



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ
ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

Βιοχημεία - Αρχές Βιοτεχνολογίας

Εργαστηριακές ασκήσεις

Γεώργιος Παπαδόπουλος, Καθηγητής Τμ. Τεχνολόγων Γεωπόνων Τ.Ε.

Άδειες Χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα. Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Ηπείρου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.



Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



1^η Άσκηση: Μοντέλα πρωτεϊνών (αμινοξέα και πεπτίδια), λογισμικό απεικόνισης δομών πρωτεϊνών ΓΚ Παπαδόπουλος

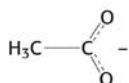
ΘΕΩΡΙΑ

Σε αυτό το εργαστήριο θα δούμε πώς απεικονίζουμε δομές μικρών μορίων που αποτελούν τους δομικούς λίθους για τα μεγάλα μόρια (μακρομόρια) της βιοχημείας. Πριν πάτε παρακάτω, σας παρακαλώ να ρίξετε μια ματιά στο 4^ο εργαστήριο, του Εργαστηρίου Γεωργικής Χημείας (ΕΓΧ) αναφορικά με την Απεικόνιση μορίων, ώστε να θυμηθείτε τις συμβάσεις (μαύρο = άνθρακας (C), άσπρο = υδρογόνο (H), μπλέ = άζωτο (N), κόκκινο = οξυγόνο (O), κίτρινο = θείο (S), πορφυρό-ρόζ = φωσφόρος (P)).

Στα γρήγορα, ξεκινάμε από το μόριο του οξικού ανιόντος (οξικό οξύ, δηλ. ξύδι, που έχει διασταθεί)



Acetate



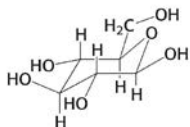
Εικόνα 1. Ανιόν οξικού οξέος. Από Berg et al., Βιοχημεία 5^η έκδοση, κατόπιν άδειας. © ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ.

Προσπαθήστε από αυτή την Εικόνα, και συνεχίστε με όλες τις υπόλοιπες που δείχνουν μικρά μόρια, να ταυτοποιήσετε το κάθε άτομο στο μόριο, από τον μοριακό τύπο που σας δίνεται στο κάτω μέρος της εικόνας. Το έγχρωμο μοντέλο πάνω, ονομάζεται χωροπληρωτικό, γιατί δείχνει πόσο χώρο καταλαμβάνει (σε τεράστια κλίμακα πάντα) κάθε άτομο στο μόριο. Από αυτό το μοντέλο συνειδητοποιούμε ότι ο χημικός δεσμός υπάρχει μεν, αλλά δεν είναι αυτή η γραμμή που απεικονίζουμε στους μοριακούς τύπους για δική μας ευκολία. Τα δεσμευμένα άτομα είναι σε επαφή μεταξύ τους.

Ας δούμε τώρα το πιο κοινό σάκχαρο στο αίμα των ζώων, καθώς και σε πάρα πολλές δομές φυτών. Όποτε ακούτε να μιλάνε άτομα με διαβήτη για σάκχαρο αίματος, εννοούν αυτό το μόριο, τη γλυκόζη.



β-D-Glucose

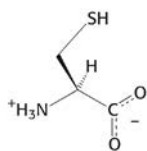
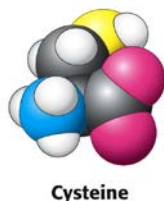


Εικόνα 2. Μόριο γλυκόζης, του πιο κοινού σακχάρου στους ζωντανούς οργανισμούς. Από Berg et al., Βιοχημεία 5^η έκδοση, κατόπιν άδειας. © ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ.

Εδώ ο μοριακός τύπος είναι γραμμένος στη μορφή του σκελετικού μοντέλου, δηλαδή φαίνονται τα άτομα οξυγόνου και υδρογόνου, οι δεσμοί άνθρακα—οξυγόνου και άνθρακα—υδρογόνου, αλλά όχι τα άτομα άνθρακα (εκτός από ένα). Τα τελευταία βρίσκονται εκεί που είναι τα σημεία τομής μεταξύ γραμμών.

