνονται μόνο ακτινωτά νήματα. Εδώ η αράχνη μπορεί εύκολα να περάσει από την μια πλευρά του πλέγματος στην άλλη. Η πραγματική περιοχή παγίδευσης είναι το τμήμα του πλέγματος που καλύπτεται από το κολλώδης σπιράλ.

Λόγω της δομικής διαφοράς του πλέγματος μεταξύ των ειδών αραχνών είναι συχνά δυνατό να προσδιορίσει μια ορισμένη αράχνη μόνο και μόνο από την χαρακτηριστική δομή του πλέγματος [13].



Σχήμα 3 Δομή του κυκλικού πλέγματος του είδους *Araneus diadematus*

1.8 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΙΝΩΝ ΜΕΤΑΞΙΟΥ

1.8.1 Εισαγωγή

Πολλές ίνες μεταξιού παρατηρήθηκαν κατά το διάμηκες, το μετάξι του σάκου αυγού και το μετάξι της *Araneus diadematus*, και το μετάξι του σάκου αυγού του *Larinioides sclorpetarius*. Γνωρίζοντας ότι οι ίνες είναι τέλεια στρογγυλές θα μπορούσαν να μετρηθούν με μικροσκόπιο. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσε να καθοριστεί εάν η λεπτότητα είναι σταθερή κατά μήκος της ίνας και η επιφάνεια της ίνας θα μπορούσε να εξεταστεί.

1.8.2 Υλικά και μέθοδοι

Για την μικροσκόπηση, οι ίνες είτε ήταν στερεωμένες και τεντωμένες και στις δυο πλευρές μιας γυάλινης αντικειμενοφόρας πλάκας με ταινία είτε κόβονταν σε μικρότερα κομμάτια και τοποθετούνταν στην πλάκα του μικροσκοπίου. Ιστολογικό καθαρίσμα προστέθηκε πριν τοποθετηθεί η πλάκα επικάλυψης. Με μια κάμερα ενσωματωμένη στο μικροσκόπιο ήταν δυνατόν να αναλυθούν οι ίνες και να καθοριστούν οι διάμετροι τους. Για κάθε πλάκα η μέτρηση επαναλαμβανόταν 50 φορές σε διαφορετικά μέρη και επάνω σε διαφορετικές ίνες.

Ένα σαρωτικό μικροσκόπιο ηλεκτρονίων χρησιμοποιήθηκε για να μελετηθούν λεπτομερώς κάποιες ίνες. Το μετάξι των ινών σταθεροποιήθηκε σε έναν κύβο με διπλή συγκολλητική ταινία και χρυσή επικάλυψη πριν την σάρωση.

1.8.3 Αποτελέσματα

Η *Araneus diadematus* είχε ένα πιο κυκλικό σχήμα, ελαφρώς ομοιόμορφο σε διάμετρο κατά μήκος της ίνας, μολονότι διέφεραν στη διάμετρο από ίνα σε ίνα. Το μετάξι συνίσταται από μερικές κυκλικές, ομοιόμορφες ίνες, μικρότερες από τις ίνες του σάκου αυγών των ίδιων ειδών και περιστοιχίζονται από ακόμα μικρότερες απιοειδής ίνες.

Πίνακας 1 Διάμετροι μεταξίου αράχνης που μετρήθηκαν με μικροσκόπιο

ΕΙΔΟΣ ΜΕΤΑΞΙΟΥ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ	ΜΕΣΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ
Μετάξι <i>Nephila clavipes</i>	4,7790	0,3288
Μετάξι <i>Araneus quadratus</i>	4,7168	0,5140
Μετάξι <i>Araneus diadematus</i>	5,1623	0,4785
Μετάξι <i>Larinioides sclopetarius</i>	2,1236	0,5423
Μετάξι <i>Larinioides cornutus</i>	2,3654	0,4231
Μετάξι <i>Cyrtopoda cirticola</i>	1,3651	0,1354
<i>Araneus marmoreus</i>	2,4237&5,1236	0,3652&0,6541

“ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ”

2.1 ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗΣ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑΣ

Η άποψη για την δομή της ίνας που επιτρέπει ή απωθεί την ευθυγράμμιση των πολυμερών και την κίνηση των πολυμερών αναφορικά το ένα με το άλλο καθορίζουν το ακριβές σχήμα της καμπύλης τάσης-επιμήκυνσης για κάθε ίνα. Κατά τη διάρκεια μιας εφελκυστικής δοκιμής, η πιο συμβιβαστική φάση, δηλαδή η άμορφη φάση, είναι η πρώτη που παραμορφώνει την εφαρμογή φορτίου. Η αρχική αντίσταση της παραμόρφωσης, η οποία καθορίζει τον αρχικό τους συντελεστή, προκύπτει από τους δεσμούς συνδέσεως οι οποίοι περιορίζουν τα μόρια στις άμορφες περιοχές, τα μπερδέματα μεταξύ των αλυσίδων οι οποίες βρίσκονται στις άμορφες περιοχές, τον περιορισμό που απορρέει από τις άκαμπτες κρυσταλλικές μεταξύ των οποίων οι άμορφες περιοχές είναι στριμωγμένες και ο περιορισμός των ελεύθερων κινήσεων στις πλευρικά διατεταγμένες προσανατολισμένες άμορφες περιοχές. Με άλλα λόγια, το μήκος της ίνας είναι :

(1) το αποτέλεσμα του βαθμού προς το οποίο τα πολυμερή βρίσκονται στις γωνίες του άξονα της ίνας μπορεί να κινηθεί σε ευθυγράμμιση με τον άξονα, και (2) τα πολυμερή με μια μη γραμμική διαμόρφωση μπορούν να ευθυγραμμιστούν. Συνεπώς οι ίνες με χαμηλό συντελεστή τείνουν να είναι λιγότερο προσανατολισμένες και λιγότερο κρυσταλλικές από τις ίνες με υψηλό συντελεστή.

Το σημείο όπου η μόνιμη παραμόρφωση αρχίζει να πραγματοποιείται ονομάζεται σημείο διαρροής, οι δεσμοί σύνδεσης στις άμορφες περιοχές μπορεί να σπάνε και οι αλυσίδες πολυμερισμού αρχίζουν να μετατοπίζονται. Σε αυτό το σημείο, η τάση επεκτείνει εύκολα την ίνα, με αποτέλεσμα την εξομάλυνση της καμπύλης τάσης-επιμήκυνσης. Η διαρροή αυτής της εξομαλυμένης περιοχής κατά ένα μεγάλο μέρος αντικατοπτρίζει την δύναμη της συγκόλλησης της *intrafibre*: η σπουδαιότερη συγκολλημένη δύναμη, η μεγαλύτερη διαρροή από αυτό το τεμάχιο. Ο Vollrath και ο Porter πρότειναν έναν άμεσο σύνδεσμο ανάμεσα στην γυάλινη μετάβαση θερμοκρασίας και στο σημείο διαρροής σε ένα άμορφο πολυμερές έτσι ώστε το άμορφο κομμάτι αλλάζει από την γυάλινη κατάσταση σε μια λαστιχένια κατάσταση αμέσως μετά την απόδοση. Ωστόσο, το διατεταγμένο (κρυσταλλικό) κομμάτι δεν αλλάζει κατάσταση και παρέχει την απομένουσα ακαμψία σε ένα ημικρυστάλλινο πολυμερές προγενέστερο της γυάλινης μετάβασης ή του σημείου διαρροής. Καθώς η

τάση αυξάνει το post-yield, η λαστιχένια κατάσταση μετατρέπεται πάλι σταδιακά σε γυάλινη ή κρυστάλλινη κατάσταση επειδή οι αλυσίδες πολυμερισμού αναγκάζονται να έρθουν κοντά η μια στην άλλη από την εφελκυστική επιμήκυνση. Ασφαλώς, αυτό σημαίνει ότι ο συντελεστής πρέπει να αυξηθεί καθώς οι περισσότερες λαστιχένιες καταστάσεις χάνονται. Συνήθως, οι μικρές αυξήσεις στις τάσεις σε αυτήν την περιοχή ανέρχονται σε μεγάλη παραμόρφωση.

Ακολουθεί σκλήρυνση, η εσωτερική δομή της ίνας αρχίζει να υποκύπτει καταστροφικά και το σημείο θραύσης επιτυγχάνεται. Τα πολυμερή έχουν ήδη μετακινηθεί το ένα από το άλλο επειδή η εφαρμοσμένη τάση είναι μεγαλύτερη από τις δυνάμεις συνοχής της ίνας ή η εφαρμοσμένη τάση ξεπερνάει την δύναμη των πολυμερών αναγκάζοντας τα να σπάσουν. Όσον αφορά το σημείο θραύσης, οι ίνες που είναι καλύτερα προσανατολισμένες και κρυσταλλικές και έχουν μεγάλες δυνάμεις συνοχής και/ή η διαμόρφωση του ευθύγραμμου πολυμερούς τείνει να εμφανίσει χαμηλές τιμές σημείου θραύσης [1].

Ο ΚΟ πρόσφερε μια δομική βάση για την συμπεριφορά τάσης επιμήκυνσης του μεταξιού της αράχνης. Η δομή του μεταξιού της αράχνης μπορεί να θεωρηθεί ως μια ιεραρχική σύνθετη αμετάβλητη φάση ενός κρυσταλλικού υγρού η οποία οργανώνονταν σε μια καλή διατεταγμένη ελικοειδή ενισχυμένη δομή ινιδίων. Τα ελικοειδή ινίδια ενσωματώνονται σε ένα περίβλημα το οποίο αποτελείται από ένα πλέγμα συνδέσμων των ενδοινιδίων που σχηματίζεται από δεσμούς υδρογόνου. Στη θραύση της σύνδεσης των ενδοινιδίων, η καμπύλη τάσης-επιμήκυνσης εμφανίζει μια ψευδή απόδοση της συμπεριφοράς εξαιτίας του επαναπροσανατολισμού των ινιδίων. Καθώς αυτά τα ελικοειδή ινίδια ευθυγραμμίζονται μια βαθμιαία αύξηση του συντελεστή μπορεί να φανεί ώσπου να φτάσει στο μέγιστο. Αυτό ακολουθείται από την βαθμιαία θραύση των ινιδίων και τελικά στην αποτυχία του μεταξιού της αράχνης.

2.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΞΙΟΥ ΑΡΑΧΝΗΣ

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι ιδιότητες εφελκυσμού του μεταξιού αράχνης και άλλων υλικών.

