



Cyprus  
University of  
Technology

Faculty of Geotechnical  
Sciences and  
Environmental  
Management

**Doctoral Dissertation**

**Biodiversity of wild bees in Cyprus: Species richness, land use effects and contribution to ecosystem services**

**Androulla Varnava**

**Limassol, December 2022**



CYPRUS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
FACULTY OF GEOTECHNICAL SCIENCES AND ENVIRONMENTAL  
MANAGEMENT  
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL SCIENCES, BIOTECHNOLOGY  
AND FOOD SCIENCE

Doctoral Dissertation

Biodiversity of wild bees in Cyprus: Species richness, land use  
effects and contribution to ecosystem services

Androulla Varnava

Limassol, December 2022

# Approval Form

Doctoral Dissertation

## **Biodiversity of wild bees in Cyprus: Species richness, land use effects and contribution to ecosystem services**

Presented by

Androulla Varnava

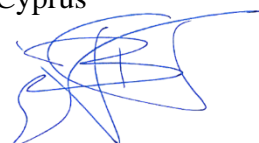
Supervisor: Dr. Menelaos Stavrinides, Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Biotechnology and Food Science, Faculty of Geotechnical Sciences and Environmental Management, Cyprus University of Technology

Signature



Member of the Committee: Dr. Ioannis Vogiatzakis, Professor, Faculty of Pure and Applied Sciences, Environmental Conservation and Management Programme, Open University of Cyprus

Signature



Member of the Committee: Dr. Achik Dorchin, Research Fellow, Department of Zoology, Faculty of Science, University of Mons, Belgium

Signature



Cyprus University of Technology

Limassol, December 2022

# Approval Form of Advisory Committee

Doctoral Dissertation

## **Biodiversity of wild bees in Cyprus: Species richness, land use effects and contribution to ecosystem services**

Presented by

Androulla Varnava

Supervisor: Dr. Menelaos Stavrinides, Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Biotechnology and Food Science, Faculty of Geotechnical Sciences and Environmental Management, Cyprus University of Technology

Signature



Member of the Committee: Dr. Denis Michez, Professor, Department of Zoology, Faculty of Science, University of Mons, Belgium

Signature



Member of the Committee: Dr. George Manganaris, Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Biotechnology and Food Science, Faculty of Geotechnical Sciences and Environmental Management, Cyprus University of Technology

Signature



Cyprus University of Technology

Limassol, December 2022

## **Copyrights**

Copyright © 2022 Androulla Varnava

All rights reserved.

The approval of the dissertation by the Department of Agricultural Sciences, Biotechnology and Food Science does not imply necessarily the approval by the Department of the views of the writer.

## **Declaration**

The data presented in this PhD dissertation are the results of an original research work conducted by the author at the Cyprus University of Technology (CUT), unless otherwise indicated. The work contained herein has not been submitted, in whole or in part, to obtain any other degree or professional qualification in this or any other academic institution. Data from this study (Chapter 2) have been published in one peer-reviewed journal and other data (Chapter 4) are under revision in an international journal. In addition, part of the data of the current dissertation have been presented orally by Androulla Varnava in a conference, held under the auspices of The 7<sup>th</sup> European Conference of Apidology, 7-9 September 2016, Cluj-Napoca, Romania.

## **Scientific publications in referred journals**

1. Varnava AI, Roberts S, Michez D, Ascher JS, Petanidou T, Dimitriou S, Devalez J, Pittara M, Stavriniades MC (2020) The wild bees (Hymenoptera, Apoidea) of the island of Cyprus. *ZooKeys* 924: 1–114. <https://doi.org/10.3897/zookeys.924.38328>
2. Varnava AI, Manganaris GA, Stavriniades MC (2022) Assessing the biodiversity and the impact of pollinators on carob production – under Revision in PLOS ONE.

