

Utjecaj domaćina na morfološke karakteristike krila mediteranske voćne muhe *Ceratitis capitata*

Ninčević, Pave

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:876725>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-10**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

**UTJECAJ DOMAĆINA NA MORFOLOŠKE
KARAKTERISTIKE KRILA MEDITERANSKE VOĆNE MUHE**
Ceratitis capitata

DIPLOMSKI RAD

Pave Ninčević

Zagreb, srpanj, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:

Fitomedicina

**UTJECAJ DOMAĆINA NA MORFOLOŠKE
KARAKTERISTIKE KRILA MEDITERANSKE VOĆNE MUHE
*Ceratitis capitata***

DIPLOMSKI RAD

Pave Ninčević

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Darija Lemić

Zagreb, srpanj, 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, Pave Ninčević, JMBAG 01781148718, rođen/a 18.04.1998 u Zadru, izjavljujem da sam samostalno izradila/izradio diplomski rad pod naslovom:

**UTJECAJ DOMAĆINA NA MORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE KRILA MEDITERANSKE VOĆNE
MUHE *Ceratitis capitata***

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica/jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta/ice **Pave Ninčević**, JMBAG 01781148718 naslova

UTJECAJ DOMAĆINA NA MORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE KRILA MEDITERANSKE VOĆNE

MUHE *Ceratitis capitata*

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

- | | | | |
|----|---|--------|-------|
| 1. | izv. prof. dr. sc. Darija Lemić | mentor | _____ |
| 2. | prof. dr. sc Renata Bažok | član | _____ |
| 3. | izv. prof. dr. sc. Ivana Pajač Živković | član | _____ |

Zahvala

Ovim putem želim se zahvaliti svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Dariji Lemić na bezuvjetnoj pomoći i dijeljenju znanja pri provedbi dvogodišnjeg znanstvenog istraživanja i pisanju ovoga rada, ali i na višegodišnjoj suradnji iz koje sam naučio mnogo i uz pomoć koje sam zavolio struku kojom ću se, nadam se, baviti u budućnosti.

Zahvaljujem se i doc. dr. sc. Mariju Bjelišu koji me uveo u problematiku mediteranske voćne muhe i što mi je omogućio posjetu istraživačkom institutu „AGES“ u Beču kako bih u živo mogao vidjeti i učiti o laboratorijskom uzgoju najvažnijih štetnika porodice „Tephritidae“.

Zahvaljujem se i prof. dr. sc. Renati Bažok koja mi je pomogla pri odlasku u Beč na BOKU kako bih odradio studentsku stručnu praksu.

Zahvalio bih se svojim prijateljima i starijim kolegama, asistentima te profesorima na savjetima, usmjeravanju i podršci tijekom studiranja.

Velike zahvale dugujem svojim roditeljima te sestri Ivi koji su mi bili velika moralna, ali i financijska potpora tijekom svih pet godina studiranja.

Zahvale upućujem i svojim prijateljima koji su studiranje učinili zabavnim i nezaboravnim periodom mog života.

Konačno, velike zahvale Lamiiji na potpori, razumijevanju, kompromisima i uvažavanju.

Sadržaj

1.	Uvod	1
1.1.	Cilj rada ili Cilj istraživanja	2
2.	Pregled literature	3
2.1.	Mediteranska voćna muha	3
2.1.1.	Sistematika i rasprostranjenost	3
2.1.2.	Morfologija mediteranske voćne muhe	4
2.1.3.	Biologija i ekologija mediteranske voćne muhe	6
2.1.4.	Invazivni karakter mediteranske voćne muhe.....	7
2.1.5.	Mogućnosti suzbijanja mediteranske voćne muhe	9
2.1.6.	Ekonomski značaj mediteranske voćne muhe.....	10
2.1.7.	Istraživanja mediteranske voćne muhe	11
2.2.	Morfometrija u dokazivanju varijabilnosti fenotipa	12
2.2.1.	Morfologija	12
2.2.2.	Morfometrija	13
2.2.3.	Primjena geometrijske morfometrije u entomološkim istraživanjima	15
3.	Materijali i metode	18
3.1.	Lokacije i biljni domaćini.....	18
3.2.	Prikupljanje uzoraka i način rada	19
3.3.	Analiza oblika i veličina krila metodama geomterijske morfometrije	21
3.4.	Analiza oblika i veličine krila metodama tradicionalne morfometrije	22
4.	Rezultati	24
5.	Rasprava.....	37
6.	Zaključci.....	42
7.	Literatura.....	44
	Životopis.....	57

Sažetak

Diplomskog rada studenta/ice Pave Ninčević , naslova

UTJECAJ DOMAĆINA NA MORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE KRILA MEDITERANSKE VOĆNE MUHE *Ceratitis capitata*

Mediteranska voćna muha (*Ceratitis capitata*, Wiedemann) invazivan je štetnik. U Hrvatskoj je muha proširena duž cijele obale Jadrana, a sporadično se bilježi i na kontinentu. Najveće štete i ekonomske gubitke uzrokuje na plodovima mandarine, a može značajno oštetiti plodove breskve i smokve. Hipoteza ovoga rada je bila da različiti biljni domaćini u kojima se razvija mediteranska voćna muha uzrokuju fenotipsku varijabilnost štetnika koja je ključna u širenju štetnika na nova područja te u prilagodbi na različite agroekološke uvjete. Glavni cilj ovoga rada bio je utvrditi varijabilnost mediteranske voćne muhe obzirom na različite biljne domaćine (breskva, smokva i mandarina) i lokalitete (uzgojne lokacije) na kojima se muha razvijala. Varijabilnost populacija istražena je pomoću metoda geometrijske i tradicionalne morfometrije te je izračunat i analiziran „Aspect ratio“ (AR) istraživanih populacija. Kroz postavljanje 14 specifičnih točaka na krila mediteranske voćne muhe te kroz linerana mjerenja definiranih morfoloških obilježja analizirano je 10 populacija uzgojenih iz zaraženih plodova breskve, smokve i mandarine te sterilne populacije uzgojene u laboratoriju. Istraživanje je rezultiralo sljedećim bitnim spoznajama: spolni dimorfizam u obliku krila prisutan je u svim istraživanim populacijama, domaćini u kojima se muha razvijala utječu na oblik i veličinu krila te uvjetuju njenu varijabilnost, dokazana je značajna varijabilnost između sterilnih i divljih populacija, omjer raspona krila istraživanih populacija također upućuje na varijabilnost obzirom na različitost biljnih domaćina. Utvrđena je vrlo niska varijabilnost između različitih agroekoloških uvjeta (različiti lokaliteti i domaćini) što upućuje na stabilnost genotipa te visoku fenotipsku plastičnost koja je preduvjet invazivnosti i širenja mediteranske voćne muhe na nova područja i biljne domaćine. Napredovanjem trgovine i klimatskih promjena mediteranska voćna muha će postati još značajniji štetnik te ozbiljna prijetnja budućoj poljoprivredi.

Ključne riječi: invazinost, mediteranska voćna muha, tradicionalna i geometrijska morfometrija, omjer raspona krila (AR)

Summary

Of the master's thesis – student Pave Ninčević , entitled

THE INFLUENCE OF THE HOST ON THE MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE WINGS OF THE MEDITERRANEAN FRUIT FLY *Ceratitis capitata*

The Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*, Wiedemann) is an invasive pest that is widespread in Croatia along the entire Adriatic coast and also occurs sporadically on the continent. It causes the greatest damage and economic losses to tangerine fruit and can also cause significant damage to peaches and figs. The hypothesis of this work was that the different plant hosts in which the Mediterranean fruit fly develops lead to phenotypic variability of the pest, which is crucial for the spread of the pest to new areas and adaptation to different agroecological conditions. The main objective of this work was to determine the variability of the Mediterranean fruit fly in relation to different plant hosts (peach, fig, and tangerine) and locations (breeding sites) where the fly develops. The variability of the populations was studied using the methods of geometric and traditional morphometrics, and the "aspect ratio - AR" of the studied populations was calculated and analyzed. By placing 14 specific points on the wings of the Mediterranean fruit fly and by linear measurements of defined morphological characteristics, 10 populations grown from infected peach, fig and tangerine fruit and sterile populations grown in the laboratory were analyzed. The study led to the following important results: sexual dimorphism in the shape of wings is present in all studied populations, the hosts in which the fly evolved influence the shape and size of the wings and condition their variability, significant variability between sterile and wild populations was demonstrated, the ratio of the wingspan of the studied population refers to the variability due to the diversity of plant hosts. Very low variability between different agroecological conditions (different locations and hosts) was detected, indicating the stability of the genotype and high phenotypic plasticity, which is a prerequisite for the invasiveness and spread of the Mediterranean fruit fly to new areas and plant hosts. As trade and climate change progress, the Mediterranean fruit fly will become an even more significant pest and a serious threat to future agriculture.

Key words: invasiveness, medfly, traditional and geometric morphometry, aspect ratio (AR)

1. Uvod

Meditranska voćna muha (*Ceratitidis capitata*, Wiedemann 1824.) polifagni je invazivni štetnik koji napada preko 360 biljnih vrsta iz 69 različitih botaničkih porodica (Liquidio i sur., 1998). Poznata je kao najveći štetnik voćnih kultura diljem svijeta. Na našem području najčešći biljni domaćini su joj različite sorte breskve te kasne sorte smokve, ali najveće štete pričinjava u nasadima agruma. Prinos agruma može smanjiti od 30 % do 100 %, ovisno o klimatskim uvjetima pojedine vegetacijske godine (Umeh i sur., 2004). Koliko je ekonomski značajan štetnik na našem području najbolje govori i činjenica da Ministarstvo poljoprivrede potpomaže proces suzbijanja mediteranske voćne muhe s višemilijunskim iznosima na godišnjoj razini. Smatra se invazivnom i karantenskom vrstom, nad njom fitosanitarne inspekcije provode posebne nadzore i kontrole (Ministarstvo poljoprivrede, 2021). Zbog svog visokog biološkog potencijala i sposobnosti prilagođavanja prisutna je u različitim geografskim područjima, a za razliku od ostalih voćnih muha dobro podnosi i hladniju klimu (Thomas i sur., 2001). Presudan utjecaj na veliku geografsku rasprostranjenost mediteranske muhe imao je čovjek, odnosno trgovina. Saznanje da je pronađena na Indijskom oceanu u teretnom brodu (De Meyer, 2000), a smatra se da je porijeklom iz toplih južnoafričkih krajeva najbolje objašnjava prethodnu činjenicu. Gotovo ni jedna zemlja na svijetu nije u potpunosti riješila problem ove invazivne vrste, već se ovisno o financijskim mogućnostima provode manje ili više učinkovite mjere suzbijanja da bi se potencijalni gubici sveli na minimum (Radonjić, 2011).