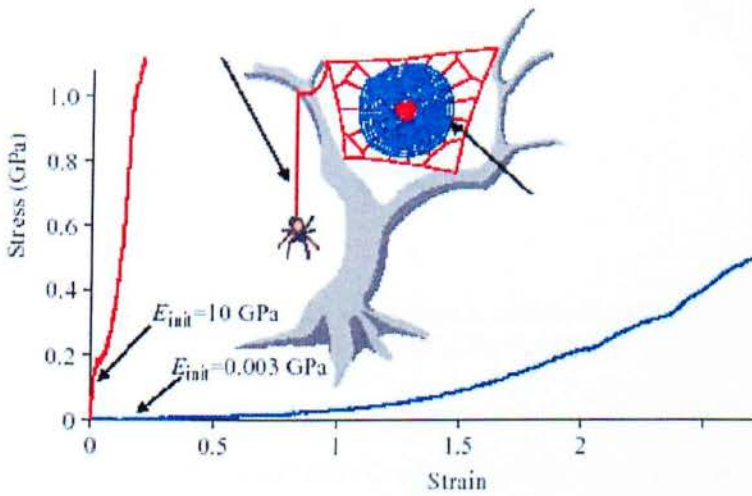
Πίνακας 2

	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ (GPa)	ΔΥΝΑΜΗ (GPa)	ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ (%)	ΕΡΓΟ (MJm ⁻³)
<i>A. diadematus</i> MA silk	7-10	1.08-1.61	27-40	160
<i>A. diadematus</i> egg sac silk		0.54	24	
<i>A. diadematus</i> viscid silk	0.003	0.5-1.4	270-476	150
<i>N. clavipes</i> MA silk	20-22	1.3-1.8	10-15	80
<i>N. clavipes</i> egg sac silk		1.3	24	
<i>B. mori</i> silk	7-16	0.5-0.7	12-24	70
<i>A. pernyi</i> silk		0.6	35	
Tendon collagen	1.5	0.15	12	7.5
Bone	20	0.16	3	4
Wool, 100% RH	0.5	0.2	50	60
Elastin	0.001	0.002	150	2
Resilin	0.002	0.003	190	4
Synthetic rubber	0.001	0.05	850	100
Nylon	5	0.95	18	80
Kevlar 49	130	3.6	2.7	50
Carbon	300	4	1.3	25
High-tensile steel	200	1.5	0.8	6

Από τον παραπάνω πίνακα μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι το σπουδαιότερο κυστοειδές μετάξι (MA) είναι πιο δύσκαμπτο από τα άλλα αναριθμούντα πολυμερή, μολονότι τα βιουλικά μεταλλοποιούνται και κάποια συνθετικά υλικά επιτυγχάνουν μεγαλύτερη δυσκαμψία από αυτό το μετάξι, όπως υποδεικνύεται από τον αρχικό συντελεστή. Η δύναμη του MA μεταξιού, ωστόσο είναι σαφώς ανώτερη από αυτή όλων των άλλων βιουλικών σε αυτό τον κατάλογο. Είναι γνωστό ότι το MA μετάξι της αράχνης είναι το πιο δύσκαμπτο και το πιο ισχυρό πολυμερές. Αν και η δύναμη και η δυσκαμψία του MA μεταξιού είναι χαμηλότερη από άλλα μηχανολογικά υλικά, όπως ο άνθρακας και το ασάλι, η ελαστικότητα του MA μεταξιού το καθιστά ανθεκτικότερο από αυτά τα υλικά.

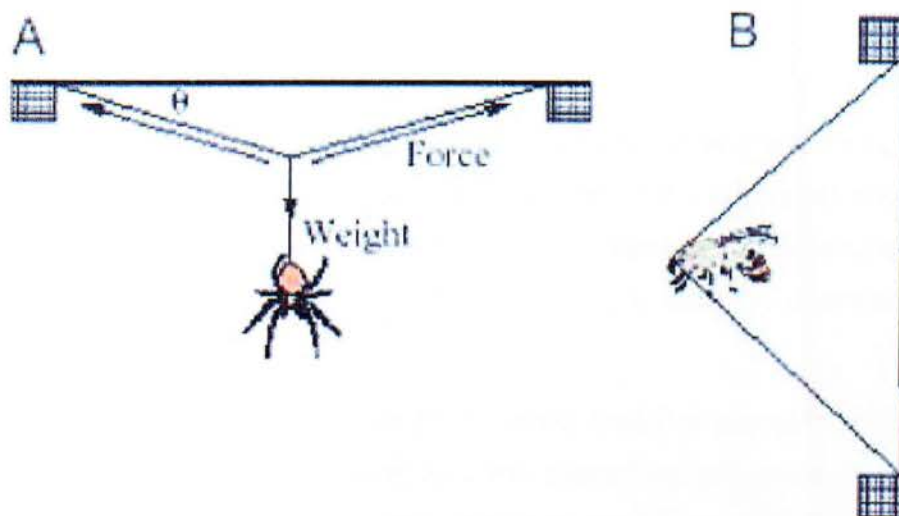
Όσον αφορά τα διαφορετικά μετάξια αραχνών, μπορεί να σημειωθεί ότι το MA μετάξι παρουσιάζει και υψηλή τάση και εφελκυστική δύναμη. Το δευτερεύων κυστοειδές μετάξι έχει μια συγκριτικά χαμηλότερη εφελκυστική δύναμη και έλλειψη ελαστικότητας (+/- 5%), ενώ το μαστιγοειδές ή το κολλώδης μετάξι χαρακτηρίζεται από μέγιστη τάση (200-300%) και χαμηλότερη εφελκυστική δύναμη συγκριτικά με το

δευτερεύον κυστοειδή μετάξι. Η διαφορά ανάμεσα στο δευτερεύον κυστοειδή μετάξι και στο βασικό κυστοειδή μετάξι είναι επίσης ότι αυτό καθορίζει το αμετάκλητο όταν επιμηκύνεται ενώ το πρωτεύον κυστοειδή μετάξι είναι ελαστικό.



Σχήμα 2.1 Διαφορά της καμπύλης τάσης – επιμήκυνσης του *A. Diadematus* του MA και του κολλώδη μεταξιού.

Το παραπάνω σχήμα δείχνει πώς τα διαφορετικά μετάξια είναι φτιαγμένα λαμβάνοντας υπόψη την λειτουργία για την οποία προορίζονται. Ο Gosline καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η τάση της ίνας μπορεί να αντισταθμίσει την δύναμη όταν οι ίνες φτιάχνονται στον διαμήκη άξονα. Η μέγιστη ανθεκτικότητα και του MA και του κολλώδη μεταξιού επιτρέπει στην αράχνη να αφομοιώσει μια μεγάλη ποσότητα της κινητικής ενέργειας του θηράματος με την ελάχιστη ποσότητα μεταξιού. Ένας κύκλος πειραμάτων φορτίου από τον Denny υποδεικνύουν ότι το 65% της κινητικής ενέργειας που απορροφάται μετασχηματίζεται σε θερμότητα και δεν είναι σε θέση να εκτινάξει το θήραμα έξω από τον ιστό [1].



Σχήμα 2.2 Λειτουργική κατασκευή του *Araneus diadematus*, βασικού μεταξιού. A: MA μετάξι
B: κολλώδη μετάξι

Επιπλέον, το MA μετάξι είναι γνωστό ότι παρουσιάζει την συμπεριφορά της υπερσυστολής δηλ. όταν εμβαπτίζεται στο νερό συρρικνώνεται περίπου 40-50%. Επιπλέον η αρχική ακαμψία μειώνεται και το υλικό αρχίζει να συμπεριφέρεται σαν λάστιχο. Το κολλώδες μετάξι επίσης συρρικνώνεται όταν εμβαπτίζεται στο νερό αν και η επίδρασή του στις μηχανικές ιδιότητες είναι λιγότερο δραματική. Το δευτερεύον κυστοειδή μετάξι δεν συρρικνώνεται όταν εμβαπτίζεται στο νερό.

Το μετάξι της αράχνης είναι ιδιαίτερα ευμετάβλητο όχι μόνο στις μηχανικές ιδιότητες αλλά και στη χημική σύνθεση. Κάποια μεταβλητότητα φαίνεται να χτίζεται στα γονίδια και κάποια είναι το αποτέλεσμα της μεθόδου της παραγωγικής διαδικασίας. Η κατάσταση της αράχνης, και εξωτερικά και εσωτερικά, επηρεάζει και την παραγωγή του μεταξιού και τις μηχανικές του ιδιότητες. Τα κυκλικά πλέγματα ανακατασκευάζονται τυπικά κάθε μέρα ανάλογα με τις καθημερινές αλλαγές στο κλίμα (περιβαλλοντική θερμοκρασία και υγρασία) ή ο τύπος του θηράματος θα έχει επιπτώσεις στις συνθήκες υπό τις οποίες το μετάξι σχηματίζεται. Οι προϋποθέσεις της νηματοποίησης και της ύφανσης σε ένα σημαντικό βαθμό είναι υπό τον έλεγχο της αράχνης. Το ζώο, για παράδειγμα, μπορεί να ποικίλει τις προϋποθέσεις ύφανσης από:

- Την ρύθμιση της τρέχουσας ταχύτητας όταν αποβάλλει το μετάξι
- Μεταβάλλοντας την ταχύτητα στην οποία εξάγει το μετάξι με το πόδι του
- Κατασκευάζοντας τους ιστούς του κατά τη διάρκεια διαφορετικών χρονικών περιόδων της ημέρας ή της νύχτας – που έχουν επιπτώσεις όχι μόνο στην θερμοκρασία ύφανσης αλλά και στην ταχύτητα ύφανσης σε αυτά τα εξωθερμικά πλάσματα.

2.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

Το FAVIMAT-ROBOT (Textechno) χρησιμοποιήθηκε για να αναλύσει τις ιδιότητες του εφελκυσμού. Είναι ένα ημιαυτόματο δυναμόμετρο, που λειτουργεί σύμφωνα με την αρχή του σταθερού ποσοστού επιμήκυνσης. Το όργανο είναι εξοπλισμένο με μια ζυγαριά που επιτρέπει να μετράται η ποσότητα με μια ιδιαίτερη σταθερότητα των 0.1mg.

Το όργανο περιλαμβάνει ένα ROBOT, το οποίο είναι ένα σύστημα αποθήκευσης ινών, εξοπλισμένο με έναν υπολογιστή το οποίο ελέγχει την μεταφορά του σφικτήρα για την μεταφορά μιας μεμονωμένης ίνας στην θέση ελέγχου του FAVIMAT.

Επιπλέον, αυτό το όργανο εξοπλίζεται με μια ολόκληρη καταμέτρηση για τη γραμμική πυκνότητα (σε $dtex=0.1g/km$). Αυτό έχει το αξιόλογο πλεονέκτημα, βέβαια για τις φυσικές ίνες, ότι η λεπτότητα καθορίζεται ταυτόχρονα με τις ιδιότητες του εφελκυσμού. Η γραμμική πυκνότητα καταμετρείται σύμφωνα με την μέθοδο vibroscopic.

Η ίνα φορτώνεται εκ των προτέρων με μια προκαθορισμένη ταχύτητα, υποβάλλεται σε μια ηλεκτροακουστική ημιτονοειδή δόνηση και η συχνότητα της αντήχησης ανιχνεύεται με έναν οπτικοηλεκτρονικό αισθητήρα. Η γραμμική πυκνότητα της ίνας υπολογίζεται από τις συνθήκες της παλμικής δόνησης, όπως για παράδειγμα το μήκος και τη συχνότητα αντήχησης της ίνας.

2.4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑΣ

Εάν κοιτάξουμε τα διαφορετικά αποτελέσματα των μηχανικών ιδιοτήτων του μεταξιού της αράχνης, βρίσκουμε ότι η αντοχή του βασικού κυστοειδή μεταξιού της αράχνης ποικίλει μεταξύ του 0,8 Gra και του 4,7 Gra ενώ το σημείο θραύσης κατά την επιμήκυνση από 15% έως 40%, ανεξάρτητα από το είδος του μεταξιού. Ακόμα και για ένα είδος αράχνης, το *Araneus Diademaus*, για την αντοχή τα αποτελέσματα επιτυγχάνονται μεταξύ του 1,08 και του 1,61 Gra και για το σημείο θραύσης κατά την επιμήκυνση μεταξύ 27% και 40%. Φαίνεται πολύ δύσκολο να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα, επιπλέον οι παράμετροι δοκιμασίας συχνά δεν αναφέρονται.

