

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ
ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ και ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

**«Σχέση Βιοποικιλότητας και Ζωονόσων: Το παράδειγμα του
Covid-19»**

Ρέππας Δημήτρης

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Όλγα Χριστοπούλου

Βόλος, 2021

Δήλωση

Βεβαιώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφεί από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή αλλού. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώσει των κανόνων περί λογοκλοπής του ΤΜΧΠΠΑ και ότι στο πλαίσιο αυτού έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κ.λ.π., τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του ΠΘ ή και του ΤΜΧΠΠΑ.

Ημερομηνία: 15/9/2021

Ονοματεπώνυμο: Ρέππας Δημήτρης

Υπογραφή:

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1. Η Βιοποικιλότητα σε επίπεδο ειδών στην Ελλάδα	15
Πίνακας 2. Αριθμός ζωικών ειδών που απειλούνται με εξαφάνιση στην Ελλάδα (2).	16
Πίνακας 3. Παραδείγματα ζωονόσων που εντοπίζονται εκτός των φυσικών τους οικοτόπων.....	26
Πίνακας 4. Αναδυόμενες ζωονόσοι και διεπαφές ανθρώπου-ζώου.....	27
Πίνακας 5. Περιπτώσεις έκθεσης σε ζωονόσους από την κτηνοτροφία	28

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1. Τα οφέλη της βιοποικιλότητας (Roe, Sheldon & Elliott, 2019).	12
Εικόνα 2. Αποψίλωση δασών του Αμαζονίου.....	18
Εικόνα 3. Γεωγραφική εξάπλωσή της απώλειας της βιοποικιλότητας (Roe, Sheldon & Elliott, 2019).....	19
Εικόνα 4. Γεωγραφική κατανομή CoVs νυχτερίδων από το γένος Betacoronavirus. A: Οι με ανοιχτό πράσινες περιοχές αντιπροσωπεύουν τις χώρες με την παρουσία CoV νυχτερίδας από τον ιό Sarbecovirus. B: οι περιοχές με πορτοκαλί αντιπροσωπεύουν τις χώρες με την παρουσία CoV από τον Merbecovirus. Γ: οι μωβ περιοχές αντιπροσωπεύουν τις χώρες με την παρουσία CoV από Νοβεκοϊό (Wong et al. 2019).	46
Εικόνα 5. Οι πρωτεϊνική δομή του Covid-19	49

Περιεχόμενα

Περίληψη	7
Abstract	8
Εισαγωγή	9
1. Βιοποικιλότητα	10
1.2 Τα οφέλη της βιοποικιλότητας.....	11
1.3 Απώλεια βιοποικιλότητας.....	15
1.4 Διατήρηση Βιοποικιλότητας.....	20
2. Βιοποικιλότητα και Ζωονόσοι	24
2.1 Οι ζωονόσοι	24
2.2 Ο ρόλος της βιοποικιλότητας στη μετάδοση παθογόνων	30
2.3 Η βιοποικιλότητα ως πηγή ζωονοσογόνων παθογόνων	31
2.4 Απώλεια βιοποικιλότητας και άνοδος ζωονοσογόνων παθογόνων	36
3. Η περίπτωση του Covid-19	38
3.1 Covid-19 και νυχτερίδες.....	38
3.2. Γενετική μεταβλητότητα του ιού στις νυχτερίδες	42
3.3. Συντήρηση ιών σε αποικία νυχτερίδων	43
3.4. Διανομή των κορωνοϊών νυχτερίδων	44
3.5. Εξάπλωση του κορονοϊού	48

3.6 Διασπορά των κορωνοϊών	50
Συμπεράσματα	55
Βιβλιογραφία	56

Περίληψη

Η παρούσα εργασία με θέμα «Σχέση Βιοποικιλότητας και Ζωονόσων: Το παράδειγμα του Covid-19», διαρθρώνεται σε τρία κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται το ζήτημα της βιοποικιλότητας, τα οφέλη που προσφέρει αλλά και το φαινόμενο της απώλειας της βιοποικιλότητας και των προσπαθειών συντήρησής της.

Ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο στο οποίο αναλύεται το ζήτημα της βιοποικιλότητας σε συνάρτηση με τις ζωονόσους. Ειδικότερα, περιγράφεται η έννοια των ζωονόσων, ο ρόλος της βιοποικιλότητας στη μετάδοση των παθογόνων, η βιοποικιλότητα ως πηγή ζωονοσογόνων παθογόνων και τέλος το ζήτημα της απώλειας της βιοποικιλότητας σε συνάρτηση με την άνοδο των ζωονόσων.

Τέλος, στο τρίτο και τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, αναλύεται το ζήτημα του Covid-19. Ειδικότερα περιγράφεται η σχέση του Covid με τις νυχτερίδες και η γενετική του μεταβλητότητα μέσα σε αυτές. Επιπρόσθετα αναλύεται το ζήτημα της συντήρησης ιών σε αποικίες νυχτερίδων και η εξάπλωση των κορωνοϊών που προέρχονται από νυχτερίδες. Τέλος, περιγράφονται οι μηχανισμοί του κορωνοϊού στην επιτυχή διάχυση καθώς και τα κρούσματα διασποράς κορωνοϊών.

Από όλα τα παραπάνω εξάγονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και παρατίθεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για τη σύνθεσή της, σύμφωνα με το βιβλιογραφικό σύστημα Harvard.

Biodiversity and Zoonosis: Case study of Covid-19

Abstract

The present paper, entitled "Relationship between Biodiversity and Zoonoses: The Covid-19 Example", is structured in three chapters. The first chapter analyzes the issue of biodiversity, the benefits it offers and the phenomenon of biodiversity loss and conservation efforts.

The second chapter follows, which analyzes the issue of biodiversity in relation to zoonoses. In particular, the concept of zoonoses is described, the role of biodiversity in the transmission of pathogens, biodiversity as a source of zoonotic pathogens and finally the issue of biodiversity loss in relation to the rise of zoonoses.

Finally, in the third and last chapter of this paper, the issue of Covid-19 is analyzed. In particular, the relationship of Covid with bats and its genetic variability within them is described. In addition, the issue of virus conservation in bat colonies and the spread of bat coronavirus is analyzed. Finally, the mechanisms of coronavirus in successful diffusion as well as the cases of spread of coronavirus bats are described.

From all the above the conclusions of the work are drawn and the bibliography used for its composition is presented, according to the Harvard bibliographic system.

Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, μια ποικιλία θανατηφόρων μολυσματικών ασθενειών, συμπεριλαμβανομένης της μόλυνσης από τον ιό της ανθρώπινης ανοσοανεπάρκειας και του συνδρόμου επίκτητης ανοσοανεπάρκειας (HIV/AIDS), της γρίπης των πτηνών, του Έμπολα, του σοβαρού οξείου αναπνευστικού συνδρόμου (SARS) και πιο πρόσφατα της νόσου του Κορονοϊού 2019 (COVID-19)), είχαν ζωονοτική προέλευση.

Το 2020 η πανδημία COVID-19 αύξησε την παγκόσμια ευαισθητοποίηση σχετικά με τους κινδύνους και τις δραματικές συνέπειες που σχετίζονται με την εμφάνιση ζωονόσων. Οι πιθανές αιτίες της πανδημίας (συμπεριλαμβανομένων των άμεσων ή έμμεσων ρόλων της βιοποικιλότητας της άγριας ζωής και της χρήσης γης) αν και λαμβάνουν σημασία εδώ και δεκαετίες, ωστόσο, αφορούσαν μόνο εμπειρογνόμονες και δεν ήταν στην πρώτη γραμμή γενικών και πολιτικών συζητήσεων.

Η απάντηση στην τρέχουσα οξεία πανδημία επικεντρώθηκε κυρίως στον περιορισμό και τη θεραπεία. Τα μέτρα περιορισμού έχουν δείξει δραματικό κοινωνικό και οικονομικό αντίκτυπο στις περισσότερες κοινωνίες. Όπως και σε πολλές άλλες περιπτώσεις, η πρόληψη είναι σαφώς πιο αποτελεσματική από τη θεραπεία και για το λόγο αυτό θα πρέπει να κατανοήσουμε καλύτερα τις συνθήκες που ευνοούν ή συμβάλλουν στην εμφάνιση και εξάπλωση της ζωονόσου για να τις αποτρέψουμε.

1. Βιοποικιλότητα

Η βιοποικιλότητα αποτελεί έναν όρο ομπρέλα για την έκταση της ποικιλίας της φύσης ή της διακύμανσης εντός του φυσικού συστήματος, τόσο σε αριθμό όσο και σε συχνότητα. Συχνά κατανοείται ως το εύρος της ποικιλίας των φυτών, των ζώων και των μικροοργανισμών, καθώς και των γονιδίων που αυτά περιέχουν στο οικοσύστημα που σχηματίζουν. Η βιοποικιλότητα που βλέπουμε σήμερα είναι το αποτέλεσμα δισεκατομμυρίων χρόνια εξέλιξης, που διαμορφώθηκαν από φυσικές διαδικασίες και από την επιρροή των ανθρώπων. Σχηματίζει τον ιστό της ζωής, του οποίου είμαστε αναπόσπαστο μέρος και από τον οποίο εξαρτιόμαστε πλήρως.

Μέχρι στιγμής, περίπου 2,1 εκατομμύρια είδη έχουν εντοπιστεί. Οι επιστήμονες όμως το πιστεύουν ότι υπάρχουν στην πραγματικότητα περίπου 13 εκατομμύρια είδη. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του UNEP υπάρχουν 9 έως 52 εκατομμύρια είδη στη γη (Mora et al., 2011).

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό της βιοποικιλότητας είναι η ποικιλία των οικοσυστημάτων όπως αυτά που συμβαίνουν σε ερήμους, δάση, υγροτόπους, βουνά, λίμνες, ποτάμια και αγροτικά τοπία. Σε κάθε οικοσύστημα, ζωντανά πλάσματα συμπεριλαμβανομένης της ανθρώπινης κοινότητας, αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με το αέρα, νερό και χώμα γύρω τους. Η βιοποικιλότητα συνεπώς εξετάζεται σε τρία κύρια επίπεδα:

- **Γενετική ποικιλομορφία:** Αυτή είναι η ποικιλία των γενετικών πληροφοριών που περιέχονται σε όλα τα μεμονωμένα φυτά, ζώα και μικροοργανισμούς που εμφανίζονται μέσα στους πληθυσμούς των ειδών.
- **Ποικιλομορφία ειδών:** Αυτή είναι η ποικιλία ειδών ή των ζωντανών οργανισμών και αναφέρεται στον συνολικό αριθμό των ειδών σε μια καθορισμένη περιοχή.
- **Αφθονία ειδών:** Αυτή αναφέρεται στους σχετικούς αριθμούς μεταξύ των ειδών.

Η βιοποικιλότητα δεν κατανέμεται ομοιόμορφα στη Γη και κατά βάση είναι πλουσιότερη στις τροπικές περιοχές. Η χερσαία βιοποικιλότητα τείνει να είναι

υψηλότερη κοντά στον ισημερινό (Gaston, 2000), η οποία φαίνεται να είναι το αποτέλεσμα του θερμού κλίματος και της υψηλής πρωτογενούς παραγωγικότητας (Field et al., 2009). Η θαλάσσια βιοποικιλότητα τείνει να είναι η υψηλότερη κατά μήκος των ακτών του Δυτικού Ειρηνικού, όπου η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας είναι υψηλότερη και στη μεσαία γεωγραφική ζώνη σε όλους τους ωκεανούς. Υπάρχει γεωγραφική κλίση στην ποικιλία των ειδών (Tittensor et al., 2010). Η βιοποικιλότητα γενικά τείνει να συσσωρεύεται σε «hotspots» (Myers et al., 2000), και αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου (McPeek et al., 2007) αλλά είναι πιθανό να επιβραδυνθεί στο μέλλον (Robosky, 2009).

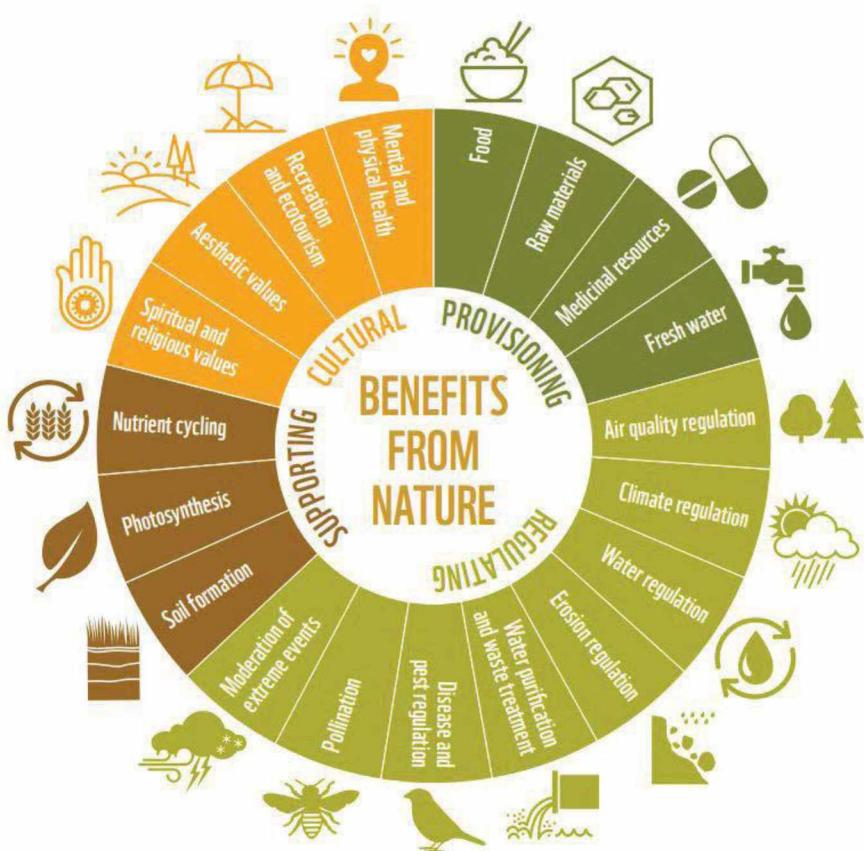
1.2 Τα οφέλη της βιοποικιλότητας

Η βιοποικιλότητα συμβάλλει αρχικά στην «υλική» ευημερία. Από την βιοποικιλότητα λαμβάνουμε διάφορα παραγωγικά υλικά όπως αγροτικά υλικά ή τρόφιμα, φάρμακα, βιομηχανικές πρώτες ύλες κ.λπ. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι περισσότερα από 60 άγρια είδη έχουν χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση 13 κύριων καλλιεργειών στον κόσμο, παρέχοντας γονίδια για αντοχή σε παράσιτα, βελτιωμένη απόδοση και ενισχυμένη διατροφή (IUCN, 2012). Αναλυτικότερα, από τότε που ξεκίνησε η γεωργία πριν από περίπου 12.000 χρόνια, περίπου 7.000 είδη φυτών έχουν χρησιμοποιηθεί για ανθρώπινη κατανάλωση. Οι περισσότεροι άνθρωποι σε ολόκληρο τον κόσμο, εξαρτώνται κυρίως από τα εξημερωμένα είδη για τις διατροφικές τους ανάγκες, ενώ περίπου 200 εκατομμύρια εξαρτώνται από άγρια είδη για τουλάχιστον ένα μέρος της τροφής τους.

Οι πληθυσμοί στη Νότια και Ανατολική Ασία εξαρτώνται από πολύπλοκα αγροοικοσυστήματα ρυζιού-ψαριού, όπου τα ψάρια και άλλα υδρόβια ζώα χρησιμεύουν ως πηγή διατροφής στις τοπικές κοινότητες και παρέχουν βασικές υπηρεσίες για την παραγωγικότητα του ρυζιού στα πλημμυρισμένα χωράφια. Η αλιεία από μόνη της αντιπροσωπεύει τουλάχιστον το 15% της ζωικής πρωτεΐνης που καταναλώνεται άμεσα από τον άνθρωπο. Η αλιεία υποστηρίζει έμμεσα την πρόσθετη

παραγωγή τροφίμων, παρέχοντας εισροές στη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας και κτηνοτροφίας.

Επίσης, τα αμφίβια διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στα οικοσυστήματα και είναι δείκτες της περιβαλλοντικής υγείας. Ωστόσο, το 41% των ειδών αμφίβιων απειλείται σήμερα με εξαφάνιση. Σε ορισμένες χώρες, τα φαρμακευτικά φυτά και τα ζώα παρέχουν τα περισσότερα φάρμακα που χρησιμοποιούν οι άνθρωποι, ακόμη και σε τεχνολογικά προηγμένες χώρες όπως οι ΗΠΑ, τα μισά από τα 100 πιο συνταγογραφούμενα φάρμακα προέρχονται από άγρια είδη. Σύμφωνα με την έκθεση του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας, σχεδόν το 80% των ανθρώπων που ζουν στην Αφρική βασίζονται σε παραδοσιακά φάρμακα ως κύρια πηγή για την υγειονομική τους ανάγκη.



Εικόνα 1. Τα οφέλη της βιοποικιλότητας (Roe, et al., , 2019).

Περισσότερα από 70.000 διαφορετικά είδη φυτών χρησιμοποιούνται στην παραδοσιακή και σύγχρονη ιατρική. Τα μικρόβια, μας έχουν δώσει σχεδόν όλα τα αντιβιοτικά όπως η πενικιλίνη, καθώς και το στέλεχος που μειώνει τη χοληστερόλη. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι αναστολείς MEA, οι οποίοι είναι από τα πιο αποτελεσματικά φάρμακα γνωστά για τη θεραπεία της υψηλής αρτηριακής πίεσης, προέρχονται από την οχιά *Bothrops jararaca*.

Οι λειτουργίες του οικοσυστήματος ορίζονται ως οι διαδικασίες και οι συνθήκες φυσικών συστημάτων που υποστηρίζουν την ανθρώπινη δραστηριότητα (Singh et al., 2006). Η βιοποικιλότητα παίζει σημαντικό ρόλο στον τρόπο λειτουργίας του οικοσυστήματος και στις υπηρεσίες που παρέχουν. Η βιοποικιλότητα επίσης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην άμβλυνση της κλιματικής αλλαγής συμβάλλοντας στη μακροπρόθεσμη δέσμευση του άνθρακα σε μια σειρά από βιοσώματα. Μέσω της βιοποικιλότητας διατηρείται η διαδοχική ισορροπία CO₂ και O₂. Λόγω της συσσώρευσης CO₂ στην ατμόσφαιρα και της εξάντλησης του στρώματος του όζοντος, η γη γίνεται πιο ζεστή και πιο επιρρεπής σε φυσικές καταστροφές. Αξίζει να αναφερθεί ότι ένα τετραγωνικό χιλιόμετρο παράκτιου οικοσυστήματος μπορεί να αποθηκεύσει έως και πέντε φορές περισσότερο άνθρακα από την αντίστοιχη περιοχή των ώριμων τροπικών δασών. Δυστυχώς όμως, οι περιοχές καταστρέφονται τρεις έως τέσσερις φορές γρηγορότερα από τα δάση, απελευθερώνοντας σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και τον ωκεανό και συμβάλλοντας στην κλιματική αλλαγή (IUCN, 2012).

Επιπρόσθετα, η βιοποικιλότητα βοηθάει στη ρύθμιση των βιοχημικών κύκλων του οξυγόνου και του αζώτου, καθώς και των υδρολογικών κύκλων. Οι βιολογικοί πόροι είναι ιδιαίτερα σημαντικοί μέσα στους βιοχημικούς κύκλους, χωρίς τους οποίους οι κύκλοι αυτοί δεν μπορούν να είναι πλήρεις. Καθορίζει επίσης σε μεγάλο βαθμό το κλίμα του φυσικού κόσμου, τοπικού, περιφερειακού ή μικροεπίπεδου, μέσω της επιρροής της θερμοκρασίας, των βροχοπτώσεων και του αέρα. Με άλλα λόγια, η βιοποικιλότητα στηρίζει την ανθεκτικότητα των οικοσυστημάτων και διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο ως μέρος της μείωσης του κινδύνου καταστροφών. Τα δάση και οι υγρότοποι παίζουν κρίσιμο ρόλο στη μείωση των επιπτώσεων ακραίων γεγονότων όπως οι ξηρασίες, οι πλημμύρες, οι ανεμοστρόβιλοι και τα τσουνάμι. Χαρακτηριστικά

αναφέρεται ότι η αξία των υπηρεσιών του οικοσυστήματος που παρέχονται από τους κοραλλιογενείς υφάλους κυμαίνεται σε 18 εκατομμύρια δολάρια ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο ετησίως για τη διαχείριση φυσικών κινδύνων, έως 100 εκατομμύρια δολάρια για τον τουρισμό, περισσότερα από 5 εκατομμύρια δολάρια για το γενετικό υλικό και τη βιοαναζήτηση, και έως και 331.800 δολάρια για την αλιεία (CBD, 2014).