Συνεπώς, οι δεσμοί άνθρακα—άνθρακα είναι οι γραμμές που ενώνουν αυτά τα σημεία τομής μεταξύ τους. Ζόρικο; Σίγουρα, αλλά συνηθίζεται. Όσα άτομα άνθρακα έχουν υδρογόνο που βλέπει προς τα πάνω, φαίνονται στο χωροπληρωτικό μοντέλο μαζί με το υδρογόνο τους. Σε όσα το υδρογόνο βλέπει προς τα κάτω, αυτό το υδρογόνο δεν φαίνεται και τα αντίστοιχα άτομα άνθρακα είναι πολύ μικρά. Ξεκινήστε λοιπόν από όποιο σημείο θέλετε και προσπαθήστε να ταυτοποιήσετε όλα τα άτομα της γλυκόζης.

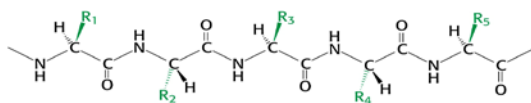
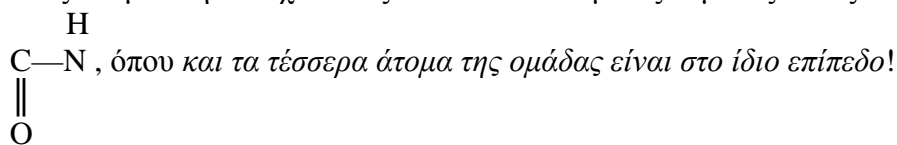
Από τη διάλεξη θα θυμάστε ότι υπάρχουν δύο αμινοξέα που περιέχουν θείο (κυστεΐνη και μεθειονίνη) και εδώ απεικονίζεται το πρώτο.



Εικόνα 3. Το αμινοξύ κυστεΐνη, σε μορφή διπλού ιόντος, με τη καρβοξυλομάδα αρνητικά φορτισμένη (έχει διασταθεί το ιόν υδρογόνου), και την αμινομάδα θετικά φορτισμένη (έχει προσλάβει ένα ιόν υδρογόνου από το διάλυμα. Από Berg et al., Βιοχημεία 5^η έκδοση, κατόπιν άδειας. © ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ.

Προσέξτε πρώτα το άτομο του θείου, που είναι κατακίτρινο. Δέστε μετά τη καρβοξυλομάδα, ίδια όπως και στο οξικό ανιόν. Δέστε και την θετικά φορτισμένη αμινομάδα με τα τρία άτομα υδρογόνου. Θυμάται κάποιος γιατί το άζωτο μπορεί και είναι σε αυτή τη κατάσταση (με τέσσερις απλούς δεσμούς και θετικό φορτίο); Ποια είναι η απλούστερη ένωση αζώτου σε αυτή τη μορφή; Όμως, προσπαθώντας να ταυτοποιήσουμε όλα τα άτομα του άνθρακα, βλέπουμε ότι κάτι λείπει από το σκελετικό μοντέλο! Τι; Αυτό που λείπει όμως, εμφανίζεται στο χωροπληρωτικό μοντέλο του συγκεκριμένου αμινοξέος.

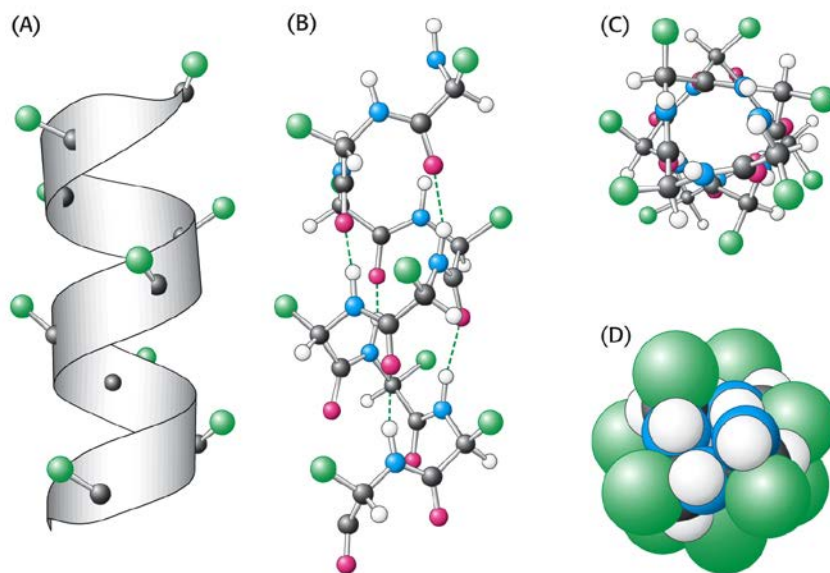
Ας δούμε στη συνέχεια πώς ενώνονται τα αμινοξέα μεταξύ τους και πώς προκύπτουν οι πεπτιδικές ομάδες:



Εικόνα 4. Ο πολυπεπτιδικός κορμός (H₂N-C-C-N-C-C-N-C-C-...-N-C-COO⁻ όπου τα άτομα από κάθε διαφορετικό αμινοξύ έχουν διαφορετικό χρώμα), μοιάζει με κλωστή κομπολογιού, ενώ οι πλευρικές αλυσίδες R των αμινοξέων είναι οι χάντρες (20 διαφορετικές), με προκαθορισμένη αλληλουχία. Από Berg et al., Βιοχημεία 5^η έκδοση, κατόπιν άδειας. © ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ.

Στις έρευνές του για τη τυχόν κανονική γεωμετρική δομή του πολυπεπτιδικού κορμού ο μέγιστος των χημικών του 20^{ου} αιώνα Linus Pauling (με πρώτο πτυχίο από το Oregon Agricultural College, σημερινό

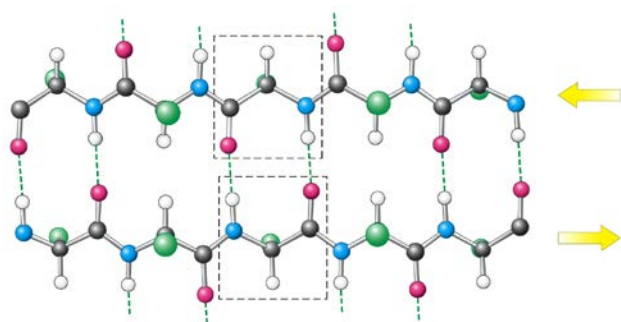
Oregon State University, στο Corvallis, Oregon) εστίασε σε δύο πρωτεΐνες: τη κερατίνη (από τα μαλλιά) και την ινωδοΐνη του μεταξιού (silk fibroin), από μεταξωτή κλωστή. Για μεν τη κερατίνη ανακάλυψε ότι ο πολυπεπτιδικός της κορμός σχηματίζει μια δεξιόστροφη έλικα με κανονικότητα στη δομή της, που ονόμασε α -έλικα.



Εικόνα 5. Η α -έλικα (άξονας παράλληλος προς το επίπεδο τα οθόνης). Α. Σχηματικά φαίνονται μόνον οι άνθρακες α και οι πλευρικές αλυσίδες των αμινοξέων (πράσινες μπάλες). Β. Μοντέλο με σφαίρες και ράβδους πρωτεΐνης σε α -έλικα. Γ και Δ. Άξονας της α -έλικας κάθετος προς το επίπεδο της οθόνης. Γ. με τα άτομα σε μικρότερες διαστάσεις από τις πραγματικές. Δ. Σε σωστές αναλογίες διαστάσεων. Από Berg et al., Βιοχημεία 5^η έκδοση, κατόπιν άδειας. © ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5B ΟΛΕΣ οι ομάδες NH και C=O μιας πρωτεΐνης με σχήμα κορμού α -έλικας σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου, πράγμα που προσδίδει μεγάλη σταθερότητα.

Η δεύτερη δομή που μελέτησε ο Pauling, αυτή της ινωδοΐνης του μεταξιού ήταν ότι πιο αντίθετο

