

Περίληψη

Η μεγάλη κόκκινη γαρίδα *Aristaeomorpha foliacea* είναι ένα κοσμοπολίτικο βενθοπελαγικό είδος γαρίδας, από τα πιο σημαντικά εμπορικά είδη στη Μεσόγειο. Η παρούσα μελέτη βασίστηκε σε εκτεταμένη δειγματοληψία, και σε μεγάλο αριθμό μοριακών δεικτών. Συλλέχθηκαν 1.700 περίπου δείγματα από 32 πληθυσμούς στη Μεσόγειο και για τις αναλύσεις πληθυσμιακής γενωμικής χρησιμοποιήθηκαν 734 SNPs που εντοπίστηκαν με τη μέθοδο ddRADseq. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν έλλειψη γενετικής δομής μεταξύ των πληθυσμών του *A. foliacea*. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκαν χαμηλές τιμές ετεροζυγωτίας, οι τιμές Fst ήταν χαμηλές και στατιστικά μη σημαντικές, ενώ οι αναλύσεις που έγιναν με χρήση λογισμικών DAPC, STRUCTURE και AMOVA έδειξαν την ύπαρξη πιθανότατα ενός ενιαίου παμμικτικού πληθυσμού για το είδος στη Μεσόγειο. Τα παραπάνω αποτυπώνουν την υψηλή συνδεσιμότητα που υπάρχει μεταξύ των πληθυσμών της κόκκινης γαρίδας στη Μεσόγειο με πιθανότερη εξήγηση για αυτό, τη σημαντική ικανότητα διασποράς τόσο κατά τα προνυμφικά στάδια, όσο και κατά την ενήλικη ζωή του είδους. Τέλος, αναδεικνύεται η σημασία της παραγωγής ποιοτικών συνόλων δεδομένων για τις συγκεκριμένες αναλύσεις και τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να ανακύψουν σε αυτές.

Εισαγωγή

Η μεγάλη κόκκινη γαρίδα (giant red shrimp, *Aristaeomorpha foliacea*) είναι ένα κοσμοπολίτικο βενθοπελαγικό είδος γαρίδας. Ταξινομείται στην τάξη των δεκαπόδων, και στην οικογένεια των Aristeidae. Είναι είδος γονοχωριστικό, παμφάγο και εμφανίζει σεξουαλικό διμορφισμό, τα αρσενικά έχουν μικρότερο μέγεθος από τα θηλυκά. Έχει μέσο μέγεθος κεφαλοθώρακα 34-40χιλ., διάρκεια ζωής έως 10 χρόνια και αναπαράγεται από άνοιξη έως φθινόπωρο, με πιθανή πολλαπλή ωτοκία. Η γονιμοποίηση αρχίζει με σύζευξη αλλά τελικά είναι εξωτερική και οι προνύμφες είναι επιτελαγικές. Κατανέμεται μεταξύ άλλων στην Καραϊβική, στη Μεσόγειο, στη Ν. Αφρική, στην Ιαπωνία και στην Ωκεανία. Απαντάται σε βάθη από 120 έως 1300μ, με μέγιστη αφθονία στα 500 με 800μ και είναι από τα πιο σημαντικά εμπορικά είδη στη Μεσόγειο, όπου η παρουσία του εμφανίζει διαβάθμιση σε σχέση με το γεωγραφικό μήκος. Αλιεύεται συστηματικά στην κεντρική και ανατολική Μεσόγειο, ενώ στη δυτική πλευρά η αφθονία του είναι πλέον σημαντικά μειωμένη.

Η πληροφορία για τη γενετική ποικιλότητα του είδους είναι περιορισμένη. Οι λίγες διαθέσιμες γενετικές μελέτες έχουν γίνει με χρήση μικρού αριθμού α) πληθυσμών, β) σημείων δειγματοληψίας και γ) δεικτών (πυρηνικού και μιτοχονδριακού DNA) και δεν έχουν εντοπίσει πρότυπα διαφοροποίησης μεταξύ των πληθυσμών του εντός της Μεσογείου.

Στην παρούσα εργασία, διερευνώνται τα επίπεδα γενετικής ποικιλότητας του *A. foliacea* και η γενετική δομή των πληθυσμών του στη Μεσόγειο. Η μελέτη βασίζεται σε μια εκτεταμένη δειγματοληψία που έγινε στα πλαίσια ενός Ευρωπαϊκού προγράμματος το οποίο στοχεύει στην οριοθέτηση των ιχθυοαποθεμάτων 6 εμπορικών ειδών στη Μεσόγειο.