Οι συνιστώσες των παραμέτρων της δοκιμασίας για το πείραμα του εφελκυσμού των διαφορετικών τεχνιτών ινών δίνονται στα πρότυπα Bisfa. Συχνά το ποσοστό επιμήκυνσης του 50%/min υποδεικνύεται εκτός των ινών με υψηλή επιμήκυνση (>8%: 100%/min). Όσον αφορά το ζωζ του μήκους η προτεραιότητα δίνεται στα 20mm αν και οι ίνες είναι αρκετά κοντές. Το ζωζ του μήκους των 10mm αυξάνει τον

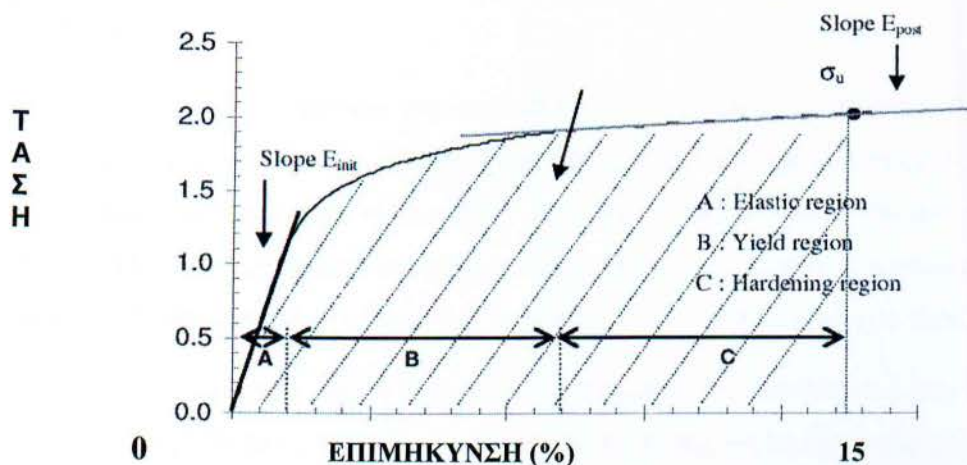
κίνδυνο να σπάσει η ίνα στους σφικτήρες. Προτείνεται λοιπόν να ληφθεί όσο το δυνατόν υψηλότερο το ζωζ του μήκους αν και πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι τιμές τις αντοχής θα είναι χαμηλότερες.

Αν η μονάδα "cN/dtex" δεν είναι μια μονάδα του SI χρησιμοποιείται πάντα στην κλωστοϋφαντουργία για να εκφράσει τον εφελκυσμό και τον συντελεστή των ινών.

Δεδομένου ότι το σημείο θραύσης κατά την επιμήκυνση είναι συχνά μεγαλύτερο του 30%, αποφασίστηκε να πραγματοποιηθούν τα πειράματα με τις ακόλουθες τοποθετήσεις: το ζωζ του μήκους 20mm, η ταχύτητα δοκιμής 20mm/min και το **pretension** 0,05 cN/dtex.

Οι ιδιότητες του εφελκυσμού μετρήθηκαν υπό τυποποιημένες συνθήκες 20 +/- 2 °C και σε σχετική υγρασία 65 +/- 2 %.

2.5 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ



Σχήμα 2.3 Ιδιότητες όπως υπολογίστηκαν από την καμπύλη τάσης – επιμήκυνσης

Από το παραπάνω σχήμα καθορίστηκαν οι εξής ιδιότητες.

1. σημείο θραύσης της τάσης ή της αντοχής (cN/dtex): η αναλογία του σημείου θραύσης της δύναμης στην γραμμική του πυκνότητα.
2. σημείο θραύσης κατά την επιμήκυνση (%): αυξάνοντας το μήκος ενός δείγματος που παράχθηκε από το σημείο θραύσης της δύναμης, εκφράζεται ως το ποσοστό του αρχικού εικονικού μήκους.
3. έργο θραύσης (cN.cm): η περιοχή που περιλαμβάνεται από την καμπύλη δύναμης – επιμήκυνσης μέχρι το σημείο όπου επιτυγχάνεται η δύναμη θραύσης, αυτό είναι το μέτρο της ανθεκτικότητας μιας ίνας. Μπορεί επίσης να

εκφραστεί σε cN/dtex με τη διαίρεση αυτής της τιμής από το ζωζ του μήκους (σε cN) και από τη γραμμική πυκνότητα (σε tex).

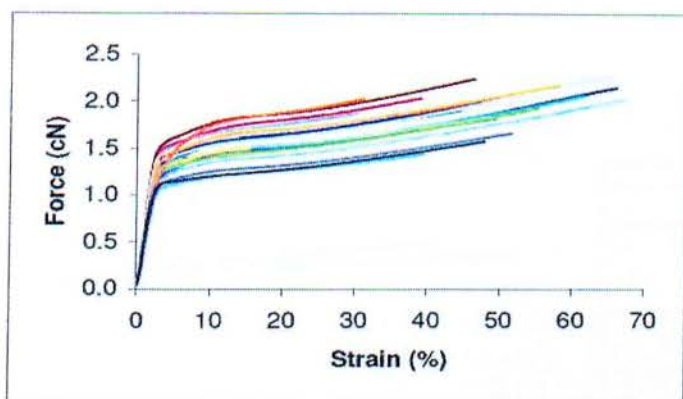
4. συντελεστής ελαστικότητας (cN/dtex): ορίζεται ως το μέτρο στην ελαστική περιοχή του διαγράμματος στο οποίο οι αλλαγές επιμήκυνσης είναι ακόμα ανατρέψιμες. Υπολογίζεται από την κλίση της αρχικής ευθείας γραμμής ανάλογα με την καμπύλη τάσης – επιμήκυνσης
5. σταθερός συντελεστής (cN/dtex): ορίζεται ως ο συντελεστής στην ζώνη σκλήρυνσης. Υπολογίζεται από την κλίση της ευθείας γραμμής της ζώνης ακολουθώντας την περιοχή απόδοσης όπου η τάση είναι ανάλογη των τιμών της επιμήκυνσης.

2.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΙΩΝ

Οι σάκοι αυγών των ειδών τις αράχνης *Araneus diadematus*, *Larinioides sclopetarius* και *Nephila clavipes* συλλέχθηκαν στο φυσικό τους περιβάλλον και εξετάστηκαν.

Όταν αυτά συλλέχθηκαν στο φυσικό τους περιβάλλον, περιμέναμε ότι η μηχανική τους συμπεριφορά που θα υπολογίζαμε θα αντιπροσώπευε καλύτερα τα πραγματικά τους χαρακτηριστικά από το εάν είχαν εκτραφεί ειδικά για αυτό τον σκοπό. Για το *A. diadematus*, αφαιρέθηκαν δυο φορές τυχαία εκατό ίνες από το εσωτερικό δυο σάκων αυγών, ελήφθησαν με προσοχή ώστε να καταπονηθούν το λιγότερο δυνατό.

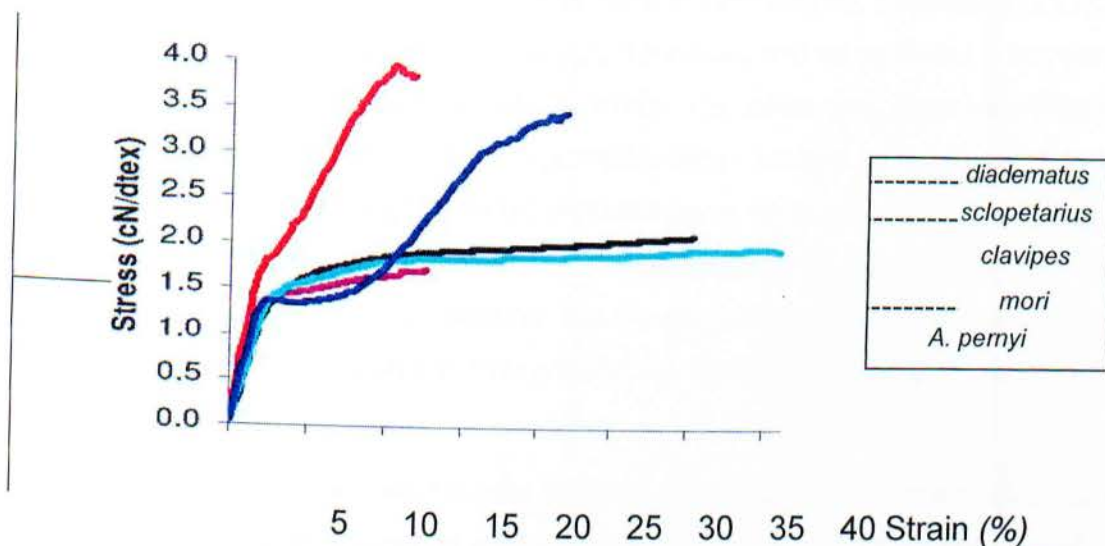
Για το *N. clavipes*, μόνο ένας σάκος αυγών ήταν διαθέσιμος και εξετάστηκαν πενήντα ίνες. Για το *L. sclopetarius*, η καμπύλη τάσης – επιμήκυνσης είναι βασισμένη στο μέσο όρο των δοκιμών για είκοσι πέντε ίνες που ελήφθησαν από έναν σάκο αυγών. Οι ίνες αυτού του είδους ήταν πιο δύσκολο να μετρηθούν από τα άλλα μετάξια αραχνών.



Σχήμα 2.4

Για τα dragline δείγματα συλλέχθηκαν αράχνες διαφορετικών ειδών και κρατήθηκαν στο εργαστήριο υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Οι dragline ίνες τυλίγονταν χειρονακτικά καθώς οι αράχνες κρέμονταν ελεύθερα στο κενό. Τα ακόλουθα είδη επιλέχθηκαν: *A. diadematus*, *A. quadratus*, *A. Marmoreus* και *N. Clavipes*. Από κάθε δείγμα ετοιμάστηκαν και εξετάστηκαν είκοσι πέντε ίνες. Για τις ίνες του *N. Clavipes*, εξετάστηκαν πενήντα ίνες, εξαιτίας της υψηλής γραμμικής τους πυκνότητας. Αυτές οι ίνες τυλίχθηκαν με ελεγχόμενη ταχύτητα 6,5 cm/s με ένα πατεντάδικο μηχανισμό τύλιξης.

Όλα τα δείγματα κρατήθηκαν σε εργαστηριακές συνθήκες σε θερμοκρασία 20 +/- 2 °C και σε σχετική υγρασία 65 +/- 2 % για 24 ώρες πριν την εξέταση.



Σχήμα 2.5 Καμπύλη τάσης – επιμήκυνσης του *B. Mori* και του *A. pernyi*.

Όλες οι καμπύλες τάσης – επιμήκυνσης ξεκίνησαν με μια ελαστική συμπεριφορά. Για το dragline του *Araneus* αυτή η περιοχή ακολουθήθηκε από μια πλαστική συμπεριφορά και τέλος με την σταθερή επιμήκυνση όπου η τάση αυξάνεται πάλι γραμμικά με την επιμήκυνση. Παρόλα αυτά το μετάξι του σάκου αυγών της αράχνης παρουσιάζει μια περιοχή πλαστικής – σκλήρυνσης που είναι τελείως επίπεδη. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι το dragline μετάξι του *N. clavipes* δείχνει μια διαφορετική συμπεριφορά. Η αρχική ελαστική συμπεριφορά εκτείνεται σε υψηλές τιμές επιμήκυνσης και ακολουθείται από την σκλήρυνση της επιμήκυνσης. Έτσι η πλαστική περιοχή οριοθετείτε.