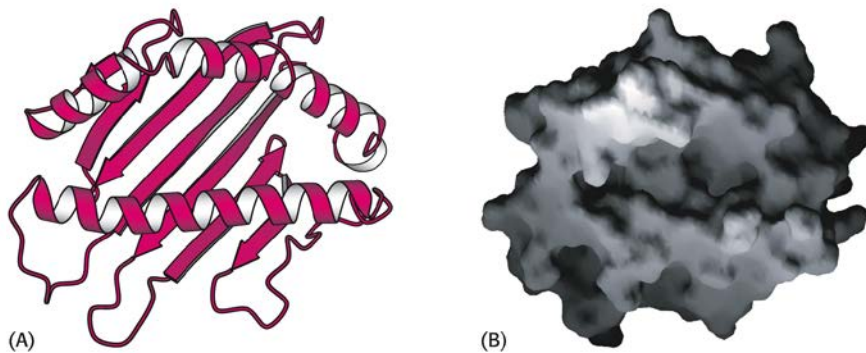


Εικόνα 6. Μια αντιπαράλληλη β -πτυχωτή επιφάνεια δύο πολυπεπτιδικών αλυσίδων. Προσέξτε ότι ισχύει και εδώ ο ίδιος κανόνας, δηλ. όλες οι αμιδομάδες NH και οι καρβονυλομάδες C=O σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου η μια ομάδα με την άλλη, όταν όμως βρίσκονται σε διαφορετικές αλυσίδες ή απομακρυσμένα τμήματα της ίδιας αλυσίδας. Τα κίτρινα βέλη δείχνουν τη κατεύθυνση της κάθε αλυσίδας. Από Berg et al., Βιοχημεία 5^η έκδοση, κατόπιν άδειας. © ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ.

από την προηγούμενη, δηλαδή με τον κορμό τεντωμένο όσο γίνεται περισσότερο. Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 6, και εδώ δεν μένει ομάδα NH ή C=O που να μην σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου, με τμήματα είτε της ίδιας αλυσίδας (αλλά πολύ μακριά) ή τμήματα άλλης πολυπεπτιδικής αλυσίδας. Σε κάθε περίπτωση, υπάρχει πολύ μεγάλη σταθερότητα, και ας πρόκειται για εντελώς διαφορετικό σχήμα του

πολυπεπτιδικού κορμού. Αυτή η δομή, επειδή σχηματίζει πτυχώσεις, ονομάστηκε β -πτυχώση, και αν υπάρχουν πολλές ή μια δίπλα από την άλλη λέγονται β -πτυχωτή επιφάνεια.

Η β -πτυχωτή επιφάνεια απεικονίζεται ως μια πλατιά γραμμή με ένα βέλος στο τέλος, που δηλώνει τη κατεύθυνση της πολυπεπτιδικής αλυσίδας. Οι περισσότερες πρωτεΐνες έχουν πολυπεπτιδικούς κορμούς που αποτελούνται από τμήματα α -έλικας (ή ελίκων) και β -πτυχωτής επιφάνειας (ή επιφανειών). Πολύ λίγες είναι αυτές που αποτελούνται αποκλειστικά από μόνο ένα είδος δευτεροταγούς δομής, όπως ονομάζεται η κανονικότητα του σχήματος του πολυπεπτιδικού κορμού, π.χ. η κερατίνη και η ινωδοΐνη του μεταξιού. Βλέπουμε παρακάτω το παράδειγμα μιας πρωτεΐνης ιστοσυμβατότητας τάξης I, που είναι



Εικόνα 7. Τριδιάστατη απεικόνιση μιας πρωτεΐνης ιστοσυμβατότητας τάξης I. Α. Απεικόνιση με μοντέλο κορδέλας του πολυπεπτιδικού κορμού, όπου φαίνονται ξεκάθαρα οι περιοχές που έχουν δομή α -έλικας ή β -πτυχωτής επιφάνειας. Β. Απεικόνιση της ίδιας πρωτεΐνης ως χωροπληρωτικού μοντέλου, χωρίς κάποια εξειδίκευση συγκεκριμένης περιοχής. Από Berg et al., Βιοχημεία 5^η έκδοση, κατόπιν άδειας. © ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ.