## **Oral presentations**

1. Varnava Androulla, Stavroulla Louka, Athanasia Mandoulaki and Stavriniades C. Menelaos 2016. Biodiversity of wild bees of Cyprus: past, present and future. 7<sup>th</sup> European Conference of Apidology, 7-9 September 2016, Cluj-Napoca, Romania.

## Acknowledgements

I would like to express my sincere gratitude to my advisor Associate Professor Menelaos C. Stavrinides for his support during my PhD studies, for his endless patience and continuous motivation, and knowledge he conveyed to me. I could not have imagined a better help during the writing phases of the current dissertation. Besides my advisor, I would like to express my gratitude to the other members of my Advisory Committee: Professor Denis Michez of the Faculty of Science, Laboratory of Zoology of the University of UMons for his essential guidance and assistance in various aspects of the research. In addition, I acknowledge Associate Professor George Manganaris for his insightful comments and support.

My sincere thanks and gratitude also go to Stuart Roberts, Freelance Entomologist and Ecological Consultant who guided me at my very first steps as a Bee expert. Without his precious support, it would have been impossible to conduct the current study. I would also like to acknowledge all the taxonomists who provided help in species identification: Thomas Wood, Gerard Le Goff, Stuart Roberts, Andreas Müller and Christophe Praz, Jessica Litman, Max Kasperek, Michael Mikat, Achik Dorchin, Erwin Scheuchl, Bogdan Tomozei, Michael Kuhlmann, Alain Pauly, Pierre Rasmont, Göran Holmström, Holger Dathe, Jan Smit and Maud Mignot. I want to acknowledge Christian Schmid-Egger, Martin Jenner, Sophie Bagshaw, Nick Owens and John Varnava for their contribution in providing data and Ong Xin Rui for her recommendations in the purpose of the second Chapter and Kyriaki Varnava for her help on every single experiment. I should also thank the Department of Agriculture, Ministry of Agriculture, Rural Development and Environment of Cyprus for providing access to the Mavromoustakis collection and the Snow Entomological Museum Collection (Kansas, USA) who provided online digitised data of specimens collected by Mavromoustakis under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 License.

I want to acknowledge for their help during the work for Chapter 3: Nicolas J. Vereecken for the R statistics guidance; Akrotiri Environmental Education and Information Centre and Joint Services Health Unit Cyprus BFC RAF Akrotiri for providing permits for sampling in Akrotiri region: Dr Angeliki Martinou (Head Entomologist), Dr Pantelis Charilaou (SBAA Environment and Conservation Officer), Dr Thomas Hadjikyriakou (Director of Akrotiri Environmental Education and Information Centre); Special thanks to



Kyriaki Varnava, for her help during every single experiment; Dr Elli Tzirkalli (Open University of Cyprus), Dr Athos Agapiou and Veroniki Kanellidou (Cyprus University of Technology, Department of Civil Engineering and Geomatics) for their help in map georeferencing work. Special thanks to Marios Mitas, Technical Engineer Photogrammetry in the Department of Lands and Surveys for the map provision. In addition, land owners in the Cherkes Chiftlik-Asomatos region who allowed me to work in their fields for the study. Special thanks are also extended to carob growers in Paphos, Limassol and Larnaca districts, for kindly providing their fields during this work. I am grateful to the Holy Transfiguration Monastery and the nuns in Avdellero (Larnaca region) who allowed us to carry out the experiments in their carob tree fields and especially to the nun fSigklitiki with whom we had frequent contact. I thank Dr. Achik Dorchin for his advice and suggestions at the beginning of this research and Dr. Ioannis Vogiatzakis for his help on the landscape characterization of our experimental regions. Finally, the Department of Environment for providing permits for sampling bees in Cyprus and special thanks to Elena Erotokritou who mediated this procedure.

Last but not the least, I would like to thank my precious parents Ioannis and Kyriaki for their support and their help in every single experiment all these years. Also, my partner Nicolas, for his essential support and help during the writing phases and all my friends and colleagues in Cyprus and abroad for their love and support all these years.

## ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι άγριες μέλισσες είναι βασικοί πάροχοι υπηρεσιών επικονίασης. Ογδόντα επτά από τις κύριες παγκόσμιες καλλιέργειες τροφίμων βασίζονται στην επικονίαση από ζώα, με περίπου το 35% της παγκόσμιας προσφοράς τροφίμων να στηρίζεται σε ζωικούς επικονιαστές. Έρευνες πολλών επιστημόνων κατέγραψαν ανησυχητικές μειώσεις των ειδών άγριων μελισσών σε πολλά μέρη του κόσμου, με την κλιματική αλλαγή και τη χρήση της γης, συμπεριλαμβανομένης της εντατικής γεωργίας, να αναδεικνύονται ως βασικοί λόγοι της μείωσης των ειδών. Οι στόχοι της παρούσας διατριβής ήταν να αποτιμηθεί η βιοποικιλότητα επικονιαστών στην Κύπρο, να ερευνηθεί η επίδραση του τύπου χρήσης γης στον πλούτο των ειδών χρησιμοποιώντας ιστορικά και πρόσφατα δεδομένα και να καταγραφεί η συνεισφορά συγκεκριμένων ειδών μελισσών στην επικοινωνία σημαντικών καλλιεργειών.

Στο **Κεφάλαιο 2** δημιουργήθηκε η πρώτη σύγχρονη λίστα των ειδών άγριων μελισσών της Κύπρου, βασισμένη σε προηγούμενες σχετικές δημοσιεύσεις, δείγματα από μουσεία και πρόσφατες συλλογές από το πεδίο. Συνολικά, 369 επαληθευμένα είδη μελισσών έχουν καταγραφεί στο νησί, με έντεκα είδη να αναφέρονται για πρώτη φορά στην Κύπρο. Το νησί φιλοξενεί και τις έξι από τις παγκοσμίως διαδεδομένες οικογένειες μελισσών, με την Apidae να εκπροσωπείται από 110 είδη, τη Megachilidae με 91, την Andrenidae με 76, τη Halictidae με 72, την Colletidae με 19 και τη Melittidae με 1 είδος. Είκοσι ένα από τα καταγεγραμμένα είδη είναι ενδημικά (ποσοστό ενδημισμού 5,7%) και η Κύπρος κατατάσσεται τρίτη μετά τη Λέσβο και τη Σικελία σε γνωστό πλούτο ειδών μελισσών μεταξύ των νησιών της Μεσογείου.

Στο **Κεφάλαιο 3** αναλύσαμε ιστορικές αλλαγές στον πλούτο των ειδών χρησιμοποιώντας ως βάση ένα μοναδικό σύνολο δεδομένων που συνέλεξε ο ταξινομιστής μελισσών Γεώργιος Μαυρομουστάκης, με έναρξη των δειγματοληψιών πριν ένα αιώνα και διάρκεια 30 ετών. Εστίασαμε σε δύο περιοχές με δύο διαφορετικούς τύπους χρήσης γης: στην περιοχή Τσερκές Τσιφτλίκ - Ασώματος όπου το τοπίο χαρακτηρίζεται ως κυρίως αγροτικό και στην περιοχή Ακρωτηρίου με κυρίως ημιφυσικό τοπίο. Έγιναν συλλογές μελισσών και στις δύο περιοχές ανά δύο εβδομάδες για περίοδο δύο ετών. Οι αλλαγές στις χρήσεις γης ήταν ελάχιστες μεταξύ της ιστορικής και της σημερινής περιόδου. Ωστόσο, η περιοχή Τσερκές Τσιφτλίκ - Ασώματος γνώρισε δραστικές αλλαγές, με αύξηση της χρήσης