Επιπρόσθετα, άλλο μεγάλος όφελος της βιοποικιλότητας σχετίζεται με την παραγωγή της τροφής του ανθρώπου. Η παραγωγή τουλάχιστον του ενός τρίτου των τροφίμων στον κόσμο, συμπεριλαμβανομένων των 87 από τις 113 κορυφαίες καλλιέργειες τροφίμων, εξαρτάται άμεσα ή έμμεσα από την επικονίαση που πραγματοποιείται από έντομα (κυρίως τη μέλισσα), τις νυχτερίδες και τα πτηνά. Σε οικονομική αξία οι υπηρεσίες της επικονίασης αποτιμώνται παγκοσμίως σε πάνω από 190 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως, ως απαραίτητος κρίκος της παραγωγής τροφής (CBD, 2014). Δυστυχώς, τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί παγκόσμια πτώση στην ποικιλία των επικονιαστικών εντόμων που είναι απαραίτητα για την αναπαραγωγή πολλών φυτών.

Τα άγρια είδη είναι σημαντικά στη ρύθμιση των παρασίτων. Οι νυχτερίδες, οι φρύνοι, τα πουλιά, τα φίδια και ούτω καθεξής καταναλώνουν τεράστιο αριθμό από τα κύρια παράσιτα που συναντώνται σε καλλιέργειες και δάση. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι μια αποικία μεξικάνικης νυχτερίδας τρώει περισσότερα από 9.000 κιλά εντόμων ανά διανυκτέρευση, στοχεύοντας ιδίως στους γαιοσκώληκες του καλαμποκιού και τους σκώληκες *Fall Armyworms*, τα οποία είναι ζημιογόνα για τις καλλιέργειες. Ωστόσο, το 18% των ειδών νυχτερίδων απειλείται σήμερα με εξαφάνιση.

Πέρα από όλα τα παραπάνω οφέλη, η βιοποικιλότητα παρέχει και πολλά ηθικά οφέλη. Κάθε μορφή ζωής στη γη είναι μοναδική και απαιτεί σεβασμό ανεξάρτητα από την αξία της για τους ανθρώπους. Έτσι λοιπόν κάθε οργανισμός έχει ένα εγγενές δικαίωμα ύπαρξης ανεξάρτητα από το αν είναι πολύτιμο για τον άνθρωπο ή όχι. Η ανθρωπότητα είναι μέρος της φύσης και ο φυσικός κόσμος έχει αξία για την ανθρώπινη κληρονομιά. Η ευημερία όλων των μελλοντικών γενεών είναι κοινωνική ευθύνη των σημερινών γενεών, επομένως η ύπαρξη ενός οργανισμού δικαιολογεί και τη διατήρηση του.

Επιπρόσθετα, σημαντική είναι και η αισθητική αξία της βιοποικιλότητας. Ο άνθρωπος απολαμβάνει να παρατηρεί το φυσικό περιβάλλον. Τα σχήματα, η δομή και το χρώμα της φύσης διεγείρει τις αισθήσεις του ανθρώπου και εμπλουτίζει τον πολιτισμό μας. Τα άγρια είδη ενισχύουν την εκτίμηση και την απόλαυση του περιβάλλοντος μέσα από (Agarwal et al., 2014):

- Δραστηριότητες αναψυχής π.χ. παρατήρηση πουλιών
- Αθλητικές δραστηριότητες π.χ κυνήγι, καταδύσεις και ανεύρεση μανιταριών.
- Παρατήρηση άγριας ζωής.

1.3 Απώλεια βιοποικιλότητας

Η απώλεια της βιοποικιλότητας και οι σχετικές αλλαγές στο περιβάλλον είναι πλέον ταχύτερες από ποτέ στην ανθρώπινη ιστορία και δεν υπάρχει κανένα σημάδι επιβράδυνσης αυτής της διαδικασίας. Σχεδόν όλα τα οικοσυστήματα της Γης έχουν αλλοιωθεί δραματικά από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και μετατρέπονται συνεχώς σε γεωργικές και άλλες χρήσεις. Πολλοί πληθυσμοί ζώων και φυτών έχουν μειωθεί σε αριθμό και γεωγραφική εξάπλωση. Ωστόσο, η εξαφάνιση των ειδών είναι και ένα φυσικό μέρος της ιστορίας της Γης, αλλά η ανθρώπινη δραστηριότητα έχει αυξήσει το ποσοστό εξαφάνισης τουλάχιστον 100 φορές περισσότερο σε σύγκριση με τον φυσικό ρυθμό.

Στους δύο πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται ο αριθμός των ειδών στην Ελλάδα και έπειτα ο αριθμός των ζωικών ειδών που απειλούνται με εξαφάνιση στην Ελλάδα.

Πίνακας 1. Η Βιοποικιλότητα σε επίπεδο ειδών στην Ελλάδα

Taxa	Πλανήτης	Ελλάδα
Ανώτερα φυτά	287.655	6.600 (1461 ενδημικά)
Θηλαστικά	5.461	115 (2 ενδημικά)
Πουλιά	9.799	442 (240 αναπαράγονται)
Ερπετά	8.163	64 (7 ενδημικά)
Αμφίβια	6.160	22 (2 ενδημικά)
Ψάρια	28.500	476 θαλάσσια και 154 γλυκού νερού (47 ενδημικά)
Ασπόνδυλα	1.190.200	27.000 (4.000 ενδημικά)

Πηγή: Δημόπουλος (2018)

Πίνακας 2. Αριθμός ζωικών ειδών που απειλούνται με εξαφάνιση στην Ελλάδα (2).

	Κρισίμως Κινδυνεύοντα (CR)	Κινδυνεύοντα (EN):
Ψάρια της θάλασσας	5	4
Ψάρια του γλυκού νερού	14	12
Αμφίβια	1	2
Ερπετά	2	4
Πουλιά	14	17

Θηλαστικά	3	12
-----------	---	----

Πηγή: Λεγάκης & Μαραγκού (2009)

Η απώλεια της βιοποικιλότητας προκαλείται από μια σειρά παραγόντων. Ως παράγοντας νοείται κάθε φυσικό ή ανθρώπινο αίτιο που προκαλεί άμεσα ή έμμεσα μια αλλαγή σε ένα οικοσύστημα. Ένας άμεσος παράγοντας είναι αυτός που επηρεάζει δραστικά τις διαδικασίες του οικοσυστήματος, ενώ ένας έμμεσος είναι αυτος που λειτουργεί πιο διάχυτα. Σημαντικοί άμεσοι παράγοντες που επηρεάζουν τη βιοποικιλότητα είναι η μεταβολή των οικοτόπων, η κλιματική αλλαγή, η υπερεκμετάλλευση των επεμβατικών ειδών και η ρύπανση.

Η βιοποικιλότητα μειώνεται ραγδαία λόγω παραγόντων όπως:

- η μεταβολή των οικοτόπων
- η καταστροφή από τη χρήση της γης
- η εκμετάλλευση βιολογικών πόρων
- η κλιματική αλλαγή
- η ρύπανση
- και τα επεμβατικά είδη.

Τέτοιοι φυσικοί ή ανθρώπινοι παράγοντες τείνουν να αλληλεπιδρούν και να ενισχύουν ο ένας τον άλλον. Ο κύριος παράγοντας που οδηγεί άμεσα σε απώλεια βιοποικιλότητας παγκοσμίως είναι η αλλοίωση και καταστροφή των οικοτόπων. Η καταστροφή των οικοτόπων καθιστά ολόκληρους οικοτόπους λειτουργικά ανίκανους να υποστηρίξουν τα είδη που υπάρχουν στο βιότοπο. Η βιοποικιλότητα μειώνεται σε αυτή τη διαδικασία όταν οι υπάρχοντες οργανισμοί στο βιότοπο εκτοπίζονται ή καταστρέφονται (Ayoade et al., 2009; Agarwal et al., 2011).

Η ανθρώπινη καταστροφή των οικοτόπων επιταχύνθηκε πολύ στο δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα. Οι φυσικοί βιότοποι συχνά καταστρέφονται μέσω της ανθρώπινης

δραστηριότητας με σκοπό τη συγκομιδή φυσικών πόρων για τη βιομηχανική παραγωγή και την αστικοποίηση. Η αλλαγή χρήσης γης των δασικών περιοχών για γεωργικούς σκοπούς, οι αλλαγές στο βιότοπο των ποταμών σε οικότοπο λιμνών (δεξαμενή) με την κατασκευή υδροηλεκτρικών έργων (Agarwal et al., 2014), η εξόρυξη, η υλοτομία, η αστική εξάπλωση και η κατασκευή αυτοκινητοδρόμων είναι μερικά παραδείγματα καταστροφής και κατακερματισμού των οικοτόπων. Μια πενταετής εκτίμηση της παγκόσμιας απώλειας δασικής κάλυψης για τα έτη 2000-2005 βρήκε ότι υπολογίζεται περίπου στο 3,1%. Στις υγρές τροπικές περιοχές όπου η απώλεια των δασών προέρχεται κυρίως από την αποψήλωση για λόγους ξυλείας, χάθηκαν 272.000 km² από το σύνολο των 11.564.000 km² (2,4%).

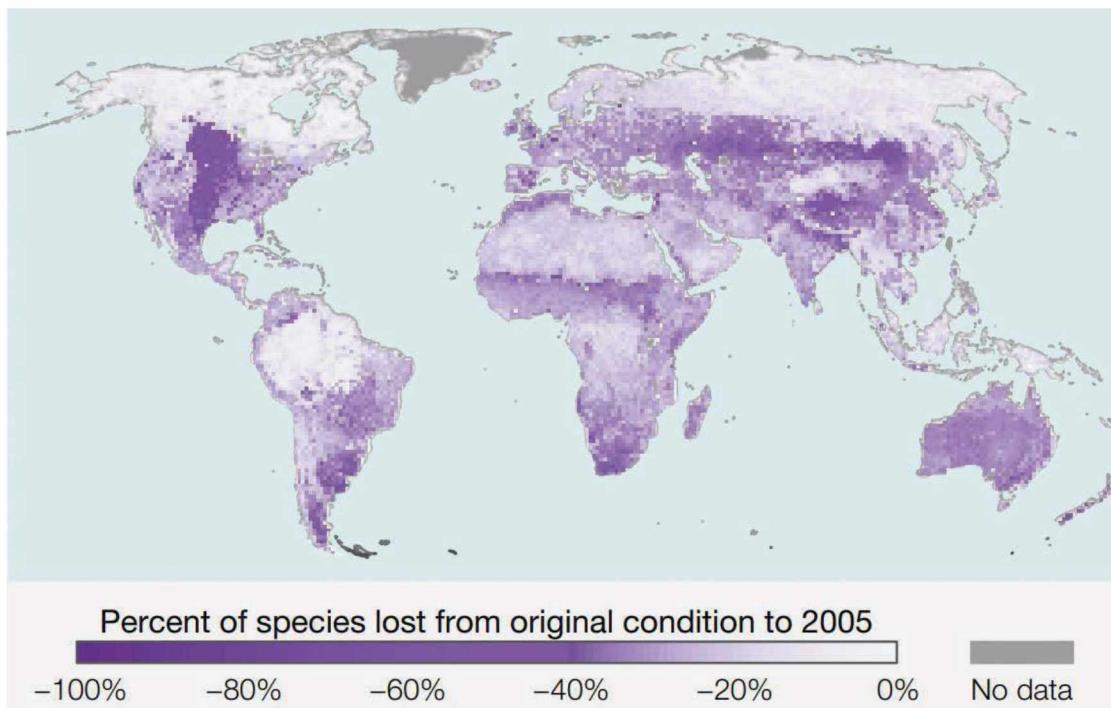


Εικόνα 2. Αποψήλωση δασών του Αμαζονίου¹

Στις τροπικές περιοχές, αυτές οι απώλειες αντιπροσωπεύουν επίσης την εξαφάνιση των ειδών λόγω των υψηλών επιπέδων ενδημισμού. Η αυξημένη ζήτηση πόρων είχε ως αποτέλεσμα αλλαγές στη χρήση γης. Ως εκ τούτου, η απώλεια της

¹ <https://www.ecowatch.com/biodiversity-meat-wwf-2493305671.html>

γενετικής ποικιλομορφίας, η μείωση των ειδών και οι αυξημένες αλλαγές του οικοσυστήματος, όπως οι τυχαίες μεταβολές του πληθυσμού, η έξαρση ασθενειών και ο κατακερματισμός των οικοτόπων μεταξύ άλλων έχει οδηγήσει σε απώλειες βιοποικιλότητας.



Εικόνα 3. Γεωγραφική εξάπλωσή της απώλειας της βιοποικιλότητας (Roe, Sheldon & Elliott, 2019).

Ένα ιδιαίτερα καίριο ζήτημα αποτελεί η υπερβολική εκμετάλλευση των φυσικών πόρων. Αυτή προκύπτει όταν άτομα ενός συγκεκριμένου είδους λαμβάνονται με υψηλότερο ρυθμό από αυτόν που μπορεί να διατηρηθεί από τη φυσική αναπαραγωγική ικανότητα του πληθυσμού που συγκομίζεται. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω κυνηγιού, αλιείας, εμπορίου, συλλογής τροφίμων κ.λπ. Η υπερεκμετάλλευση παραμένει μια σοβαρή απειλή για πολλά είδη, όπως θαλάσσια ψάρια και ασπόνδυλα, δέντρα και ζώα που κυνηγιούνται για κρέας κ.α. (Rawat, 1998).

Οι περισσότερες βιομηχανικές αλιευτικές δραστηριότητες στοχεύουν συνήθως στην υπερεκμετάλλευση, ενώ οι καταστροφικές αλιευτικές τεχνικές βλάπτουν τις

εκβολές των ποταμών και τους υγροτόπους. Αν και η πραγματική έκταση της εκμετάλλευσης είναι ελάχιστα γνωστή, είναι σαφές ότι τα ποσοστά εκμετάλλευσης είναι εξαιρετικά υψηλά σε τροπικά δάση. Το εμπόριο άγριων φυτών και ζώων και των παραγώγων τους είναι ελάχιστα τεκμηριωμένο, αλλά εκτιμάται σε σχεδόν 160 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως. Επειδή το εμπόριο άγριων ζώων και φυτών ξεπερνά τα εθνικά σύνορα και η προσπάθεια ρύθμισης απαιτεί διεθνή συνεργασία για την προστασία ορισμένων ειδών από την υπερεκμετάλλευση.

Μια ακόμη μεγάλη πίεση για την βιοποικιλότητα είναι η ρύπανση. Τις τελευταίες πέντε δεκαετίες, ανόργανοι και οργανικοί ρύποι έχουν αναδειχθεί ως δυνο από τους βασικότερους παράγοντες απώλειας βιοποικιλότητας σε χερσαία, υδάτινα και θαλάσσια οικοσυστήματα. Αντίστοιχα και η θερμική ρύπανση αποτελεί μια εξίσου σημαντική απειλή για τη βιοποικιλότητα. Οι πιθανές συνέπειες των οργανικών ρύπων σε ένα οικοσύστημα γλυκού νερού περιλαμβάνουν τον ευτροφισμό του σώματος γλυκών υδάτων, την υποξία στα παράκτια θαλάσσια οικοσυστήματα, τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου που συμβάλλουν στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Η εμφάνιση τέτοιων προβλημάτων ποικίλει σημαντικά σε διαφορετικές περιοχές, ενώ τα είδη των οικοτόπων βλάπτονται ολοένα και περισσότερο από τη βιομηχανία.

Μέχρι σήμερα πολλοί οργανισμοί και ιδρύματα έχουν δημιουργηθεί για τη διαχείριση των βιολογικών πόρων. Ωστόσο, τα θεσμικά όργανα αποτυγχάνουν να εσωτερικεύσουν τις αξίες της βιοποικιλότητας στο πλαίσιο της διαδικασίας λήψης αποφάσεων για τα έθνη και τους πολίτες τους. Συνεπώς, οι πολιτικές που ισχύουν θα πρέπει να έχουν μια ολιστική προσέγγιση για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας και όχι μερική.

1.4 Διατήρηση Βιοποικιλότητας

Η διατήρηση της βιοποικιλότητας αφορά τη διάσωση της ζωής στη Γη σε όλες τις μορφές της και τη διατήρηση της λειτουργίας και της υγείας των φυσικών

οικοσυστημάτων. Αυτό περιλαμβάνει τη διατήρηση, συντήρηση, βιώσιμη χρήση, ανάκτηση και ενίσχυση των συστατικών της βιολογικής ποικιλομορφίας. Διατήρηση είναι η βιώσιμη χρήση των πόρων και περιλαμβάνει προστασία καθώς και εκμετάλλευση. Η αειφόρος ανάπτυξη είναι μια άλλη περίπλοκη πτυχή της διατήρησης της βιοποικιλότητας. Αυτή αναφέρεται στην ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες της τρέχουσας γενιάς χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις ανάγκες τους. Η ισορροπία μεταξύ περιβάλλοντος, ανάπτυξης και κοινωνίας οδηγεί σε βιώσιμη ανάπτυξη που διασφαλίζει τη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Αυτό είναι δυνατό μόνο με την ύπαρξη κατάλληλων πολιτικών και εφαρμογής περιβαλλοντικών θεσμών (Platto et al., 2021).

Τα μέτρα διατήρησης της βιοποικιλότητας μπορεί να είναι Ex-situ ή In-situ. Αρχικά τα ex-situ μέτρα αναφέρονται στη διατήρηση συστατικών της βιοποικιλότητας εκτός των φυσικών τους οικοτόπων, π.χ. ζωολογικοί κήποι, μουσεία, τράπεζες γονιδίων, βιοτανικοί κήποι/δενδροκομεία, που χρησιμοποιούνται για απειλούμενα είδη, έτσι ώστε να αποφευχθεί η εξαφάνισή τους. Καταβάλλεται μεγάλη προσπάθεια για τη συλλογή και διατήρηση του γενετικού υλικού των καλλιεργειών, των ζώων, των πτηνών και των ψαριών. Η επανεισαγωγή ενός ζώου ή φυτού στον βιότοπο από όπου έχει εξαφανιστεί είναι μια άλλη μορφή ex situ διατήρησης (Agarwal et al., 2009; Agarwal, 2011).

Όσον αφορά στην επιτόπια διατήρηση, αναφερόματε στη διατήρηση των οικοσυστημάτων και των φυσικών οικοτόπων, συμπεριλαμβανομένης της διατήρησης και ανάκτησης βιώσιμων πληθυσμών ειδών στα φυσικά τους ενδιαιτήματα. Περίπου, το 4,2 % της συνολικής γεωγραφικής περιοχής στην Ινδία προορίζεται για εκτεταμένη επιτόπια διατήρηση των οικοτόπων και των οικοσυστημάτων. Δημιουργήθηκε ένα δίκτυο προστατευόμενων περιοχών από 102 εθνικά πάρκα, 18 αποθέματα βιόσφαιρας και 448 καταφύγια άγριας ζωής. Τα αποτελέσματα αυτού του δικτύου ήταν σημαντικά στην αποκατάσταση του βιώσιμου πληθυσμού μεγάλων θηλαστικών, όπως οι τίγρεις, τα λιοντάρια, οι ρινόκεροι, οι κροκόδειλοι και οι ελέφαντες.

Αναγνωρίζεται βέβαια πλέον ότι καμία νομική διάταξη δεν μπορεί να είναι αποτελεσματική εάν οι τοπικές κοινότητες δεν συμμετέχουν στο σχεδιασμό, τη

διαχείριση και την παρακολούθηση προγραμμάτων διατήρησης. Υπάρχουν πολλές πρωτοβουλίες για να γίνει αυτό, τόσο από την κυβέρνηση όσο και από μη κυβερνητικές οργανώσεις. Για παράδειγμα, η φιλοσοφία της Κοινής Διαχείρισης Δασών τονίζει τη συμμετοχή των κοινοτήτων των χωριών στην ανάπλαση και προστασία της υποβαθμισμένης δασικής γης στην περιοχή των χωριών. Οι επιτυχημένες στρατηγικές διατήρησης θα πρέπει να έχουν την εμπιστοσύνη και τη συμμετοχή των τοπικών κοινοτήτων (Dobhal et al., 2011).