Εικόνα 1. Giant red shrimp, *Aristaeomorpha foliacea*



Εικόνα 2. Γεωγραφική κατανομή της κόκκινης γαρίδας *A. foliacea*

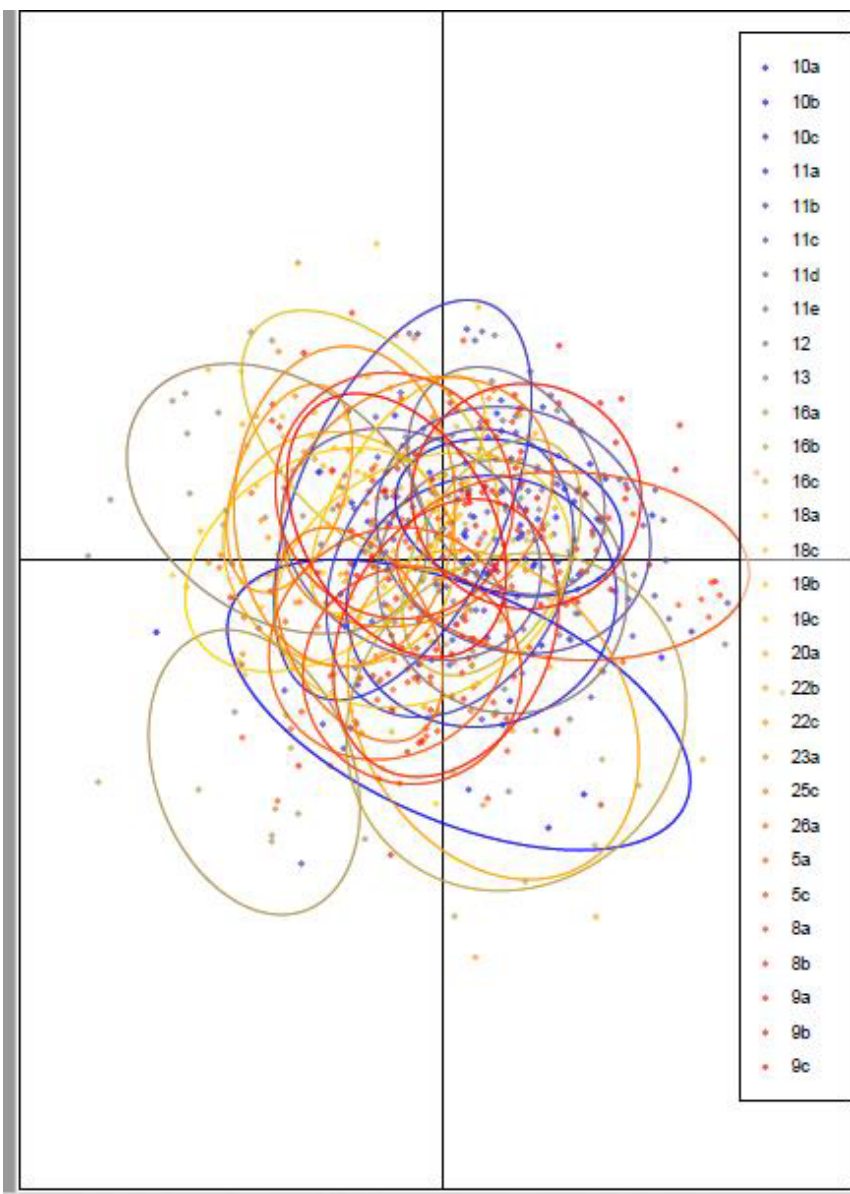
Υλικά και Μέθοδοι

Συλλέχθηκαν 1.692 δείγματα από 32 πληθυσμούς, από 15 GSAs (Geographic Sub Areas), που καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής εξάπλωσης του είδους στη Μεσόγειο. Έγινε εξαγωγή DNA και με τα δείγματα καλύτερης ποιότητας DNA (1266 συνολικά) κατασκευάστηκαν 5 βιβλιοθήκες χαμηλής αντιπροσώπευσης του γονιδιώματος (ddRAD) με τη χρήση περιοριστικών ενζύμων, που στάλθηκαν για αλληλούχηση. Η βιοπληροφορική ανάλυση των πρωτογενών δεδομένων αλληλούχησης έγινε με τη χρήση του λογισμικού STACKS για τον εντοπισμό των SNPs και τη γονοτύπηση των δειγμάτων.