μέλος μιας μεγάλης οικογένειας πρωτεϊνών που συμμετέχουν στην ανοσοανοχή και την ανοσιακή απόκριση (π.χ. καταπολέμηση ιών, βακτηρίων και άλλων παρασίτων στα ζώα). Ο πολυπεπτιδικός κορμός φαίνεται ως μια *συνεχής κορδέλα* (μοντέλο κορδέλας) με σχήμα α -έλικας όπου υπάρχει αυτή η δομή και μια πλατιά λωρίδα με βέλος στο τέλος όπου υπάρχει β -πτυχώση. Η συγκεκριμένη πρωτεΐνη έχει μια μεγάλη α -έλικα και μια δεύτερη που ουσιαστικά σπάει σε δύο μικρότερες, και οκτώ β -πτυχώσεις, που σχηματίζουν μια μεγάλη και εκτεταμένη β -πτυχωτή επιφάνεια. Κατανοείτε από την Εικόνα 7Α, ότι οι β -πτυχώσεις βρίσκονται κάτω από τις α -έλικες, και με λίγη φαντασία μπορεί να υποψιαστείτε ότι ανάμεσα στη β -πτυχωτή επιφάνεια της βάσης και τις α -έλικες πάνω από τη βάση υπάρχει κενός χώρος. Σωστά σκεφτήκατε, και μάλιστα αυτός είναι *χώρος όπου χωράει ένα πεπτίδιο 8-10 αμινοξέων!* Περισσότερα για αυτό σε μαθήματα Ανοσολογίας Ζώων.

Υπάρχει και μια άλλη κατηγορία δευτεροταγούς δομής, που απεικονίζεται ως «λεπτό σκουληκάκι», και τη βλέπουμε σε διάφορες περιοχές της Εικόνας 7Α. Αυτή η δομή δεν έχει καθόλου κανονικότητα, και έχει αρκετή ελευθερία κίνησης, για αυτό το λόγο ονομάζεται *τυχαίο σπείραμα*.

Ένας άλλος πιο απλοϊκός τρόπος απεικόνισης της δομής μιας πρωτεΐνης έχει να κάνει με το πώς φαίνεται στον τριδιάστατο χώρο το συνολικό της σχήμα (Εικόνα 7Β). Οντως, με λίγη προσοχή μπορούμε να διακρίνουμε τη περιοχή με εσοχές στο μέσον του σχήματος, που είναι ο χώρος όπου μπορεί να ταιριάζει ένα πεπτίδιο 8-10 αμινοξέων, ώστε να ξεκινήσει η ανοσιακή απόκριση. Καταλαβαίνετε ότι

αυτός είναι ένας πάρα πολύ απλοϊκός τρόπος απεικόνισης της πρωτεΐνης, που όμως μπορεί να γίνει πιο σύνθετος με δύο τρόπους: α. τον χρωματισμό της επιφάνειας της πρωτεΐνης σύμφωνα με κάποια φυσικοχημική της ιδιότητα (π.χ. ατομικό φορτίο, ηλεκτροστατικό δυναμικό, υδροφοβικότητα/ υδροφιλικότητα κάθε αμινοξέος, κ.α.), β. την επίλεκτη διαφάνεια της επιφάνειας σε χώρους που καταλαμβάνουν συγκεκριμένα αμινοξέα της πρωτεΐνης, έτσι ώστε να αναδεικνύονται αυτά τα αμινοξέα. Το ίδιο μπορούμε να δούμε να γίνεται σε απεικόνιση των πρωτεϊνών σύμφωνα με το Σχήμα 7Α, όπου η επίλεκτη προσθήκη συγκεκριμένων αμινοξέων, σημαντικών για κάποια ιδιότητα της πρωτεΐνης, μπορεί να μας δια φωτίσει για τον τρόπο δράσης της τελευταίας. Θα συναντήσουμε πολλά τέτοια παραδείγματα συν τω χρόνω, στην πορεία του μαθήματος, τόσο στη θεωρία όσο και σε επόμενα εργαστήρια.

Δωρεάν Λογισμικό Απεικόνισης Μορίων και Μακρομορίων

Υπάρχουν διαθέσιμα πάρα πολλά προγράμματα απεικόνισης μορίων και μακρομορίων στο διαδίκτυο. Μάλιστα, ένας από τους πρωτοπόρους σε αυτό τον τομέα, ο Michael Levitt, πήρε και βραβείο Νομπέλ το 2013, για το συνολικό ερευνητικό του έργο που αφορούσε στη δομή και τη λειτουργία των πρωτεϊνών. Μια εκδοχή του απλού προγράμματός του, IMDAD, χρησιμοποίησε ο Lubert Stryer στη 4^η έκδοση του βιβλίου της Βιοχημείας. Τη συγκεκριμένη δισκέτα μας την είχε δωρήσει ο Dr. Stryer και τη χρησιμοποιούσαμε στο αντίστοιχο εργαστήριο για απεικόνιση μορίων, στα πλαίσια του Εργαστηρίου Γεωργικής Χημείας ΙΙ (και μετέπειτα Βιοχημείας) του Τμήματος Ανθοκομίας Αρχιτεκτονικής Τοπίου, από το 1996 μέχρι και το 2005. Από το 2006 και μετά χρησιμοποιούμε το πρόγραμμα DSVIEWER Pro της εταιρείας Accelrys*, *επίδειξη του οποίου θα γίνει στο εργαστηριακό μάθημα*. Το συγκεκριμένο λογισμικό διατίθεται πια δωρεάν από την εταιρεία, στον καθένα