Visoka fenotipska plastičnost karakteristika je invazivnih štetnika te se smatra jednim od glavnih razloga uspješne prilagodbe na novo naseljena područja. Fenotipska plastičnost definira se kao promjena ekspresije fenotipa zbog modificiranja genotipa pod djelovanjem različitih ekoloških čimbenika (Bradshaw, 1965; Schlichting, 1986). Dokazano je kako ova pojava ima ozbiljan utjecaj na evolucijske posljedice (Schlichting, 2004; Murren i sur., 2005). Po mnogima je visoka plastičnost organizama uzrok formiranja različitih fenotipova temeljem kojih se populacije lakše odupiru promijenjenim ekološkim čimbenicima i temeljem koje uspostavljaju i održavaju populaciju na određenom području (Berrigan i Scheiner, 2004; Helmuth i sur., 2005; van Kleunen i Fisher, 2005). Opseg plastičnosti fenotipa jedna je od glavnih razlika između invazivnih i neinvazivnih vrsta, posebice kod životinja (Trussell i Smith, 2000; Duncan i sur., 2003).

Klimatske promjene i vremenski poremećaji mijenjaju cjelokupan agroekosustav pa se tako događaju velike promjene i u životnom ciklusu poljoprivrednih štetnika (Prakash i sur., 2014). Porast temperature neminovno utječe na reprodukciju, preživljavanje, širenje i dinamiku populacije štetnika, kao i na odnos između štetnika, okoliša i prirodnih neprijatelja (Prakash i sur., 2014). Potencijalno širenje mediteranske voćne muhe u unutrašnjost Hrvatske i u dalmatinsko zaleđe uzrokovat će ozbiljne posljedice na voćarsku proizvodnju u Hrvatskoj. Proučavanje invazivnosti i načina širenja štetnika od iznimnog su značaja za adekvatnu primjenu mjera suzbijanja. Različiti agroekološki uvjeti, biljni domaćini i genetički čimbenici ključni su kod proučavanja strukture populacije, odnosno genetske varijabilnosti koja je preduvjet prilagodbe i širenja štetnika na nova područja.

Osim primjenom skupih genetskih markera, promjene u varijabilnosti različitih populacija organizama možemo istraživati i primjenom morfometrijskih markera. Dapače, Camara i sur. (2006) te Bouyer i sur. (2007) dokazuju kako se genetskim markerima (poput mikrosatelita) detektiraju veće promjene u genomu određene populacije, dok je za utvrđivanje manjih (i novijih) genetskih promjena učinkovitije koristiti morfometrijske markere. Riječ je također o „vrsti“ biomarkera pomoću kojih se uspješno uočavaju i opisuju promjene koje se događaju na fenotipu, a nastale su pod utjecajem genotipa.

Morfometrija se definira kao statistička analiza oblika, koncept koji obuhvaća veličinu i oblik nekog organizma. Razlikujemo tradicionalnu i geometrijsku morfometriju. Tradicionalna ima dulju povijest korištenja te počiva na linearnom mjerenju određenih karakteristika. Geometrijska morfometrija predstavlja spoj kvantitativnih morfoloških mjerenja i multivarijatnih statističkih metoda pomoću kojih se ti podatci obrađuju i vrednuju (Oxnard, 1978; Rohlf, 1990). Primjenom modernih matematičkih metoda u biološkim istraživanjima utvrđeno je da su upravo oblik i veličina krila prvi fizički čimbenici koji se mijenjaju pod utjecajem agroekoloških i genetičkih faktora (Camara i sur., 2006; Bouyer i sur., 2007).

Geometrijska morfometrija temelji se na postavljanju specifičnih točaka (markera) na određene dijelove tijela. Kod kukaca su to uglavnom krila jer su upravo ona odgovorna za brzo širenje kukaca (letača) na nova područja. Specifične točke postavljaju se po točno određenom redoslijedu na sjecišta žila krila te u koordinatnom sustavu formiraju dvodimenzionalne ili trodimenzionalne oblike koji se potom različitim statističkim metodama obrađuju i vrednuju. Posljednja dva desetljeća vrlo se uspješno primjenjuje u istraživanju genetske varijabilnosti različitih organizama, posebice kod kukaca iz reda Diptera (Pieterse i sur., 2017; Pajač Živković i sur., 2018).

1.1. Cilj rada ili Cilj istraživanja

Cilj ovoga rada bio je utvrditi varijabilnost istraživanih populacija mediteranske voćne muhe obzirom na različitost uzgojnih lokcija i biljnih domaćina (breskva, smokva i mandarina) kroz istraživanje veličine i oblika krila, širine pronotuma te omjera raspona krila (AR). Osim navedenog, cilj je bio istražiti fenotipsku plastičnost štetnika te na temelju toga procijeniti potencijal i mogućnosti širenja na nova područja i biljne domaćine.

Hipoteza ovoga rada bila je da različiti biljni domaćini u kojima se razvijala mediteranska voćna muha uzrokuju njenu varijabilnost koja je glavni preduvjet invazivnosti i prilagodbe na različite agroekološke uvjete.

2. Pregled literature

2.1. Mediteranska voćna muha

2.1.1. Sistematika i rasprostranjenost

Wiedemann je 1824. prvi puta opisao mediteransku voćnu muhu. Vrsta je opisana pomoću jedinke mužjaka čiji se uzorak danas čuva u Zoološkom muzeju u Kopenhagenu, u Danskoj (De Meyer, 2000). U originalnom opisu Wiedemann ističe dva tipa obzirom na lokalitet: „India orient“ i „in mare indico“, međutim istraživanjima nije utvrđeno da bi originalno porijeklo vrste mogla biti Indija ili Indonezija kako nazivi sugeriraju. Nazive tipova objašnjava činjenica da je muha pronađena na teretnom brodu na području indijskog oceana (De Meyer, 2000), ali je vrsta porijeklom iz južnoafričkih krajeva, što je kasnije genetičkim istraživanjima i dokazano (De Meyer, 2000). Mediteranska voćna muha pripada porodici voćnih muha (Tephritidae), koja broji preko 5000 fitofagnih vrsta od kojih se 1500 razvija u mesnatim voćnim plodovima te na njima izazivaju velike ekonomske štete. Obzirom na štete koje izazivaju na voćnim plodovima od većeg ekonomskog značaja sljedeći su rodovi: *Ceratitis*, *Bactrocera*, *Anastrepha* i *Rhagoletis*. Mediteranska voćna muha pripada rodu *Ceratitis* u koji pripada još 87 vrsta (Glistap i Hart, 1987).

Kroz povijest je vrsta bila nazivana različitim imenima: *Tephritis capitata* (Wiedemann, 1824), *Trypeta capitata* (Wiedemann, 1824), *Ceratitis citriperda* (MacLeay, 1829), *Ceratitis hispanica* (De Brême, 1842). Trenutna sistematika vrste izgleda ovako:

Carstvo: Animalia

Koljeno: Arthropoda

Potkoljeno: Hexapoda

Razred: Insecta

Red: Diptera

Nadporodica: Tephritoidea

Porodica: Tephritidae

Podporodica: Dacinae (Tropske voćne muhe)

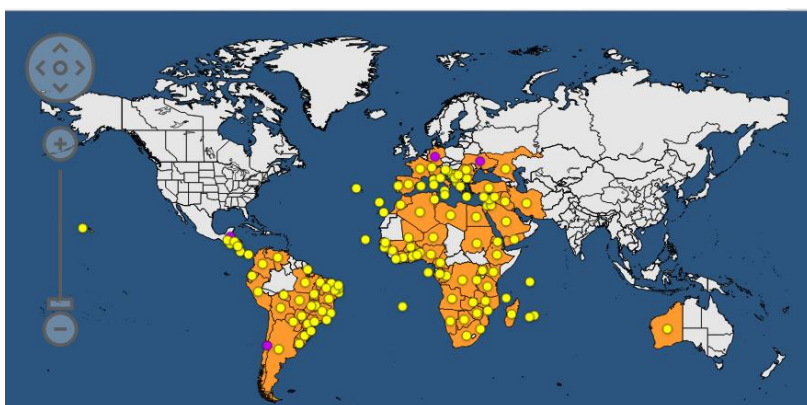
Rod: *Ceratitis*

Vrsta: *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824.)

Napredak svjetske trgovine i turizma u posljednjih nekoliko desetljeća igrao je veliku ulogu u širenju velikog broja vrsta iz porodice voćnih muha na nova geografska područja. Zbog različitosti u ponašanju i velikom biološkom potencijalu, mediteranska voćna muha čest je predmet u genetičkim, evolucijskim i ekološkim istraživanjima. Specifična biologija vrsta iz roda *Ceratitis* omogućava im da se odupru prirodnoj selekciji i optimiziraju svoj reproduktivni potencijal. Rod *Ceratitis* porijeklom je s tropskog afričkog područja (poznatog još i kao Afrotropska regija u Južnoj Sahari) (White i Elson-Harris, 1992). Mediteranska voćna muha

raširena je na područjima tropske, suptropske i umjerene klime. Genetičkim istraživanjima dokazano je da je mediteranska voćna muha porijeklom s područja Kenije te da se od tamo proširila na područje Pirinejskog poluotoka, od kuda se širi i na mediteranske zemlje uključujući i Hrvatsku. Pretpostavlja se da se s područja Mediterana proširila u unutrašnjost Europe te na područje Australije (Gasperi i sur., 2002; Malacrida i sur., 2007). Obzirom na klimatske promjene očekuje se daljnje širenje muhe na geografski nova područja ili njena ponovna pojava na nekim područjima na kojima je nije bilo dulji niz godina kako zbog mjera suzbijanja tako i zbog neodgovarajućih joj klimatskih uvjeta (Malacrida i sur., 2007).

Mediteranska voćna muha zabilježena je na pet kontinenata, prema EPPO-ovoj listi za sada je prisutna u 122 zemlje svijeta (slika 2.1).