Η διατήρηση της βιοποικιλότητας δεν είναι ένα ζήτημα που περιορίζεται σε μία χώρα ή μία κοινότητα. Αποτελεί μια παγκόσμια ανησυχία. Η διατήρηση της βιολογικής ποικιλότητας και η βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων ήρθε στο προσκήνιο το 1972 (Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το ανθρώπινο περιβάλλον Στοκχόλμη). Το 1973, η UNEP προσδιόρισε τη διατήρηση της βιοποικιλότητας ως τομέα προτεραιότητας, επομένως υπήρχε ανάγκη να λάβει τη νόμιμη εντολή για τη διατήρηση των παγκόσμιων πόρων. Υπήρξαν διαπραγματεύσεις για ένα νομικά δεσμευτικό μεσο που θα ειχε ως στοχο τη διαφυλαξη της βιοποικιλότητας. Αυτό οδήγησε στη δημιουργία της Σύμβασης για τη Βιοποικιλότητα το 1992. (CBD, 2011). Οι στόχοι της σύμβασης ήταν:

- Διατήρηση της βιολογικής ποικιλομορφίας
- Βιώσιμη χρήση των πόρων της
- Δίκαιη κατανομή των οφελών της

Αυτή ήταν η πρώτη παγκόσμια συνολική συμφωνία που αφορούσε όλες τις πτυχές της βιολογικής ποικιλομορφίας. Έως σήμερα, υπάρχουν πολλές διεθνείς συνθήκες και συμφωνίες για την ενίσχυση της διεθνούς συμμετοχής και δέσμευσης για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Μερικές από αυτές είναι:

- Ρίο-ντε Τζανέιρο στο πλαίσιο της Διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (UNCED)/ Σύνοδος της Γης
- Αφρικανική Σύμβαση για τη Διατήρηση της Φύσης και των Φυσικών Πόρων.
- Η Σύμβαση Ramsar για τους υγροτόπους διεθνούς σημασίας.

- Διεθνής Ένωση για τη Διατήρηση της Φύσης (Παγκόσμια Ένωση Διατήρησης).
- Σύμβαση για το διεθνές εμπόριο για είδη υπό εξαφάνιση (CITES).
- Διεθνής σύμβαση για την προστασία των πτηνών
- Διεθνές Συμβούλιο για φυτικούς γενετικούς πόρους
- Ινστιτούτο Παγκόσμιων Πόρων
- Παγκόσμιο Ταμείο για τη Φύση
- Σύμβαση για τη διατήρηση μεταναστευτικών ειδών άγριων ζώων
- Διεθνής σύμβαση για τη ρύθμιση της φαλαινοθηρίας
- Πρόγραμμα UNESCO για τον άνθρωπο και τη βιόσφαιρα

2. Βιοποικιλότητα και Ζωονόσοι

2.1 Οι ζωονόσοι

Μεταξύ 1940 και 2004, περισσότερα από 300 γεγονότα αναδυόμενων ασθενειών στους ανθρώπους είχαν εντοπιστεί παγκοσμίως, είτε από παθογόνα που είχαν εξελιχθεί σε νέο στέλεχος στο ίδιο είδος ξενιστή είτε είχαν μεταπήδησει σε νέα είδη ξενιστών. Μια ποικιλία θανατηφόρων μολυσματικών ασθενειών προέκυψαν, όπως το HIV-AIDS, η γρίπη των πτηνών, ο Έμπολα, ο SARS. Πολλά από τα παθογόνα που προκαλούν αυτές τις ασθένειες μεταπήδησαν στους ανθρώπους σε φυσικές περιοχές (δάση, υγρότοποι) μετά από ανθρώπινη καταπάτηση, αλλά σύντομα μεταφέρθηκαν και σε άλλες περιοχές του κόσμου (Jones et al., 2008).

Για παράδειγμα, ο ιός του Δυτικού Νείλου είναι ένας ιός που μεταδίδεται από τα κουνούπια και είναι συναντάται σε μέρη της Αφρικής, της Ασίας, της Ευρώπης και της Αυστραλίας. Διατηρείται στη φύση σε έναν κύκλο μετάδοσης κουνουπιών-πτηνών-κουνουπιών. Εντοπίστηκε για πρώτη φορά στην περιοχή του Δυτικού Νείλου στην Ουγκάντα το 1937 (Wang & Eaton, 2007; Allen et al., 2017; Andersen et al. 2020; Wu et al. 2020).

Η έξαρση της Νέας Υόρκης το 1999 προκάλεσε περίπου 8200 λοιμώξεις σε ανθρώπους, με αποτέλεσμα περίπου 1700 κρούσματα να μολυνθούν με πυρετού του Δυτικού Νείλου. Ο ιός έφτασε στις δυτικές ακτές των ΗΠΑ το 1999. Στα επόμενα έντεκα χρόνια, μεταξύ 1999-2010, 1,8 εκατομμύρια άνθρωποι μολύνθηκαν, εκ των οποίων οι 360.000 νόσησαν σοβαρά, οι 12.852 απέκτησαν εγκεφαλίτιδα/μηνιγγίτιδα και οι 1.308 κατέληξαν. (Petersen et al., 2007)

Οι ζωονόσοι χωρίζονται γενικά σε τρεις ομάδες (Huang et al. 2017; Rabitsch et al. 2017):

- άμεσα μεταδιδόμενες ασθένειες, για τις οποίες ο ενδιάμεσος ξενιστής (που δεν βλάπτεται σημαντικά από το παθογόνο) μεταδίδει το παθογόνο απευθείας στον οριστικό ξενιστή (ένας άνθρωπος που πάσχει από ασθένεια).

- ασθένειες που μεταδίδονται από φορείς (ο φορέας μεταδίδει το παθογόνο μεταξύ του ενδιάμεσου και του οριστικού ζενιστή)
- ασθένειες που προκαλούνται από παράσιτα.

Οι οριστικοί ζενιστές είναι πάντα άνθρωποι, ενώ οι ενδιάμεσοι ζενιστές είναι συχνά:

- Τρωκτικά,
- Νυχτερίδες,
- Σαρκοφάγα,
- Πουλιά,
- Ερπετά,
- Σαλιγκάρια.

Οι αρχικοί ζενιστές είναι συνήθως:

- Κουνούπια,
- Τσιμπούρια,
- Πουλιά,
- Σαλιγκάρια,
- και μικρά θηλαστικά όπως τρωκτικά.

Τα παθογόνα που εμπλέκονται περιλαμβάνουν:

- ιούς,
- βακτήρια, και
- μύκητες.

Τα παράσιτα περιλαμβάνουν:

- Νηματώδεις

- και πρωτόζωα (μονοκύτταροι οργανισμοί).

Οι σχέσεις μεταξύ ξενιστών, φορέων, παρασίτων και παθογόνων είναι πολύπλοκες και μπορούν να επηρεαστούν από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η διαρροή (όταν ένας παθογόνος οργανισμός μολύνει έναν νέο ξενιστή) μπορεί να περιλαμβάνει πολλούς συνδυασμούς αλληλεπιδράσεων μεταξύ γηγενών και μη γηγενών οργανισμών. Τέτοιες καταστασεις συμβαίνουν συνηθως απόαιτια που προκαλούν τη κλιματική αλλαγή ή την υποβάθμιση του οικοσυστήματος (Rabitsch et al. 2017).

Πίνακας 3. Παραδείγματα ζωονόσων που εντοπίζονται εκτός των φυσικών τους οικοτόπων

Ασθένεια	Παθογόνο/ Παράσιτο	Μεταδότες	Παραδείγματα τελικών ξενιστών	Καταγωγή
Μαλάρια	<i>Plasmodium</i> spp.	Κουνούπια	Άνθρωποι	Αφρική
Πανούκλα	<i>Yersinia pestis</i>	Μύγες	Μικρά θηλαστικά	Κίνα
Usutu πυρετός	Usutu ιός	Κουνούπια	Είδη πουλιών, άνθρωποι, άλογα και άλλα θηλαστικά.	Αφρική
Πυρετός δυτικού Νείλου	Ιός δυτικού Νείλου	Κουνούπια	Κάποια είδη πουλιών	Αφρική, Ασία και Μέση ανατολή, Αυστραλία και μέρη της Ευρώπης.

Κίτρινος πυρετός	Ιός του κίτρινου πυρετού	Κουνούπια	Μαιμούδες, άνθρωποι	Αφρική
Zika Πυρετός	Zika ιός	Κουνούπια	Μαιμούδες	Αφρική, Ασία

Πηγές: Rabitsch et al (2017); States et al. (2014); Allan et al. (2009).

Αρκετοί από τους ξενιστές που περιγράφονται στην επιστημονική βιβλιογραφία είναι συχνά επιρρεπείς σε παράγοντες απώλειας βιοποικιλότητας, όπως η αλλαγή χρήσης γης. Τα τρωκτικά, για παράδειγμα, αλληλεπιδρούν στενά με ανθρώπους και ζώα. Η ίδια η κτηνοτροφία μπορεί να είναι αποτελεί τον ενδιάμεσο ξενιστή για διάφορες ζωονόσους. Οι αγορές ζωντανών ζώων, το κυνήγι της άγριας ζωής, η εντατική εκτροφή άγριων και κατοικίδιων ζώων είναι οι πιο συνηθισμένες αλληλεπιδράσεις ζώων-ανθρώπων για τις αναδυόμενες ζωονόσους, με αποτέλεσμα τη διάχυση στους ανθρώπους (Πίνακας 2). Τα παθογόνα μπορούν να μεταδοθούν μέσω κατανάλωσης, χειρισμού ζωντανού ζώου, σφαγής και προετοιμασίας του κρέατος προς πώληση ή κατανάλωση.

Πίνακας 4. Αναδυόμενες ζωονόσοι από αλληλεπιδράσεις ανθρώπου-ζώου

Αγορές ζωντανών ζώων	SARS, COVID-19, γρίπη των πτηνών
Κυνήγι άγρια ζωής	HIV, Έμπολα
Εντατική εκτροφή άγριων ζώων	COVID-19, λύσσα, γρίπη των πτηνών
Οικόσιτα ζώα	Hendra, Nipah, γρίπη των πτηνών

Πηγή: Magouras et al. (2020).

Η κτηνοτροφία είναι χωρίς αμφιβολία η σημαντικότερη αλληλεπίδραση ζώων-ανθρώπων και ως εκ τούτου παίζει έναν ιδιαίτερο ρόλο στις μεταδόσεις ζωονόσων. Μια συστηματική ανασκόπηση των Klous et al. (2016) αποκάλυψε δεκαέξι ζωονόσους που μεταδίδονται μέσω ζώων στον άνθρωπο (Πίνακας 3). Οι πιο πολλές ασθένειες εμφανίζαν ανοσία στη μεθικιλίνη (*Staphylococcus aureus*) με αποτέλεσμα να προκαλούν πνευμονία, μηνιγγίτιδα, οστεομυελίτιδα, ενδοκαρδίτιδα, σύνδρομο τοξικού σοκ, διάφορες μορφές γρίπης των πτηνών. Οι περισσότερο εκτεθειμένοι, ήταν εκείνοι που έρχονταν σε στενή επαφή με τους ενιαμεσους ξενιστές, όπως αγρότες κτηνοτρόφοι κλπ, η εκείνοι που αλληλοεπιδρούσαν συχνά με τους πρώτους. (Klous et al., 2016).

Πίνακας 5. Περιπτώσεις ζωονόσων που προκλήθηκαν από την κτηνοτροφία

Παθογόνο/ζωονόσος	Ζώα που εμπλέκονται	Άτομα που μολύνθηκαν
Ανθεκτικό στα αντιβιοτικά <i>Escherichia coli</i>	Γουρούνια	Καταναλωτές, Εργαζόμενοι σε σφαγεία γουρουνιών
Μεταπνευμονιοϊός των πτηνών	Γαλοπούλες	Αγρότες και Εργαζόμενοι στη μεταποίηση
Βλαστοκύστη	Γουρούνια	Εργαζόμενοι στην εκτροφή γουρουνιών
<i>Brucella</i> spp.	Πρόβατα, Κατσίκια	Κτηνίατροι, Κτηνοτρόφοι αιγοπροβάτων
<i>Campylobacter</i> spp.	Βοοειδή	Εργαζόμενοι στην γαλακτοβιομηχανία
<i>Chlamydophila psittaci</i>	Κότες, Γαλοπούλες	Εργαζόμενοι σε σφαγεία πουλερικών

<i>Coxiella burnetii</i>	Βοοειδή	Αγρότες, Κτηνίατροι, Κτηνοτρόφοι
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Βοοειδή, Βουβάλια	Μαθητές και καθηγητές που κατασκηνώνουν σε φάρμες
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Βοοειδή	Εργαζόμενοι σε φάρμες, Μέλη των οικογενειών που διαμένουν σε φάρμες.
ESBL1-Enterobacteriaceae	Πτηνά	Κάτοικοι σε περιοχή υψηλής και χαμηλής πυκνότητας πουλερικών
H5N1, H7N7 Avian influenza	Γαλοπούλες, Κότες και λοιπά πουλερικά	Εργαζόμενοι σε εκτροφές και εργοστάσια πουλερικών
Hepatitis E virus	Γουρούνια, Πρόβατα, Γάτες, Κότες, Ελάφια, Κατσίκες, Άλογα Cats, Chickens, Deer,	Σφαγείς χοίρων και επιθεωρητές κρέατος
MRSA (Methicillin-resistant <i>Staphylococcus aureus</i>)	Γουρούνια	Χοιροτρόφοι, Εργαζόμενοι σε εργοστάσια μεταποίησης
Orf virus	Πρόβατα, Κατσίκια	Άνθρωποι που σφάζουν παράνομα ζώα
Swine influenza	Γουρούνια	Εκτροφείς γουρουνιών
<i>Trichophyton verrucosum</i>	Βοοειδή	Ζωοτρόφοι

2.2 Ο ρόλος της βιοποικιλότητας στη μετάδοση παθογόνων

Χιλιάδες παθογόνα υπάρχουν σε όλο τον ανθρώπινο πληθυσμό. Εκατοντάδες από αυτά είναι βακτήρια (Centers for Disease Control and Prevention, MicrobeNet, 2020), εκατοντάδες περισσότερα είναι ιοί (Geoghegan et al., 2016) και ένας μικρότερος αλλά εξίσου σημαντικός αριθμός είναι μύκητες (Janbon, Quintin & Lanternier). Πολλοί από αυτούς τους μολυσματικούς παράγοντες εγκαθίστανται πρώτα σε άλλα σπονδυλωτά ζώα, όπως τα θηλαστικά και τα πουλιά. Στους αρχικούς τους ξενιστές, τα παθογόνα μικρόβια ζουν χωρίς να τους βλάπτουν ή σε περίπτωση που τους βλάψουν προκαλούν μιας ήπιας μορφής νόσηση.

Η μεταφορά μικροβίων από ζώα σε ανθρώπους συνέβη σε διάστημα χιλιάδων ετών. Μερικά από αυτά τα μικρόβια προκάλεσαν τις μάστιγες των προγόνων μας, από την πανούκλα έως την ευλογιά ή τη φυματίωση (Wolfe, 2007). Πιο πρόσφατα, η ανθρωπότητα έχει έρθει αντιμέτωπη με το AIDS, το Έμπολα, το σοβαρό οξύ αναπνευστικό σύνδρομο (SARS) και το αναπνευστικό σύνδρομο της Μέσης Ανατολής (MERS). Αυτές οι ζωονόσοι, που προκύπτουν από διασταυρούμενη μετάδοση παθογόνων μεταξύ ανθρώπου και άλλων σπονδυλωτών ζώων, φαίνεται τελευταία να εμφανίζονται συχνότερα.

Μέχρι πρόσφατα, τα ενδιαιτήματα με φυσικά υψηλά επίπεδα βιοποικιλότητας θεωρούνταν ότι χρησίμευαν ως «hot spot» για την εμφάνιση νέων ζωονοσογόνων παθογόνων, παρουσιάζοντας κινδύνους για τον άνθρωπο (Wood et al., 2017). Αυτή η θέση βασίστηκε στις υποθέσεις ότι μια ποικιλία οργανισμών που ζουν ελεύθερα στη φύση, οδηγεί σε μια ποικιλία παθογόνων, και αυτή η ποικιλομορφία των παθογόνων μόνη της αποτελεί παράγοντα κινδύνου για τη ζωονόσο (Ostfeld & Keesing, 2017). Άλλα εδώ και δεκαετίες γνωρίζουμε πλέον ότι υπό ορισμένες συνθήκες, η υψηλή βιολογική ποικιλομορφία μπορεί να μειώσει τη μετάδοση ζωονόσων που έχουν ήδη καθιερωθεί (Keesing et al., 2010). Η απώλεια λοιπόν της φυσικής βιοποικιλότητας θα μπορούσε ταυτόχρονα να αυξήσει την έκθεση του ανθρώπου σε υπάρχοντα παθογόνα, και να μειώσει την πιθανότητα της εμφάνισης νέων ζωονόσων. Μια τέτοια δυνητική αντίφαση περιπλέκει την ικανότητα των επιστημόνων να παρέχουν έγκυρες

πληροφορίες σχετικά με τις σχέσεις βιοποικιλότητας-νόσου για τη δημόσια πολιτική και διαχείριση.

2.3 Η βιοποικιλότητα ως πηγή ζωονοσογόνων παθογόνων

Τα ζώα μοιράζονται τα παθογόνα τους με εμάς με τους ίδιους τρόπους που οι άνθρωποι μοιράζονται τα παθογόνα τους μεταξύ τους. Ένας παθογόνος οργανισμός μπορεί να ταξιδέψει από τον ένα ξενιστή στον άλλο με σταγονίδια ή αερολύματα από βήχα ή φτέρνισμα, μέσω αίματος, ούρων, σάλιου ή άλλων σωματικών υγρών, μέσω κοπράνων ή με μεταφορά από δάγκωμα, από μύγα, κουνουόπι ή τσιμπούρι. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το παθογόνο μπορεί να παραμείνει σε μια επιφάνεια ή στο περιβάλλον, έτσι ώστε ο άνθρωπος να συναντήσει το παθογόνο χωρίς πολύ κοντινή απόσταση με το ζώο που ήταν η πηγή του. Το παθογόνο μπορεί να μην είναι σε θέση να μολύνει τον άνθρωπο που έρχεται σε επαφή. Ακόμα κι αν μπορέσει, το ανοσοποιητικό σύστημα του ατόμου μπορεί να σταματήσει τον παθογόνο παράγοντα πριν προκαλέσει βλάβη. Άλλα σε ορισμένες περιπτώσεις, το παθογόνο μπορεί να μολύνει τον ανθρώπινο ξενιστή, και αυτό το άτομο μπορεί με τη σειρά του να μεταδώσει το παθογόνο σε άλλους (Geoghegan et al., 2016).

Η μετάδοση παθογόνων μεταξύ των ειδών προκύπτει από μια πολύπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ των χαρακτηριστικών του παθογόνου και κάποιων άλλων παραγόντων (Olival et al., 2017). Αυτοί σχετίζονται με την αρχική μόλυνση του ξενιστή, την απορρόφηση του παθογόνου και την επιβίωση του στο φυσικό περιβάλλον, το τρόπο έκθεσης του ανθρώπου στο παθογόνο καθώς και την ευαισθησία των δυνητικών νοσούντων στη μόλυνση (Plowright et al., 2017).

Η φυσική βιοποικιλότητα και η απώλειά της, μπορούν να επηρεάσουν αυτό το μονοπάτι σε πολλαπλά σημεία, επηρεάζοντας δυνητικά την πιθανότητα να καθιερωθεί ένα νέο παθογόνο στους ανθρώπους. Το πιο σημαντικό είναι ότι οι διαφορετικές κοινότητες ξενιστών μπορούν να χρησιμεύσουν ως πηγές για νέους παθογόνους παράγοντες και είναι αυτός ο ρόλος για τη βιοποικιλότητα που έχει λάβει τη μεγαλύτερη προσοχή στην έρευνα για την εμφάνιση ασθενειών. Στα περισσότερα

μοντέλα που συνδέουν τη βιοποικιλότητα με την εμφάνιση ασθενειών, η βιοποικιλότητα αποτελείται από είδη που φιλοξενούν ποικιλία παθογόνων, κάθε ένα από τα οποία θα μπορούσε να μεταπηδήσει με επιτυχία στους ανθρώπους. Σημαντικό σε αυτά τα μοντέλα που εστιάζουν στη συνολική ποικιλομορφία του ξενιστή είναι η υπόθεση ότι όλα τα είδη είναι εξίσου πιθανό να είναι πηγές ζωονόσων. Εναλλακτικά, ορισμένες ομάδες (όπως νυχτερίδες και τρωκτικά) μπορεί να είναι πολύ πιο πιθανό να χρησιμεύσουν ως πηγές ζωονοσογόνων παθογόνων.