εντατικών γεωργικών μεθόδων, ιδιαίτερα συνθετικών εντομοκτόνων, συμπεριλαμβανομένου του DDT, περίπου από το 1945 και έπειτα. Επιπρόσθετα, η περιοχή Τσερκέζ Τσιφτλίκ – Ασώματος έχει διάσπαρτη οικιστική ανάπτυξη σε σχέση με το Ακρωτήρι όπου η ανάπτυξη είναι πιο συγκεντρωμένη. Εντοπίσαμε σημαντικές αλλαγές στη σύνθεση των ειδών, με 43 είδη να έχουν αναφερθεί μόνο στα ιστορικά δείγματα, 77 μόνο στα πρόσφατα δείγματα, ενώ 42 εντοπίστηκαν και στις δύο περιόδους. Ο Μαυρομουστάκης ανέφερε 50 είδη από το Ακρωτήρι και 80 από την περιοχή Τσερκέζ Τσιφτλίκ - Ασώματος, από τα οποία τα 26 ήταν κοινά και στις δύο περιοχές. Στις πρόσφατες δειγματοληψίες συγκεντρώσαμε 110 είδη από το Ακρωτήρι και 68 από την περιοχή Τσερκέζ Τσιφτλίκ - Ασώματος, περιλαμβανομένων 53 κοινών ειδών. Η διαφορά στη συχνότητα εξαφανίσεων ειδών ήταν στατιστικά σημαντική, με την περιοχή Τσερκέζ Τσιφτλίκ - Ασώματος να χάνει είδη με διπλάσιο ρυθμό από το Ακρωτήρι, περίπου στο 75 και 35% αντίστοιχα. Ο πλούτος των ειδών φυτών από τα οποία συλλέχθηκαν μέλισσες ήταν υψηλότερος στο Ακρωτήρι, με στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ του φυτικού πλούτου και του πλούτου των μελισσών. Υποθέτουμε ότι οι κύριοι παράγοντες για την εξαφάνιση των ειδών είναι η εντατική χρήση συνθετικών γεωργικών φαρμάκων και η απώλεια κατάλληλων οικοτόπων και φυτικών ειδών λόγω της εφαρμογής εντατικών γεωργικών μεθόδων και οικιστικής ανάπτυξης. Ως αποτέλεσμα της εργασίας, αναφέρονται δεκατρία νέα είδη μελισσών στην Κύπρο, καθώς και τρία νέα είδη για την επιστήμη.

Το **Κεφάλαιο 4** αξιολόγησε την ποικιλότητα των άγριων μελισσών και άλλων επικονιαστών που βασίζονται στα άνθη της χαρουπιάς, καθώς και τη συμβολή της ζωικής επικοινωνίας στην παραγωγή χαρουπιών. Τα άνθη χαρουπιών υποβλήθηκαν σε δύο μεταχειρίσεις: Ανοιχτή επικοινωνία, όπου οι ταξιανθίες έμειναν ως είχαν, και κλειστή επικοινωνία, όπου οι ταξιανθίες εγκλωβίστηκαν σε δίχτυ κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας. Οι εβδομαδιαίες παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας έδειξαν ότι το *Apis mellifera* ήταν ο πιο συχνός επισκέπτης των λουλουδιών ακολουθούμενη από είδη άγριων μελισσών και σφηκών. Τα άνθη χαρουπιών επισκέφθηκαν τουλάχιστον 10 διαφορετικά είδη άγριων μελισσών. Τα άνθη με ανοιχτή επικοινωνία παρήγαγαν σημαντικά περισσότερους καρπούς, με το όφελος να κυμαίνεται από 4 έως 20 φορές υψηλότερη παραγωγή, ανάλογα με την περιοχή. Η ανοιχτή επικοινωνία οδήγησε σε καρπούς με μεγαλύτερο βάρος, μήκος και αριθμό σπόρων σε σύγκριση με τους καρπούς που προέρχονταν από την κλειστή επικοινωνία. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης

υπογραμμίζουν τη σημασία της ζωικής επικοινωνίας για την παραγωγή χαρουπιών, καθώς και τη σημασία των χαρουπιών για τη διατήρηση των άγριων μελισσών.