Slika 2.1. Geografska rasprostranjenost mediteranske voćne muhe

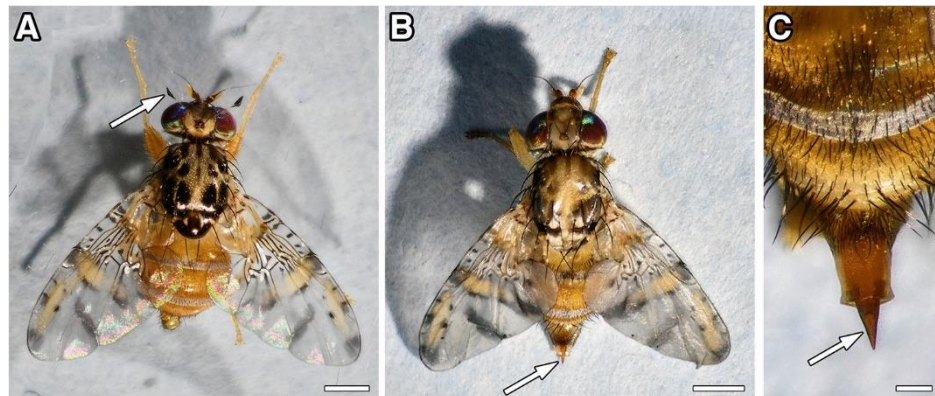
Izvor: <https://gd.eppo.int/taxon/CERTCA/distribution>

U Hrvatskoj je muha prvi puta zabilježena 1947. u okolici Splita, iako se pretpostavlja da je na našem području prisutna još i od ranije (Tominić, 1951). U Europi je zabilježena 1842., na području Španjolske te na području Italije 1863. Prve značajne štete na našim područjima zabilježene su 1950.-tih godina, a 1958. velike štete pričinjava u nasadima breskve u okolici Kopra, Rijeke, Splita, Opuzena i Dubrovnika (Tominić i Brnetić, 1960). Danas je štetnik proširen duž cijele obale Jadrana te u dijelovima dalmatinskog zaleđa (Bjeliš, 2007).

2.1.2. Morfologija mediteranske voćne muhe

Odrasla muha veličine je od 3 do 5 mm, ženke su nešto veće od mužjaka. Karakterizira ih crnim i svijetlim šarama prošaran pronotum, na njemu se nalaze krila s različitim obojenjima narančaste i crne boje. Abdomen je smeđe boje s pravilno poredanim svjetlijim prugama. Noge su žute boje, tipično blijeđenje može se locirati na području bedra (femur), na kojima također možemo uočiti dulje dlake u nakupinama smeđe-crvene boje (De Meyer, 2000). Glavna morfološka razlika između mužjaka i ženki je u leglici koja se kod ženki lako uočava te u cefalnim izraslinama koje su prisutne na glavi mužjaka (Braughton, 2018). Osim toga, treći segment ticala kod ženki tamnijeg je obojenja, na nogama im se teže uočavaju dlake nego kod

mužjaka te su crna obojenja na krilima mužjaka tamnija nego kod ženki (slika 2.2) (De Meyer, 2000).



Slika 2.2. Prikaz mužjaka (A), ženke (B) i leglice ženke (C) mediteranske voćne muhe
Izvor: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-11369-4>

Kukuljica je specifične smeđe-crvene boje i cilindričnog oblika, veličine do 4 – 4,3 mm (slika 2.3). Specifična za sve kukce iz reda Diptera je bačvasta kukuljica „pupa coarctata“.



Slika 2.3. Kukuljice mediteranske voćne muhe
Izvor:

https://www.researchgate.net/publication/239589472_Mediterranean_Fruit_Fly_Ceratitiscapitata_Wiedemann_Insecta_Diptera_Tephritidae1

Ličinke muhe cilindričnog su, segmentiranog i izduženog oblika, na području glave može se primijetiti suženje i tamnije obojenje (White i Elson-Harris, 1994). Nemaju noge, a s donje strane tijela su izrasline kao sustav za pokretanje i poskakivanje, na taj način iz plodova odlaze u tlo na kukuljenje (Bakarić, 1978). Ličinka je blijedo žute boje (slika 2.4) i dobro pokretna. Tri su ličinačka stadija ovog štetnika, prvi je veličine svega 1 mm, a treći 8 mm (Braughton, 2018).



Slika 2.4. Ličinka mediteranske voće muhe

Izvor: http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/mediterranean_fruit_fly.htm

Jaja mediteranske voćne muhe bijelo su obojena i na krajevima malo zakrivljena. Veličine su do 1 mm, golim okom gotovo pa nisu vidljiva (slika 2.5).



Slika 2.5. Jaja mediteranske voćne muhe

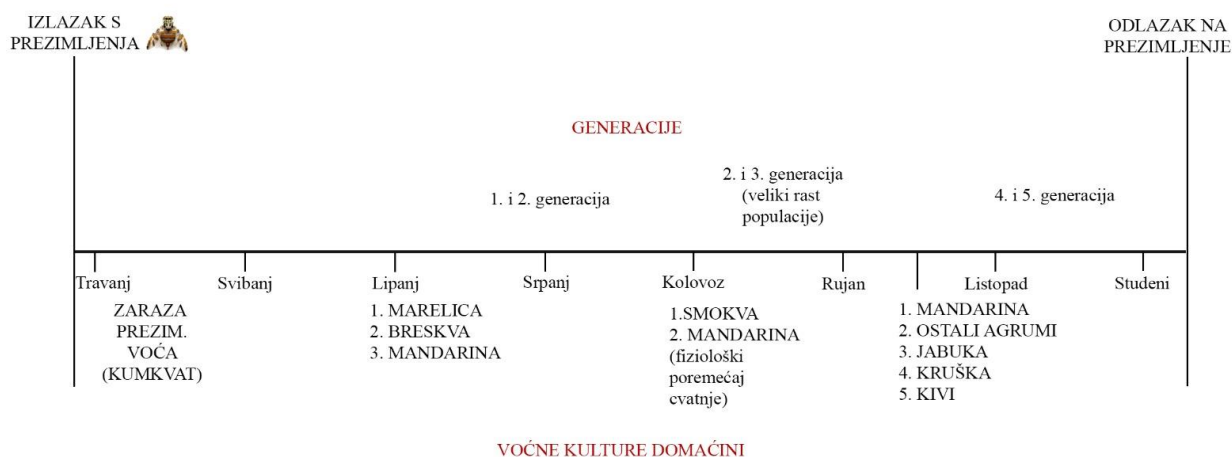
Izvor: http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/mediterranean_fruit_fly.htm

2.1.3. Biologija i ekologija mediteranske voćne muhe

Meditranska voćna muha holometabolni je štetnik, njen životni ciklus čine jaja, ličinke, kukuljice i odrasli. Životni ciklus započinje kada ženka zareže leglicom plod voća te u njega odloži 4 – 10 jaja, ukupno ih kroz dan odloži preko 20 (Boller, 1985). Za života ženka je sposobna odložiti preko 800 jaja (Bakarić, 1978). Razvoj jaja u ljetnom periodu traje od 2 do 4 dana, dok u zimskom periodu zna potrajati i do 20 dana (Braughton, 2012). Nakon što se iz jaja razviju ličinke, kreću se prema unutrašnjim dijelovima ploda jer ti dijelovi prvi dozrijevaju (Bakarić, 1978). Ličinka prolazi kroz tri razvojna stadija, a ovaj dio životnog ciklusa u ljetnim mjesecima traje od 14 do 16 dana, dok u zimskom periodu zna potrajati i više od 30 dana (Braughton, 2012). Veliki broj ličinki u plodu ugiba zato jer poluzreli plodovi još uvijek obiluju većim koncentracijama tanina koji negativno djeluju na njihov razvoj (Bakrić, 1978). Optimalne temperature za razvoj kukuljice su 22 °C – 30 °C (Boller, 1985). Razvoj kukuljice u ljetnom periodu traje 12 – 14 dana, dok u zimskom periodu razvoj traje i do 50 dana (Braughton, 2012). Cijeli životni ciklus u zimskom periodu zna trajati i više od 100 dana, dok se u ljetnom periodu životni ciklus dovrši za manje od 30 dana (Braughton, 2018). Trajanje životnog ciklusa određuju klimatski uvjeti i hranidbene vrijednosti plodova na kojima se hrane u pojedinoj vegetacijskoj godini (Navarro-Campos i sur., 2011). Obzirom da je štetnik tropskog porijekla zahtjevi za visokim temperaturama su veliki. Donjim temperaturnim pragom razvoja smatraju se temperature 5,4 – 6,6 °C, dok se gornje vrijednosti temperature kreću 42,4 – 43,0 °C, ipak ove vrijednosti variraju ovisno o dobi i statusu hranjenja (Nyamukondiwa i Terblanche, 2010). Tominić (1951) ističe kako kod nas na temperaturama ispod 13 °C razvoj staje, a kako pri

temperaturama od oko 26 °C i 70 % vlage potpuni životni ciklus traje 20-tak dana. Poznato je da muha ima visoki biotički potencijal te ovisno o klimatskim uvjetima i rasprostranjenosti biljnih domaćina ima 1 – 16 generacija godišnje. Na području Jadrana razvija 4 – 5 generacija godišnje (Tominić, 1951).

Prisutnost odrasle mediteranske voćne muhe na području Dalmacije bilježi se početkom travnja, a prezimljujuće generacije znaju izlaziti s prezimljavanja i cijeli svibanj. Napad štetnika u našim klimatskim uvjetima zna se protegnuti sve do druge polovice studenoga, kada ovisno o klimatskim uvjetima i količini hrane razvija četvrtu ili petu generaciju (Bakarić, 1978). Razvoj nove generacije započinje na prezimjelom voću koje je ostalo neobrano na stablima, to je uglavnom kumkvat. Prve značajne zaraze bilježe se na plodovima marelica, breskvi (od ranijih do kasnijih sorti) te nektarina, to se odvija uglavnom od lipnja do kolovoza te se do tada razviju prve dvije generacije muhe (Bakarić, 1978). Od kolovoza do rujna značajne štete pričinjava na plodovima smokve, radi se uglavnom o kasnijim sortama smokve jer štetnik ranije sorte (lipanjske i srpanjske) ne preferira. U konačnici, od druge polovine rujna pa sve do kraja studenoga muha čini štete na agrumima, prvenstveno na mandarinama. Brojnost populacije je tada vrlo velika te iz toga razloga štete u nasadima mandarina kod nas su jako velike (Bjeliš, 2007). Nakon mandarina preferira domaćine poput jabuke, kruške, klementine, kivija te u konačnici kakija (Narodne novine 73/18). Muha može prezimiti u stadiju jaja, ličinke ili odraslog oblika u plodu te u stadiju kukuljice u tlu (Braughton, 2018) (slika 2.6).