(http://softadvice.informer.com/Ds_Pro_Viewer_6.0_Accelrys.html) !

Το ίδιο ισχύει και για ένα άλλο αντίστοιχο και εξ ίσου καλό λογισμικό, το Pymol (<http://www.pymol.org/>)

Στο εργαστήριο και στη διάλεξη θα χρησιμοποιούμε το πρώτο, αλλά εσείς είστε ελεύθεροι να χρησιμοποιήσετε όποιο θέλετε. Για την καλύτερη κατανόηση του προγράμματος στο εργαστήριο θα χωριστείτε σε ομάδες τεσσάρων ατόμων, οι οποίες θα είναι διαρκείς. Θα είσαστε η κάθε ομάδα, και μια ομάδα μελέτης δομών μορίων όπου όσοι κατανοείτε τη χρήση υπολογιστών και γραφικών καλύτερα από τους υπόλοιπους της ομάδας, θα την εξηγείτε σε όλους τους υπόλοιπους της ομάδας σας. Έχετε υπ' όψιν σας ότι σε ΟΛΑ τα μελλοντικά εργαστήρια και στις διαλέξεις στη θεωρία του μαθήματος, θα γίνεται χρήση αυτών των προγραμμάτων. Οπότε όποιες απορίες υπάρχουν μπορούν να λύνονται εκεί, μέρα από τις ώρες γραφείου που είναι αναρτημένες και αφορούν ώρες που είναι διαθέσιμος ο διδάσκων για λύσεις αποριών των φοιτητών.

Η πληθώρα δομών μακρομορίων είναι κατατιθεμένη στην Τράπεζα Πρωτεϊνικών Δεδομένων (Protein Data Bank, www.rcsb.org). Τα αρχεία των δομών είναι σε μορφή .pdb, την οποία όλα τα προγράμματα απεικόνισης αναγνωρίζουν αυτόματα, οπότε και προκύπτουν οι συγκεκριμένες απεικονίσεις.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Χρήση μοντέλων με σφαίρες και ράβδους για κατασκευή αμινοξέων.

Κάθε ομάδα με τη σειρά να κατασκευάσει ένα μοντέλο αμινοξέος (π.χ. αλανίνη όπου $R = CH_3$, γλυκίνη, όπου $R = H$, και φαινυλαλανίνη $R = \Phi-CH_2$, $\Phi =$ αρωματικός δακτύλιος βενζολίου). Μετά φτιάξτε ένα

διπεπτίδιο με τα όποια δύο από τα συγκεκριμένα αμινοξέα, και ένα τριπεπτίδιο. Έχει σημασία η σειρά με την οποία τα τοποθετείτε;

2. Επίδειξη δομών πρωτεϊνών, και συμπλόκων πρωτεϊνών και DNA.

Κάθε ομάδα θα περάσει από ένα μέρος εργαστηριακού πάγκου ειδικά διαμορφωμένου για την επίδειξη μορίων πρωτεϊνών σε τρεις διαστάσεις. Θα δείτε

α. Σύμπλοκο όξινης πρωτεάσης του HIV (ιού που προκαλεί το AIDS) μαζί με αν μικρό μόριο, που αποδείχθηκε από τα πρώτα αποτελεσματικά φάρμακα εναντίον του ιού.

β. Κέντρο φωτοσυνθετικής αντίδρασης στα φωτοσυστήματα I και II. *Προσέξτε* ότι εκτός από μία όλες οι άλλες πρωτεΐνες είναι βυθισμένες στη λιπιδική διπλοστιβάδα.