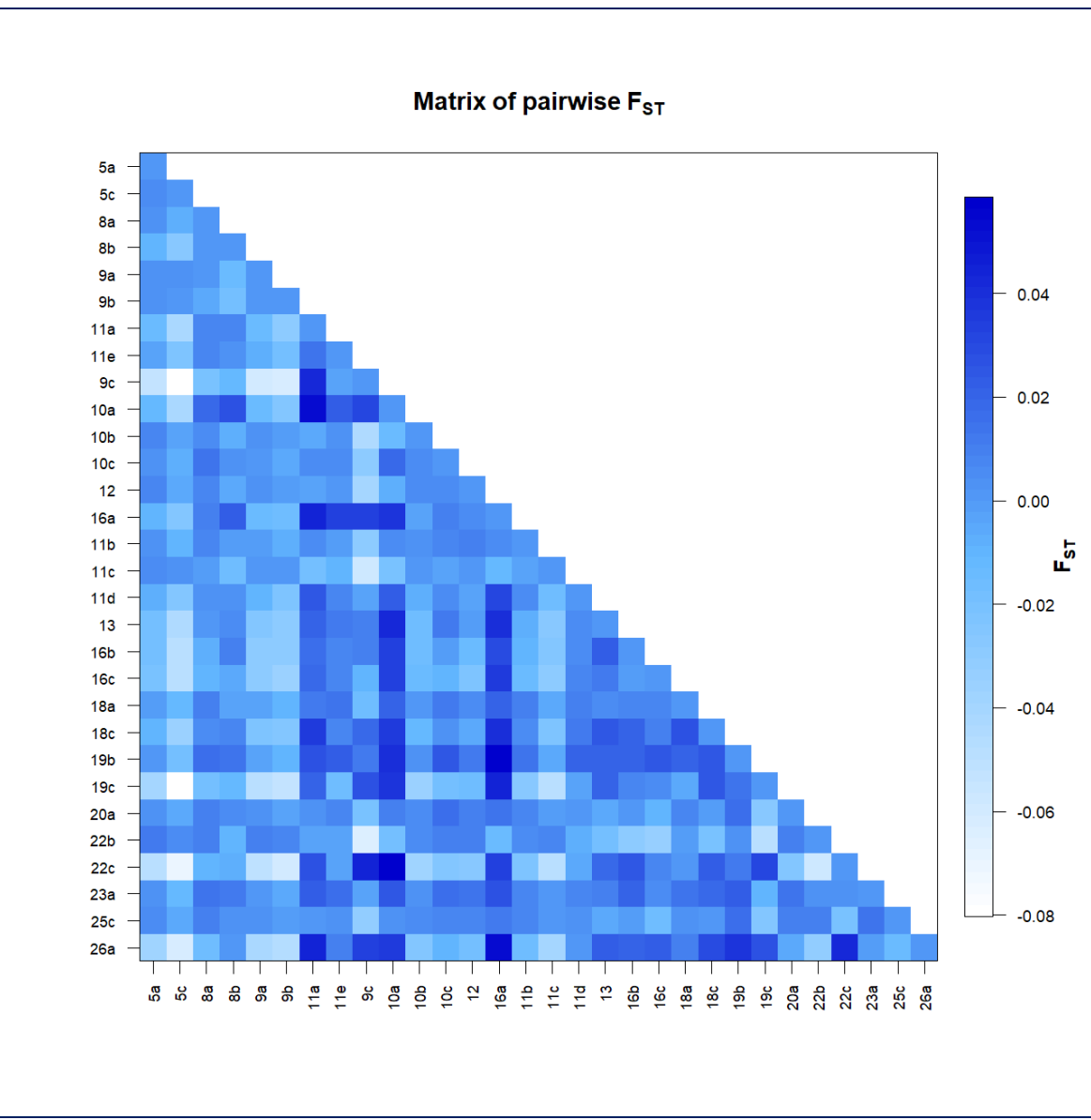
Οι γενετικές αναλύσεις ήταν α) υπολογισμός παρατηρούμενης κι αναμενόμενης ετεροζυγωτίας για να εκτιμηθεί η γενετική ποικιλότητα των πληθυσμών του είδους, β) υπολογισμός δεικτών διαφοροποίησης μεταξύ ζευγών πληθυσμών Fst και γ) αναλύσεις με χρήση λογισμικών DAPC, STRUCTURE, AMOVA για την εκτίμηση της πληθυσμιακής δομής.