Σε μια σημαντική μελέτη, οι Jones et al. (2008) εντόπισαν ζωονόσους που είχαν εμφανιστεί μεταξύ 1940 και 2005, και χαρτογράφησαν τις πιο πιθανές τοποθεσίες των υποκείμενων εμφανίσεων. Αν και οι ζωονόσοι που προέρχονται από την άγρια ζωή ήταν μόνο 1% περίπου, ήταν πιο πιθανό να εμφανιστούν εκεί όπου η ποικιλία των άγριων ζώων και θηλαστικών ήταν μεγάλη και έτσι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο πλούτος των ειδών είναι ένας σημαντικός προγνωστικός παράγοντας για την εμφάνιση των ζωονόσων. Οι Allen et al. (2017) επέκτειναν αυτήν την ανάλυση, ενσωματώνοντας περισσότερες επεξηγήσεις και μεταβλητές,. Μετά τη διόρθωση της αναφοράς μεροληψίας, βρήκαν ότι ο πλούτος των ειδών των θηλαστικών είχε μόνο την τέταρτη ισχυρότερη επιρροή στην κατανομή των αναδυόμενων μολυσματικών ασθενειών, μετά την παρουσία αειθαλών πλατύφυλλων δέντρων, την ανθρώπινη πυκνότητα πληθυσμού και το κλίμα.

Επιπρόσθετα, αξίζει να αναφερθεί ότι μερικά ζωικά είδη φαίνεται να είναι πιο πιθανό να μεταδώσουν ζωικής προέλευσης ασθένειες σε σχέση με κάποια άλλα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι, οι Dobson (2005) και Calisher et al. (2006) τόνισαν τη σημασία των νυχτερίδων στη μετάδοση ζωονόσων στον άνθρωπο (Luis et al., 2013). Σε πρόσφατες αναλύσεις, τα τρωκτικά έχουν επίσης αναδειχθεί ως η πιο πιθανή πηγή (Han, Kramer & Drake, 2016) ή μία από τις πιο πιθανές πηγές μετάδοσης ζωονόσων (Luis et al., 2013).

Μια τέτοια γνώση μπορεί να οδηγήσει σε στοχευμένη παρακολούθηση συγκεκριμένων ομάδων ή περιοχών υψηλού κινδύνου. Για παράδειγμα, οι Han et al (2015) εντόπισαν χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τα τρωκτικά που είναι ξενιστές σε σύγκριση με τα τρωκτικά που δεν είναι, οδηγώντας σε προβλέψεις για συγκεκριμένα

είδη τρωκτικών που μπορεί να φιλοξενούν μη εντοπισμένα ζωονοσογόνα παθογόνα. Αυτού του είδους η πληροφορία, μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην πολιτική διαχείριση των ζωονόσων.

Πρόσφατες μελέτες για ζωικές πηγές ζωονοσογόνων παθογόνων έχουν επικεντρωθεί στους ιούς επειδή αυτοί έχουν αναγνωριστεί ως τα παθογόνα που είναι πιθανότερο να προκαλέσουν αναδυόμενες ζωονόσους στον άνθρωπο (Jones et al., 2008). Οι Johnson et al. (2020) συνέταξαν μια βάση δεδομένων με 142 ζωονόσους ιούς, στην οποία η τάξη Rodentia αποτελεί την πηγή των δύο τρίτων των ιών που προέρχονται από θηλαστικά. Από την ανάλυση οι νυχτερίδες (Τάξη Chiroptera) φιλοξενούν τον δεύτερο μεγαλύτερο αριθμό ιών, με τη τάξη των Carnivora (π.χ., σκύλους και γάτες) Cetartiodactyla (πρόβατα, αγελάδες και ελάφια) και ταων πρωτευόντων θηλαστικών να έχουν συγκριτικά υψηλό αριθμό ιών, σε σχέση με την ποικιλομορφία τους.

Οι Mollentze και Streicker (2020) προσδιορίζουν τα τρωκτικά ως την ομάδα που αποτελεί ξενιστή για τους περισσότερους ζωονόσους ιούς. Ένα σημαντικό θέμα για τους ζωονοσογόνους οικοδεσπότες ήταν ο ρόλος των εξημερωμένων ειδών. Για παράδειγμα, τα εξημερωμένα είδη έχουν προταθεί ως οι βέλτιστοι «ενδιάμεσοι ξενιστές» (Caron et al., 2015) για ζωονοσογόνους παθογόνους παράγοντες. Μάλιστα οι Johnson et al. (21) διαπιστώνουν ότι τα εξημερωμένα είδη των τάξεων Cetartiodactyla και Carnivora, φιλοξενούν κατά μέσο όρο 100 φορές περισσότερους ιούς ανά είδος σε σχέση με τα μη εξημερωμένα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η έρευνα των Wardeh et al. (19) διαπίστωσε ότι η κατάσταση εξημέρωσης ήταν ισχυρός προγνωστικός παράγοντας για το αν ένα είδος μοιράζεται παθογόνα με τον άνθρωπο.

Οι Johnson et al. (2020) και Wells et al. (2020) πραγματοποίησαν τις αναλύσεις τους με δεδομένα που περιλάμβαναν ξενιστές που είναι γνωστό ότι έχουν μολυνθεί με έναν συγκεκριμένο ιό, και για τον οποίο υπήρχαν κάποια στοιχεία ότι θα μπορούσαν να μολύνουν με τον ιό αυτόν και τον άνθρωπο. Ωστόσο, δεν προσπάθησαν να ταυτοποιήσουν τα είδη που αποτελούν τον αρχικό πομπό του παθογόνου στον άνθρωπο: δηλαδή, την πηγή του πρωταρχικού γεγονότος διαρροής που κατέληξε για πρώτη φορά στη μόλυνση του ανθρώπου. Αντ' αυτού, επικεντρώθηκαν στη

δευτερογενή διάχυση στους ανθρώπους. Το να γίνει βέβαια διάκριση μεταξύ πρωτογενούς και δευτερογενούς διαρροής είναι δύσκολο. Τα περισσότερα παθογόνα που μολύνουν από τα ζώα στους ανθρώπους έχουν ευρείες περιοχές ξενιστών (Parrish et al., 2015).

Η πρωταρχική πηγή ζωονοσογόνου παθογόνου σπάνια προσδιορίζεται οριστικά. Για παράδειγμα, η κύρια πηγή του SARS-CoV-2, η οποία προκαλεί COVID-19, δεν έχει προσδιοριστεί. Συγγενείς του ιού, με γενετικές ομοιότητες με τον SARS-CoV-2 σε υψηλό εύρος 90%, έχουν βρεθεί σε πεταλοφόρες νυχτερίδες και παγκολίνους (Zhang & Holmes, 2020), αλλά τα μόνο μη ανθρώπινα ζώα που σήμερα είναι γνωστό ότι φιλοξενούν τον SARS-CoV-2 είναι αυτά στα οποία το έχουν μεταδώσει οι άνθρωποι, είτε σκόπιμα είτε χωρίς την θέλησή τους. Αυτά τα είδη περιλαμβάνουν τίγρεις (*Panthera tigris*), λιοντάρια (*Panthera leo*), βιζόν (Neovison vison), rhesus macaques (*Macaca mulatta*), και σιβηρικά χάμστερ (*Phodopus sungorus*) (Leroy, Gouilh & Brugere-Picoux, 2020). Από αυτά, τουλάχιστον τα βιζόν φαίνεται να είναι σε θέση να μεταδώσουν τον SARS-CoV-2 ξανά πίσω στους ανθρώπους (Enserink, 2020), και έτσι θα μπορούσαν να θεωρηθούν δευτερεύοντες ξενιστές. Πλέον οι μοριακές αναλύσεις επικεντρώνονται σε δευτερεύοντες ξενιστές διαρροής όπως τα βιζόν, αντί για τους κύριους ξενιστές διασποράς, αν και αυτή η διάκριση είναι σπάνια ρητή.

Οι ανθρώπινες επιπτώσεις, όπως η αλλαγή χρήσης γης, έχουν συνδεθεί με αναδυόμενες μολυσματικές ασθένειες των ανθρώπων σε πολλές μελέτες (Faust et al., 2018). Οι Murray and Daszak (2013), για παράδειγμα, διερεύνησαν πώς η αλλαγή χρήσης της γης, όπως η αποψύλωση των δασών και η εντατική γεωργία, επηρεάζει την εμφάνιση ζωονόσων ιών. Στην πρώτη τους υπόθεση θεωρούν ότι η αλλαγή χρήσης γης αυξάνει την επαφή μεταξύ ανθρώπων και μιας ομάδας ποικίλων παθογόνων, χωρίς να επηρεάζονται άμεσα οι ενδιάμεσοι ξενιστές. Στην άλλη υπόθεση, η χρήση γης αλλάζει τις ισορροπίες των οικολογικών κοινοτήτων, επηρεάζοντας τα είδη των ζωονοσογόνων ξενιστών, όπως τρωκτικά ή νυχτερίδες, με αποτέλεσμα να αλλάζουν τα ποσοστά στα είδη μετάδοσης. Τα είδη που ευδοκιμούν σε ενδιαιτήματα που επηρεάζονται από τον ανθρωπο θα μπορούσαν να παρέχουν ευκαιρίες για διασπορά με βάση τόσο την ποικιλομορφία των πιθανών παθογόνων παραγόντων όσο και την αφθονία των επαφών

τους με ανθρώπους. Οι Johnson et al. (2020) διαπίστωσαν ότι το 11% των 5.335 άγριων χερσαίων ειδών θηλαστικών ήταν ξενιστές ζωονόσων ιών και τα περισσότερα εξ αυτών φιλοξενούσαν μόνο έναν τέτοιο ιό. Τα αποτελέσματά τους υποδηλώνουν ότι η κατάσταση του ζωονοσογόνου ξενιστή στα θηλαστικά μπορεί να συσχετίζεται με την ανθεκτικότητα σε ανθρώπινες επιπτώσεις, όπως η αλλαγή χρήσεων γης (π.χ. κυνήγι, εμπόριο), η ρύπανση και η εξάπλωση των επεμβατικών ειδών. Επίσης, οι Gibb et al (2020) που ανέλυσαν τις επιπτώσεων της ποικιλίας και της αφθονίας των ξενιστών στον άνθρωπο, συνδυάζοντας πολλές βάσεις δεδομένων, συνέταξαν έναν κατάλογο 6.801 οικολογικών συγκροτημάτων και 376 είδη ξενιστών για να διαπιστώσουν εάν τα ζωικά είδη ξενιστές των παθογόνων ήταν πιο άφθονα ή πιο ποικίλα ή και τα δύο, σε περιβάλλοντα εντατικά χρησιμοποιούμενα από τους ανθρώπους. Διαπίστωσαν ότι τα άγρια είδη που είναι γνωστά ως ξενιστές ζωονόσων, ήταν πιο πολλά και ποικίλα σε περιβάλλοντα εντατικής ανθρώπινης παρέμβασης σε σχέση με αυτά που είχαν μικρή ή καθόλου ανθρώπινη παρέμβαση. Στα ίδια περίπου συμπεράσματα κατέληξε και η έρευνα των Mendoza et al. (2020), χρησιμοποιώντας βέβαια ένα μικρότερο σύνολο δεδομένων. Συμπερασματικά, η ποικιλομορφία και η αφθονία των ζώων σε ενδιαιτήματα που επηρεάζονται από τον άνθρωπο ευνοούν τα είδη που είναι πιο πιθανό να είναι ικανοί ζωονόσοι ξενιστές (Gibb et al., 2020).

Έτσι λοιπόν από όλα τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι, η πρόσφατη έρευνα άρχισε να συμβιβάζει την αντιληπτή σύγκρουση μεταξύ των ευεργετικών επιπτώσεων της διατήρησης της φυσικής βιοποικιλότητας, μέσω του φαινομένου της αραίωσης, με το υποτιθέμενο κόστος του ως πηγή για νέα ανθρώπινα παθογόνα. Η διασταυρούμενη μετάδοση παθογόνων στους ανθρώπους είναι μια ειδική περίπτωση μιας συνεχούς διαδικασίας που περιστασιακά έχει ως αποτέλεσμα την επιτυχή διάχυση σε ένα νέο είδος, ανθρώπινο ή άλλο. Αυτά τα παθογόνα που εξαπλώνονται για να μολύνουν τους ανθρώπους (ζωονόσοι παθογόνοι παράγοντες) φαίνεται να είναι πιθανότερο να προέρχονται από συγκεκριμένα ταξινομικά είδη, που συχνά πολλαπλασιάζονται ως αποτέλεσμα των ανθρώπινων επιπτώσεων. Ορισμένα βέβαια είδη, όπως τα τρωκτικά, οι νυχτερίδες, τα πρωτεύοντα και τα σαρκοφάγα θηλαστικά εμφανίζονται σταθερά ως τα πιο σημαντικά από τα θηλαστικά στη μετάδοση των ζωονόσων (Wolfe, Dunavan & Diamond, 2007).

Γεωγραφικές συγκρίσεις μέσω μεγάλης κλίμακας συσχετιστικών μελετών είχαν την τάση να αναφέρουν μια αδύναμη αλλά θετική επίδραση του πλούτου των ειδών των θηλαστικών στις ζωονόσους, αλλά αυτές οι μελέτες δείχνουν πολύ ισχυρότερες θετικές συσχετίσεις με άλλους παράγοντες, όπως η πυκνότητα του ανθρώπινου πληθυσμού (Allen et al., 2017). Αντίθετα, η απώλεια βιοποικιλότητας έχει αποδειχθεί ότι συχνά αυξάνει τον κίνδυνο των ζωονόσων, όπως για παράδειγμα, μέσω της επίδρασης της αραίωσης (Civitello et al., 2015). Συνεπώς, ο προσδιορισμός του τρόπου με τον οποίο οι διαφορετικές ανθρωπογενείς επιπτώσεις (π.χ. μετατροπή οικοτόπων, κλιματική αλλαγή, υπερβολική συγκομιδή) επηρεάζουν τους ζωονοσογόνους ξενιστές είναι ένας σημαντικός τομέας μελλοντικής έρευνας, όπως πρόσφατες έρευνες απέδειξαν (Gibb et al., 2020).

2.4 Απώλεια βιοποικιλότητας και άνοδος ζωονοσογόνων παθογόνων

Αυτή τη στιγμή η γη βιώνει μια κρίση εξαφάνισης πολλών ειδών, που είναι πρωτοφανής τόσο σε μέγεθος όσο και σε ρυθμό. Η ικανότητα των επιστημόνων να εξακριβώνουν πόσα είδη έχουν εξαφανιστεί ή σύντομα θα εξαφανιστούν, ποικίλει σημαντικά μεταξύ ταξινομικών ομάδων και τύπων οικοσυστημάτων. Έτσι είναι σαφές ότι η τρέχουσα κρίση εξαφάνισης ειδών είναι διάχυτη, και σε μερικούς οικοτόπους, ακόμη και καθολική. Σύμφωνα με τις επιστημονικές προβλέψεις, τα ποσοστά των παγκόσμιων αφανίσεων σε ορισμένες κατηγορίες σπονδυλωτών θα φτάσουν το 50% μέσα σε περίπου 100 χρόνια (Eldredge, 2002). Οι συνέπειες της απώλειας βιοποικιλότητας για την ανθρωπότητα είναι σίγουρα βαθύτατη (Chivian & Bernstein, 2008). Πολλά είδη παράγουν χημικές ενώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή να προσαρμοστούν ως φαρμακευτικοί παράγοντες με απευθείας οφέλη της ανθρώπινης υγείας ενώ άλλα διατηρούν γενετικές και γονιδιωματικές πληροφορίες ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της γεωργικής παραγωγικότητας και της ανθρώπινης διατροφής (Chivian & Bernstein, 2008).

Πρόσφατα, διαπιστώθηκε ότι η υψηλή βιοποικιλότητα μπορεί να προστατεύσει την ανθρώπινη υγεία μειώνοντας τον κίνδυνο ορισμένων μολυσματικών ασθενειών

(Ostfeld & Keesing, 2000a; Ostfeld & Keesing, 2000b; Van Buskirk J, Ostfeld, 1995).

Έτσι λοιπόν, η υψηλή βιοποικιλότητα μπορεί να προστατεύσει από τη μετάδοση ασθενειών με έναν ή περισσότερους μηχανισμούς, μεταξύ των οποίων είναι:

- (i) μείωση της πυκνότητας πληθυσμού αρχικών φορέων
- (ii) μείωση της πυκνότητας του πληθυσμού των αρθρόποδων φορέων για παθογόνους παράγοντες και
- (iii) μείωση των ποσοστών συνάντησης ενδιάμεσων ξενιστών (Keesing, Holt & Ostfeld, 2006).

Το φαινόμενο με το οποίο η μεγάλη ποικιλομορφία μειώνει τον κίνδυνο ασθενειών, όπως προαναφέρθηκε, ονομάζεται φαινόμενο της αραίωσης (Norman et al., 1999; Ostfeld & Keesing, 2000b; Van Buskirk J, Ostfeld, 1995). Συμπερασματικά υπάρχουν πλέον αποδεικτικά στοιχεία για μια σύνδεση της βιοποικιλότητας με την προστασία του ανθρώπου από παθογόνα (Keesing, Holt, Ostfeld, 2006). Τα επιστημονικά δεδομένα αποδεικνύουν ότι η προστασία από την έκθεση σε μολυσματικές ασθένειες προστίθεται στον κατάλογο των ωφελιμιστικών λειτουργιών της βιοποικιλότητας. Η απώλεια της βιοποικιλότητας, η καταστροφή των οικοτόπων η διαρκώς αυξανόμενη ρύπανση, οι εισβολές εξωτικών ειδών και η άμεση εκμετάλλευση του περιβάλλοντος από τον άνθρωπο και φυσικά η παγκόσμια κλιματική αλλαγή, επιδεινώνουν το παγκόσμιο βάρος των ασθενειών τόσο άμεσα όσο και έμμεσα, από τη μείωση της βιοποικιλότητας (Harvell et al., 2002).

3. Η περίπτωση του Covid-19

3.1 Covid-19 και νυχτερίδες

Ο παγκόσμιος αντίκτυπος του COVID-19 έφτασε σε 200 χώρες και προκάλεσε συνολικά πάνω από ένα εκατομμύριο θανάτους. Οι νυχτερίδες έχουν ταυτοποιηθεί οι οι αρχικοί ξενιστές του τρέχοντος κορονοϊού και πιστεύεται ότι η διάχυση του ιού στους ανθρώπους προκλήθηκε από την κατανάλωση αυτών των Χειροπτέρων. Ωστόσο, η τάση της παγκόσμιας εμφάνισης ασθενειών θα μπορούσε να είναι αποτέλεσμα σύγκλισης τριών παραγόντων:

- (1) η ποικιλία των μικροβίων της άγριας ζωής στην περιοχή (Morse, 1993)
- (2) οι επιπτώσεις των περιβαλλοντικών αλλαγών στον επιπολασμό των παθογόνων παραγόντων στους ευπαθείς πληθυσμούς και
- (3) η συχνότητα των επαφών των ανθρώπων με τα κατοικίδια ή τα άγρια ζώα (ενδιάμεσοι ξενιστές) (Wolfe et al., 2005)

Όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, υπάρχει η άποψη ότι η μειωμένη βιοποικιλότητα σχετίζεται με τη μετάδοση παθογόνων μέσω του λεγόμενου φαινομένου της αραίωσης (Keesing et al., 2006). Ωστόσο, η επίδραση της αραίωσης δεν φαίνεται να είναι καθολική, αλλά φαίνεται να εξαρτάται από τη σύνθεση της κοινότητας των ζώων, την οικολογία των ξενιστών και των παθογόνων καθώς και από την κλίμακα στην οποία βρίσκεται το σύστημα που εξετάστηκε (Wood et al., 2017). Για παράδειγμα, το επιθυμητό αποτέλεσμα της αραίωσης της βιοποικιλότητας θα επιτευχθεί εάν η αυξημένη ποικιλία ειδών οδηγήσει σε μειωμένη πυκνότητα του πληθυσμού του ξενιστή, που με τη σειρά του θα μειώσει τα ποσοστά των επαφών και επομένως τον ρυθμό μετάδοσης. Αντιστρόφως, θα μπορούσε να συμβεί η αυξημένη ποικιλομορφία να οδηγεί σε αυξημένη πυκνότητα ξενιστή, με υψηλότερα ποσοστά επαφής και μεταδοτικότητα (Angela, Kuenzi & Mills, 2018).