2.7 ΠΟΡΙΣΜΑΤΑ

Πρώτα από όλα, πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές που καταμετρήθηκαν υποδηλώνουν ένα ευρύ πειραματικό φάσμα το οποίο μπορεί να αποδοθεί εν μέρει στην ενδογενή μεταβλητότητα των βιολογικών υλικών. Σε αντίθεση με τον συντελεστή ελαστικότητας, ο οποίος είναι σημαντικά επηρεασμένος από τον μοριακό προσανατολισμό και την μορφολογία του δείγματος, η θραύση της ίνας αντιπροσωπεύει την απόκριση του πιο αδύναμου κομματιού της ίνας και επιπλέον δείχνει μια μεταβλητή συμπεριφορά με υψηλή ευαισθησία να μεταπηδά στην κατασκευή. Μια άμεση συνέπεια από αυτό είναι όταν ένας αριθμός δειγμάτων της ίδιας ίνας εξετάζεται για την συμπεριφορά τους ως προς την τάση – επιμήκυνση, ο συντελεστής ποικίλει μεταξύ στενών ορίων ενώ η τάση θραύσης και το σημείο

θραύσης κατά την επιμήκυνση δείχνουν σημαντική απόκλιση, ειδικά στις φυσικές ίνες. Αυτή η μεταβλητότητα παροξύνεται στην περίπτωση του κυστοειδή μεταξιού της αράχνης. Υπαινίσσεται ότι οι πειραματικές δυσκολίες στο να μετρηθεί η λεπτότητα με τις εφελκυστικές ιδιότητες συγχρόνως, παίζει τον ρόλο του. Στην περίπτωση του μεταξιού του σάκου αυγών, αυτή η μεταβλητότητα μπορεί εν μέρει να προέρχεται εξαιτίας της μεθόδου προετοιμασίας. Απαιτούμενος εφελκυσμός για την μετακίνηση των ινών από τον σάκο αυγών, και έτσι ο βαθμός της μόνιμης τάσης που δίνεται, είναι δύσκολο να ελεγχθεί. Περαιτέρω έρευνα στις ελαστικο – ιξώδες ιδιότητες, όπως ελαστική ανάκτηση, μπορεί να αποκαλύψει την επίδραση που έχει η διαδικασία της προετοιμασίας.

Επιπλέον, μπορεί να συμπεραθεί ότι δεν υπάρχει μόνο μεγάλη απόκλιση μέσα σε ίδιους μεμονωμένους σάκους αυγών αλλά επίσης μέσα σε διαφορετικές μονάδες του ίδιου είδους.

Επίσης, η μεταβλητότητα φαίνεται πολύ χαμηλότερη για το μετάξι του σάκου αυγού από το κυστοειδή μετάξι εάν κοιτάξουμε την τάση θραύσης και τον αρχικό συντελεστή. Σχετικά με την τάση θραύσης αυτό συμβαίνει πιθανόν εξαιτίας του χαρακτηριστικά τελείως οριζόντιου σχήματος του σημείο διαροής ή της περιοχής σκλήρυνσης στην καμπύλη τάσης – επιμήκυνσης. Από την άλλη πλευρά, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι για το κυστοειδή μετάξι, η γραμμική πυκνότητα δεν καθορίζεται ταυτόχρονα με τις ιδιότητες του εφελκυσμού αλλά βασίζεται σε ένα μέσο όρο τιμής διαμέτρου μετρημένη με μικροσκόπιο. Για το μετάξι του σάκου αυγών, η μεταβλητότητα στις καμπύλες δύναμης – επιμήκυνσης είναι πολύ υψηλότερη από την μεταβλητότητα στην καμπύλη τάσης – επιμήκυνσης. Οι περιορισμοί του δυναμόμετρου καθιστούν δύσκολο να επαληθεύσουμε αυτήν την παρατήρηση.

Η διαφορετική συμπεριφορά τάσης-επιμήκυνσης προέρχεται εξαιτίας της διαφορετικής σύνθεσης αμινοξέων του κυστοειδή και του μεταξιού του σάκου αυγών, αφού το κυστοειδή αποτελείται κυρίως από σερικίνη και αλανίνη. Αφού η γλυκίνη είναι το απλούστερο αμινοξέο ενώ η σερικίνη είναι ένα αμινοξέο με περισσότερο ογκώδης και υδρόφιλη πλευρά της ομάδας $-CH_2OH$, η διαφορά στην δύναμη εν μέρει μπορεί να συμβολιστεί σε μια πιο στερεή κατασκευή που μπορεί να χτιστεί με γλυκίνη, προκύπτει μια κατασκευή περισσότερο ανθεκτική στο φορτίο [1].

Σχετικά με τις απόλυτες τιμές για την δύναμη και την επιμήκυνση για τις ίνες του σάκου αυγών, θα μπορούσε να σημειωθεί ότι η μέθοδος του πειράματος και οι παράμετροι δεν ήταν ίδια. Στις χαμηλές ταχύτητες δοκιμασίας (<20 mm/min), η χαμηλότερη αντοχή, το χαμηλότερο έργο θραύσης και η χαμηλότερη ακαμψία

παρατηρούνται από ότι στις υψηλές ταχύτητες. Έτσι, είναι δύσκολο να αξιολογηθούν πιθανές διαφορές. Βρέθηκε για το *A. gemmoides* το βασικό κυστοειδή μετάξι τελικό σημείο θραύσης περίπου $23 \pm 5\%$ με τελική τάση $4,7 \pm 0,5 \times \text{GPa}$ και για το μετάξι του σάκου αυγού περίπου $19 \pm 2\%$ με τελική τάση $2,3 + 0,2 \times 10^9 \text{ GPa}$. Όσον αφορά την επιμήκυνση, βρέθηκαν περισσότερο υψηλές τιμές (30% για το MA μετάξι και 31% για το μετάξι του σάκου αυγών), με μεγαλύτερη μεταβλητότητα πιθανόν εξαιτίας των περισσότερων αριθμών πειραμάτων που έγιναν. Ωστόσο, άλλες δημοσιευμένες πληροφορίες σχετικά με το MA *Agapeus* μετάξι αναφέρουν ένα σημείο θραύσης κατά την επιμήκυνση 27%, το οποίο κάνει τις πληροφορίες μας για την επιμήκυνση πιο αποδεκτές.

Ο αρχικός συντελεστής είναι ένα τυπικό χαρακτηριστικό για τις ίνες, και είναι εξαρτώμενο από την μικροκατασκευή της ίνας με ιδιαίτερη αναφορά στις μοριακές αλυσίδες καθώς επίσης και στους δευτερεύοντες δεσμούς μεταξύ των αλυσίδων. Πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι όταν το μετάξι της αράχνης είναι μια ελαστικοξώδης ίνα, τα εφελκυστικά του χαρακτηριστικά μπορεί να εξαρτώνται από τις παραμέτρους του πειράματος. Η ανάλυση της *denny* για την εξάρτηση της τιμής της επιμήκυνσης του MA μεταξίου, καταδεικνύει ότι η αρχική ακαμψία αυξάνεται από 9,8 σε 20,5 GPa εάν αυξήσουμε το ποσοστό επιμήκυνσης από $0,0005 \text{ s}^{-1}$ σε $0,024 \text{ s}^{-1}$. Αυτό μπορεί επίσης να εξηγήσει τη διαφορά στις παρατηρηθείς ιδιότητες του εφελκυσμού του κυστοειδή νήματος σε σύγκριση με τα δεδομένα της βιβλιογραφίας.

2.8Η ΣΥΜΠΗΚΤΗ-ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΜΕΤΑΞΙΟΥ

2.8.1 Εισαγωγή

Όταν ένα υλικό επεκτείνεται από μια εφαρμοσμένη δύναμη υπάρχει εκτός από το ελαστικό συστατικό ένα επιπλέον συστατικό του οποίου η δράση αντιτάσσει την εφαρμοσμένη δύναμη αλλά το μέγεθος του οποίου εξαρτάται από την ταχύτητα επέκτασης. Αυτό το δεύτερο συστατικό αποσυντίθεται σχετικά αργά με τον χρόνο. Όταν η εφαρμοσμένη δύναμη αφαιρείται στη συνέχεια, το ίδιο συστατικό ενεργεί επίσης για να αντισταθεί στις εσωτερικές ελαστικές δυνάμεις που επιφέρουν την συστολή. Αυτή η χρονική εξάρτηση των πολυμερών σωμάτων είναι επίσης υποδειγμένη ως σύμπηκτη-ελαστική.

2.8.2 Η ΣΥΜΠΗΚΤΗ-ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΙΝΩΝ

Στην υποβολή σε ένα φορτίο εφελκυσμού, τα μόρια στην άμορφη φάση της ίνας επεκτείνονται από την απελευθέρωση των δομικών στοιχείων, της θραύσης των μοριακών δεσμών και την αποκατάσταση των τμημάτων αλυσίδων μέσω της περιστροφής γύρω από τους απλούς δεσμούς στην κύρια αλυσίδα. Κατά συνέπεια, το σύστημα μετακινείται προς μια χαμηλή κατάσταση εντροπίας που θα επιθυμούσε να επανέλθει στη αρχική του κατάσταση για να μεγιστοποιήσει την εντροπία. Αυτό παράγει μια πίεση που στην αφαίρεση του φορτίου, οδηγεί στην αποκατάσταση από τον ερπυσμό. Η κατευθυντήρια δύναμη για την αποκατάσταση σε ένα διασυνδεδεμένο ελαστικό είναι επίσης εντροπική. Στις προσανατολισμένες, ημικρυστάλλινες ίνες, οι κρυσταλλίτες ενεργούν επίσης ως διασυνδέσεις και διαδραματίζουν έναν παρόμοιο ρόλο όπως οι χημικές διασυνδέσεις κάνουν για τα ελαφριά διασυνδεδεμένα ελαστικά. Αποδείχθηκε νωρίτερα ότι σε μια υφαντική ίνα, ένα μεμονωμένο μόριο μπορεί να περάσει μέσω διάφορων κρυστάλλινων και άμορφων περιοχών. Αυτές οι δυο φάσεις ενεργούν διαδοχικά και προωθούν την ανάκτηση. Η ανάκτηση βοηθιείται επίσης από τους δευτεροβάθμιους δεσμούς σθένους, τις εμπλοκές και τους κρυσταλλίτες. Η μόνιμη παραμόρφωση ή ο δευτεροβάθμιος ερπυσμός εμφανίζεται κυρίως εξαιτίας της αμετάκλητης ροής των πολυμερών αλυσίδων.

Η σύμπηκτη-ελαστική φύση των ινών οδηγεί επίσης στα χρονικά εξαρτημένα φαινόμενα όπως η χαλάρωση και ο ερπυσμός της εφελκυστικής τάσης στην ίνα όταν παραμένει κάτω από την σταθερή τάση. Η χαλάρωση της τάσης και του ερπυσμού εξαρτώνται κατά ένα μεγάλο μέρος από την αρχική τάση και το επίπεδο καταπόνησης που εφαρμόζεται στις ίνες. Η συμπεριφορά του ερπυσμού παρέχει επίσης κάποιες έμμεσες πληροφορίες για την μορφολογία των ινών. Το μετάξι αραχνών παριέχει ένα μικρό ποσό cystein δεσμών οι οποίοι παρέχουν κάποια διασύνδεση. Το αραχνο-μετάξι έχει εκτενή σύνδεση υδρογόνου.

2.8.3 Η ΣΥΜΠΗΚΤΗ-ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΜΕΤΑΞΙΟΥ

Και η σύμπηκτη-ελαστικότητα και η αμετάκλητη παραμόρφωση συμβάλλουν για την μεγάλη υστέρηση περισσότερο από το 50% που παρουσιάζεται από τις ίνες μεταξιού κατά την διάρκεια των κύκλων επιμήκυνσης και ανάκτησης και είναι υπεύθυνα για την μεγάλη ενέργεια διάλυσης αυτών των ινών. Η υστέρηση πιθανώς παράγεται από τις δυνάμεις τριβής μεταξύ των τμημάτων των πρωτεϊνικών αλυσίδων.