Slika 2.6. Prikaz razvoja generacija mediteranske voćne muhe na različitim domaćinima duž vegetacijske sezone
Izradio: Ninčević (2022.)

2.1.4. Invazivni karakter mediteranske voćne muhe

Danas je diljem svijeta zabilježeno 1400 invazivnih poljoprivrednih štetnih organizama (Paini i sur., 2016). Invazivnom vrstom smatra se onaj organizam čije širenje ili naseljavanje ugrožava bioraznolikost, zdravlje ljudi i/ili uzrokuje gospodarsku štetu (NN 80/2013). Razvojem trgovine nove se vrste štetnih organizama svakodnevno unose na nova područja, smatra se da se 10 % stranih vrsta udomaći i prilagodi novome području, a od tog broja svega

10 % postane invazivnima. Biološka invazivnost velika je opasnost za bioraznolikost, zdravstveni i ekonomski sustav (Lodge, 1993). Invazivni štetni organizmi ozbiljno mogu poremetiti proizvodnju hrane u svijetu te uzrokovati ogromne gubitke (Cook i sur., 2011). Posljedice koje zemlje trpe od invazivnih vrsta razlikuju se, tako vodeće poljoprivredne sile (Kina i SAD) trpe najveće štete, ali su i najveći bazen invazivnih organizama za nova područja (Paini i sur., 2016). U posljednjih nekoliko desetljeća biološka invazivnost postala je važan predmet proučavanja ekologije, evolucijske biologije, populacijske biologije i genetike (Saki i sur., 2001; Lee, 2002). Problem invazivnosti rastao je s razvojem trgovine i globalizacije, a s njihovim daljnjim razvijanjem postajat će sve veći (Hulme i sur., 2009; Piani i sur., 2016). Utjecaj čovjeka na unošenje novih vrsta na nova područja predmet je mnogih današnjih istraživanja. Činjenica je da još uvijek slabo razumijemo biološke i genetske osobine zbog kojih pojedina vrsta postaje invazivna. Upravo su genetske karakteristike kao temelj prilagodbe organizama na različitim područjima glavni predmet proučavanja invazijske biologije invazivnih vrsta (Lee, 2002; Lockwood i sur., 2005).

Porodica voćnih muha (Tephritidae) broji više od 5000 vrsta i predstavlja porodicu kukaca s najvećim brojem uspješnih invazija nastalih uz posredovanje ljudskih djelatnosti. Smatra se da će broj invazivnih vrsta iz ove porodice daljnjim razvijanjem trgovinskih djelatnosti biti i veći (White i Elson-Harris, 1992). Četiri roda ove porodice značajnija su po pitanju biološke invazivnosti: *Ceratitis*, *Bactrocera*, *Anastrepha* i *Rhagoletis*. Geografski areal vrsta ovih rodova značajno se proširio u posljednjih desetak godina. Vrste roda *Ceratitis* zbog svog visokog biološkog potencijala i specifičnog ponašanja uspješno se odupiru prirodnoj selekciji te održavaju svoj reproduktivni potencijal. Rod broji 87 vrsta, među njima mediteranska voćna muha najveći je polifag te izaziva najveće ekonomske gubitke. Znanstvenici su složni oko činjenice da će napredovanjem globalizacije i zatopljenja mediteranska voćna muha postati još značajniji štetnik, a ostale vrste ovoga roda postati nove invazivne vrste i ozbiljan problem buduće poljoprivrede (Malacrida i sur., 2007).

Invazivnost uzrokovana biologijom mediteranske voćne muhe:

Meditranska voćna muha izraziti je polifag koji napada preko 360 različitih biljnih vrsta (Weems, 1981). Smatra se najznačajnijom vrstom iz porodice voćnih muha, zbog svoje geografske rasprostranjenosti, širokog spektra domaćina, brze prilagodbe i širenja na nova područja (Bergsten i sur., 1999). Još u stadiju ličinke muha je sposobna pronaći skrovišta u plodovima voća iznimno visokih hranidbenih vrijednosti. Nakon ishrane visoko pokretne ličinke odlaze u tlo na proces kukuljenja kako bi izbjegle napad prirodnih neprijatelja (Yuval i Henrichs, 2000). Život odraslih jedinki prilično je složen, posebno kod ženki. Ženka za života odloži i do 800 jaja, odlaže ih u skupinama od 4 do 20 jaja u razne plodove voća, nekih vrsta povrća pa čak i u neke korovne biljke (Bakarić, 1978; Braughton 2018). Visoki reproduktivni potencijal ove vrste proizlazi iz nekoliko čimbenika; kvalitetna ishrana bogata proteinima i ugljikohidratima, brzina produkcije jaja u vremenu spolne zrelosti muhe te višestruko kopuliranje jedne ženke koje onda dodatno povećava broj odloženih jaja u svakoj sljedećoj ovipoziciji (Bonizzoni i sur., 2002; Malacrida i sur., 2007).

Invazivnost uzrokovana promjenom klime:

Vremenske i trofičke interakcije kratkoročno određuju lokalnu dinamiku i širenje poikilotermnih (bez stalne tjelesne temperature) organizama dok je njihova geografska rasprostranjenost uvjetovana klimom (Walther, 2002; Gaston, 2003). Rast temperatura na globalnoj razini pomaže određenim invazivnim vrstama da se šire i na ona područja kojima prije iz klimatskih razloga nisu bile sklone. Gutierrez i Ponti (2011) procjenjuju da će porast temperature 2 – 3 °C godišnje omogućiti širenje mediteranske voćne muhe u sjeverne dijelove Italije. Isto tako procjenjuju širenje mediteranske voćne muhe sjevernije uz obalu Kalifornije. Valja istaknuti kako mediteranska voćna muha unutar roda *Ceratitis* nije jedinstvena po svom invazivnom potencijalu. Unutar roda nekoliko je polifagnih vrsta za koje se predviđa širenje na nova geografska područja i poprimanje invazivnog karaktera, ako se klimatske promjene nastave odvijati u trenutnom smjeru. Također, za vrstu *Ceratitis rosa*, Karsch znanstvenici navode kako pokazuje veći stupanj tolerantnosti na hladnije i vlažnije uvjete od mediteranske voćne muhe, stoga nije isključeno širenje i ove vrste na područja s umjerenom klimom (White i sur., 2001; Duyck i sur., 2004).

Zbog visoke fenotipske plastičnosti, široke rasprostranjenosti te velikog reproduktivnog potencijala važno je procijeniti potencijal širenja mediteranske voćne muhe. U istraživanju Gutierrez i Ponti (2011) su utvrdili da oko 90 % jedinki može preletjeti udaljenost od 500 do 900 m, dok su se maksimalne prijeđene udaljenosti kretale oko 10 km. Ovi su rezultati od velikog značaja za procjenu daljnjeg širenja štetnika, ali i miješanja populacija. Poznavanje klimatskih zahtjeva vrste koji su preduvjet za daljnja širenja te invazivnog potencijala vrsta od iznimnog su značaja za primjenu trenutnih metoda suzbijanja ili uvođenja novih mjera praćenja štetnika. Spoznaje o potencijalu budućih širenja mediteranske voćne muhe značajne su za provedbu SIT (Sterile insect technique) tehnike, jer se procjenom potencijala kretanja sterilnih mužjaka može procijeniti uspješnost ove tehnike u smanjenju reprodukcije mediteranske voćne muhe diljem svijeta (Barnes, 2016).

2.1.5. Mogućnosti suzbijanja mediteranske voćne muhe

Mediteranska voćna muha kroz povijest se suzbijala na različite načine, 80-tih godina prošlog stoljeća dominiralo je kemijsko suzbijanje ovog štetnika. Tako se na području Kalifornije mediteransku voćnu muhu pokušalo suzbiti avio-aplikacijom pripravaka na bazi malationa, tretiralo se 7 – 12 puta godišnje na nekoliko stotina četvornih kilometara (Carey, 1992). Na području mediteranskih zemalja na većim plantažnim nasadima muha je također suzbijana avio-aplikacijom insekticida (Bakarić, 1978). Suzbijanje mediteranske voćne muhe konvencionalnim metodama prisutno je i danas, ali u sve manjoj mjeri te je prednost dana različitim biotehničkim i biološkim mjerama suzbijanja. Osim, toga suzbijanje ovog štetnika konvencionalnim metodama, prskanjem stabala insekticidnim otopinama predstavlja veliki rizik od mogućih rezidua, zbog vremenskog preklapanja početka zrenja plodova s početkom

razvoja štetnika (Bjeliš, 2009). Za kemijsko suzbijanje mediteranske voćne muhe danas su dozvoljeni insekticidi na bazi dimetoata, tiakloprida, deltametrina, fosmeta, lambda-cihalotrina i spinosada (FIS, 2022). Danas u svijetu dominira integrirana zaštita od mediteranske voćne muhe koja podrazumijeva kombinaciju kemijskih, biotehničkih i bioloških mjera suzbijanja. Sve je više zastupljeno ciljano kemijsko suzbijanje koje se temelji na kombinaciji različitih vrsta proteinskih mamaca koji privuku štetnike te ih se onda ciljano suzbija dozvoljenim insekticidnim pripravcima (Siciliano i sur., 2014). Postoje primjeri pokušaja suzbijanja mediteranske muhe entomopatogenim gljivama: *Beauveria bassiana* Vuill i *Metarhizium anisopliae* Sorokin (Maria, 2010) ili pomoću pripravaka na bazi bakterije *Bacillus thuringiensis* Berliner (Aboussaid i sur., 2010). Ipak, nijedna alternativa kemijskom suzbijanju mediteranske voćne muhe nije se pokazala dovoljno učinkovitom da se uvrsti u programe suzbijanja ovog štetnika, osim SIT tehnike (Hendrichs i sur., 2002).