Εξωγενείς πιέσεις σε περιοχές με υψηλό ζωονοσολογικό δυναμικό όπου ο πλούτος του ξενιστή ή του παθογόνου είναι ήδη ιδιαίτερα υψηλός, θα μπορούσε να προκαλέσει διαρροή σε ανθρώπινους ξενιστές (Jones et al., 2013). Για παράδειγμα, στην Νοτιοανατολική Ασία, που είναι η περιοχή στον κόσμο με το μεγαλύτερο ποσοστό αποψύλωσης (με απώλεια 30% της δασικής επιφάνειας τα τελευταία 40 χρόνια, λόγω της αυξημένης γεωργικής εκμετάλλευσης και της κακής διαχείρισης της αστικής ανάπτυξης), δημιουργήθηκαν ισχυρές πιέσεις στη χρήση της γης, με πιο κοινές δραστηριότητες τη γεωργία, την υλοτομία και το κυνήγι (Hassel et al., 2017). Οι ανθρωπογενείς πιέσεις, προκαλούν κατακερματισμό των δασικών οικοτόπων, με το σχηματισμό «μπαλωμάτων» (Despommier, Ellis & Wilcox, 2006). Έτσι, η επέκταση των οικοτονικών περιοχών μέσω ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως η καλλιεργήσιμη γη, μπορεί να αλλάξει τις θέσεις των παθογόνων, αυξάνοντας την επαφή και τον κίνδυνο μετάδοσης (Brown et al., 2008). Απόδειξη της συσχέτισης μεταξύ εμφάνισης ασθενειών και οικοτόπων έχει τεκμηριωθεί για αρκετές ζωονόσους όπως εγκεφαλίτιδα του ιού Nipah, η γρίπη, η λύσσα και το πνευμονικό σύνδρομο hantavirus (Gurley et al., 2014).

Τα είδη νυχτερίδας είναι μεταξύ των πολυάριθμων άγριων θηλαστικών που προσαρμόζονται εύκολα σε ανθρωποποιημένα αγροτικά και αστικά περιβάλλοντα. Σε αυτά τα περιβάλλοντα λοιπόν, οι νυχτερίδες μπορούν να εντοπίσουν συμβατά με τις ανάγκες τους σημεία όπως τα φώτα του σπιτιού που προσελκύουν μεγάλο αριθμό εντόμων κατά τη νύχτα, προσφέροντας εύκολη λεία σε εντομοφάγες νυχτερίδες (Plowright et al., 2014). Αυτές οι αλλαγές στις κοινότητες της άγριας ζωής χαρακτηρίζονται από χαμηλή βιοποικιλότητα, με αύξηση του συνάνθρωπου είδους (ένα άγριο ζώο που ζει σε στενή επαφή με ανθρώπους) που μπορεί να αυξήσει τα ποσοστά επαφής με τον άνθρωπο και, συνεπώς, αυξάνουν τον κίνδυνο μετάδοσης παθογόνων στους ανθρώπους (Davis & Calvet, 2005). Αυτή η ελκυστική επίδραση ανθρωποποιημένων περιβαλλόντων σε νυχτερίδες με διαφορετικές βιολογικές ανάγκες οδηγεί σε υψηλότερη συγκέντρωση ιών που μεταδίδονται με την νυχτερίδα, γεγονός που αυξάνει τον κίνδυνο μετάδοσης ιών μέσω άμεσης επαφής με τα ούρα και τα κόπρανα ή μέσω μόλυνσης κατοικίδιων ζώων που ζουν στα περιβάλλοντα αυτά (Han et al., 2015). Ο συνωστισμός διαφορετικών ειδών ξενιστών αυξάνει τον αριθμό των

παθογόνων γονιδιωμάτων, που θα ευνοήσουν την παραγωγή στελεχών που είναι πιο μολυσματικά και πιο προσαρμόσιμα στους νέους ξενιστές μέσω μεταλλάξεων και μηχανισμών ανασυνδυασμού (Schrag & Wiener, 1995).

Τα μέχρι σήμερα επιστημονικά δεδομένα δείχνουν ότι πολλά παθογόνα μεταδίδονται μεταξύ των ζώων και των ανθρώπων αλλά αποτυγχάνουν να μεταδοθούν από άνθρωπο σε άνθρωπο, ή το κάνουν με ρυθμούς αμελητέους για τον ανθρώπινο πληθυσμό. Αυτή η συνθήκη έχει ονομαστεί «viral chatters» ένα κοινό δηλαδή φαινόμενο της επανειλημμένης μετάδοσης ιών στον άνθρωπο, που αποτυγχάνουν να εξελιχθούν σε μετάδοση από άνθρωπο σε άνθρωπο (Wolfe et al., 2004). Τα υψηλά ποσοστά των viral chatters αυξάνουν την ποικιλία των ιών που μετακινούνται σε ανθρώπους, αυξάνοντας την πιθανότητα μετάδοσης ενός παθογόνου παράγοντα που μπορεί να αναπαραχθεί με επιτυχία, και τελικά να προσαρμοστεί στο ανθρώπινο περιβάλλον (Han et al., 2000). Αυτός θα μπορούσε να είναι και ο τρόπος με τον οποίο εμφανίστηκε ο COVID-19.

Οι νυχτερίδες θεωρούνται οι κύριοι ξενιστές για τους aCoV και bCoV και παίζουν σημαντικό ρόλο ως πηγή γονιδίων στην εξέλιξή τους (Drexler, et al.,, 2014). Τα περισσότερα, αν όχι όλα τα aCoV και bCoV που βρίσκονται στα θηλαστικά συνδέονται εξελικτικά με τον πρόγονο κορωνοϊό της νυχτερίδας (Xu ey el., 2015). Η σχέση μεταξύ ιικού πλούτου και του πλούτου των ειδών νυχτερίδων είναι υπαρκτή, υποδηλώνοντας ότι η ποικιλομορφία των CoVs νυχτερίδων καθοδηγείται κυρίως από την οικολογία του ξενιστή. Η νυχτερίδας υπολογίζεται ότι εμφανίστηκε σαν είδος πριν από περίπου 64 εκατομμύρια χρόνια (Teeling et al., 2005). Αυτό το φαινόμενο μπορεί να παρείχε την ευκαιρία για ανάμειξη μεταξύ ειδών και ενδιάμεσων ξενιστών που μπορούν να μολύνουν ένα ευρύ φάσμα ξενιστών. Ακόμη, παρά το γεγονός ότι φιλοξενούν μια τέτοια ποικιλία ιών, σπάνια οι ίδιες οι νυχτερίδες εμφανίζουν σημάδια ασθενειών (Luis et al., 2013).

Οι νυχτερίδες ανήκουν στα χειρόπτερα και είναι τα μόνα θηλαστικά που μπορούν να πετούν συνεχώς. Υπάρχουν περίπου 1.230 είδη νυχτερίδων, γεγονός που καθιστά αυτά τα ζώα ως το δεύτερο πιο πολυάριθμο θηλαστικό μετά τα τρωκτικά. Οι νυχτερίδες εκπληρώνουν πολλούς οικολογικούς ρόλους όπως, επικονιαστές των

καρποφόρων δέντρων, διαδραματίζοντας σημαντικό ρόλο στις διαδικασίες αναδάσωσης και έλεγχο του πληθυσμού των αρπακτικών εντόμων και παρασίτων των καλλιεργειών (Kunz et al., 2011).

Οι νυχτερίδες φίλοξενούν περισσότερους ζωονόσους ιούς και περισσότερους συνολικούς ιούς ανά είδη από τα τρωκτικά και έχουν σημαντικά υψηλότερη αναλογία ζωονόσων ιών από όλες τις άλλες τάξεις θηλαστικών (Luis et al., 2013). Αυτοί οι ιοί περιλαμβάνουν κορωνοϊούς (π.χ. SARS-CoV, MErs-CoV, COVID-19) και φιλοϊούς όπως αρκετά είδη του ιού Έμπολα (Calisher et al., 2006).

Οι νυχτερίδες είναι τα μόνα ιπτάμενα θηλαστικά και ως εκ τούτου παρουσιάζουν γενετικές αλλαγές στο ανοσοποιητικό τους σύστημα ως συνέπεια του μεταβολικού τους ρυθμού. Για παράδειγμα, οι νυχτερίδες παράγουν μεγάλες ποσότητες αντιδραστικών ειδών οξυγόνου (ROS), και σε απόκριση, έχουν τροποποιημένα γονίδια για τον περιορισμό του οξειδωτικού στρες, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη αντιγραφή και παθογένεια του ιού (O’Shea et al., 2014).

Επιπρόσθετα, η νυχτερίδα έχει υψηλό μεταβολικό ρυθμό, σε σύγκριση με άλλα ζώα. Για παράδειγμα, ο μεταβολικός ρυθμός σε έναν αρουραίο που τρέχει είναι 7 φορές μεγαλύτερος από ότι όταν βρίσκεται σε ακινησία, σε ένα πουλί που πετά 2 φορές, ενώ στη νυχτερίδα μπορεί να φτάσει τις 15/16 φορές. Φιλοϊοί όπως ο Μάρμπουργκ και ο Έμπολα μπορούν να αναπαράγονται ακόμα και κατά τις βραδινές πτήσεις της νυχτερίδας, υποδεικνύοντας ότι η αύξηση της θερμοκρασίας δεν επηρεάζει την αναπαραγωγή τους (Zhou et al., 2016).

Από την άλλη πλευρά, οι νυχτερίδες μπορούν μέσω της μείωσης της θερμοκρασίας σώματος να εκτελούν μια στρατηγική για την παρεμβολή στη βέλτιστη αναπαραγωγή του ιού. Επιπλέον, οι νυχτερίδες εμφανίζουν ένα μοναδικό σύστημα ιντερφερόνης (IFN) που μπορεί να εξηγήσει την ικανότητά τους να συνυπάρχουν με τα παθογόνα. Σε γενικές γραμμές, τα θηλαστικά διαθέτουν έναν μεγάλο εύρος IFN που περιλαμβάνει μια οικογένεια γονιδίων IFN-a που εκφράζονται μόνο μετά από τη μόλυνση. Αντίθετα, στις νυχτερίδες εκφράζονται μόνο τρία IFN-a, αλλά συνεχώς. Αυτό θα μπορούσε να είναι ένα ιδιαίτερα αποτελεσματικό σύστημα ελέγχου του

πολλαπλασιασμού του ιού, το οποίο βοηθά στην εξήγηση της αντοχής των νυχτερίδων στους ιούς (Ahn et al., 2016).

Επιπλέον, οι νυχτερίδες στερούνται το PYHIN, γονίδιο που συναντάται εντός της φλεγμονώδους οδού. Φυσικοί δολοφόνοι υποδοχείς που μοιάζουν με ανοσοσφαιρίνη (KIRs) απουσιάζουν ή μειώνονται σημαντικά σε ορισμένα είδη νυχτερίδων, δυνητικά περιορίζοντας ασθένειες και βλάβες μετά από μόλυνση. Επιπλέον, οι νυχτερίδες έχουν πολύ περιορισμένο μυελό των οστών ή δεν έχουν καθόλου, με συνέπεια τη χαμηλή ή και καθόλου παραγωγή B-κυττάρων, καθιστώντας τες ασυμπτωματικούς φορείς (Wynne & Wang, 2013).

Ένα άλλο χαρακτηριστικό τους είναι η κοινή σχέση με τους ιούς (Barton et al., 2007). Το ικό φορτίο που εντοπίζονται στα εντερικά δείγματα των νυχτερίδων μπορεί να βοηθήσει το μικροβίωμά τους να ενισχύει την ανοσία. Όλοι αυτοί οι παράγοντες μπορούν να λειτουργήσουν συνδυαστικά, και μπορούν να εξηγήσουν το πώς, για παράδειγμα, ποικίλες ομάδες ομοειδών CoV μπορεί να επιβιώσουν σε πληθυσμούς νυχτερίδων (Seronello et al., 2011).

3.2. Γενετική μεταβλητότητα του ιού στις νυχτερίδες

Οι πτυχές που επιτρέπουν την επιμονή του ιού στις νυχτερίδες συμβάλλουν επίσης στην ποικιλομορφία τους και στην πιθανή εμφάνιση νέων ιών. Ως αποτέλεσμα της πτήσης για σύντομα χρονικά διαστήματα, οι νυχτερίδες μπορούν να συσσωρεύουν ROS είδη που μπορεί να έχουν μεταλλαξιογόνες επιδράσεις. Σε περίπτωση κορωνοϊών, η συσσώρευση ειδών ROS θα μπορούσε δυνητικά να συντρίψει την τροποποίηση της της ικής πολυμεράσης, οδηγώντας στην ποικιλομορφία των ιών και επομένως στη μετάδοση μεταξύ των ειδών (Zhao et al., 2009).

Επιπρόσθετα, η έκφραση του IFN σε νυχτερίδες μπορεί να ευνοήσει την επιλογή της μετάλλαξης του ιού που έχουν αυξημένη αντίσταση στις αντιικές αμυντικές οδούς, παρέχοντας πλεονέκτημα αναπαραγωγής μετά τη διασταυρούμενη μετάδοση τους. Από την άλλη πλευρά, η απουσία φλεγμονώδους μεσολαβητή στα είδη

νυχτερίδων δεν παρέχει επιλεκτική πίεση, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν αυτές οι απαντήσεις, οι οποίες θα ευνοήσουν μια μαζική και παθογόνο φλεγμονώδη απόκριση σε νέο ξενιστή όπως παρατηρείται στους SARS-CoV, MERS-CoV [63,64] και σε λοιμώξεις COVID-19 σε ανθρώπους (Wynne & Wang, 2013).

Επιπλέον, ο ανασυνδυασμός ιών στις νυχτερίδες είναι επίσης συχνός. Ο ανασυνδυασμός κορωνοϊών, που μπορεί να φτάσει το 25% για ολόκληρο το γονιδίωμα, θα μπορούσε να μετατρέψει τις νυχτερίδες σε σημαντικούς φορείς και η εξέλιξη των ιών να ακολουθήσει τη πορεία του ιού της γρίπης, όπως στα πουλιά και στους χοίρους (Hu et al., 2017).

3.3. Συντήρηση ιών σε αποικία νυχτερίδων

Η κοινωνική οργάνωση στις νυχτερίδες συμβάλλει στη διατήρηση του ιού ετνός του πληθυσμού τους. Οι νυχτερίδες συμπεριφέρονται με τρόπο που ευνοεί τις ιογενείς ανταλλαγές σε αποικίες που συχνά αποτελούνται από περισσότερα από ένα είδη. Μεγάλες αποικίες και ενώσεις πολλών ειδών είναι συχνές μεταξύ των σπηλαίων νυχτερίδων, ιδίως κατά την περίοδο της μητρότητας. Οι ιοί μεταδίδονται στις αποικίες με διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με τα είδη νυχτερίδας που προσβάλλουν και τους ιούς που εξετάζονται, δηλαδή αερολύματα, επαφή με κόπρανα, ούρα, αίμα ή άλλα σωματικά υγρά, καθώς και με δάγκωμα (Amengual et al., 2007).

Παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν ιογενείς διακυμάνσεις μέσα σε μια αποικία νυχτερίδων μπορεί να είναι η παρουσία μεγάλου αριθμού ευπαθών ατόμων, καθώς και η ύπαρξη στρεσογόνων γεγονότων. Η εισροή ευπαθών νυχτερίδων στις αποικίες συμβαίνει με τις νέες γεννήσεις, με τη μετανάστευση ζώων από γειτονικές αποικίες, ή με τη λήξη του αποκλεισμού σε άτομα που είχαν μολυνθεί προηγουμένως. Αυτά τα γεγονότα μπορεί να προκαλέσουν ταχεία εξάπλωση του ιού μέσα στην αποικία και επομένως διατηρούν τη μόλυνση σε υψηλές τιμές (Davy et al., 2018).

Γεγονότα ανοσοκαταστολής, που προκαλούνται από άγχος, στον πληθυσμό των νυχτερίδων μπορεί να αυξήσουν την ευαισθησία για προσβολή και εξάπλωση των

ιών. Για παράδειγμα, μια πρόσφατη μελέτη απέδειξε ότι μια δευτερεύουσα λοίμωξη από τον μύκητα του συνδρόμου λευκής μύτης (*Pseudogymnoascus destructans*) στις νυχτερίδες αυξάνει την αντιγραφή του CoV (Brearley et al., 2013).

Οι καιρικές συνθήκες μπορούν επίσης να επηρεάσουν την εξάπλωση του ιού και επομένως τις πιθανές διαρροές του. Ο άστατος καιρός με βροχοπτώσεις μπορεί να λειτουργήσει ως στρεσογόνος παράγοντας, ειδικά όταν σχετίζεται με την έλλειψη τροφικών πόρων που μπορούν να βλάψουν το ανοσοποιητικό σύστημα των νυχτερίδων, προκαλώντας αυξημένη ευαισθησία σε παθογόνους παράγοντες. Στην πραγματικότητα, κατά τη διάρκεια βροχερών περιόδων οι θέσεις για δημιουργία φωλιάς μπορεί να είναι περιορισμένες, αυξάνοντας την επαφή μεταξύ ατόμων και συνεπώς αυξάνοντας τις ευκαιρίες για μετάδοση παθογόνων (Smith, 2013). Επομένως, η εποχικότητα μπορεί να είναι σημαντικός παράγοντας για ιογενείς λοιμώξεις, συμπεριλαμβανομένων των ακραίων καιρικών συνθηκών. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η δημιουργία και εξάπλωση του ιού Nipah προκλήθηκε από τις έντονες καιρικές συνθήκες που συνέβησαν από το φαινόμενο El Niño (ωκεάνιο φαινόμενο κατά το οποίο τα κεντρικά και ανατολικά νερά του Ειρηνικού Ωκεανού κοντά στον Ισημερινό είναι θερμότερα σε σχέση με άλλες περιοχές) . Κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου, όταν οι πόροι τροφίμων είναι περιορισμένοι, οι νυχτερίδες είναι σε κακή κατάσταση και μπορεί το ανοσοποιητικό τους σύστημα να είναι πιο ευάλωτο. Έτσι, ο πληθυσμός της παρούσης αποικίας μπορεί να γίνει πιο ευάλωτος σε ιούς και λοιμώξεις στην επόμενη περίοδο βροχοπτώσεων. Για παράδειγμα, το 2019, παρόλο σημειώθηκαν ήπια καιρικά φαινόμενα το El Niño, θεωρείται ότι επηρέασε σε μεγάλο βαθμό την έλευση του COVID-19 (Lau et al., 2007).