Η τιμή υστέρησης υπολογίζεται ως η αναλογία της ενέργειας που διαλύεται προς την ενέργεια που απορροφάται και έτσι είναι ίση με 100% μείον την τιμή της ανθεκτικότητας [1].

Ο Shao και ο Vollrath εκτέλεσαν κύκλους φόρτωσης-εκφόρτωσης σε διαφορετικά μετάξια αραχνών, του MA diadematus και του A. diadematus. Η ελαστική ανάκτηση των τεσσάρων μεταξιών MA ήταν 80-90%, αφού είχαν καταπονηθεί περίπου 70% στο σημείο θραύσης της επιμήκυνσης.

Ο Shao και ο Vollrath προβλέπουν ότι τα μετάξια, όταν για πρώτη φορά ενταθούν λαμβάνουν ενέργεια επειδή οι μοριακές αλυσίδες επανακατευθύνονται και γλιστρούν η μια πάνω στην άλλη όταν σπάσουν οι δεσμοί υδρογόνου.

Μετά την διαδικασία σκλήρυνσης με κόλλα, η μοριακή αλυσίδα σταθεροποιείται σε σταθερές διατάξεις και η τριβή μεταξύ των αλυσίδων και επανασχηματισμένων δεσμών υδρογόνου επιφέρουν μόνιμη τοποθέτηση και αποτρέπουν την πλήρη ανάκτηση κατά την χαλάρωση.

Γενικά, θα μπορούσε να συμπεραχθεί ότι η ανθεκτικότητα και η ελαστική αποκατάσταση όλων των μεταξιών δεν είναι τόσο μεγάλες. Αυτό εξηγείται από τον μεγάλο αριθμό δεσμών υδρογόνου. Καθώς η παραμόρφωση προχωράει, σπάνε οι δεσμοί υδρογόνου και νέοι δεσμοί σχηματίζονται.

Είναι σαφές ότι η σύμπληκτη-ελαστικότητα είναι περισσότερο καταφανές για το αραχνο-μετάξι του σάκου αυγών όπως και η μόνιμη επιμήκυνση αλλά έχει χαμηλότερη ανθεκτικότητα.

Ο Carmichael και άλλοι μελέτησαν την εφαρμογή του σχεδίου μετά-ύφανσης στην μικροδομή του αραχνο-μεταξιού. Διατύπωσαν ότι οι διατεταγμένες περιοχές παραμορφώνονται ως συνέπεια του σχεδίου. Οι αλυσίδες στις παραμένουσες κρυσταλλικές περιοχές, καθώς επίσης και οι αλυσίδες που άλλοτε ανήκαν στο κρυσταλλικό υλικό, γίνεται περισσότερο ευθυγραμμισμένο. Αυτές οι δομικές αλλαγές μονιμοποιούνται όταν η ίνα αφήνεται να ηρεμήσει: οι κρύσταλλοι δεν συναρμολογούνται ξανά σε στερεά μορφή, και τα μόρια συγκρατούνται από την άμεση συνεχή παρουσία του παραμένοντα κρυστάλλου. Το άμορφο υλικό επίσης ευθυγραμμίζεται αλλά οι δομικές αλλαγές είναι προσωρινές και ανακτήσιμες.

Γενικά, η ανθεκτικότητα και η ελαστική ανάκτηση των μεταξιών δεν είναι τόσο υψηλές. Αυτό εξηγείται από την υψηλή πυκνότητα της θέσης των δεσμών υδρογόνου και καθώς η παραμόρφωση προχωράει οι δεσμοί σπάνε και ανασχηματίζονται σε νέες θέσεις.

2.8.4 Η ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΞΙΟΥ

Ανεξάρτητα από το ποσοστό επιμήκυνσης, είναι επίσης γνωστό ότι το ζωζ του μήκους έχει επίδραση στις ιδιότητες του εφελκυσμού και το σημείο θραύσης των ινών.

Μια θεωρία σχετικά με την εξάρτηση της εφελκυστικής δύναμης και της επιμήκυνσης από το ζωζ του μήκους είχε αποδειχθεί πρώτα από τον Peirce.

Οι ίνες και τα νήματα σπάνε στο αδύνατοτερο σημείο τους. Θεωρείται ότι μια ίνα μπορεί να διαιρεθεί σε τμήματα ή συνδέσμους, καθένα περιλαμβάνει ένα ελάττωμα μιας ποικίλης σκληρότητας. Ως εκ τούτου η ίνα θεωρείται να έχει σπάσει εάν ένας από τους δεσμούς έχει σπάσει. Μια μεγαλύτερη ίνα μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει μεγαλύτερο αριθμό δεσμών από μια μικρότερη και συνεπώς υπάρχει μια αυξημένη πιθανότητα να συναντηθεί ένα ελάττωμα κατά μήκος της ίνας. Ως εκ τούτου οι μακρύτερες ίνες θα πρέπει κατά μέσο όρο να έχουν χαμηλότερη δύναμη από τις κοντύτερες ίνες.

2.8.5 ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗΣ

Η ανάλυση της Denny για την εξάρτηση του ποσοστού επιμήκυνσης από το MA μεταξύ απέδειξε ότι η δυσκαμψία, η δύναμη, και η δυνατότητα να επεκτείνεται και η ανθεκτικότητα αυξάνονται καθώς αυξάνεται το ποσοστό της επιμήκυνσης από 0.0005 s^{-1} σε 0.024 s^{-1} αποδεικνύοντας ότι η απόδοση του MA μεταξιού μπορεί να βελτιωθεί από την αύξηση του ποσοστού επιμήκυνσης.

Ο Elices και οι άλλοι παρατήρησαν για το αραχνο-μετάξι MA ότι το υψηλότερο ποσοστό επιμήκυνσης οδηγεί σε δύσκαμπτη ανταπόκριση και σε μια αύξηση όλων των σχετικών μηχανικών παραμέτρων: ο αρχικός συντελεστής της ελαστικότητας αυξάνεται κατά 14%, και η απόδοση της τάσης, η αντοχή στον εφελκυσμό, και το σημείο θραύσης κατά την επιμήκυνση αυξάνεται σημαντικά.

Ο Zhang και ο Wang επέμειναν ότι η αντοχή στον εφελκυσμό των visco-elastic ινών αυξάνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό επιμήκυνσης λόγω του μειούμενου χρονικού διαστήματος που απαιτείται για να σπάσουν οι ίνες.

2.8.6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΤΑΣΗΣ- ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΑΡΑΧΝΟ-ΜΕΤΑΞΙ

Για να αξιολογηθεί το γενικό αποτέλεσμα της ταχύτητας και του ζωζ του μήκους στις καμπύλες τάσης-επιμήκυνσης, οι μεμονωμένες καμπύλες κάθε σάκου αυγού, κάθε ταχύτητας και κάθε ζωζ μήκους προσομειώθηκαν με πρότυπο SLS.

Για τους περισσότερους σάκους αυγών, η απόδοση της ταχύτητας φαίνεται να μειώνεται με μεγαλύτερα ζωζ μήκους. Είναι επίσης σαφές από προσομειωμένα διαγράμματα ότι το επίπεδο της περιοχής σκλήρυνσης και επίσης το σημείο θραύσης της τάσης αυξάνονται με το ποσοστό της επιμήκυνσης.

Η συσχέτιση του συντελεστή φαίνεται να αυξάνεται με την μείωση του ζωζ μήκους και την μείωση του ποσοστού επιμήκυνσης. Εξετάζοντας τις καμπύλες τάσης- επιμήκυνσης σημειώθηκε ότι το σχήμα της καμπύλης τάσης-επιμήκυνσης αλλάζει στην περιοχή απόδοσης. Αυτή η αλλαγή θεωρείται ότι ευθύνεται για την μείωση του συντελεστή.

2.8.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΖΩΖ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ

- Η επιμήκυνση μειώνεται
- Το έργο θραύσης μειώνεται
- Η αντοχή μειώνεται
- αρχικός συντελεστής αυξάνεται

Κάποια από αυτά τα αποτελέσματα ήταν αναμενόμενα βάσει της θεωρία του αδύνατου συνδέσμου. Οσο μεγαλύτερο είναι το πειραματικό μήκος, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να περιλαμβάνεται η αδύναμη περιοχή, με αποτέλεσμα η ίνα να σπάσει δυσκολότερα οδηγώντας σε χαμηλότερη τιμή επιμήκυνσης, σε χαμηλότερη τιμή δύναμης, και σε χαμηλότερη τιμή του έργου θραύσης.

Είναι πιθανό ότι η διαφορά ανάμεσα 20 και 30 cm δεν είναι αρκετά υψηλή για να δημιουργήσει καμία διαφορά.

2.8.8. ΜΕΡΙΚΑ ΕΚΠΛΗΚΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όταν το ποσοστό επιμήκυνσης αυξάνεται από 50%/min σε 200%/min τότε:

- ✓ η επιμήκυνση μειώνεται αργά
- ✓ το έργο θραύσης αυξάνεται σημαντικά
- ✓ ο αρχικός συντελεστής αυξάνεται
- ✓ ο σταθερός συντελεστής μειώνεται

2.9 ΤΟ ΚΥΣΤΟΕΙΔΕΣ ΑΡΑΧΝΟ-ΜΕΤΑΞΙ

Για το κυστοειδή μετάξι, καμία σημαντική στατιστικά επίδραση της ταχύτητας βρέθηκε για το σημείο θραύσης της επιμήκυνσης, την θραύση της δύναμης και του σταθερού συντελεστή (10-25%). Μόνο για τον αρχικό συντελεστή, η τιμή για την ταχύτητα 5mm/min είναι σημαντικά υψηλότερη από ότι για τις ταχύτητες 20 και 40 mm/min, η οποία δεν είναι σύμφωνη με το αποτέλεσμα για το μετάξι του σάκου αυγών. Περιληπτικά μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η επίδραση της ταχύτητας είναι λιγότερη καταφανής για το κυστοειδή μετάξι από ότι για το μετάξι του σάκου αυγών.

Από μια πιο λεπτομερή μελέτη των καμπύλων τάσης-επιμήκυνσης παρατηρήθηκαν διαφορετικά σχήματα καμπύλων. Η καμπύλη τύπος 1 στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ενδεικτική, μερικές φορές παρατηρούνται δυο ομάδες με διαφορετική αρχική κλίση. Η καμπύλη τύπος 2 είναι χαρακτηριστική για το σάκο αυγού του αραχνο-μεταξιού. Η καμπύλη τύπος 3 είναι σχεδόν γραμμική, αλλά συναντιέται σπάνια. Ο λόγος για αυτούς τους διαφορετικούς τύπους καμπύλων δεν είναι ακόμα σαφές:

1. Μεμονωμένα ινίδια έχουν διαφορετικές ιδιότητες.