γ. Σύμπλοκο DNA με τις πρωτεΐνες *ιστόνες*, που ονομάζεται *νουκλεόσωμα*. ΟΛΑ τα χρωμοσώματα του κάθε ευκαρυωτικού κυττάρου αποτελούνται από εκατομμύρια νουκλεοσώματα. Αυτή η κατασκευή δίνει άμεσα την εντύπωση των τριών διαστάσεων, αλλά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί απλά βιβλία γιατί κοστίζει πάρα πολλά!

Δ. Σύμπλοκο με χρωστικές ανθέων και μεταλλικά κατιόντα. Η ανθοκυανίνη από μόνη της έχει μπλε χρώμα ενώ η φλαβόνη φαιοκίτρινο. Το σύμπλοκο συναρμογής που βλέπετε έχει μπλε χρώμα, όπως δείχνει η άλλη σελίδα της συγκεκριμένης δημοσίευσης.

3. Επίδειξη λογισμικού DSViewer Pro της Accelrys.

Ανά δύο ομάδες των τεσσάρων ατόμων, θα σας γίνει επίδειξη του προγράμματος μπροστά στον υπολογιστή. Θα δείτε απεικόνιση ενός φαρμάκου (καπτοπρίλης) και μιας πρωτεΐνης (αλυσίδα β της αιμοσφαιρίνης).

Στη συνέχεια θα δοκιμάσουν όλοι οι φοιτητές να παίξουν με το πρόγραμμα για να δουν τις δυνατότητές του.

Κατ' οίκον εργασία

Να γράψετε μια έκθεση μιας σελίδας μόνον, για το τι σημαντικό μάθατε στο σημερινό εργαστήριο και να τη φέρετε στο επόμενο εργαστήριο.

Βιβλιογραφία

- Άσκηση 4, Απεικόνιση Μορίων, Εργαστήριο Γεωργικής Χημείας. <http://eclass.gunet.gr/modules/document/document.php?course=LABGU280>
- Jeremy M Berg, John L Tymoczko, Lubert Stryer, ΒΙΟΧΗΜΕΙΑ, 5^η έκδοση, Α τόμος, Παν/κές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 2004. Βλέπε και διαδικτυακό τόπο του βιβλίου www.whfreeman.com/Berg7e/
- Διαμαντίδη Γρ., ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΒΙΟΧΗΜΕΙΑ, 3^η έκδοση, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 2007/2010.
- Campbell NA, Reece JB. *Βιολογία*, τόμος Ι. 8^η έκδοση, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 2010.

Τα βιβλία 2. και 4. πιο πάνω, έχουν ελεύθερη πρόσβαση σε όλες τις διαφάνειές τους στην ιστοσελίδα του εκδότη.

1. http://www.cup.gr/%CE%92%CE%99%CE%9F%CE%A7%CE%97%CE%9C%CE%95%CE%99%CE%91-%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%B1%CE%AF%CE%BF%CF%82-%CF%84%CF%8C%CE%BC%CE%BF%CF%82_p-279856.aspx?LangId=1

3. http://www.cup.gr/%CE%92%CE%99%CE%9F%CE%9B%CE%9F%CE%93%CE%99%CE%91-%CE%A4%CE%9F%CE%9C%CE%9F%CE%A3-%CE%99_p-279715.aspx?LangId=1

Για ένα πιο προχωρημένο πρόγραμμα επεικονίσεων και εξερεύνησης δομών, δέστε το <http://www.bioclipse.net/>. **Επίσης δωρεάν διάθεση!**

Τέλος, όποιος ενδιαφέρεται να μάθει τα πρώτα βήματα της απεικόνισης μορίων, τότε που η υπολογιστική ισχύς στους προσωπικούς υπολογιστές ήταν χαμηλή, συγκρινόμενη με το ποια είναι σήμερα, μπορεί να κοιτάξει την ιστοσελίδα εδώ <http://www.sciencemag.org/site/products/bt-molmod.xhtml>. *Πρόσβαση του συγγραφέα στις 07-05-14.*

*Το λογισμικό του προγράμματος DSViewerPro είχε αγοραστεί από το Πρόγραμμα Αναμόρφωσης Προπτυχιακών Σπουδών με τη Χρήση Νέων Τεχνολογιών, του Τμήματος Ανθοκομίας Αρχιτεκτονικής Τοπίου, του Γ ΚΠΣ (75 % πόροι της ΕΕ, και 25 % εθνικοί πόροι).