3.4. Κατανομή των κορωνοϊών των νυχτερίδων

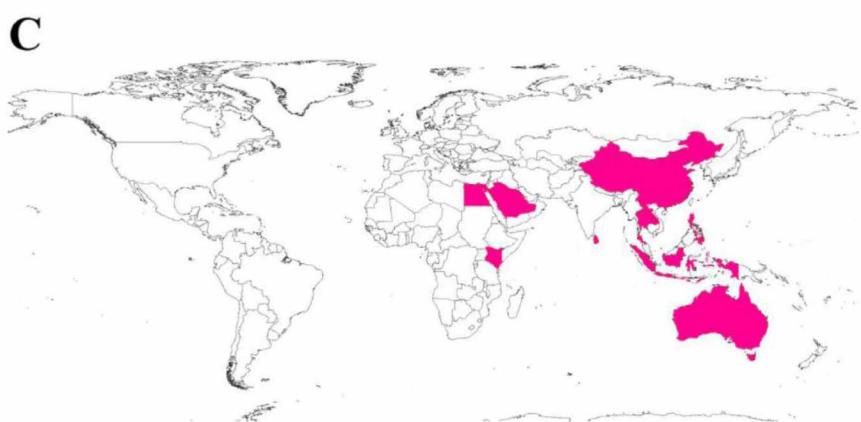
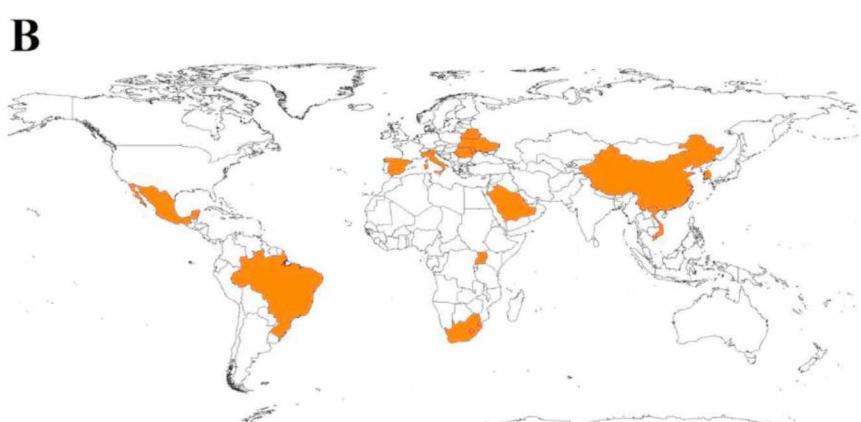
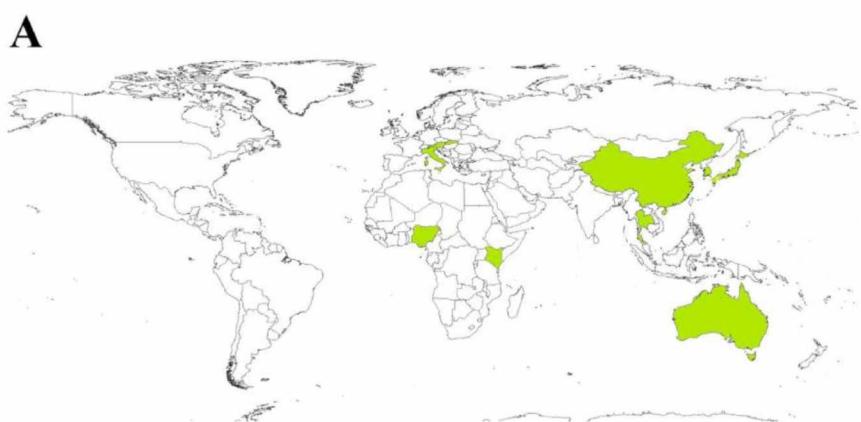
Η μεγάλη ποικιλία των ειδών νυχτερίδας παρέχει μεγάλη ποικιλία κυτταρικών τύπων υποδοχέων. Οι νυχτερίδες είναι ζενιστές τουλάχιστον 30 διαφορετικών CoVs με πλήρεις αλληλουχίες γονιδιώματος (Benedictis et al., 2014) και πολύ περισσότερων

αν συμπεριληφθούν εκείνοι χωρίς αλληλουχίες γονιδιώματος (Bourgarel et al., 2018). Οι κοροναϊοί νυχτερίδων ταξινομούνται σε τέσσερα γένη:

- aCoVs
- bCoVs
- cCoVs
- και dCoVs

To 2018, αυτές οι τέσσερις γενεές επαναταξινομήθηκαν ως υπογονίδια του Betacoronavirus και μετονομάστηκαν σε Embecovirus (προηγούμενη καταγωγή A), Sarbecovirus (προηγούμενη καταγωγή B), Merbecovirus (προηγούμενη γενιά C) και Nobecovirus (προηγούμενη γενεαλογία D). Επιπλέον, ένα πέμπτο υπο-γένος, ο ιβεκοϊός συμπεριλήφθηκε επίσης στους Betacoronavirus. Μεταξύ των τεσσάρων γενών, έχουν βρεθεί μόνο aCoV και bCoV σε νυχτερίδες, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι οι CoVs των νυχτερίδων είναι οι πρόγονοι aCoVs και bCoVs, ενώ τα CoVs πουλιών είναι οι πρόγονοι των cCoVs και dCoVs. Είναι ενδιαφέρον ότι για τα bCoVs μόνο εκείνα τα υπογενή των Sarbecovirus (CoVs που σχετίζονται με SARS), Merbecovirus (Ty-BatCoV HKU4, Pi-BatCoV HKU5, Hp-BatCoV HKU25, CoV που σχετίζονται με MERS), Nobecovirus (Ro-BatCoV HKU9 και Ro-BatCoV GCCDC1) και Ιβηκοϊού (Bat Hp-betaCoV Zhejiang 2013) εντοπίστηκαν σε νυχτερίδες μέχρι τώρα, ενώ αρκετά bCoV από το υπογεννητικό Embecovirus (Murine CoV και ChRCoV HKU24) έχουν επίσης εντοπιστεί σε τρωκτικά (Woo et al., 2012; Lau et al., 2005).

Τόσο τα aCoV όσο και τα bCoV έχουν υψηλότερα ποσοστά ανίχνευσης στο έντερο των νυχτερίδων και τα δείγματα κοπράνων τους, καθιστώντας τις αποβολές τους σημαντική περιβαλλοντική πηγή για την εξάπλωση των CoVs. Για παράδειγμα, στις αγορές άγριων ζώων, δημιουργούνται συνθήκες ευνοϊκές για τη μόλυνση νέων ξενιστών. Σε αυτά τα μέρη, φυλάσσονται ζώα διαφόρων ειδών, συμπεριλαμβανομένων ζωντανών νυχτερίδων σε κλουβιά αποθηκευμένα το ένα πάνω στο άλλο, με συνεχή επαφή τροφής και νερού με εκκρίματα (Jeong et al., 2017).



Εικόνα 4. Γεωγραφική κατανομή CoVs νυχτερίδων από το γένος Betacoronavirus. Α: Οι πράσινες περιοχές αντιπροσωπεύουν τις χώρες με την παρουσία CoV νυχτερίδας από τον ιό Sarbecovirus. Β, οι περιοχές με πορτοκαλί αντιπροσωπεύουν τις χώρες με την παρουσία CoV από τον Merbecovirus. Γ, ενώ οι μωβ περιοχές αντιπροσωπεύουν τις χώρες με την παρουσία CoV από Νοβεκοϊό (Wong et al. 2019).

Γενικά, aCoVs και bCoVs έχουν εντοπιστεί σε νυχτερίδες στην Ασία, Ευρώπη, Αφρική, Βόρεια και Νότια Αμερική Αυστραλία και Ασία, με τα aCoV να είναι πιο διαδεδομένα και με υψηλότερο ποσοστό ανίχνευσης σε σύγκριση από τα bCoVs (Ge et al., 2016).

Ο SARS-like-CoV υπάρχει σε διαφορετικά είδη νυχτερίδων, αλλά όλα ανήκουν στην οικογένεια Rhinolophidae και Hipposideridae. Στην Κίνα, τα είδη νυχτερίδων *Rhinolophus* spp. είναι ευρέως διαδεδομένα και αποτελούν τους πιο συχνούς φορείς του SARS-like-CoV σε όλο το έθνος. Στην πραγματικότητα, ο μεγαλύτερος πληθυσμός των CoVs τύπου SARS της νυχτερίδας βρέθηκαν στις κινέζικες νυχτερίδες *Rhinolophus sinicus* (Drexler et al., 2010).

Είναι επίσης ενδιαφέρον να σημειωθεί, ότι γεωγραφικοί παράγοντες συμβάλλουν επίσης στην ποικιλία CoVs που μοιάζουν με SARS. Η πλειοψηφία των παρόμοιων με SARS-CoVs βρίσκονται στην επαρχία Yunnan (Κίνα) και μοιράζονται υψηλότερη νουκλεοτιδική ταυτότητα (90-95%) με ανθρώπινο SARS-CoV, ενώ αυτά που βρέθηκαν στη νοτιοανατολική Κίνα, Κορέα και Ευρώπη μοιράστηκαν μόνο το 77-90% της γονιδιωματικής νουκλεοτιδικής ταυτότητας. Παρόμοια κατάσταση επίσης παρατηρήθηκε με τον COVID-19. Σε αυτή την περίπτωση, υπήρχε ένα SARS-like-CoV, RaTG13 που εντοπίστηκε στο *Rhinolophus affinis* από την επαρχία Γιουνάν, και αυτό έδειξε ταυτότητα 96,2% με τον COVID-19 (Zhou et al., 2018).

Η επαρχία Γιουνάν αποτελεί ένα από τα «hot-spot» όσον αφορά τα διαφορετικά είδη νυχτερίδων *Rhinolophus* spp. και παράλληλα είναι η γεωγραφική περιοχή με την υψηλότερη ποικιλία SARS-like-CoVs με πολλούς ανασυνδυασμούς μεταξύ των διαφόρων στελεχών. Είναι ενδιαφέρον να αναφερθεί ότι όλα τα στελέχη του SARS-like-CoV είναι ικανά να χρησιμοποιούν ανθρώπινο ACE2 καθώς οι υποδοχείς βρέθηκαν στο *Rhinolophus sinicus* και το *affinis* μόνο από την επαρχία Yunnan, ενώ άλλα SARS-όπως-CoV που δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν από τον άνθρωπο το ACE2 διανεμήθηκε σε πολλές επαρχίες (Tang et al., 2006).

Επιπλέον, η πρωτεΐνη ORF8, η οποία είναι σημαντική για τη μετάδοση μεταξύ των ειδών CoVs, βρέθηκε σε ιούς που μεταφέρθηκαν από το *Rhinolophus*

ferrumequinum και sinicus μόνο από την επαρχία Yunnan [66,115]. Έτσι, προτάθηκε ότι ο SARS-CoV πιθανότατα προήλθε από τις νυχτερίδες Yunnan Rhinolophis μέσω γεγονότων ανασυνδυασμού μεταξύ των υπαρχόντων CVS που μοιάζουν με SARS (Li et al., 2005).

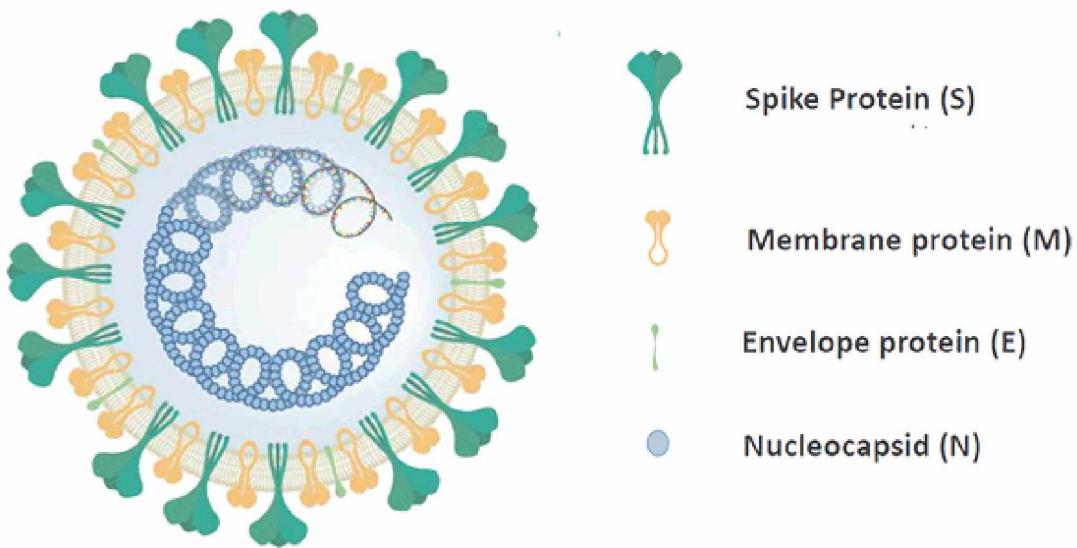
Οι νυχτερίδες έχουν επίσης τη δυνατότητα να φιλοξενούν περισσότερα από ένα είδη ταυτόχρονα, γεγονός που ενδέχεται να επιτρέψει την ενσωμάτωση των CoVs γονιδίων από άλλες ιογενείς οικογένειες μέσω συμβάντων ανασυνδυασμού. Παραδείγματα συνύπαρξης περισσότερων του ενός ιού στην ίδια νυχτερίδα είναι (Zhou et al., 2018):

- νυχτερίδα CoV 1 και HKU8eCoV
- HKU2-CoVs (SADS-CoV, ο ιός που προκάλεσε το ξέσπασμα σε χοίρους το 2016 στη Νότια Κίνα)
- SARSR-CoVs με δύο ή περισσότερους διακριτούς γονότυπους των HKU9-CoVs · HKU9-CoV
- και μια νέα νυχτερίδα filovirus (ιός Mengla) που σχετίζεται φυλογενετικά με τον Έμπολα και τον Marburg.

3.5. Εξάπλωση του κορονοϊού

Η πιστότητα και η απόκτηση γονιδίων σε CoVs επιτρέπουν σε αυτούς τους ιούς να αλλάξουν βασικούς υικούς παράγοντες για να ξεπεραστούν τα εμπόδια των ειδών χωρίς να θυσιαστούν λειτουργίες άλλων σημαντικών στοιχείων. Τα γονιδιώματα του κορονοϊού είναι από τα μεγαλύτερα γνωστά γονιδιώματα RNA (26e32 kilobases), και να είναι σε θέση να διατηρήσουν λειτουργικά στοιχεία που τους επιτρέπουν να είναι βιώσιμα. Ο COVID-19 περιέχει 4 δομικές πρωτεΐνες και 16 μη δομικές πρωτεΐνες (nps). Για να έχουμε εμφάνιση νέου κορωνοϊού αυτές οι πρωτεΐνες πρέπει να παρέχουν επαρκείς αλλαγές ώστε να ξεπεράσουν το εμπόδιο των ειδών, διατηρώντας, ταυτόχρονα, βασικές υικές λειτουργίες (Peck et al., 2015).

Δύο δομικές πρωτεΐνες σχηματίζονται στο περίβλημα του ιού, η πρώτη είναι η N-νουκλεοκαψιδική πρωτεΐνη που δεσμεύει το γονιδιωματικό RNA του ιού, ενώ η δεύτερη S-γλυκοπρωτεΐνη, είναι η τριμερική πρωτεΐνη που σχηματίζει τις τυπικές προεξοχές στην επιφάνεια του ιού που του έδωσαν το όνομα «corona».



Εικόνα 5. Οι πρωτεϊνική δομή του Covid-19²

Είναι ίσως η πιο σημαντική δομική πρωτεΐνη, καθώς το καθήκον της είναι η αναγνώριση των υποδοχεών ACE2 του κυττάρου ζενιστή και η αλληλεπίδρασή του με αυτό. Τα βήματα αυτά είναι απαραίτητα βήματα για τη διείσδυση του ιού στο κύτταρο ζενιστή. Είναι σημαντικό ότι η πραγματική διείσδυση του ιού απαιτεί την «προετοιμασία» της S-πρωτεΐνης από τις πρωτεάσεις κυττάρων ζενιστών που τη διασπούν σε τμήματα S1 και S2, εκθέτοντας μια ακολουθία που το συγχωνεύει με τη μεμβράνη πλάσματος του κυττάρου ζενιστή. Οι μεταλλάξεις σε επίπεδο S1 και οι προσαρμογές στους νέους ζενιστές είναι κρίσιμοι παράγοντες που διασφαλίζουν την εμφάνιση νέων CoVs και νέων παθογένειών (Zhang, Kousoulas & Storz, 1999).

² <https://www.enzolifesciences.com/browse/coronavirus/covid-19-therapeutic-development/>

Μόλις ενσωματωθεί ο COVID-19 από το κύτταρο ζενιστή, το RNA του γονιδιώματος απελευθερώνεται στο κυτταρόπλασμα του και φτάνει στα ριβοσώματα του ενδοπλασματικού δικτύου. Παραλλαγές στις βοηθητικές πρωτεΐνες μπορούν να δημιουργήσουν μεταβλητότητα στα χαρακτηριστικά της μόλυνσης και τη σοβαρότητα μεταξύ των CoVs οικογενειών. Για παράδειγμα, ένας νέος CoV (Ro-BatCoV GCCDC1) βρέθηκε να περιέχει 30 πρωτεΐνες που ήταν ομόλογες με αυτές του γνωστού ρεοϊού. Αυτό υποδηλώνει τη δυνατότητα ανασυνδυασμού ακόμη και μεταξύ ιικών οικογενειών. Επομένως, οι CoVs έχουν την ικανότητα να αποκτούν πρωτεΐνες που τους επιτρέπουν να επιβιώσουν σε φυσικούς ζενιστές και αναδύονται ως νέοι (Yu et al., 2020).

3.6. Διασπορά των κορονοϊών

Σύμφωνα με τα αρχικά ευρήματα, η αιτία της εμφάνισης της τρέχουσας επιδημίας είναι η κατανάλωση νυχτερίδων από ανθρώπους. Η πρακτική του κυνηγιού νυχτερίδων είναι διαδεδομένη στη Νότια Κίνα, τη Νοτιοανατολική Ασία, την Αφρική και ορισμένα νησιά του Ειρηνικού, με στόχο τουλάχιστον 167 είδη νυχτερίδων. Επιπλέον, εξαγωγή γκουανό από σπηλιές νυχτερίδων είναι επίσης μια ευρέως διαδεδομένη δραστηριότητα, και το προϊόν χρησιμοποιείται ως λίπασμα σε πολλές χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Ταϊλάνδης, της Ινδονησίας, του Βιετνάμ, της Καμπότζη, του Μεξικού, της Κούβας και της Τζαμαϊκα. Έχει βρεθεί ότι οι εκκρίσεις της νυχτερίδας παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα a-CoV και b-CoV, και συνεπώς η εξαγωγή γκουανό πρέπει να θεωρηθεί ανησυχητική για τη δημόσια υγεία, και να χαρακτηριστεί ως επικίνδυνη για τη διασπορά του ιού (Heinrichs & Sulawesi, 2004).

Ινδονησία: Σήμερα, οι νυχτερίδες είναι επίσης διαθέσιμες σε ορισμένα σύγχρονα σούπερ μάρκετ σε πόλεις της Ασίας. Σε γενικές γραμμές, όλες οι νυχτερίδες που φτάνουν στις αγορές είναι ήδη νεκρές, αλλά σε ορισμένα μέρη πωλούνται ζωντανές. Εκτιμάται ότι περίπου 45 με 75 νυχτερίδες του είδους «ιπτάμενες αλεπούδες» πωλούνται κάθε μέρα, ενώ τα Σαββατοκύριακα φτάνουν από 150 έως 450. Το διάστημα κατά το οποίο οι πωλήσεις φτάνουν σε υψηλά ποσοστά είναι στις γιορτές

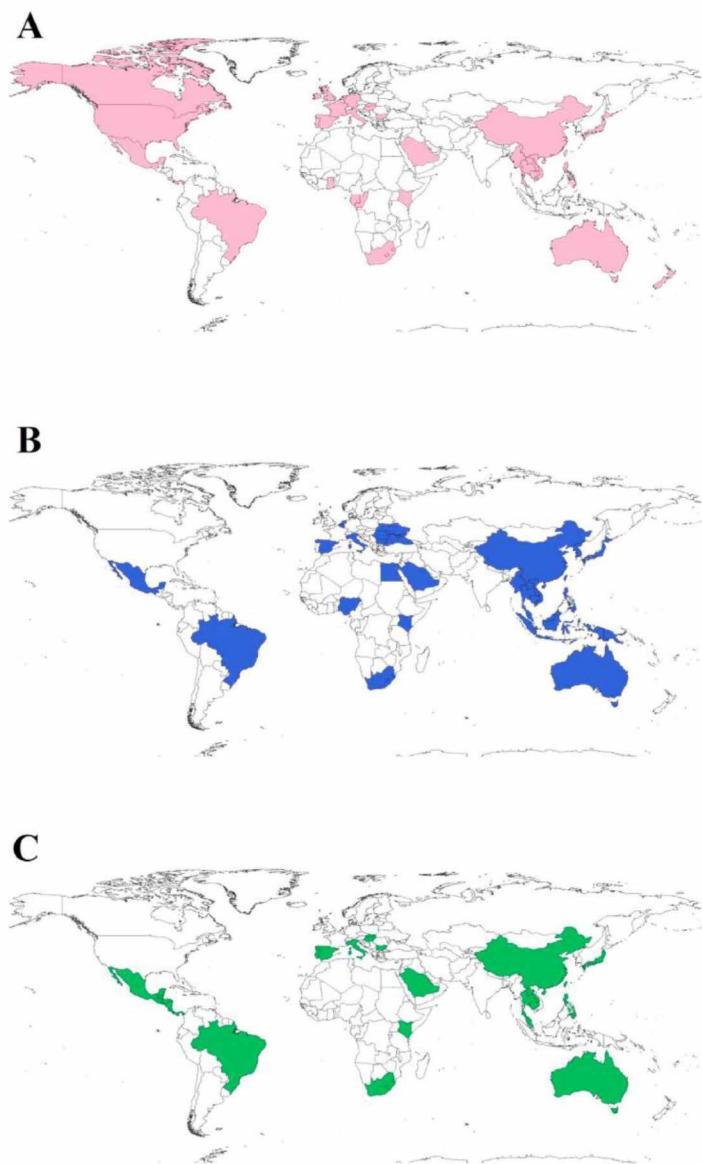
των Χριστουγέννων και της Πρωτοχρονιάς, όπου φτάνουν περίπου τις 1000 ιπτάμενες αλεπούδες (Stuebing, 1991). Οι νυχτερίδες φυλάσσονται σε κλουβιά μαζί με άλλα άγρια ζώα όπως οι ενδημικοί μαύροι μακάκοι (*Macaca nigra*), οι *Python reticulatus* ή *P. curtus*), οι *Varanus salvator*), τα άγρια γουρούνια *Sulwaesi* (*Sus celebensis*) καθώς και τα γουρούνια με γένια Βορνέ (*Sus barbatus*). Αυτές οι συνθήκες μπορεί να επιδεινώσουν τη μετάδοση ιών από νυχτερίδες σε άλλα ζώα διευκολύνοντας έτσι τη μετάδοση στον άνθρωπο. Ειδικότερα, η παρουσία πιθήκων όπως ο μακάκος σε συνδυασμό με τις νυχτερίδες θα μπορούσαν δυνητικά να διευκολύνουν τη μετάδοση CoVs από τα πρωτεύοντα σε ανθρώπους, λαμβάνοντας υπόψη τις γενετικές ομοιότητες μεταξύ των δύο ειδών (Huong et al., 2020).