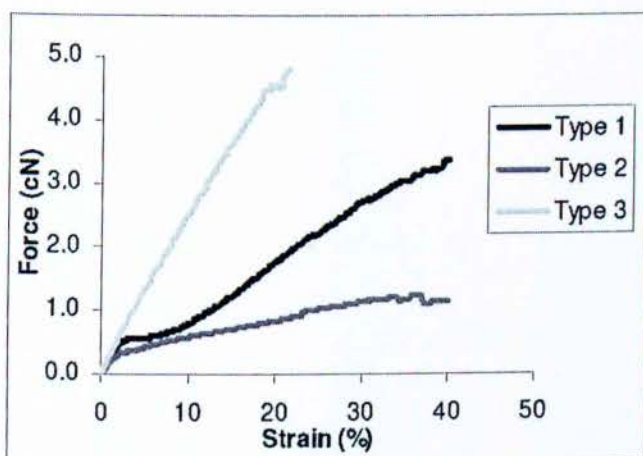
Η καμπύλη τύπος 2 είναι πιθανόν να παρουσιάσει την συμπεριφορά τάσης-επιμήκυνσης του δευτερεύοντος κυστοειδή μεταξιού αντί του βασικού κυστοειδή μεταξιού,

2. Το χειρωνακτικό τύλιγμα μεταξιού στις ανεξέλεγκτες ταχύτητες και τάσεις δημιουργεί διαφορετικές ιδιότητες,

3. Μερικά νήματα αφαιρέθηκαν από άλλους αδένες της αράχνης πέρα από τον βασικό ακρωτηριασμένο αδένα που κρύβει το μετάξι,

4. Κάποια ινίδια αφαιρέθηκαν δύσκολα στη διαδικασία της προετοιμασίας πριν το πείραμα,
5. Ινίδια με ευμετάβλητη τάση τραυματίζονται στην λαβή κατά την διάρκεια καθορισμένου χρόνου, το οποίο θα μπορούσε να δημιουργήσει μερικές αλλαγές στις δομές.

Το 2005, ο Garb και ο Hayashi εξήγησαν ότι κυρίαρχα μορφολογικά διαφορετικοί αδένες μεταξιού εκφράζουν ένα τύπο φιμπροίνης, αλλά επίσης μπορούν να εκφράζουν μικρότερες ποσότητες φιμπροίνης εάν αρχικά συντεθεί από άλλους αδένες μεταξιού. Βρήκαν ότι μερικά γονίδια εκφράζονταν και με ελικοειδή και με σωλήνομορφους αδένες.



Σχήμα 2.6 Διάφοροι τύποι καμπύλων τάσης-επιμήκυνσης του αραχνομεταξιού

2.10 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Παρατηρώντας τις συνέπειες της δοκιμής της ταχύτητας για τον σάκο αυγών του αραχνο-μεταξιού, αποδείχθηκε ότι σε χαμηλές πειραματικές ταχύτητες, η ανθεκτικότητα και η ακαμψία θα είναι χαμηλότερες, ενώ ο post συντελεστής θα είναι υψηλότερος από ότι σε υψηλές πειραματικές ταχύτητες. Ένα είδος σημείου θραύσης εκδηλώνεται στην πειραματική ταχύτητα των 20mm/min. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι σε χαμηλότερες ταχύτητες η καθορισμένη ποσότητα της πλαστικής ή της μη ανακτημένης παραμόρφωσης λαμβάνει χώρα κατά την διάρκεια της ώρας του πειράματος, εξαιτίας των αλλαγών στη δομή, η οποία είναι αδιάφορη σε υψηλές πειραματικές ταχύτητες.

Όταν η καμπύλη τάσης-επιμήκυνσης του σάκου αυγού προσομοιώνεται μέσω του πρότυπου του γραμμικού στερεού, οι υψηλότερες πειραματικές ταχύτητες έχουν σαν

αποτέλεσμα το υψηλότερο επίπεδο της περιοχής σκλήρυνσης, την κίνηση μιας αποδοτικής περιοχής σε υψηλότερες τιμές επιμήκυνσης και την οριζόντια συμπεριφορά της περιοχής σκλήρυνσης.

Η ταχύτητα των 20mm/min μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σημείο κορεσμού: σε μεγαλύτερες ταχύτητες η επίδραση της ταχύτητας μειώνεται.

Η επίδραση της πειραματικής ταχύτητας για το μετάξι ήταν σαφώς λιγότερο έντονη από ότι για το αραχνο-μετάξι του σάκου αυγών. Εντούτοις, πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι παρατηρήθηκαν διαφορετικά σχήματα των καμπύλων τάσης-επιμήκυνσης για κάθε μετάξι, πιθανώς εξαιτίας της διαδικασίας νηματοποίησης ή της διαδικασίας προετοιμασίας πριν το πείραμα [1].

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

“ΤΟ ΕΥΡΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΞΙΟΥ”

3.1 ΤΕΧΝΗΤΟ ΜΕΤΑΞΙ ΑΡΑΧΝΩΝ

Αρκετές ερευνητικές ομάδες συναγωνίζονται να κλωστοποιήσουν το πρώτο τεχνητό μετάξι αραχνών, ένα κατόρθωμα που απαιτεί τρίμορφη προσέγγιση. Θα πρέπει λοιπόν να καθοριστεί η μοριακή αρχιτεκτονική της ίνας, να γίνουν κατανοητά τα γονίδια που παράγουν τις πρωτεΐνες μεταξιού και να αναπτυχθεί η τεχνική κλωστοποίησης της πρώτης ύλης.

Οι περισσότεροι ερευνητές χρησιμοποιούν την ανασυνδυαζόμενη DNA τεχνολογία για να δημιουργήσουν ένα συνθετικό υλικό ανάλογο του μεταξιού αράχνης. Τα τεχνητά γονίδια παρεμβάλλονται έπειτα στην ζύμη και τα βακτηρίδια και έτσι η πρωτεΐνη παράγεται ανάλογα.

Στην συνέχεια το βιομετάξι διαλύεται σε κατάλληλο διαλυτικό και η πρωτεΐνη μετατρέπεται σε ίνες χρησιμοποιώντας τεχνικές νηματοποίησης παρόμοιες με εκείνες της αράχνης. Διάφορα διπλώματα ευρεσιτεχνίας έχουν παραχωρηθεί για τις γενετικά τροποποιημένες πρωτεΐνες μεταξιού αραχνών (όπως της εταιρείας Du Pont, του πανεπιστημίου του Wyoming, του αμερικανικού στρατού, κ.τ.λ).

Σε μερικά χρόνια η Αμερικανική Χημική επιχείρηση Du Pont πιστεύει ότι θα εμφανιστούν στην αγορά μια υπερανθεκτική, ελαστική, άνετη, και φιλική ίνα βασισμένη στις ιδιότητες του ιστού της αράχνης. Η επιχείρηση υπολογίζει να έχει μαζική παραγωγή σε 10 χρόνια με υψηλό κόστος. Η νέα ίνα εντούτοις θα είναι μισή σε μέγεθος αλλά διπλάσιας αντοχής συγκριτικά με την ίνα Kevlar. Επιπροσθέτως της ζύμης και των βακτηριδίων, τα φυτά θα μπορούσαν να εξυπηρετήσουν προσφέροντας το κατάλληλο περιβάλλον για την ανάπτυξη των τεχνητών γονιδίων. Ελπίζεται ότι ένα εύρωστο φυτό θα μπορεί να αναπαριστά ένα γονίδιο μεταξιού, έτσι ώστε οι πρωτεΐνες μεταξιού να μπορούν να συγκομιστούν σε υπερμεγέθους ποσότητες, να υποβληθούν σε ένα υγρό πολυμερές σώμα, και να νηματοποιηθούν στα εργοστάσια. Τα δυο τελευταία χρόνια, οι επιστήμονες στο Γερμανικό Ινστιτούτο Γενετικής Φυτών στο Gatersleber, έχουν εισάγει τα γονίδια αραχνών στα φυτά της πατάτας και του καπνού, και έχουν πετύχει την παραγωγή και την συγκομιδή της πρωτεΐνης μεταξιού. Κατά συνέπεια προβλέπουν ότι μπορούν να καταστήσουν το βιομηχανικό μετάξι αραχνών οικονομικά εφικτό μέσα σε 5-7 έτη.

Επωφελούμενοι από τις ανατομικές ομοιότητες μεταξύ των αδένων μεταξιού αραχνών και των μαστοφόρων αδένων, η βιοτεχνολογική εταιρεία Nexia A.E στο Μόντρεαλ, στον Καναδά, έχει αναπτύξει τις γενετικά τροποποιημένες αίγες το γάλα των οποίων περιέχει τις διαλυμένες πρωτεΐνες μεταξιού αραχνών. Οι εξαγόμενες πρωτεΐνες μεταξιού αραχνών έλαβαν το όνομα Biosteel. Πρόσφατα, η εταιρεία Nexia έχει αποφασίσει να επικεντρώσει εκ νέου την ανάπτυξη ινών προς την βιοπολύμερή πώληση και ειδικά στην νανοκλίμακα των εφαρμογών της ίνας για το μετάξι αραχνών και μακριά από τις παραδοσιακές ίνες και νήματα. Αυτή η απόφαση παρακινήθηκε από το αναδυόμενο ενδιαφέρον στις νανοίνες και από τις τρέχουσες τεχνικές προκλήσεις της παραγωγής όγκου των ανταγωνιστικών ινών μεταξιού αραχνών με τις ανώτερες μηχανικές ιδιότητες, και ειδικά την δύναμη. Επίσης η ίδια εταιρεία έχει αναστείλει την μεταφορά της νηματοποίησης των μικροταξινομημένων ινών με Acordis SF και σταμάτησε την προσπάθεια νηματοποίησης του. Η νηματοποίηση των BioSteel πρωτεϊνών στις νανομετρικές διαμέτρου ίνες, έχει επιτευχθεί και Nexia καθορίζει τώρα τις προδιαγραφές προϊόντων ειδικά για τις ιατρικές και μικροηλεκτρονικές εφαρμογές.

Ερευνητές της κινεζικής ακαδημίας του ιδρύματος της Σαγγάης για τον τομέα της βιοχημείας εμφύτευσαν επιτυχώς το γονίδιο που καθιστά το μετάξι των αραχνών παχύρρευστο στα γονιμοποιημένα αυγά των μεταξοσκωλήκων. Αυτός ο τρόπος ελπίζουν να είναι σε θέση να παράγει μαζικά το δυνατό μετάξι της αράχνης.

Παρόλο που γονίδια μεταξιού αράχνης έχουν τοποθετηθεί διαδοχικά σε βακτηρίδια, σε ζώα, και σε φυτά, το συνθετικό μετάξι δεν είναι ακόμα ένα μαζικό παραγόμενο υψηλής αντοχής τεχνολογικό υλικό. Οι πρωτεΐνες μεταξιού της αράχνης είναι διαθέσιμες, αλλά το πρόβλημα παραμένει στο σχηματισμό από διαλυτή σε στερεά ίνα. Αν και διαφορετικού είδους μέθοδοι έχουν δοκιμαστεί για να νηματοποιήσουν τις πρωτεΐνες του μεταξιού τεχνητά, οι ίνες στερούνται αντοχής. Διάφοροι ερευνητές υποστηρίζουν ότι έχουν πετύχει την παραγωγή του τεχνητού μεταξιού της αράχνης σε εργαστηριακό επίπεδο, αλλά η περαιτέρω επέκταση σε βιομηχανικής κλίμακας παραγωγή φαίνεται να είναι το πρόβλημα [11].

3.2 ΧΡΗΣΕΙΣ

Οι ίνες μεταξιού αραχνών έχουν χρησιμοποιηθεί από καιρό στη οπτική βιομηχανία ως γραμμές διασταύρωσης σε ποικίλα όργανα της αστρονομίας και της τοπογράφησης όπως τα τηλεσκόπια και τα μικροσκόπια. Η χρησιμότητα τους ως γραμμές διασταύρωσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η λεπτότητα, η ομοιομορφία, η δύναμη, και η ικανότητα τους να αντισταθούν στις αλλαγές της

υγρασίας και της θερμοκρασίας. Μόνο μερικές αράχνες έχουν βρεθεί των οποίων το μετάξι καλύπτει τις άκαμπτες απαιτήσεις.