SIT (Sterile Insect Technique) je ekološki u potpunosti prihvatljiva metoda suzbijanja štetnih organizama u poljoprivredi temeljena na ispuštanju sterilnih mužjaka koji će omesti proces kopulacije divljih populacija štetnika (Juran i Gotlin Čuljak, 2019). Prvi veći program SIT-a protiv mediteranske voćne muhe proveden je u Gvatemali i južnom Meksiku 1977. (Klassen i Curtis, 2005). Ova metoda suzbijanja štetnih poljoprivrednih organizama ekološki je u potpunosti prihvatljiva jer se ne temelji na oslobađanju egzotičnih vrsta koje kasnije mogu postati štetne te ne dolazi do unosa novoga genetskog materijala u postojeće populacije, osim toga ispušteni organizmi više se ne reproduciraju jer su sterilni (Hendrichs i sur., 2002). Da bi ova tehnika bila izvediva, postupku moraju biti podvrgnute veće i izolirane geografske površine, kao što su kod nas neki otoci (Hvar, Brač, Vis) ili područje doline rijeke Neretve gdje se SIT već dulji niz godina uspješno primjenjuje u suzbijanju mediteranske voćne muhe (Bjeliš i sur., 2012). U Hrvatskoj je provedba SIT-a krenula 2010. godine, a kao pilot područje izabrano je 650 ha nasada mandarine u dolini Neretve. Sterilne muhe koje su tada ispuštane bile su proizvedene u izraelskoj tvrtci BioFly te su dva puta tjedno dopremene u Hrvatsku. Za tu svrhu Hrvatska vlada izgradila je postrojenje u blizini grada Opuzena za otpuštanje 20 milijuna muha tjedno (Bjeliš, 2011).

2.1.6. Ekonomski značaj mediteranske voćne muhe

Invazivne vrste poput mediteranske voćne muhe uzrok su velikih negativnih posljedica na bioraznolikost, ljudsko zdravlje, poljoprivredu, ribarstvo i šumarstvo. Procjenjuje se da na području Europe invazivne vrste pričinju štete od preko 12 milijardi eura godišnje (Scalera i sur., 2012). Na području SAD-a gubitci koje invazivni organizmi prouzroče u poljoprivredi i šumarstvu iznose 40 milijardi američkih dolara godišnje (Pimentel i sur., 2005). Mediteranska voćna muha smatra se jednim od ekonomski najznačajnijih štetnika u svijetu (Liquidó i sur., 1990) te velik dio spomenutih troškova odlazi upravo na njeno suzbijanje i oporavak gospodarstva. Kako je mediteranska voćna muha karantenski štetnik, zemlje koje imaju zabilježeno prisustvo ovog štetnika imaju velike probleme pri izvozu voća. Na području SAD-a

štetnik je prije gotovo jednog stoljeća zabilježen na Hawiima, unatoč naporima i sredstvima uloženim u eradikaciju muha se proširila na područje Floride, Kalifornije i drugih saveznih država. Procjenjuje se da je za svako širenje štetnika na novo područje SAD-a utrošeno od 300.000 do 200 milijuna američkih dolara, kako za suzbijanje muhe tako i za obnovu oštećenog gospodarstva (APHIS, 1992). Borba s mediteranskom voćnom muhom u posljednjih 25 godina na području Kalifornije porezne obveznike koštala je preko 500 milijuna američkih dolara. Gubitci koje je mediteranska muha izazvala na području istočnog Mediterana procjenjuju se na preko 190 milijuna američkih dolara (Enkerlin, 1997). Na području Hrvatske mediteranska voćna muha za sada najveće ekonomske štete pričinjava u uzgoju agruma na području doline rijeke Neretve te Ministarstvo poljoprivrede na godišnjoj razini za suzbijanje ovog štetnika utroši preko 20 milijuna kuna (Ministarstvo poljoprivrede, 2021) Tržište agruma u Hrvatskoj procjenjuje se na preko 50 milijuna eura, a mediteranska voćna muha uz sve provedene mjere suzbijanja sposobna je smanjiti prinos i za preko 30 % (Ferenčić i Gluhčić, 2016).

2.1.7. Istraživanja mediteranske voćne muhe

Mediteranska voćna muha zasigurno je jedan od istraživanih poljoprivrednih štetnika, zbog svog invazivnog karaktera i velikih ekonomskih gubitaka koje je u poljoprivredi uzrokuje (Sciaretta i sur., 2018). Intenzivno je istraživana njena biologija, ekologija i mogućnosti suzbijanja. U posljednjih sto godina mediteranska voćna muha istraživana je diljem svijeta iako problemi s ovim štetnikom sežu još ranije u prošlost pa čak i prije otkrića štetnika koje se dogodilo 1814. (White i Elson-Harris, 1992; De Meyer, 2000). Brojnosti populacija mediteranske muhe utvrđivane su pomoću različitih hranidbenih i feromonskih lovki (Tominić, 1951; Bakarić, 1978; Navarro-Campos i sur., 2011). U laboratorijskim uvjetima na različite načine praćen je životni ciklus i kapacitet razmnožavanja mediteranske voćne muhe (Inglesfield, 1982; Boller, 1985). Istraživanjem socijalnih karakteristika ovog štetnika bavio se veći broj znanstvenika u posljednjih nekoliko desetljeća, također dobro je istražen proces kopulacije i način na koji mužjaci „zavode“ ženke (Lance i sur., 2000; Anjos-Duarte i sur., 2010). Od 70-tih godina prošlog stoljeća glavni predmet istraživanja mediteranske muhe je primjena i učinkovitost SIT tehnike u njenom suzbijanju (Klassen i Curtis, 2005; Anjos-Duarte i sur., 2010; Bjeliš, 2011; Bjeliš i sur., 2012; De Aquino i sur., 2014). Pomoću različitih metoda istraživan je utjecaj hranjivog medija na njenu anatomiju (Inglesfield, 1982; Stamp, 1990; Navarro-Campos i sur., 2011).

Relativno nedavno (2019.-te godine) na Zavodu za poljoprivrednu zoologiju započelo je istraživanje promjena morfoloških karakteristika (oblika krila) mediteranske voćne muhe kao posljedice utjecaja različitih geografskih parametara. U radu Lemić i sur. (2020) preliminarno je analizirana morfološka prilagodba mediteranske voćne muhe na geografsko područje (otok u usporedbi s kopnom) te su zabilježene određene razlike u obliku krila ženki što je prvi dokaz utjecaja okoliša na genetsku promjenu organizma koja se očitovala na geometrijskim fenotipskim parametrima (fenomen dokazan na CeCe muhi u istraživanju Bouyer i sur., 2007).

Provedeno preliminarno istraživanje otvorilo je dodatna pitanja o mogućim drugim okolišnim čimbenicima koji utječu na prilagodbu i širenje ovoga invazivnoga organizma, a mogu se dokazivati analizom oblika krila pomoću metoda geometrijske morfometrije.

2.2. Morfometrija u dokazivanju varijabilnosti fenotipa

2.2.1. Morfologija

Morfologija (grčki μορφή, morphé = obličje, oblik i λόγος, lógos = riječ, učenje) je grana biologije koja se temelji na proučavanju oblika i građe organizama, najstarija je biološka disciplina. U zadnjih nekoliko desetljeća ova biološka grana doživljava ponovni procvat i svoje mjesto ponovno pronalazi u istraživanju i objašnjavanju biologije razvoja, odnosno evolucijske biologije. Obzirom na dio živog organizma koji proučava, morfologija se dijeli na anatomiju, histologiju, citologiju, povezana je i s embriologijom, teratologijom, patološkom anatomijom i patološkom histologijom (Ivanović i Kalezić, 2009). Glavni predmet proučavanja morfologije jesu morfološke cjeline, one su predstavljene organizmima i njihovim građevnim (strukturnim) elementima u bilo kojoj fazi ontogenetskog razvoja (Koehl, 1996). Osnovni parametri za poznavanje ontogenetskih i filogenetskih promjena su vrijeme diferencijacije, veličina, oblik i struktura (Ivanović i Kalezić, 2009). Navedeno se može implementirati u individualnim proučavanjima jedinke ili u skupnim istraživanjima nekih većih populacijskih struktura. S obzirom da se organizmi pojavljuju u velikom broju oblika, zadatak morfologije je utvrditi opće zakonitosti koje su uzroci tih oblika. Kao biološka grana morfologija se bavi proučavanjem promjena oblika između pojedinih organizama, ali i proučavanjem i vrednovanjem oblika kroz duži vremenski period (Ivanović i Kalezić, 2009). Temeljem spomenutoga može se zaključiti izuzetna važnost morfologije u razjašnjavanju taksonomskih nejasnoća, ali i objašnjavanja evolucijskih promjena za određene skupine organizama. Danas morfologija ima značajno mjesto u biologiji (biologiji razvoja) zahvaljujući njenoj ulozi u objašnjavanju nastajanja evolucijskih promjena, kako u identifikaciji same promjene tako i u utvrđivanju uzroka tijekom ontogeneze i evolucije (Klingenberg, 1998).

Generalno, morfologija se dijeli na usporednu, funkcionalnu i eksperimentalnu morfologiju. Usporedna morfologija bavi se prepoznavanjem određenih temeljnih uzoraka i obilježja raznovrsnosti oblika jedinki nekog organizma te izvodi njihovu klasifikaciju pomoću karakterističnih obilježja (Ivanović i Kalezić, 2009). Cilj funkcionalne morfologije je istraživanje pojedinih struktura obzirom na određene funkcije koje imaju u organizmu. Istraživanje se pri tome koncentrira na pojedine elemente organizma koji su bitni za određenu funkciju. Eksperimentalna morfologija istražuje razvoj jednog organizma. Pri tome se u eksperimentu

mijenjaju uvjeti okoline kako bi se promatralo prilagođavanje organizma promjenama (Lauder, 1981).

Morfologiji kao disciplini može se pristupiti s dva gledišta, tako razlikujemo funkcionalni i evolucijski pristup (Lauder, 1981). Kod funkcionalnoga pristupa imperativ je stavljen na korelaciju između okoline i organizama nad kojima ta okolina djeluje uzrokujući morfološke promjene. Takve odnose istražuje ekomorfologija čiji je osnovni predmet istraživanja odnos ekoloških karakteristika sredine i morfoloških osobina njenih pripadnika. Centralna paradigma ekomorfologije je odnos morfologije i ekologije, koje povezuje funkcionalna sposobnost jedinki i njihovo ponašanje (Ricklefs i Miles, 1994). Dakle, morfologija utječe na određene funkcije kod organizama koje onda definiraju komponente adaptivnih vrijednosti jedinke/i. U evolucijskom pristupu kod rješavanja morfološke problematike istražuju se različita ograničenja u promjenama morfoloških cjelina koja su utemeljena na specifičnosti ontogenije i filogenije određene populacijske grupe (Lauder, 1982). Utvrđena je korelacija između promjena različitih morfoloških cjelina koja je i statistički dokaziva. Do povezanosti između promjena različitih morfoloških cjelina (stanja) dolazi iz genetičkih, biomehaničkih i ekoloških razloga, a stupanj i kakvoća spomenute povezanosti u velikoj mjeri određuje način i dinamiku promjena morfoloških cjelina (stanja) kroz određeni vremenski period, odnosno kroz evoluciju (Radinsky, 1985.). Integracija navedena dva pristupa može uvelike potpomoći rješavanje taksonomskih i evolucijskih nejasnoća određenih populacijskih struktura odnosno organizama (Klingenberg, 1998).