Βιετνάμ: Μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Huong et al. (2020) από το 2009 έως το 2014 αξιολόγησε τον κίνδυνο διάχυσης του κορωνοϊού από διαφορετικά άγρια ζώα που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση. Επιπλέον, από αγροκτήματα guano ελήφθησαν δείγματα για να εκτιμηθεί η πιθανότητα διαρροής από τεχνητές εστίες νυχτερίδων σε κήπους ή αυλές, με την εκτιμηση ότι μπορεί να μολυνθούν κάποια εξημερωμένα ζώα που ζουν εκεί, όπως πάπιες, κατσίκες, κοτόπουλα και γουρούνια. Η έρευνα περιελάμβανε 6006 εγγεγραμμένα αγροκτήματα άγριων ζώων σε 12 επαρχίες, με περίπου ένα εκατομμύριο άγρια ζώα συμπεριλαμβανομένων τρωκτικών, πρωτευόντων, γατών, αγριογούρουνων, φιδιών, αρουραίων, ελαφιών, κροκόδειλων και χελώνων με μαλακό κέλυφος. Ενενήντα πέντε τοις εκατό των εκμεταλλεύσεων διέθεταν 1-2 είδη άγριας ζωής και το 70% επίσης εκτρέφουν κατοικίδια ζώα στους ίδιους χώρους (Roberton et al., 2003). Αυτά τα αγροκτήματα πωλούν άγριο κρέας σε αστικά εστιατόρια όλης της χώρας και επίσης προμηθεύουν με αυτό το κρέας τις διεθνείς αγορές. Η άγρια ζωή στο Βιετνάμ είναι μέρος του διευρυμένου διεθνούς εμπορίου της που πιστεύεται ότι συνέβαλε στις παγκόσμιες επιδημίες, όπως ο SARS και τώρα ο COVID-19. Έξι διακριτές ταξινομικές μονάδες κορωνοϊών που αντιστοιχούν στον κορωνοϊό νυχτερίδας 512/2005, τον Longquan κοροναϊό, μολυσματικός ιός βρογχίτιδας των πτηνών (IBV), τον κοροναϊό ποντικού, PREDICT_CoV-17 και τον PREDICT_CoV-35 ανιχνεύθηκαν από τη μελέτη των Huong et al. (2020). Η φυλογενετική ανάλυση έδειξε ότι μεταξύ των έξι κορωνοϊών ανιχνεύθηκαν, οι PREDICT_CoV-35 και CoV 512/2005 ομαδοποιημένα εντός των

Alphacoronaviruses, ενώ οι PREDICT_CoV-17, Longquan aa CoV και CoV ποντικού συγκεντρωμένα εντός των Betacoronaviruses. Ο οιός που εντοπίστηκε στο γένος Gammacoronavirus ήταν ο ιός των πτηνών. Τόσο στο PREDICT_CoV-17 όσο και στο PREDICT_CoV-35 εντοπίστηκαν προηγουμένως σε νυχτερίδες στο Βιετνάμ, την Καμπότζη και το Νεπάλ, κάτι που επιβεβαιώνει ότι οι κορονοϊοί είναι ικανοί να μολύνουν εξ αποστάσεως συγγενείς οικοδεσπότες (Swift et al., 2007).

Επιπρόσθετα, ο κορωνοϊός νυχτερίδας 512/2005 βρέθηκε σε συν-μόλυνση με τον PREDICT_CoV-35 (FAO, 2014), ενώ τρεις τύποι κορωνοϊών (Longquan aa CoV, ποντικός CoV και IBV) βρέθηκαν σε αρουραίους. Η παρουσία CoV νυχτερίδας και CoV πουλερικών, σε αρουραίους μπορεί να εξηγηθεί από την παρουσία πολλαπλών ειδών στα αγροκτήματα άγριας ζωής, τα οποία μπορεί να διευκολύνουν τον ανασυνδυασμό των ιών που οδηγεί στην εμφάνιση νέων ιών. Η διέλευση πολλαπλών ειδών ζώων μέσω στην αλυσίδα εφοδιασμού προσφέρει ευκαιρίες για ανάμειξη μεταξύ και εντός των ειδών (Zhou et al., 2018).

Ζώα κλεισμένα σε υπερπλήρη κλουνβιά με κακή διατροφή, μπορεί να βιώσουν αυξημένο άγχος, κάτι που όπως προαναφέρθηκε συμβάλλει στην εξάπλωση του κορονοϊού και στην ενίσχυση της μόλυνσης μέσω της αλυσίδας εφοδιασμού για την ανθρώπινη κατανάλωση, συμπεριλαμβανομένης της στενής άμεσης επαφής με εμπόρους, κρεοπώλες, μάγειρες και καταναλωτές (Francis, Guillen & Robinson, 1999). Επιπλέον, ένα μεγάλο ποσοστό περιττωμάτων νυχτερίδας βρέθηκε θετικό σε κορωνοϊούς σε αγροκτήματα νυχτερίδων guano, υποδεικνύοντας τον πιθανό κίνδυνο από guano σε αγρότες, τις οικογένειές τους και τα ζώα τους που εκτίθενται στους ιούς (Zhou et al., 2018).



Γεωγραφική κατανομή aCoVs και bCoVs. Α: Οι ροζ περιοχές αντιπροσωπεύουν τις χώρες όπου ανακαλύφθηκαν τα aCoV. Β: οι μπλε περιοχές υποδεικνύουν τις χώρες όπου ήταν τα bCoV. Γ: οι πράσινες περιοχές αντιπροσωπεύουν τις χώρες όπου ανακαλύφθηκαν τόσο οι aCoV όσο και οι bCoV (Wong et al., 2019).

Ταιϊλάνδη: Στην Ταϊλάνδη οι ερωτηθέντες απάντησαν ότι είχαν καταναλώσει νυχτερίδες τουλάχιστον μία φορά τους προηγούμενους 6 μήνες. Οι νυχτερίδες ελήφθησαν ως επί το πλείστον από σπηλιές, αγορασμένες σε τοπικές αγορές ή κυνηγημένες από ντόπιους (Suwannarong et al., 2020).

Φιλιππίνες: Στις Φιλιππίνες υπήρχαν πάνω από 1500 σπηλιές νυχτερίδων που είχαν καταγραφεί. Οι νυχτερίδες κυνηγούνται κυρίως για τροφή, αλλά και οι σπηλιές των νυχτερίδων αποτελούν πόλο έλξης για το γκουανό. Ντόπιοι και μερικοί αυτόχθονες κυνηγούν μεγαλύτερα είδη νυχτερίδων για διατροφικούς (πηγή πρωτεΐνης) ή εμπορικούς σκοπούς. (Zhang et al., 2009).

Κίνα: Το εμπόριο κρέατος νυχτερίδας βρίσκεται κυρίως στη Νότια Κίνα, όπου η νυχτερίδα μπορεί να διακινείται τοπικά και περιφερειακά. Μερικά εστιατόρια στις επαρχίες Guangdong και Guanxi συμπεριλαμβάνουν στο μενού τους πιάτα νυχτερίδας. Οι νυχτερίδες δεν είναι προστατευόμενο είδος στην Κίνα και κατά τη διάρκεια των τελευταίων 30 χρόνων ο πληθυσμός αυτών των ζώων εχει παρουσιάσει αισθητή μείωση της τάξης του 60%, λόγω της εκμετάλλευσης των σπηλαίων των νυχτερίδων για τουρισμό και λαθροθηρία (Zhang et al., 2009). Έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στην επαρχία Γκουανγκντόνγκ μεταξύ του 2005 και του 2012 αποκάλυψαν την κατανάλωση νυχτερίδων από την πλειοψηφία των ερωτηθέντων. Οι ζωντανές νυχτερίδες βρέθηκαν να πωλούνται σε αγορές στο Guangzhou και το Gaozhou (επαρχία Guangdong). Ολόκληρες νυχτερίδες, μέρη του σώματος του ή ακόμη και αποξηραμένα περιττώματα χρησιμοποιούνται επίσης στην κινεζική παραδοσιακή Ιατρική, η οποία εγείρει μεγάλες ανησυχίες για την παγκόσμια υγεία (Zhou & Yuelin, 2014).

Μαλαισία και Νεπάλ: Οι νυχτερίδες θεωρούνται κρέας πολυτελείας στη Μαλαισία με τους περισσότερους πωλητές να πωλούν 200 με 300 νυχτερίδες ανά σεζόν. Στο Νεπάλ, χρησιμοποιούνται επίσης νυχτερίδες ως φαγητό από τις τοπικές κοινότητες (Fujita & Tuttle, 1991).

Συμπεράσματα

Ανθρωπογενείς αλλαγές όπως η αποψίλωση των δασών, ο κατακερματισμός των οικοτόπων, οι αλλαγές χρήση γης, η γεωργική ανάπτυξη και η ανεξέλεγκτη αστικοποίηση μπορεί να επηρεάσει τη μετάδοση μολυσματικών ασθενειών από ζώα σε ανθρώπους μεταβάλλοντας την βιοποικιλότητα. Η παθογόνος δυναμική των CoVs είναι τόσο έντονη που αρκεί μόνο ένας αρχικός ξενιστής (και σε κάποιες περιπτώσεις, ένας ενδιάμεσος) για να επιμολύνει ένα οικοσύστημα.

Στη Νοτιοανατολική Ασία, οι συνήθεις ενδιάμεσοι ξενιστές CoV είναι οι νυχτερίδες, οι οποίες σε αυτήν την περιοχή είναι σύνηθες να καταναλώνονται ως τροφή. Η εξέλιξη έχει διαμορφώσει τις μεταβολικές ιδιότητες των νυχτερίδων και του ανοσοποιητικού τους συστήματος με τρόπους που τις έχουν κάνει απρόσβλητες στις παθογενείς επιδράσεις των CoVs. Τα ίδια τα CoV έχουν επίσης υποστεί εξελικτικές αλλαγές που έχουν αυξήσει το παθογόνο δυναμικό τους. Σημαντικός παράγοντας για την ύπαρξη της πανδημίας σε σχέση με προηγούμενες εστίες (SARS-CoV) είναι η ικανότητα χρήσης των υποδοχέων ACE2 των κυττάρων στόχων για την εισβολή τους.

Η παρουσία πολλών ειδών ζώων στις αγορές της Νότιας Κίνας, συμπεριλαμβανομένων των νυχτερίδων, έχει ως αποτέλεσμα τη μεγάλη πυκνότητα εναίσθητων ξενιστών, που με τη σειρά τους αυξάνουν την πιθανότητα διαρροών. Η συνύπαρξη διαφορετικών ειδών από νυχτερίδες μέχρι πρωτεύοντα θηλαστικά, κάνει τη παρουσία των κορονοϊών πιο επικίνδυνη στο ανθρώπινο είδος. Η εξάλειψη των παράνομων αυτών αγορών αλλα και η αυστηροποίηση των ελέγχων σε σημεία πώλησης άγριων ζώων θα αποτελέσει ένα μικρό τροχοπέδη σε μια μελλοντική πανδημία.

Βιβλιογραφία

Διεθνής

- Agarwal, N.K., (2011). Cryopreservation of Fish Semen In. J.P. Bhatt, Madhu Thapliyal and Ashish Thapliyal (eds.), *Himalayan Aquatic Biodiversity Conservation & New Tools in Biotechnology*, Transmedia Publication, Srinagar (Garhawal) Uttarakhand. pp: 104-127.
- Ahn, M., Cui, J., Irving, A.T., Wang, L.F. (2016). Unique loss of the PYHIN gene family in bats amongst mammals: implications for inflammasome sensing, *Sci. Rep.* 6, 21-22.
- Allan, B. F., Langerhans, R. B., Ryberg, W. A., Landesman, W. J., Griffin, N. W., Katz, R. S., ... & Clark, L. (2009). Ecological correlates of risk and incidence of West Nile virus in the United States. *Oecologia*, 158(4), 699-708.
- Allen, T. et al. (2017). Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases. *Nat. Commun.* 8, 1124.
- Allen, T., Murray, K. A., Zambrana-Torrelio, C., Morse, S. S., Rondinini, C., Di Marco, M., ... & Daszak, P. (2017). Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases. *Nature communications*, 8(1), 1-10.
- Amengual, B., Bourhy, H., Lopez-Roig, M., Serra-Cobo, J. (2007). Temporal dynamics of European bat Lyssavirus type 1 and survival of Myotis myotis bats in natural colonies, *PloS One* 6, e566.
- Andersen, K. G., Rambaut, A., Lipkin, W. I., Holmes, E. C., & Garry, R. F. (2020). The proximal origin of SARS-CoV-2. *Nature medicine*, 26(4), 450-452.
- Angela, D.L., Kuenzi, A.J., Mills, J.N. (2018). Species diversity concurrently dilutes and amplifies transmission in a zoonotic hostpathogen system through competing mechanisms, *Proc. Natl. Acad. Sci. Unit. States Am.* 115 (31), 7979-7984, <https://doi.org/10.1073/pnas.1807106115>.

- Barton, E.S., White, D.W., Cathelyn, J.S., Brett-McClellan, K.A., Engle, M., Diamond, M.S., Miller, V.S., Virgin, H.W. (2007). Herpesvirus latency confers symbiotic protection from bacterial infection, *Nature*, 447, 326-329.
- Bourgarel, M., Pfukenyi, D.M., Boue, M., Talignani, L., Chiweshe, N., Diop, F., Caron, A., Matope, G., Misse, D., Liegeois, F. (2018). Circulation of alphacoronavirus, betacoronavirus and paramyxovirus in hipposideros bat species in Zimbabwe, *Infect. Genet. Evol.* 58, 253-257.
- Brearley, G., Rhodes, J., Bradley, A., Baxter, G., Seabrook, L., Lunney, D., Liu, Y., McAlpine, C. (2013). Wildlife disease prevalence in human-modified landscapes, *Biol. Rev.* 88, 427-442.
- Brown, H.E., Diuk-Wasser, M., Andrealis, T., Dish, D. (2008). Remotely-sensed vegetation indices identify mosquito clusters of West Nile virus vectors in an urban landscape in the northeastern United States, *Vector Borne Zoonotic Dis.* 8, 197-206.
- Calisher, C. H., Childs, J. E., Field, H.E., Holmes, K.V., Schountz, T. (2006). Bats: Important reservoir hosts of emerging viruses. *Clin. Microbiol. Rev.* 19, 531–545.
- Caron, A., Cappelle, J., Cumming, G.S., de Garine-Wichatitsky, M., Gaidet, N. (2015). Bridge hosts, a missing link for disease ecology in multi-host systems. *Vet. Res.* (Faisalabad) 46, 83.
- CBD (2014). Fast facts: Biodiversity supporting development' in CBD- Get ready for 2015. In www.cbd.int/spIUCN, Facts and figures on biodiversity [02/08/2021].
- Centers for Disease Control and Prevention, MicrobeNet (2020). <https://www.cdc.gov/microbenet/index.html>. Accessed 24 August 2020.
- Chivian, E., Bernstein, A, (2008). *Sustaining life: how human health depends on biodiversity*. Oxford, UK: Oxford University Press.

- Chu, D.K., Peiris, J.S., Chen, H., Guan, Y., Poon, L.L. (2008). Genomic characterizations of bat coronaviruses (1A, 1B and HKU8) and evidence for co-infections in *Miniopterus* bats, *J. Gen. Virol.* 89, 1282-1287.
- Civitello, D. J. (2015). Biodiversity inhibits parasites: Broad evidence for the dilution effect. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 112, 8667–8671.
- Davis, S., Calvet, E. (2005). Fluctuating rodent populations and risk to humans from rodent-borne zoonoses, *Vector Borne Zoonotic Dis.* 5 , 305-314.
- Davy, C.M., Donaldson, M.E., Subudhi, S., Rapin, N., Warnecke, L., Turner, J.M., Bollinger, T.K., Kyle, C.J., Dorville, N.A.S., Kunkel, E.L. (2018). White-nose syndrome is associated with increased replication of a naturally persisting coronaviruses in bats, *Sci. Rep.* 8, 15508, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33975-x>.
- De Benedictis, P., Marciano, S., Scaravelli, D., Priori, P., Zecchin, B., Capua, I., Monne, I., Cattoli, G. (2014). Alpha and lineage C betaCoV infections in Italian bats, *Virus Gene.* 48, 366-371.
- Despommier, D., Ellis, B.R., Wilcox, B.A. (2006). The role of ecotones in emerging infectious diseases, *EcoHealth*, 3, 281-289.
- Dobson, A. P. (2005). Virology. What links bats to emerging infectious diseases? *Science*, 310, 628–629.
- Drexler, J.F., Corman, V.M., Drosten, C. (2014). Ecology, evolution and classification of bat coronaviruses in the aftermath of SARS, *Antivir. Res.* 101, 45-56.
- Drexler, J.F., Gloza-Rausch, F., Glende, J., Corman, V.M., Muth, D., Goettsche, M., Seebens, A., Niedrig, M., Pfefferle, S., Yordanov, S. (2010). Genomic characterization of severe acute respiratory syndrome-related coronavirus in European bats and classification of coronaviruses based on partial RNAdependent RNA polymerase gene sequences, *J. Virol.* 84, 11336-11349.

- Eldredge, N. (2002). *Life in the balance: humanity and the biodiversity crisis*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Enserink, M. (2020). Coronavirus rips through Dutch mink farms, triggering culls. *Science*, 368, 1169.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2014). Wildlife Farming in Vietnam: Southern Viet Nam's Wildlife Farm Survey Report in a Glance, 2014. <http://www.fao.org/3/a-az118e.pdf>.
- Faust et al., C. L.(2018). Pathogen spillover during land conversion. *Ecol. Lett.* 21, 471–483.
- Field, R., Hawkins, B. A., Cornell, H.V., Currie, D.J., Diniz-Filho, J., Alexandre, F., Guégan, Jean-François; Kaufman, D.M., Kerr, J.T., Mittelbach, G.G., Oberdorff, T., O'Brien, E. M. and Turner, J. R. G. (2009). Spatial species-richness gradients across scales: a meta-analysis. *Journal of Biogeography*, 36 (1): 132–147. doi:10.1111/j.1365-2699.2008.01963.x.
- Francis, C.M., Guillen, A., Robinson, M.F. (1999). Order Chiroptera: bats, in: Wildlife in Lao PDR, Status Report (Compilers J.W. Duckworth, R.E. Salter & K. Khounboline), IUCN, Wildlife Conservation Society and Centre for Protected Areas and Watershed Management, Vientiane, Lao PDR, 1999, pp. 225e235.
- Fujita, M.S., Tuttle, M.D. (1991). Flying foxes (Chiroptera: pteropodidae): threatened animals of key ecological and economic importance, *Conserv. Biol.* 5, 455-463, <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1991.tb00352.x>.
- Gaston, K.J. (2000). Global patterns in biodiversity. *Nature*, 405 (6783): 220–227. doi:10.1038/35012228. PMID 10821282.
- Ge, X.Y., Wang, N., Zhang, W., Hu, B., Li, B., Zhang, Y.Z., Zhou, J.Z. (2016). Coexistence of multiple coronaviruses in several bat colonies in an abandoned mineshaft, *Virol. Sin.* 31, 31-40.