Λόγω των ανώτατων ιδιοτήτων τους, τα τελευταία 20 χρόνια, καταβλήθηκαν πολλές προσπάθειες να παράγουν τεχνητό μετάξι αραχνών. Οι ερευνητές προάγουν τώρα τρόπους να παράγουν το κυστοειδές μετάξι σε επαρκείς ποσότητες για εφαρμογές όπως αλεξίσφαιρες φανέλες, ευαίσθητα σύνθετα συστήματα, σκοινιά αλεξίπτωτων, χειρουργικές συρραφές και αντικαταστάσεις συνδέσμων. Η βιοσυμβατότητα και οι μηχανικές ιδιότητες του μεταξιού αραχνών, προσφέρονται για ραφή, για μηχανισμούς προσθετικούς, για τένοντες και για δοχεία αίματος.

3.3 ΟΦΕΛΗ

Το μετάξι αραχνών προσφέρει βελτίωση πέρα από τα καθιερωμένα υλικά όχι μόνο λόγω της δύναμης τους αλλά και για περιβαλλοντικούς λόγους. Το μετάξι δημιουργείται εξ ολοκλήρου από πρωτεΐνες, έτσι είναι βιοδιασπάσιμο, και κλωστοποιείται σε μια φιλική προς το περιβάλλον διαδικασία σε περιβαλλοντικές θερμοκρασίες και πιέσεις, από ένα διάλυμα που βασίζεται στο νερό. Άλλες συνθετικές υψηλής απόδοσης ίνες βασίζονται σε πετρελαιοειδή διαλύματα και δημιουργούνται με μια διαδικασία που απαιτεί χρήση επικίνδυνων χημικών.

3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Οι άνθρωποι γνώριζαν τις εξαιρετικές ιδιότητες του αραχνο-μεταξιού για αρκετό καιρό, όμως υπήρχαν ελάχιστες εφαρμογές. Η συμπεριφορά των αραχνών στον ζωτικό τους χώρο δεν τις δίνει τη δυνατότητα να λειτουργήσουν όπως οι μεταξοσκώληκες. Σήμερα, με τις προηγμένες τεχνικές απεικόνισης, την αλληλουχία των γονιδίων και την τεχνολογία εφαρμοσμένης μηχανικής, γνωρίζουμε πως η αράχνη δημιουργεί μετάξι και από τι αποτελείται το μετάξι. Η τεχνολογία μπορεί επίσης να προσφέρει την πιθανότητα να αναδημιουργηθεί το μετάξι αραχνών στο εργαστήριο σε αρκετά μεγάλες ποσότητες για την βιομηχανική χρήση.

Αν και δεν υπάρχει αυτή την περίοδο αρκετό μετάξι αραχνών διαθέσιμο να δημιουργηθεί οτιδήποτε εξ ολοκλήρου από αυτό ακόμα, αυτό δεν έχει σταματήσει τους ανθρώπους να φιλοδοξούν τις πιθανότητες να το επιτύχουν. Το μετάξι αραχνών θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στον ιατρικό τομέα για χειρουργικές συρραφές και τεχνητούς συνδέσμους και τένοντες. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί επίσης για το σώμα τεθωρακισμένων, σχοινιά και δίχτυα, φακούς επαφής

διαπερατούς στο οξυγόνο, τις μεμβράνες βιολογικών υλικών, τα σχοινιά αλεξίπτωτων και ακόμα ιμάντες για αεροπλάνα στις αερομεταφορές.

Για να εξεταστεί η δυνατότητα χρήσης του αραχο-μεταξιού για τις χειρουργικές συρραφές, το μετάξι εμφυτεύτηκε υποδόρια σε χοίρους. Μέσα σε δυο εβδομάδες όλες οι περιοχές της πληγής θεραπεύτηκαν ικανοποιητικά, και λίγοι παρουσίασαν κάποια φλεγμονή. Φαίνεται ότι το μετάξι δεν προκαλεί οποιοδήποτε είδος βίαιης αντίδρασης όταν εμφυτεύεται σε άλλους ιστούς.

3.5 ΤΟ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ ΤΟΥ ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΟΥ ΣΤΡΑΤΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΑΡΑΧΝΟ-ΜΕΤΑΞΙ

Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον του αμερικανικού στρατού είναι να το χρησιμοποιήσουν ως υλικό για αλεξίσφαιρες φανέλες, τεθωρακισμένα και για σχοινιά.

Στο πανεπιστήμιο του Santa Barbara, η εστίαση είναι η βασική έρευνα της μάθησης πως η πρωτεΐνη αναδιπλώνεται και πως διοργανώνεται στην ίνα του μεταξιού. Χρησιμοποιώντας τη ατομική δύναμη μικροσκόπησης και έναν μοριακό εξολκέα, οι ερευνητές παίρνουν ενδείξεις από την απεικόνιση και εξάγουν την πρωτεΐνη. Αυτές οι παρατηρήσεις βοηθούν τους ερευνητές να κατανοήσουν τι συμβαίνει στον αδένα του μεταξιού όταν οι πρωτεΐνες του μεταξιού συγκεντρώνονται στις ίνες του μεταξιού.

Διαπίστωσαν ότι όταν η πρωτεΐνη ξεδιπλώνεται είναι διαμόρφωμένη. Έχει δεσμούς που ανοίγουν, και στην συνέχεια ανασχηματίζεται το φορτίο όταν ανυψώνεται. Αυτό ακολουθεί ένα πρότυπο που έχει βρεθεί σε άλλες πρωτεΐνες που φέρουν φορτίο.

Το μετάξι αραχνών είναι ένα σύνθετο υλικό που είναι ασυνήθιστα συγκρίσιμο με άλλες πρωτεΐνες που φέρουν φορτίο που έχουν μελετηθεί.

3.6 ΤΟ ΜΕΤΑΞΙ ΑΡΑΧΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΥΦΑΝΤΟΥΡΓΙΑ

Τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει μια επανεμφάνιση του μεταξιού, και ειδικά του μεταξιού της αράχνης. Το μετάξι των αραχνών δεν μπορεί να παραχθεί σε μεγάλες ποσότητες. Παρά την δυσκολία της εκτροφής αραχνών, ξετυλίγοντας το κυστοειδή μετάξι και αποκτώντας την μορφή του μεταξιού του σάκου αυγών, οι μηχανικές ιδιότητες αυτής της φυσικής πρωτεϊνικής ίνας δημιουργεί ένα πολλά υποσχόμενο υλικό.

Εξαιτίας της προόδου στην βιολογία των κελιών και του ιστού, ένα καινούριο πεδίο στην βιοιατρική αναζήτηση που επινοήθηκε, ονομάστηκε εφαρμοσμένη υφαντουργία. Εδώ, το μη καλλιεργημένο βιολικό είναι μια σύνθεση ζωτικών κελιών και του ιστού και ένα άψυχο δευτερεύον βιολικό. Το βιολικό αποκαθιστά

προσωρινά την λειτουργία του ιστού και τον υποβιβάζει ενώ αυτό υποστηρίζει την αποκατάσταση του πειραγμένου ιστού από τα κελιά που τον μεταφέρουν. Θα έπρεπε να έχει τις ανάλογες μηχανικές ιδιότητες, την βιοσυμβασιμότητα και το ποσοστό βιοαποικοδόμησης σύμφωνα με την βιοιατρική εφαρμογή. Με το να χρησιμοποιείται σαν μεταφορέας κελιών στην εφαρμοσμένη υφαντουργία, το υλικό θα έπρεπε να επεξεργάζεται σε ένα μακροπορώδες ικρίωμα.

Η αναζήτηση επιδίωκε να ερευνηθεί την εφικτότητα για την χρήση του μεταξιού αράχνης στην βιοιατρική και για την δημιουργία κελιών ενίσχυσης των ικριωμάτων φτιαγμένο από μετάξι αράχνης.

Πολλά είδη αραχνών συλλέχθηκαν και μεγάλωσαν στο εργαστήριο. Μέθοδοι για την πρόκληση παραγωγής σάκου αυγών και την βελτίωση τυλίγματος του κυστοειδή μεταξιού αναπτύχθηκαν για να αυξήσουν την ποσότητα των ινών του υλικού. Η μορφολογία, η διάμετρος, η δύναμη, η τάση, η γραμμική πυκνότητα, η πρωτεύον και η δευτερεύον πρωτεϊνική δομή αυτών των ινών αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν με διαφορετικά είδη και διαφορετικούς τύπους ινών.

Επειδή ένα βιολικό αποστειρώνεται πάντα πριν χρησιμοποιηθεί σε μια εγχείρηση, το αποτέλεσμα της αποστείρωσης και της UV ακτινοβολίας στις ίνες αξιολογήθηκαν από τις ιδιότητές τους στον εφελκυσμό. Η UV ακτινοβολία μείωσε σημαντικά την τάση και δημιούργησε τις αραχνοίνες του σάκου αυγών εύθραυστες, το οποίο μπορεί να εξηγηθεί από την ελαστική δομή τους. Η αποστείρωση από την αυτοδιάσπαση έβλαψε λιγότερο τις ιδιότητες των ινών, οι οποίες αιτιολογούσε την επιλογή για αυτήν την μέθοδο αποστείρωσης περισσότερο στα *vitro* και *in vivo* πειράματα.

Επιπλέον στην βιοιατρική εφαρμογή, το βιολικό θα πρέπει να είναι βιοσυμβατό και δεν μπορεί να επικαλείται μια σοβαρή απρόσβλητη αντίδραση που οδηγεί σε ολοκληρωμένη απόρριψη από το σώμα του ιστού. Αποστειρώθηκαν 5mg αραχνοίνες του σακού αυγών, εμφυτεύτηκαν κάτω από το δέρμα στην πλάτη ενός αρουραίου Wistar, από το οποίο ένα Vicryl μόσχευμα χρησιμοποιούνταν ως έλεγχος χειρισμού. Υπήρξε μια ισχυρή αντίδραση, που εκφράστηκε από πολλά λευκά αιμοσφαίρια και ινώματα έγκλειστα του εμφυτεύματος. Η αντίδραση ηρέμησε μετά από πολλές εβδομάδες από το οποίο γιγάντια κελιά, χαρακτηριστικά για μια απρόσβλητη αντίδραση σε αδρανή υλικά, εμφανίστηκαν γύρω στις ίνες. Η ισχυρή αντίδραση δεν οδήγησε σε μια ολοκληρωμένο χρόνιο απόβλητο, το οποίο επαληθεύει τις υποθέσεις ότι ένα ύφασμα ή μόλυνση στις ίνες προκάλεσε αυτή την αντίδραση και όχι οι ίνες από μόνες τους. Ένα ενζυματικό καθαριστικό με πρωτεϊνικό ένζυμο k και /ή θρυψίνη

μείωσε σημαντικά την παραγωγή granulocyte. Επίσης η εμφάνιση των μεγάλων κελιών και η θεραπευτής φιμπροΐνη ανάμεσα στις ίνες ξεκίνησαν νωρίτερα και πλουσιότερο από ότι με τις μη κλωστοποιημένες ίνες.

Τα πειράματα εφελκυσμού φανέρωσαν ότι το πρωτεϊνικό ένζυμο k έφθειρε τις ίνες πολύ σκληρά, σε αντίθεση με την θρυψίνη. Το πρωτεϊνικό ένζυμο k μπορεί να κόψει τα ελικοειδή άμορφα κομμάτια της δομής του μεταξιού και να ελαττώσει την τάση, καθώς επίσης και την ανθεκτικότητα της ίνας. Η θρυψίνη δεν βλάπτει σημαντικά τις ιδιότητες των ινών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση της βιοσυμβατότητας του μεταξιού της αράχνης του σάκου αυγών σε ένα επίπεδο συγκρίσιμο με το Vicryl.