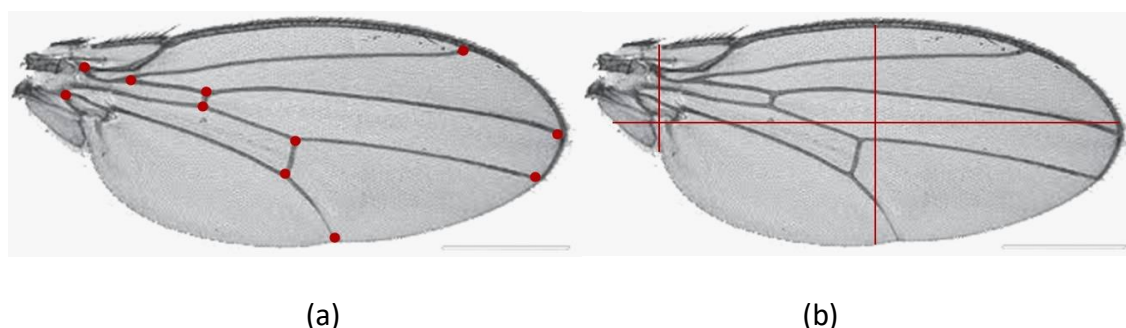
Temeljem morfoloških i fizioloških načela organizmi na zemlji rangirani su u određene kategorije. Proučavanjem sličnosti ili različitosti između određenih organizama bavi se genetika. Ako se genetske pojavne procese pokušava objasniti kroz oblik i proučavanje oblika, pridajući tom obliku kvantitativnu konotaciju tada se govori o morfometriji (Ivanović i Kalezić, 2009).

2.2.2. Morfometrija

Razlikujemo tradicionalnu i geometrijsku morfometriju (slika 2.7). Tradicionalna morfometrija počiva na linearnim mjerenjima danih oblika te analizira veličinu kao jednodimenzionalnu osobinu (Swiderski i sur., 2000). Definira se kao metodološki pristup koji se koristi za detaljno proučavanje morfoloških obilježja različitih organizama pa tako i kukaca. Ova metoda uključuje ručno (danas uglavnom digitalno, pomoću fotografija) mjerenje obilježja istraživanih organizama, poput duljine, širine i površine te statističku analizu podataka radi identifikacije varijacija i uzoraka (Rohlf i Marcus, 1993). Rezultati tradicionalne morfometrije pružaju uvid u varijabilnost morfoloških obilježja organizama i pomažu u razumijevanju njihove biologije i evolucije. Unatoč tome što tradicionalna morfometrija

zahtijeva pažljivo ručno (digitalno) mjerenje i analizu podataka, ona je vrijedan alat u istraživanju varijabilnosti različitih organizama (Ivanović i Kalezić, 2009).

S druge strane geometrijska morfometrija (multivarijatna) je spoj kvantitativnih morfoloških mjerenja i multivarijatnih statističkih metoda kojima se obrađuju ti podatci. Do podataka se dolazi mjerenjem dužinskih karakteristika (morfometrijskih varijabli) ili mjerenjem udaljenosti između jasno definiranih specifičnih točaka (markera) neke morfološke cjeline (Oxnard, 1978). Geometrijska morfometrija na nov način istražuje matematički oblik morfoloških cjelina preko njihove geometrije (Adams i sur., 2004). Oblik je ovdje definiran kao geometrijska informacija kada se makne utjecaj veličine, položaja i orijentacije objekta (Kendall, 1977). Uporabom tehnika geometrijske morfometrije (GM) veličina se preračunava u veličinu centroida koja predstavlja geometrijsku mjeru veličine nekog objekta opisanog konfiguracijom specifičnih točaka/markera (Ivanović i Kalezić, 2009). Bookstein (1991) daje pregled i specifikaciju specifičnih točaka, pri čemu izdvaja tri osnovna tipa: (I) prvom tipu pripadaju specifične točke koje se nalaze na mjestima spajanja različitih dijelova morfoloških cjelina (npr. mjesto spajanja dva ili više skeletnih elemenata u glavnom skeletu ili mjesto spajanja dvije ili više žila u okviru nervature krila kukaca); (II) drugom tipu pripadaju specifične točke koje predstavljaju mjesta najvećeg zakrivljenja (udubljenja, ispupčenja) određene anatomske strukture (npr. vrh zuba ili nastavka nekog skeletnog elementa); (III) trećem tipu pripadaju točke koje također određuju ekstremne točke, ali se mogu odrediti samo u odnosu na čitavu strukturu, odnosno objekt koji se analizira. Metoda omogućuje odvajanje veličine i oblika, njihovu nezavisnu analizu, kao i analizu njihovog međusobnog odnosa standardnim metodama multivarijatne statistike. Ova metoda nema ograničenja koja se odnose na pravce varijacija i na lokalizaciju promjene oblika, samim tim je veoma efikasna za prikupljanje informacija koje se odnose na oblik morfološke cjeline (Clabaut i sur., 2006). Geometrijska morfometrija statistički je vrlo „osjetljiva“ te se njenom primjenom mogu otkriti posve male promjene u obliku morfoloških cjelina koje se ne mogu utvrditi tradicionalnim morfometrijskim analizama (Klingenberg, 1998; Klingenberg i sur., 2001).



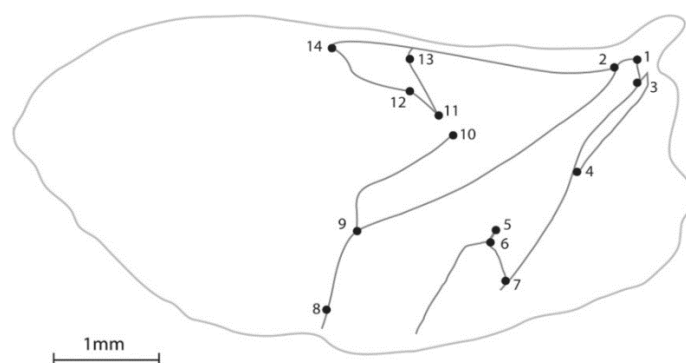
Slika 2.7. Prikaz razlike u postavci specifičnih točaka/ravnina u geometrijskom (a) i tradicionalnom (b) morfometrijskom pristupu morfoložkoj cjelini

Izradio: Ninčević (2021.)

2.2.3. Primjena geometrijske morfometrije u entomološkim istraživanjima

Iako još uvijek nova metoda u kojoj postoji veliki prostor za napredovanje, geometrijska morfometrija (GM) korištena je u velikom broju istraživanja, posebno na području entomologije. Geometrijska morfometrija u entomologiji 2000-tih godina doživljava istinski procvat te se od tada uspješno koristi za detekciju različitih entomoloških pojava. Camara i sur. (2006) i Dumonteil i sur. (2007) potvrdili su rezultate koje su ostvarili primjenom PCR genetičke metode alatima geometrijske morfometrije na stjenici (*Triatoma dimidiata*, Latreille) te na CeCe muhi (*Glossina palpalis gambiensis*, Vanderplank). Tada alati GM postaju validna zamjena skupljim genetičkim metodama, tim više što je na primjeru analize oblika krila vrste *Glossina palpalis gambiensis* s područja Burkin Faso primjenom GM utvrđena varijabilnost populacije u većem razmjeru nego paralelnom analizom korištenjem mikrosatelitskih markera. Genotipski i fenotipski markeri predstavljaju biomarkere pomoću kojih se detektira varijabilnost fenotipa kao refleksija promjene genotipa. Štoviše, pomoću fenotipskih markera ako se koriste precizne metode kao što je geometrijska morfometrija možemo detektirati i najmanje varijabilnosti koje se često pomoću genotipskih markera ne uspijevaju dokazati (Camara i sur., 2006).

Metode geometrijske morfometrije u zadnjih nekoliko desetljeća vrlo uspješno se koriste za istraživanje određenih entomoloških pojava i procesa kao što su: spolni dimorfizam, sezonski dimorfizam, varijabilnost fenotipova temeljem različitih uzroka, biološke invazivnosti i dr. Kod primjene alata GM na određenu morfološku cjelinu/plohu polazi se od postavke specifičnih točaka markera u dvije ili tri dimenzije (Bookstein, 1991). Kod kukaca su krila najčešće korištene strukture u morfometrijskim istraživanjima zbog svoje stabilnosti, dvodimenzionalne strukture, postojanja homogenih točaka na krilu (slika 2.8) te zbog svoje transparentnosti (Klingenberg i Zaklan, 2000). Osim krila odraslih oblika u morfometrijskim istraživanjima mogu se proučavati različiti razvojni stadiji kukaca (kukuljice, ličinke) ili pak cijela tijela kukaca (Benitez, 2013).

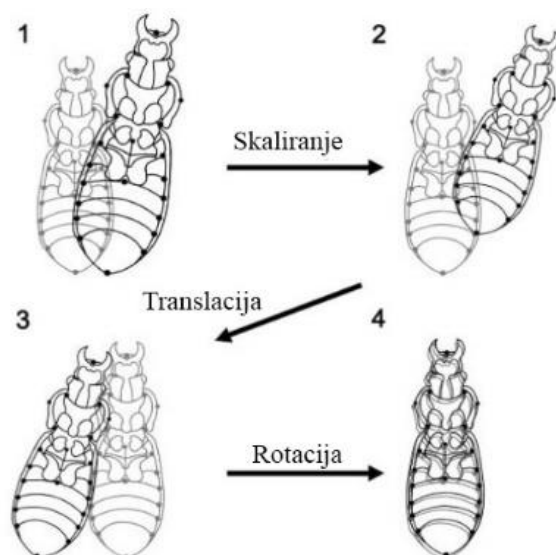


Slika 2.8. Prikaz specifičnih točaka na krilu *Diabrotica virgifera virgifera*, LeConte

Izvor: Benitez i sur. (2014.)