Αποτελέσματα

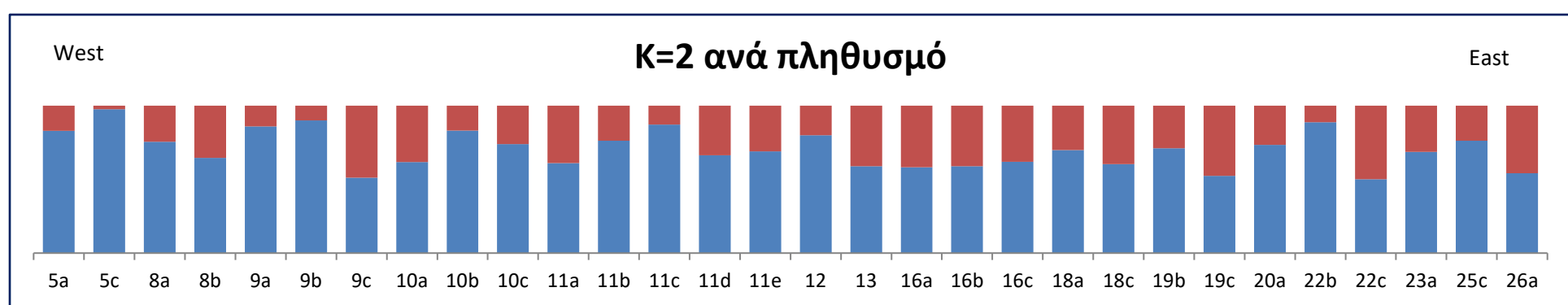
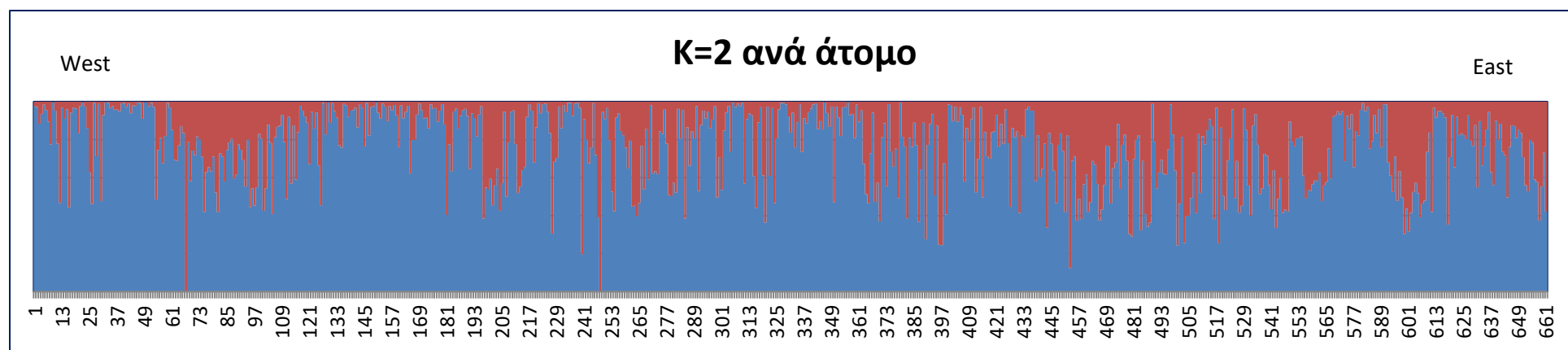
Οι τιμές ετεροζυγωτίας ήταν χαμηλές, ειδικά σε πληθυσμούς με λίγα άτομα στην ανάλυση. Οι τιμές Fst ανά ζεύγη πληθυσμών ήταν χαμηλές και στατιστικά μη σημαντικές ακόμη κι όταν συγχωνεύτηκαν πληθυσμοί με λίγα άτομα (Εικόνα4), ώστε να γίνει η ανάλυση πιο ισχυρή στατιστικά. Τέλος, οι αναλύσεις που έγιναν για την εκτίμηση της πληθυσμιακής δομής με χρήση λογισμικών DAPC, STRUCTURE, (Εικόνες 3, 5) έδειξαν την ύπαρξη πιθανότατα ενός ενιαίου παμμικτικού πληθυσμού για το είδος στη Μεσόγειο, ενώ η AMOVA (Εικόνα 6) έδειξε χαμηλή αλλά στατιστικά σημαντική τιμή FCT = 0,2%, όταν ομαδοποιήθηκαν οι πληθυσμοί σε 3 ομάδες που αντιστοιχούν στη Δυτική, την Κεντρική και την Ανατολική Μεσόγειο.