- Geoghegan, J. L., Senior, A. M. Di Giallonardo, F., Holmes, E.C. (2016). Virological factors that increase the transmissibility of emerging human viruses. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 113, 4170–4175.
- Gibb, R. et al. (2020). Zoonotic host diversity increases in human-dominated ecosystems. *Nature*, 584, 398–402.
- Gurley, E.S., Hahn, J., Epstein, J.H., Islam, M.A., Patz, J.A., Sasak, P., Luby, S.P. (2014). The role of landscape composition and configuration on *Pteropus giganteus* roosting ecology and Nipah virus spillover risk in Bangladesh, *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 90, 247-255.
- Hahn, B.H., Shaw, G.M., de Cock, K.M., Sharp, P.M. (2000). AIDS as a zoonosis: scientific and public health implications, *Science*, 287: 607-614.
- Han, B. A. Kramer, A. M. Drake, J. M. (2016). Global patterns of zoonotic disease in mammals. *Trends Parasitol.* 32: 565–577.
- Han, B. A., Schmidt, J.P., Bowden, S.E., Drake, J.M. (2015). Rodent reservoirs of future zoonotic diseases. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 112, 7039–7044.
- Han, H.J., Wen, H.L., Zhou, C.M., Chen, F.F., Luo, L.M., Liu, G.W., Yu, J. (2015). Bats as reservoirs of severe emerging infectious diseases, *Virus Res.* 205:1-6, <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2015.05.006>.
- Harvell, C.D., Mitchell, C.E., Ward, J.R., et al. (2002). Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science*, 296: 2158–2162.
- Hassell, J.M., Begon, M., Ward, M.J., Fevre, M. (2017). Urbanization and disease emergence: dynamics at the wildlife-livestock-human interface, *Trends Ecol. Evol.* 32 (1), 55-67, <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.09.012>.
- Heinrichs, S. (2004). *Sulawesi Fruit Bat Conservation and Education Campaign*. Unpublished Report for Fauna & Flora International 100% Fund, Fauna & Flora International, Cambridge, UK.

- Hu, B., Ge, X., Wang, L., Shi, Z. (2015). Bat origin of human coronaviruses, *Virol. J.* 12 (221), 1-10, <https://doi.org/10.1186/s12985-015-0422-1>.
- Hu, B., Zeng, L.P., Yang, X.L., Ge, X.Y., Zhang, W., Li, B., et al. (2017). Discovery of a rich gene pool of bat SARS-related coronaviruses provides new insights into the origin of SARS coronavirus, *PLoS Pathog.* 13, e1006698.
- Huang, Z. Y., Yu, Y., Van Langevelde, F., & De Boer, W. F. (2017). Does the dilution effect generally occur in animal diseases? *Parasitology*, 144(6), 823.
- Huong, N.Q., Nga, N.T.T., Long, N.V., Luu, B.D. (2020). Coronavirus Testing Indicates Transmission Risk Increases along 1 Wildlife Supply Chains for Human Consumption in Vietnam, 2013-2014, <https://doi.org/10.1101/2020.06.05.098590> doi. BioRix preprint 2020.
- Janbon, G., Quintin, J., Lanternier, F., d'Enfert, C. (2019). Studying fungal pathogens of humans and fungal infections: Fungal diversity and diversity of approaches. *Genes Immun.* 20, 403–414.
- Jeong, J., Smith, C.S., Peel, A.L., Plowright, R.K., Kerlin, D.H., McBroom, J., McCallum, H. (2017). Persistent infections support maintenance of a coronavirus in a population of Australian bats (*Myotis macropus*), *Epidemiol. Infect.*, 145, 2053-2061.
- Johnson C. K., et al. (2020). Global shifts in mammalian population trends reveal key predictors of virus spillover risk. *Proc. Biol. Sci.* 287, 20192736.
- Jones K.E., et al. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451, 990–993.
- Jones, B.A., Grace, D., Kock, R., Alonso, S., Rushton, L., Said, M.Y., McKeever, D., Mutua, F., Young, J., McDermott, J., Udo, D. (2013). Zoonosis emergence and agroecological change, Pfeiffer Proceedings of the National Academy of Sciences 110 (21), 8399-8404, <https://doi.org/10.1073/pnas.1208059110>.

- Jones, K. E., Patel, N. G., Levy, M. A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J. L., & Daszak, P. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451(7181), 990-993.
- Keesing, F., Belden, L.K., Daszak, P., Dobson, A., Harvell, C.D., Holt, R.D., Hudson, P., Jolles, A., Jones, K.E., Mitchell, C.E., Myers, S.S., Bogich, T., Ostfeld, R.S. (2010). Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases, *Nature* 468, 647-652.
- Keesing, F., et al. (2010). Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *Nature* 468, 647–652.
- Keesing, F., Holt, R.D., Ostfeld, R.S. (2006). Effects of species diversity on disease risk. *Ecol Lett*, 9: 485–498.
- Kunz, T.H., Braun de Torrez, E., Bauer, D., Lobova, T., Fleming, T.H. (2011). Ecosystem services provided by bats, *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1223 (1), 1d38, <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06004.x>.
- Lau, S.K.P., Li, K.S.M., Huang, Y., Shek, C.T., Tseet, H. (2010). Ecoepidemiology and complete genome comparison of different strains of severe acute respiratory syndrome-related Rhinolophus bat coronavirus in China reveal bats as a reservoir for acute, self-limiting infection that allows recombination events, *J. Virol*, 84, 2808-2819.
- Lau, S.K.P., Woo, P.C.Y., Li, K.S.M., Huang, Y., Tsoi, H.W., Wong, B.H.L., Wong, B.H.L. (2005). Severe acute respiratory syndrome coronavirus-like virus in Chinese horseshoe bats, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 102, 14040-14045.
- Lee, S., Jo, S.D., Son, K., An, I., Jeong, J., Wang, S.J., Kim, Y., Jheong, W., Oem, J.K. (2018). Genetic characteristics of coronaviruses from Korean bats in 2016, *Microb. Ecol.* 75, 174-182.
- Leroy, E. M., Gouilh, M.A., Brugere-Picoux, J. (2020). The risk of SARS-CoV-2 transmission to pets and other wild and domestic animals strongly mandates a

one-health strategy to control the COVID-19 pandemic. *One Health* 10, 100133.

Li, W.D., Shi, Z.L., Yu, M., Ren, W.Z., Smith, C., Epstein, J.H., Wang, H.Z., Crameri, G., Hu, Z.H., Zhang, H.Z. (2005). Bats are natural reservoirs of SARS-like coronaviruses, *Science* 310, 676-679.

Luis A.D. et al. (2013). A comparison of bats and rodents as reservoirs of zoonotic viruses: Are bats special? *Proc. Biol. Sci.* 280, 20122753.

Luis, A.D., Hayman, D.T., O'Shea, T.J., Cryan, P.M., Gilbert, A.T., Pulliam, J.R., Mills, J.N., Timonin, M.E., Willis, C.K., Cunningham, A.A., Fooks, A.R., Rupprech, C.E., Wood, J.J.L., Webb, C.T. (2013). A comparison of bats and rodents as reservoirs of zoonotic viruses: are bats special? *Proc. Biol. Sci.* 280, 2012-2753.

Magouras, I., Brookes, V.J., Jori, F., Martin, A., Pfeiffer, D.U. & Dürr, S. (2020). Emerging Zoonotic Diseases: Should We Rethink the Animal-Human Interface? *Front. Vet. Sci.* 7:582743.

McPeek, M.A. and Brown, J.M. (2007). Clade Age and Not Diversification Rate Explains Species Richness among Animal Taxa. *The American Naturalist*, 169 (4): E97–E106. doi:10.1086/512135. PMID 17427118

Mendoza, H., Rubio, A.V., Garcia-Pena, G.E., Suzan, G.S., Simonetti, G.A (2020). Does land-use change increase the abundance of zoonotic reservoirs? Rodents say yes. *Eur. J. Wildl. Res.* 66, Article 6.

Mollentze, N., Streicker, D.G. (2020). Viral zoonotic risk is homogenous among taxonomic orders of mammalian and avian reservoir hosts. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 117, 9423–9430.

Mora, C., Tittensor, D.P., Adl, S., Simpson, A.G. and Worm, B. (2011). How many species are there on Earth and in the ocean?. *PLOS Biology*. 9(8): e1001127. doi:10.1371/journal.pbio.1001127. Retrieved on 26 May 2015.

- Morse, S. S. (1993). *Examining the origins of emerging viruses*, in: S.S. Morse (Ed.), *Emerging Viruses*, Oxford University Press, New York, pp. 10-28.
- Murray, K.A., Daszak, P. (2013). Human ecology in pathogenic landscapes: Two hypotheses on how land use change drives viral emergence. *Curr. Opin. Virol.* 3: 79–83.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., Kent, J., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B. and Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* ,403 (6772): 853–858. Bibcode:2000 Natur.403..853M. doi:10.1038/35002501. PMID 10706275.
- Norman,. R, Bowers R,G., Bego, M., Hudson, P.J. (1999). Persistence of tickborne virus in the presence of multiple host species: tick reservoirs and parasite-mediated competition. *J Theor Biol*, 200: 111–118.
- O’Shea, T.J., Cryan, P.M., Andrew, A., Cunningham, A.A., Fooks, A.R., Hayman, D.T.S., Luis, A.D., Peel, A.J., Plowright, R.K., Wood, J.L.N. (2014). Bat flight and zoonotic viruses, *Emerg. Infect. Dis.* 20: 741-745.
- Olival, K. J. et al. (2017). Host and viral traits predict zoonotic spillover from mammals. *Nature*, 546, 646–650.
- Ostfeld, R.S., Keesing, F. (2000b). The role of biodiversity in the ecology of vector-borne zoonotic diseases. *Can J Zool*, 78: 2061–2078.
- Ostfeld, R.S., Keesing, F. (200a). Biodiversity and disease risk: the case of Lyme disease. *Conserv Biol*, 14: 722–728.
- Ostfeld, R.S., Keesing, F. (2017). Is biodiversity bad for your health? *Ecosphere*, 8, e01676
- Parrish C.R. et al. (2008). Cross-species virus transmission and the emergence of new epidemic diseases. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 72, 457–470.

Platto, S., Zhou, J., Wang, H., Carafoli, E., Wang, Y. (2020). Biodiversity loss and COVID-19 pandemic: The role of bats in the origin and the spreading of the disease. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 538. 10.1016/j.bbrc.2020.10.028.

Peck, K.M., Burch, C.L., Heise, M.T., Baric, S.R. (2015). Coronavirus host range expansion and middle east respiratory syndrome coronavirus emergence: biochemical mechanisms and evolutionary perspectives, *Annu Rev Virol*, 2, 95-117.

Petersen, L. R., Roehrig, J. T., & Sejvar, J. J. (2007). West Nile virus in the Americas. In New and Evolving Infections of the 21st Century (pp. 3-56). Springer, New York, NY.

Phillips, K.A., Karen, L., Bales, J.P., Capitanio, J.P., Conley, A. (2014). Why primate models matter, *Am. J. Primatol.* 76 (9), 801-827, <https://doi.org/10.1002/ajp.22281>.

Plowright, R. K. et al. (2017). Pathways to zoonotic spillover. *Nat. Rev. Microbiol.* 15: 502–510.

Plowright, R.K., Eby, P., Hudson, P.J., Smith, I.L., Westcott, D., Bryden, W.L., Middleton, D., Reid, P.A., McFarlane, R.A., Martin, G., Tabor, G.M., Skerratt, L.F., Anderson, D.L., Crameri, G., Quammen, D., Jordan, D., Freeman, P., Wang, L.F., Epstein, H.J., Marsh, G.A., Kung, N.Y., McCallum, H. (2015). Ecological dynamics of emerging bat virus spillover, *Proc. Biol. Sci.* 282, 2014-2124, <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.2124>.

Rabitsch, W., Essl, F., & Schindler, S. (2017). The rise of non-native vectors and reservoirs of human diseases. In Impact of biological invasions on ecosystem services (pp. 263-275). Springer, Cham.

Rabosky, D.L. (2009). Ecological limits and diversification rate: alternative paradigms to explain the variation in species richness among clades and regions. *Ecology*

Letters, 12 (8): 735–743. doi:10.1111/j.1461-0248.2009.01333.x. PMID 19558515

Roberton, S.I., Tran, T., Momberg, F. (2003). Hunting and Trading Wildlife: an Investigation into the Wildlife Trade in and Around the Pu Mat National Park, Nghe An Province, Vietnam, SFNC Project Management Unit, Nghe An, Vietnam, 2003.

Roe, D., Sheldon, N., Elliott, J. (2019). *Biodiversity loss is a development issue*, IIED Issue Paper. IIED, London.

Schrag, S.J., Wiener, P. (1995). Emerging infectious disease: what are the relative roles of ecology and evolution, *Trends Ecol. Evol.* 10, 319-324.

Seronello, S., Montanez, J., Presleigh, K., Barlow, M., Park, S.B., Choi, J. (2011). Ethanol and reactive species increase basal sequence heterogeneity of hepatitis C virus and produce variants with reduced susceptibility to antivirals, *PloS One* 6, e27436.

Smith, I., Wang, L.F. (2013). Bats and their virome: an important source of emerging viruses capable of infecting humans, *Current Opinion in Virology* 3, 84-91.

States, S. L., Brinkerhoff, R. J., Carpi, G., Steeves, T. K., Folsom-O'Keefe, C., DeVeaux, M., & Diuk-Wasser, M. A. (2014). Lyme disease risk not amplified in a species-poor vertebrate community: similar *Borrelia burgdorferi* tick infection prevalence and OspC genotype frequencies. *Infection, Genetics and Evolution*, 27, 566-575.

Stuebing, R. B. (1991). A checklist of the snakes of Borneo, *Raffles Bull. Zool.* 39, 324-362.

Suwannarong, K., Chanabun, S., Kanthawee, P., Khiewkhern, S., Boonyakawee, P., Suwannarong, K., Saengkul, C., Bubpa, N., Amonsin, A. (2020). Risk factors for bat contact and consumption behaviors in Thailand: a quantitative study,

BMC Publ. Health 20 (841) 1e13, <https://doi.org/10.1186/s12889-020-08968-z>.

Swift, L., Hunter, P.R., Lees, A.C., Bell, D.J. (2007). Wildlife trade and the emergence of infectious diseases, *Eco Health*, 4, 25-30, <https://doi.org/10.1007/s10393-006-0076-y>.

Tang, X.C., Zhang, J.X., Zhang, S.Y., Wang, P., Fan, X.H., Li, L.F., Dong, B.Q., Liu, W., Cheung, C.L. (2006). Prevalence and genetic diversity of coronaviruses in bats from China, *J. Virol.* 80, 7481-7490.

Teeling, E.C., Springer, M.S., Madsen, O., Bates, P., O'Brien, S.J., Murphy, W.J. (2005). Molecular phylogeny for bats illuminates biogeography and the fossil record, *Science*, 307, 580-584.

Tittensor, D. P., Mora, C., Jetz, W., Lotze, H. K., Ricard, D., Berghe, E., Vanden Worm, B., Jetz, W., Lotze, H. K., Ricard, D., Berghe, E. V., Worm, B. (2010). Global patterns and predictors of marine biodiversity across taxa. *Nature*, 466 (7310):1098–1101. Bibcode:2010Natur.466.1098T. doi : 10.1038/nature09329.PMID 20668450.

Van Buskirk, J., Ostfeld, R.S. (1995). Controlling Lyme disease by modifying density and species composition of tick hosts. *Ecol Appl*, 5: 1133–1140.

Wang, L. F., & Eaton, B. T. (2007). Bats, civets and the emergence of SARS. In Wildlife and emerging zoonotic diseases: the biology, circumstances and consequences of cross-species transmission (pp. 325-344). Springer, Berlin, Heidelberg.

Wells, K., Morand, S., Wardeh, M., Baylis, M. (2020). Distinct spread of DNA and RNA viruses among mammals amid prominent role of domestic species. *Glob. Ecol.Biogeogr.* 29, 470–481.

- Wolfe, N.D., Daszak, P., Kilpatrick, A.M., Burke, D.S. (2005). Bushmeat hunting, deforestation, and prediction of zoonoses emergence, *Emerg. Infect. Dis.* 11 (12), 1822-1827.
- Wolfe, N.D., Dunavan, C.P., Diamond, J. (2007). Origins of major human infectious diseases. *Nature*, 447, 279–283.
- Wolfe, N.D., Switzer, W.M., Carr, J.K., Bhullar, V.B., Shanmugam, V., Tamoufe, U., Prosser, A.T., Torimiro, J.N., Wright, A., Mpoudi-Ngole, E., McCutchan, F.E., Birx, D.L., Folks, T.M., Burke, D.S., Heneine, W. (2014). Naturally acquired simianretrovirus infections in central African hunters, *Lancet*, 363 (9413), 932-937.
- Woo, P.C., Lau, S.K., Lam, C.S., Lau, C.C., Tsang, A.K., Lau, J.H., Bai, R., Teng, J.L., Tsang, C.C., Wang, M. (2012). Discovery of seven novel Mammalian and avian coronaviruses in the genus deltacoronavirus supports bat coronaviruses as the gene source of alphacoronavirus and betacoronavirus and avian coronaviruses as the gene source of gammacoronavirus and deltacoronavirus, *J. Virol.* 86, 3995-4008.
- Wood, C.L., McInturff, A., Young, H.S., Kim, D., Lafferty, K.D. (2017). Human infectious disease burdens decrease with urbanization but not with biodiversity. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 372, 20160122.
- Wood, C.L., McInturff, A., Young, H.S., Kim, D., Lafferty, K.D. (2017). Human infectious disease burdens decrease with urbanization but not with biodiversity, *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 372, 1-22.
- Wu, F., Zhao, S., Yu, B., Chen, Y. M., Wang, W., Song, Z. G., ... & Yuan, M. L. (2020). A new coronavirus associated with human respiratory disease in China. *Nature*, 579(7798), 265-269.
- Wynne, J.W., Wang, L.F. (2013). Bats and viruses: friend or foe? *PLoS Pathog.* 9, e1003651.

- Yu, W.B., Tang, G.D., Zhang, L., Corlett, R.T. (2020). Decoding the evolution and transmissions of the novel pneumonia coronavirus (SARS-CoV-2/HCoV-19) using whole genomic data, *Zool. Res.* 41, 247-257.
- Zhang, L., Zhu, G., Jones, G., Zhang, S. (2009). Conservation of bats in China: problems and recommendations, *Oryx* 43, 179-182.
- Zhang, X.M., Kousoulas, K.G., Storz, J., (1992). The hemagglutinin/esterase gene of human coronavirus strain OC43: phylogenetic relationships to bovine and murine coronaviruses and influenza C virus, *Virology* 186, 318-323.
- Zhang, Y.Z., Holmes, E.C. (2020). A genomic perspective on the origin and emergence of SARS-CoV-2. *Cell*, 181, 223–227.
- Zhao, J., Zhao, J., Van Rooijen, N., Perlman, S. (2009). Evasion by stealth: inefficient immune activation underlies poor T cell response and severe disease in SARS-CoV-infected mice, *PLoS Pathog.* 5, e1000636.
- Zhou, P., Fan, H., Lan, T., Yang, X.L., Shi, W.F., Zhang, W., Zhu, Y., Zhang, Y.W., Xie, S., Mani, S., (2018). Fatal swine acute diarrhoea syndrome caused by an HKU2-related coronavirus of bat origin, *Nature*, 556, 255-258.
- Zhou, P., Tachedjian, M., Wynne, J.W., Boyd, V., Cui, J., Smith, L. et al., (2016). Contraction of the type I IFN locus and unusual constitutive expression of IFNAlpha in bats, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113, 2696-2701.
- Zhou, Q., Yuelin, C. (2012). Guangzhou bat and bat cultural investigation, Guangdong Agricultural Sciences 4 (2012).

Ελληνική

Δημόπουλος Π. (2018). Διαλέξεις του μεταπτυχιακού μαθήματος “Εκτίμηση Βιοποικιλότητας και Βιοπαρακολούθηση Ειδών & Οικοτόπων”, Τμήμα Βιολογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Λεγάκης Α., Μαραγκού Π. (2009). Το Κόκκινο βιβλίο των απειλούμενων ζώων της Ελλάδας”. ISBN: 978-960-85298-8-5.