Τα ευρήματά της παρούσας διατριβής αναδεικνύουν τη σημασία τόσο των ιστορικών δεδομένων, όσο και σύγχρονων δειγματοληψιών για την κατανόηση της ποικιλότητας των μελισσών και την ανάγκη θέσπισης ενός μακροπρόθεσμου προγράμματος παρακολούθησης και δράσεων διατήρησης για τα είδη των αγρίων μελισσών της Κύπρου.

## GENERAL ABSTRACT

Wild bees are key providers of pollination services. Eighty-seven of the leading global food crops rely on animal pollination, with ca. 35% of global food supply depended on the service. Seminal work by multiple authors documented alarming declines in wild bee species in several parts of the world, with climate change and land use change, including intensive agriculture, emerging as key drivers of species declines. The goals of the current Dissertation were to evaluate wild bee diversity in Cyprus, investigate the effect of land use on species richness using historical and contemporary data, and document the contribution of specific species to pollination services.

In **Chapter 2** the first modern checklist of the wild bees of Cyprus was created, based on a compilation of previous publications, museum specimens and recent collections. Overall, 369 verified bee species have been recorded on the island, with eleven species reported from Cyprus for the first time. The island hosts all six of the globally widespread bee families, with Apidae represented by 110 species, Megachilidae with 91, Andrenidae with 76, Halictidae with 72, Colletidae with 19, and Melittidae with 1. Twenty-one of the recorded bee species are endemic (i.e., 5.7 % endemism rate) and Cyprus ranks third after Lesvos and Sicily in known bee species richness among the Mediterranean islands.

In **Chapter 3** we relied on a unique data set collected by the bee taxonomist George Mavromoustakis covering a 30-year period beginning 100 years ago, and recent biweekly samplings over two years to analyze changes in species richness. We focused on two areas with contrasting land use patterns: Cherkas Chiftlik - Asomatos (CC\_Asomatos) with a mainly agricultural and Akrotiri with a mainly seminatural land use profile. Changes in landscape use categories were mild and relatively similar in the two areas, with urban development more scattered in CC\_Asomatos. In addition, CC\_Asomatos experienced drastic changes in land use intensity, with an increase in the use of high-input agricultural methods, including synthetic insecticides, beginning with DDT from around 1945. We detected a substantial species turnover, with 43 species collected only in historical samples, 77 only in recent samples, while 42 persisted in both periods. Mavromoustakis reported 50 species from Akrotiri and 80 from CC\_Asomatos, out of which 26 were common. We collected 110 species from Akrotiri, and 68 from CC\_Asomatos with 53 common. There was a statistically significant difference in the frequency of species extinctions, with

CC\_Asomatos losing species at twice the rate of Akrotiri, at ca. 75 and 35% respectively. The richness of plants visited by bees was higher in Akrotiri, with a significant relationship between plant species richness and bee species richness. We hypothesize that the main drivers for species extinctions are the intensive use of synthetic pesticides, and the loss of habitat and floral diversity because of the expansion of agriculture and urban development. Thirteen species new to Cyprus, as well as three species new to science are reported as part of the current work.

**Chapter 4** assessed the diversity of wild bees and other pollinators relying on carob flowers, as well as the contribution of animal pollination to carob production. Carob flowers were subjected to two treatments: Open pollination, where inflorescences were left untreated, and wind pollination, where inflorescences were bagged in a mesh during blooming. Weekly observations during blooming showed that *Apis mellifera* was the most frequent floral visitor followed by wild bees and wasps. Carob flowers were visited by at least 10 different wild bee species. Open-pollinated flowers produced significantly more pods, with the benefit ranging from 4 to 20 times higher production, depending on the region. Open pollination led to pods with greater weight, length and number of seeds compared to pods derived from wind pollination. The results of the study highlight the importance of animal pollination to carob production, as well as the significance of carob trees to wild bee conservation.

The findings of the current dissertation highlight the importance of historical data in understanding bee diversity and the need for establishing a long-term monitoring program and conservation actions for the bee species of Cyprus.