Αυτή η βιοσυμβατότητα υποδηλώνει ήδη ότι οι ίνες του μεταξιού της αράχνης δεν είναι cytotoxic. Αλλά ως φορέας κελιών στη εφαρμοσμένη υφαντουργία η έλλειψη cytotoxicity δεν είναι αρκετό. Τα κελιά επίσης πρέπει να συνδέονται, να μεγαλώνουν και να εκφράζουν το υπερπορώδες περίβλημά τους στις ίνες. Επιπροσθέτως τα χονδροκύτταρα απομονώνονται από το χονδρό αρθρωτικό ανθρώπινο γόνατο και σπέρνεται στις ίνες του σάκου αυγών και στις κυστοειδή ίνες. Μέτα από 24 ώρες, οι ίνες λαμβάνονται και ενσωματώνονται στα ζελατινώδη οξέα. Με αυτόν τον τρόπο, μόνο τα κελιά συνδέονταν με τις ίνες που λήφθηκαν από τα ζελατινώδη οξέα. Τα κελιά μεγάλωναν κατά μήκος των ινών για μερικές εβδομάδες, τα οποία επιβεβαίωναν την ικανότητα τους ως μεταφορείς κελιών.

Η εφελκυστική αποικοδόμηση μετρίοταν σε vitro (in PBS, 37 C) σε κανονικές συνθήκες για τρεις μήνες. Το μετάξι αραχνών υποβιβάζονταν ελαφρά, σε αντίθεση με το Vicryl, του οποίου η δύναμη μειωνόταν σταδιακά και έλιωνε μετά από δύο μήνες. Αυτή η διαφορά ήταν ήδη αξιοσημείωτη κατά την διάρκεια των νίνο πειραμάτων, όπου οι αραχνοΐνες του σάκου αυγού ήταν ακόμα αβλαβείς μετά από τρεις μήνες.

Το μετάξι του σάκου αυγού χρησιμοποιούνταν για την δημιουργία πορώδων ικριωμάτων. Πρώτα δημιουργήθηκαν μικρά μη-υφάνσιμα κομμάτια μεταξιού, χωρίς να βλάπτουν τις ίνες. Επομένως, μετά τον καθαρισμό με ένα διάλυμα Bromide. Η τήξη με άφθονο νερό δίνει ένα διάλυμα μεταξιού, το οποίο μπορεί να παρασκευαστεί σε νηματίδια, υδροζελατίνη ή αφρούς. Μετά την διατήρησή τους στην κατάψυξη τα ικριώματα, με μια ελεγχόμενη πορώδη υφή και πορώδες μέγεθος μπορεί να δημιουργηθούν από την εμπότιση με αλάτι ή με αφρό. Η μορφολογία τους και η αλληλοσυνδεσιμότητα αξιολογούταν αντίστοιχα από την ανίχνευση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και ένα πείραμα μετάγγισης μελανιού.

Οι μηχανικές ιδιότητες αυτών των ικριωμάτων και η σχέση τους με την κατάσταση πόρωσης και το πορώδες μέγεθος δοκιμάστηκαν από την μέτρηση της δύναμης να συνθλίψει το ικρίωμα στο 50% της δύναμης του. Το ικρίωμα επανήλθε στην αρχική του μορφή μετά από πίεση.

Ανθρώπινα χονδροκύτταρα των άρθρωσεων απομονώνονταν και εμφυτεύονταν σε διαφορετικά μη υφάνσιμα και ικρίωματα με έμποτισμένα με αλάτι. Τα κελιά ήταν ικανά να μετακινηθούν από άκρο σε άκρο και να συνδεθούν στους πόρους. Οι μέθοδοι ανοσολογικός ιστοχημικής και κήλιδωση χρωματισμού χρησιμοποιούνταν για να αξιολογήσουν την βιωσιμότητα των κελιών και την έκφραση του κολλαγόνου I, II και aggrecan. Το κολλαγόνο II και το aggrecan ανιχνεύονταν γύρω από τα κελιά, αλλά επίσης το κολλαγόνο I, το οποίο δείχνει ότι ένα μέρος των κελιών διαφοροποιούνται ανάστροφα. Παρά την ανίχνευση του κολλαγόνου I, πολλά κελιά στους πόρους είχαν σφαιρικό χοντροκύτταρο όπως η μορφολογία του κελιού μετά από τρεις εβδομάδες της συλλογής του μεταξίου των ικριωμάτων.

Αυτή η έρευνα αποδεικνύει ότι το μετάξι της αράχνης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην βιοιατρική και μπορεί να επεξεργαστεί στα μακροπορώδης κελιά μεταφορείς τα οποία μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην εφαρμοσμένη υφαντουργία όπως για ανάπλαση αρθρώσεων.

4.1 ΜΕΤΑΞΙ ΑΡΑΧΝΩΝ, ΤΟ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥ ΑΥΡΙΟ ?

Το μετάξι αραχνών θα μπορούσε να γίνει το έξυπνο υλικό του αύριο! Τα χαρακτηριστικά του μεταξιού αράχνης θα μπορούσαν να έχουν εφαρμογή από την ιατρική έως την βαλλιστική.

Η χαρακτηριστική ανθεκτικότητα του μεταξιού αράχνης θα μπορούσε να επιτρέψει στους κατασκευαστές να βελτιώσουν τα συστήματα επούλωσης πληγών και επιδέσμων, και να παράγουν πρόσθετους συνδέσμους και τένοντες για ανθεκτικά χειρουργικά μοσχεύματα. Το μετάξι θα μπορούσε επίσης να υφανθεί σε δυνατά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα όπως δίχτυα αλιείας, αλεξίπτωτα και άλλα. Μια ολοκληρωμένη σειρά οικολογικών προϊόντων θα μπορούσε να προκύψει από την βιομηχανική παραγωγή του αραχνο-μεταξιού.

Ο Thomas Scheibel, από το χημικό τμήμα του πανεπιστημίου Munchen εξηγεί ότι σήμερα υπάρχουν πάνω από 34.000 είδη αραχνών που εξυπηρετούν συγκεκριμένους σκοπούς ανάλογα με τις μηχανικές του ιδιότητες και παρουσιάζει δυο χαρακτηριστικά παραδείγματα. Το βασικό κυστοειδή μετάξι, ένα πολύ ανθεκτικό μετάξι με εφελκυστική δύναμη συγκρίσιμη με την ίνα Kevlar, χρησιμοποιείται για το πρωτογενή μετάξι ή ως ικρίωμα του ιστού αράχνης. Το δευτερεύων κυστοειδή μετάξι με την χαμηλή του ελαστικότητα χρησιμοποιείται για ενισχυτικό του ιστού, ενώ το δυνατό και το ελαστικό μαστιγιοειδή σχηματίζει το σπιράλ παγίδευσης του πλέγματος.

Οι βιοτεχνικοί αναλύουν τις ιδιότητες των πρωτεϊνών του μεταξιού και πως αυτές συναρμολογούν τα νήματα. Γνωρίζοντας ακριβώς πως οι ίνες μεταξιού σχηματίζονται και ποιες μηχανικές ιδιότητες προκύπτουν από διαφορετικές διαδικασίες συναρμολόγησης θα μπορούσε να επιτρέψει την κατασκευή των τεχνητών αραχνο-μεταξιών με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως η υψηλή δύναμη και η βιοχημική δραστηριότητα.

Ο μελλοντικός σκοπός μπορεί να μην είναι να προετοιμάσουν πανομοιότυπα αντίγραφα των φυσικών ινών μεταξιού αλλά να συγκρατήσουν τα βασικά δομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα στα σχέδια που θα μπορούσαν να είναι χρήσιμα για τις εφαρμογές της εφαρμοσμένης υφαντουργίας.

Οι αράχνες έχουν ζωτικό χώρο και κανιβαλλιστικές συμπεριφορές επομένως είναι αδύνατο να εκτραφούν. Ο μόνος τρόπος να παράγουμε μεγάλες ποσότητες μεταξιού είναι κατασκευάσουμε και να εισάγουμε γονίδια μεταξιού σε άλλα κελιά ή σε άλλους οργανισμούς. Αλλά αυτό έχει γίνει περίπλοκο από την φύση των γονιδίων, το οποίο υποδεικνύει πολλές επαναλαμβανόμενες αλληλουχίες και στηρίζεται σε ένα διαφορετικό σύστημα ανάγνωσης από το συνηθισμένο. Παρόλα αυτά, τμήματα γονιδίων εισάχθηκαν επιτυχώς στο βακτήριο *E. coli*, σε θηλαστικά και σε κελία εντόμων, τα οποία με την σειρά τους παρήγαγαν την πρωτεΐνη μεταξιού.

Χρησιμοποιώντας πρωτεΐνη στην εφαρμοσμένη υφαντουργία βασισμένη στην γνώση που προέρχεται από τις έρευνες για το φυσικό μετάξι, οι τεχνητές πρωτεΐνες μπορούν να σχεδιαστούν αφού επιτρέπεται η σύνθεση βακτηρίων σε υψηλή απόδοση.

Οι νέες πρωτεΐνες της εφαρμοσμένης υφαντουργίας θα επέτρεπαν επίσης το σχέδιο ολοκληρωμένων νέων τύπων ινών του μεταξιού, οι οποίοι θα μπορούσαν να συγκεντρώνονται με βιοχημικές ή βιολογικά ενεργές ομάδες στους νέους τύπους των πλεγμάτων. Αυτά τα «έξυπνα» υλικά θα είναι λοιπόν ικανά να πραγματοποιήσουν ενζυματικές αντιδράσεις όπως για παράδειγμα χημική κατάλυση ή ηλεκτρονική διάδοση σημάτων.

Προτού επιτευχθεί το παραπάνω, θα πρέπει να επιλυθεί η νηματοποίηση των πρωτεϊνών στις ίνες. Μέχρι τώρα έχουν υπάρξει κάποιες προσπάθειες στην περιστροφή μεταξιού πάνω σε μικρο-ακροφύσια πυριτίου. Τα αποτελέσματα είναι ελπιδοφόρα ωστόσο είναι μακριά από τα αντίστοιχα φυσικά παραχθέντα μετάξια. Προς το παρόν οι παραχθέντες ίνες είναι πολύ χοντρές, με διαμέτρους που κυμαίνονται από 10-60 mm έναντι των διαμέτρων των φυσικών ινών που κυμαίνονται από 2.5-4.0 mm [4].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] 'Barghout J.V.J., Thiel B.L., Viney, Spider (*Aranys diadematus*) cocoon silk: a case of non –periodic lattice crystals with a twist? *Int. biol. Macramol* 24:211-217 (1999)
- [2] "Science News Magazine Editor's Picks-artificial Spider Silk-Mazilla Firefox (9/1996)
- [3] "Spider Silk-Wikipedia the free encyclopedia"
- [4] ScienceDaily: Spider Silks, The Ecological Materials of Tomorrow? (01/12/20004)
- [5] www.hindu.com/seta (11/09/2003)
- [6] www.newscientist.com-dada-images-ns-cmw-dn3522
- [7] ScienceDaily Studies of Spider's Silk Reveal Unusual Strength
- [8] Spider Silk: Life in the Undergrowth
- [9] www.futura-sciences.com/comprendre/images/spider
- [10] "Access Excellence Science Updates Archive"
- [11] "Science News Magazine Editor's Picks –Artificial Spider Silk"
- [12] www.spiderzrule.com
- [13] "ScienceDaily Scientist Achieve self-assembly of spider silk fiber Insect cells"