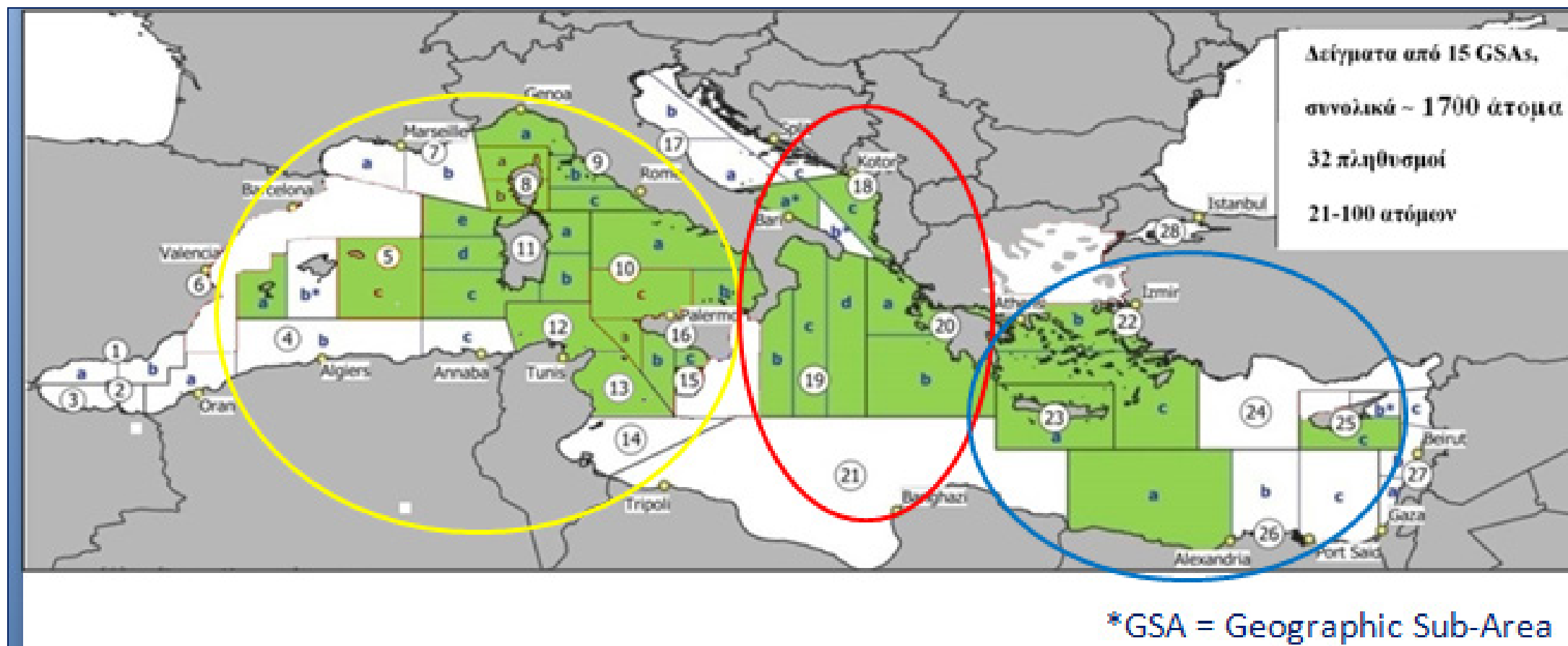
Εικόνα 3. Διάγραμμα διασποράς μετά την ανάλυση DAPC



Εικόνα 4. Διάγραμμα τιμών Fst (ανά ζεύγη πληθυσμών), βασισμένο σε 734 πολυμορφικά SNPs με γονότυπους σε τουλάχιστον 70% των δειγμάτων. Καμιά τιμή δεν ήταν σημαντική στατιστικά, μετά από τη διόρθωση Benjamini & Yekutieli



Εικόνα 5. Αποτελέσματα από την ανάλυση Μπεϋζιανής ομαδοποίησης (Structure), για K=2 (Evanno et al., 2005)



Εικόνα 6. Αποτελέσματα από την ανάλυση AMOVA, όπου η μέγιστη τιμή Fct ήταν 0.2%, για τις παραπάνω ομάδες πληθυσμών (Δυτική, Κεντρική, Ανατολική Μεσόγειο)

Συζήτηση-Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν έλλειψη γενετικής δομής μεταξύ των πληθυσμών του *A. foliacea* στη Μεσόγειο, δεν απέδειξαν την ύπαρξη γεωγραφικών ή ωκεανογραφικών ασυνεχειών που θα μπορούσαν να εμποδίζουν τη γονιδιακή ροή. Πρόκειται πιθανότατα για έναν ενιαίο παμμικτικό πληθυσμό για το είδος στη Μεσόγειο. Αποτυπώνεται υψηλή συνδεσιμότητα μεταξύ των πληθυσμών της κόκκινης γαρίδας στη Μεσόγειο με πιθανότερη εξήγηση για αυτό, τη σημαντική ικανότητα διασποράς τόσο κατά τα προνυμφικά στάδια, όσο και κατά την ενήλικη ζωή του είδους.