Pojavu spolnog dimorfizma u obliku krila kukaca možemo dokazati na osnovu analize točaka (markera) postavljenih na specifična mjesta krila kukca (Ivanović i Kalezić, 2009; Benitez i sur., 2011; Lemić i sur., 2014). GM korisna je u objašnjavanju i dokazivanju procesa biološke invazivnosti kod pojedinih vrsta kukaca (Mikac i sur., 2016). Dokazi o fenotipskoj varijabilnosti između rezistentnih i nerezistentnih jedinki mogu pomoći u istraživanju pojave i monitoringa rezistentnosti (Mikac i sur., 2017). Općenito metodama GM uvelike je opisivana fenotipska varijabilnost kukaca iz različitih taksonomskih kategorija. Uzrok fenotipske varijabilnosti širokog je spektra, može biti uvjetovana promjenom ekoloških faktora (klima, tlo), promjenom biljke domaćina, primjenom različitih mjera zaštite ili pak promjenom uzgojnog oblika biljnih kultura. Osim toga populacijska istraživanja ovoga tipa mogu pomoći u stvaranju određenih filogenetskih i evolucijskih zaključaka te objašnjavanja nekih taksonomskih nejasnoća u mnogobrojnom razredu kukaca (Meulemeester i sur., 2012). Sigurno je da će fenotipska, kao odgovor na genotipsku varijabilnost, donijeti određene promjene u ponašanju vrste; djelujući na njezine adaptacijske sposobnosti, potencijal širenja i razmnožavanja (Ivanović i Kalezić, 2009). Upravo je poznavanje navedenoga od iznimne važnosti za pravovaljano reagiranje na daljnju distribuciju štetnih organizama i njihovo suzbijanje.

U primjeni GM polazi se od veličine centroida i oblika (shape) te njihove međusobne korelacije i opisa s kvantitativnom konotacijom. Centroidna veličina predstavlja udaljenost svake specifične točke postavljene na krilo kukca od središta (sjecišta) koje je dobiveno iz tih specifičnih točaka. Na taj način eliminirana je duljina krila kukca koja se razlikuje u većine istraživanih jedinki. Iz postavljenih specifičnih točaka formira se njihovo sjecište temeljem kojeg se onda analizira centroidna veličina (Klingenberg, 2011). Analiza oblika krila kreće jednom od bitnijih stavki procedure poznate pod nazivom „Prokrustova superimpozicija“. U ovoj se proceduri iz datog uzorka izdvajaju varijable oblika svake jedinice tog uzorka te se provodi translacija i skaliranje konfiguracija te rotacija dok suma kvadratnih odstupanja ne bude minimalna. Kao rezultat ovoga procesa dobivaju se Prokurstove koordinate koje opisuju oblik „per se“ (slika 2.9) (Ivanović i Kalezić, 2009). Osim prokurstove superimpozicije (GPA), provode i druge morfometrijske analize kao što su PCA (analiza glavnih komponenti), CVA (kanonijska diskriminantna analiza), PLS (djelomični najmanji kvadrati), DFA (diskriminantna funkcijska analiza), multivarijatna regresija, ANOVA, MANOVA i dr. (Rohlf, 2000).



Slika 2.9. Shematski prikaz tri koraka Prokurstove superimpozicije na tijelu vrste *Ceroglossus chilensis*, Eschscholtz: skaliranje na jednaku veličinu (2), prevođenje na istu poziciju centroida (3) i rotacija za minimiziranje sume kvadrata euklidskih udaljenosti među homolognim orijentirima (4)

Izvor: Benítez (2013.)

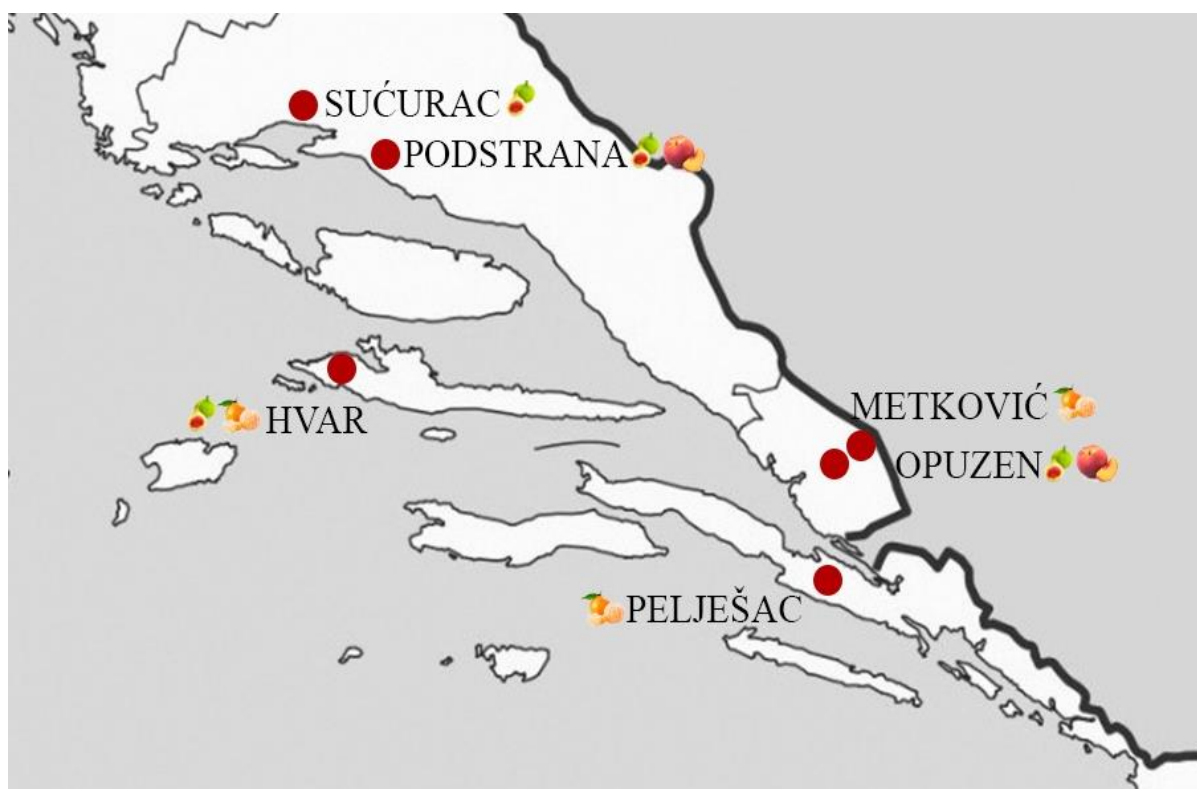
Primjenom geometrijske morfometrije uspješno se može analizirati oblik i veličina različitih organizama te se mogu donijeti zaključci o utjecaju ekoloških i genetskih čimbenika na potencijalnu varijabilnost organizama (Klingenberg, 2011). Unatoč tome što je ova metoda dokazano učinkovita u istraživanju varijabilnosti kod brojnih kukaca iz reda Coleoptera, Lepidoptera i Diptera (Mikac i sur. 2013, 2016, 2019; Benítez i sur. 2014a, 2014b; Lemić i sur. 2014; Pajač Živković i sur. 2018), varijabilnost i razlozi njenog razvoja kod mediteranske voćne muhe slabo su istraženi.

Obzirom na kozmopolitsku rasprostranjenost, invazivni karakter i sposobnost prilagodbe različitim životnim uvjetima mediteranska voćna muha idealan je model za utvrđivanje utjecaja agroekoloških čimbenika na varijabilnost fenotipa. Provedeno je nekoliko istraživanja o utjecaju različitih biljnih domaćina na morfologiju i ponašanje mediteranske voćne muhe (Inglesfield, 1982; Stamp, 1990; Navarro-Campos i sur., 2011). Međutim, do sada nije provedeno niti jedno istraživanje primjenom metoda geometrijske morfometrije za utvrđivanje varijabilnost mediteranske voćne muhe razvijene u različitim biljnim domaćinima, kao ni posljedice takve varijabilnosti na daljnje širenje i štetnost vrste.

3. Materijali i metode

3.1. Lokacije i biljni domaćini

Meditranska voćna muha istraživana u ovome radu razvijena je iz zaraženih plodova tri različita biljna domaćina; breskva, smokva i mandarina. Navedene voćne vrste su odabrane jer na njima mediteranska voćna muha pričinjava najveće štete i gubitke prinosa na našem području. Populacije mediteranske voćne muhe prikupljene su s ukupno devet lokaliteta na kojima vladaju slični pedo-klimatski uvjeti (slika 3.1 i tablica 3.1). U radu su korištene i sterilne jedinice muhe uzgojene u laboratorijskim uvjetima.



Slika 3.1. Geografski prikaz lokacija i biljnih domaćina u iz kojih su istraživane populacije uzorkovane
Izradio: Ninčević (2021.)

Tablica 3.1. Prikaz porijekla populacija obzirom na lokaciju, domaćina, broj jedinki i vrijeme razvoja u inficiranim biljnim domaćinima.

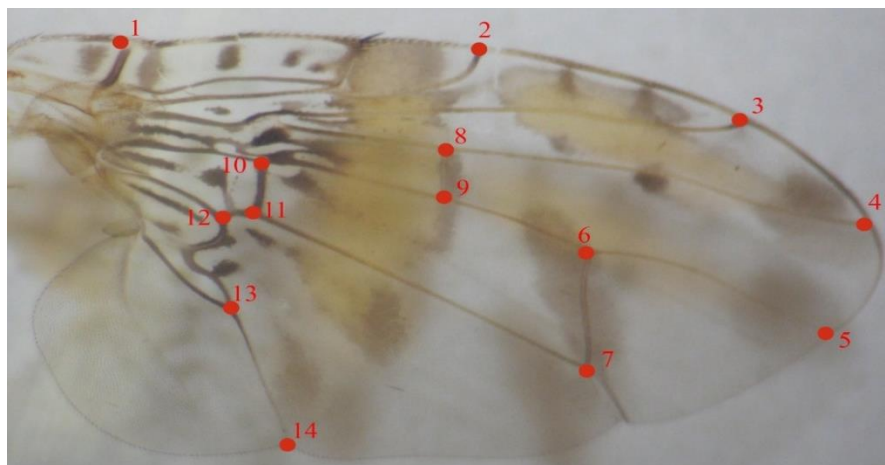
LOKALITET	DOMAĆIN	UKUPAN BROJ JEDNINKI	RAZDOBLJE RAZVOJA MUHA IZ INFICIRANIH PLODOVA
Sućurac	Smokva	40	10.10. - 26.10.2020.
Hvar	Smokva	40	10.10 - 26.10.2020.
Podstrana	Smokva	36	10.10 - 28.10.2020.
Opuzen	Smokva	31	27.08. - 8.09.2020.
Opuzen	Breskva	40	13.07. - 27.07.2020.
Podstrana	Breskva	39	1.09. - 7.09.2020.
Pelješac	Mandarina	40	10. - 28.11.2020.
Metković	Mandarina	40	1.11. -14.11.2020.
Hvar	Mandarina	40	20.10. - 30.10.2020.
Labratorijski uzgoj	sterilne jedinke	40	2019.

3.2. Prikupljanje uzoraka i način rada

Kroz ljeto i jesen 2020. prikupljeni su plodovi breskve, smokve i mandarine s vidljivim simptomom zaraženosti mediteranskom voćnom muhom. Zaraženi plodovi stavljeni su u klimatske komore laboratorija Sveučilišta u Splitu. U komorama su bili kontrolirani uvjeti (vlaga: 70 % i temperatura: 25 °C). Iz plodova su za 2 – 3 tjedna od postavljanja u komore izašle odrasle jedinke mediteranske voćne muhe. Odrasle muhe, potom su, stavljane u 70 % etanol te poslane na Agronomski fakultet, Zavod za poljoprivrednu zoologiju. Sterilne jedinke oba spola naručene su iz izraelske tvrtke Biofly u Sde Eliyahu.

Mediteranske voćne muhe razdvojene su po spolu pomoću binokulara prema morfološkim ključevima za identifikaciju. Morfološki ključ za odvajanje mužjaka od ženki bile su cefalne izrasline na glavi mužjaka te izvučena leglica kod ženki (Braughton, 2012). Prije prepariranja fotografirani su pronotumi 10 jedinki mužjaka te 10 jedinki ženki od svake istraživane populacije bilo je. Muhama su zatim uklonjena oba krila te je proveden proces prepariranja prema standardnoj metodi (Upton i Mantel, 2010). Iz svake populacije ukupno je u istraživanje uključeno 30 do 40 jedinki (pazeći na jednak omjer spolova). U ovom istraživanju ukupno je analizirano 386 jedinki mediteranske voćne muhe, odnosno 772 krila. Pronotumi i krila su fotografirani pomoću binokularne lupe i fotoaparata te spremljena u JPEG formatu. Na svaku fotografiju krila mediteranske voćne muhe postavljeno je 14 specifičnih točaka/homolognih markera tipa 1 definiranih na čvorištima ili završecima žila. Specifične točke (markeri) su postavljani na krila po točno definiranom rasporedu (sukladno uputama: Bookstein, 1991) prikazanom na slici 3.2 u programskom paketu tpsDig V2.10 (Rohlf, 2008) u

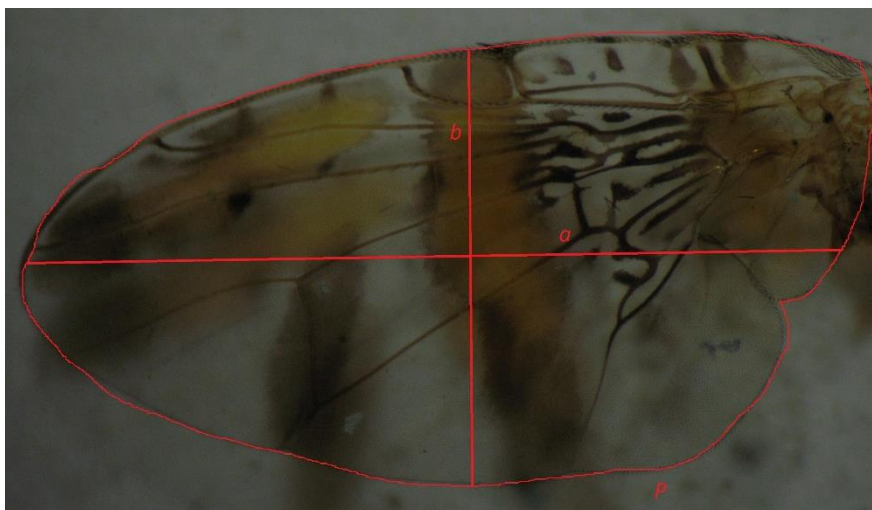
kojem su određene x, y koordinate svake specifične točke. Takva krila bila su spremna za analizu metodama geometrijske morfometrije.



Slika 3.2. Prikaz rasporeda postavljanja specifičnih točaka na krilu mediteranske voćne muhe
Izradio: Ninčević (2021.)

Nakon provedene analize geometrijske morfometrije, po 20 jedinki (10 ženki i 10 mužjaka) iz svake istraživane populacije bilo je podvrgnuto analizi ključnih letnih parametara metodama tradicionalne morfometrije (linearno mjerenje). Mjerenje je provedeno pomoću javno dostupnog programa ImageJ 2020., ovom metodom ukupno je analizirano 400 krila te 200 pronotuma. Na svakom krilu izmjerena je dužina, širina i površina (slika 3.3), dok je na pronotumu izmjerena širina (slika 3.4). Svi istraživani parametri mjereni su u milimetrima (mm). Omjer raspona krila („Aspect ratio –AR“) izračunat je za 10 jedinki mužjaka i 10 jedinki ženki svih istraživanih populacija.

Navedene vrijednosti mjerene su kako bi se i na ovaj način detektirala varijabilnost obzirom na različitost biljnih domaćina (breskva, smokva i mandarina) i uzgojnih lokacija (različite lokacije sličnih pedoklimatskih uvjeta te laboratorijski uzgoj).



Slika 3.3. Prikaz mjerene dužine (a), širine (b) i površine krila (P)
Izradio: Ninčević (2022.)



Slika 3.4. Širina pronotuma
Izradio: Ninčević (2022.)

3.3. Analiza oblika i veličina krila metodama geomterijske morfometrije

Baza podataka o položaju specifičnih točaka u koordinatnom sustavu za sva krila u istraživanju analizirana je metodama geometrijske morfometrije. Standardne analize multivarijatne statistike koje se u ovakvim tipovima istraživanjima koriste provedene su u programskom paketu MorfoJ v1.05d (Klingenberg, 2011). Analizirana je fenotipska varijabilnost između istraživanih deset populacija (spomenutih 9 geografskih lokaliteta i populacija sterilnih jedinki) obzirom na različitost biljnih domaćina (3 domaćina: breskva, smokva i mandarina). Osim toga kod svake uzorkovane populacije istraživan je spolni dimorfizam.

Provedene analize su: 1. Prokrustova superimpozicija (poravnanje; nosi informacije o obliku), 2. PCA (analiza glavnih komponenti), 3. CVA (Kanonička diskriminantna analiza), 4. Diskriminantna analiza.

Prokrustovom analizom eliminiraju se informacije o veličini, položaju i orijentaciji te se analizira veličina centroida. Centroidna veličina predstavlja udaljenost svake specifične točke postavljene na krilo kukca od središta (sjecišta) koje je dobiveno iz tih specifičnih točaka. Na taj se način eliminira duljina krila kukca koja je nesumnjivo različita u većine analiziranih jedinki. Formiranjem specifičnih točaka, a onda iz njih formiranjem sjecišta analizirana je centroidna veličina iz koje se mogu formirati određeni zaključci o fenotipskoj varijabilnosti (Ivanović i Kalezić, 2009).

Analiza glavnih komponenti (PCA) jedna je od najjednostavnijih, ali i najpopularnijih analiza multivarijatne statistike koja se koristi u skoro svim znanstvenim disciplinama. Ova analiza se primjenjuje za redukciju dimenzionalnosti i interpretaciju podataka, gdje glavne komponente objašnjavaju varijabilnost podataka na najtočniji način (Orlić i Marinović, 2012). Vrlo važan korak u morfometrijskim istraživanjima je jasno definiranje populacija i utvrđivanje stupnja različitosti među njima.

Kanonijska diskriminantna analiza (CVA) je najčešće korištena analiza za izdvajanje osobina koje najviše doprinose razlikovanju populacija. Razlika između PCA i CVA analizi je u tome što se kanonijskom analizom pronalaze linearne kombinacije promjenjivih, koje na osnovi srednjih vrijednosti osobina i varijabilnosti doprinose razdvajanju populacija. CVA analize izdvajaju kanonijske varijable (CV) koje predstavljaju razlike između populacija, dok PCA analize izdvajaju glavnu komponentu (PC) koje uvjetuju ukupnu varijabilnost. Nakon PCA analize ispitani uzorci podijeljeni su u dvije grupe prema spolu, a svaka grupa se je zasebno analizirala kanonijskom diskriminantnom analizom kako bi se utvrdile razlike u obliku između istraživanih lokacija i domaćina za mužjake i ženke.

Da bi procijenili učinkovitost kanonijskih varijabli u razdvajanju grupa korištene su generalizirane Mahalanobisove udaljenosti (udaljenosti oblika) i Prokrustove udaljenosti između spolova prema domaćinima. Također, njima je procijenjena razina sličnosti populacija na različitim lokacijama, dakle služila je kao mjera populacijske strukture.

3.4. Analiza oblika i veličine krila metodama tradicionalne morfometrije

Podatci o linearnoj duljini glavnih parametara leta analizirani su metodama tradicionalne morfometrije. Analizirana je fenotipska varijabilnost deset populacija (spomenutih 9 geografskih lokaliteta i populacija sterilnih jedinki) obzirom na različitost biljnih domaćina te uzgojnih lokacija. Nakon statističke obrade rezultata linearnog mjerenja kod svih populacija istražen je spolni dimorfizam, kao i kod prethodno opisanih analiza geometrijske morfometrije. Postupak provedbe tradicionalne morfometrijske analize zasniva se na izboru morfoloških obilježja koja će se mjeriti (Rohlf i Marcus, 1993), u ovom slučaju to su bili: duljina, širina i površina krila te širina pronotuma. Nakon provedbe mjerenja podatci se obrađuju i

analiziraju statističkim metodama kako bi se detektirale varijacije, uzroci ili trendovi (Rohlf i Marcus, 1993). U ovom istraživanju podatci su podvrgnuti analizi varijance (ANOVA). Rezultati mjerenja obrađeni su u programu ARM software. Nakon provedenih analiza tradicionalne morfometrije izračunat je omjer raspona krila („Aspect ratio-AR“) svih istraživanih populacija prema formuli:

$$AR = \frac{\text{raspon krila}^2}{\text{površina lijevog} + \text{površina desnog krila}}$$

Raspon krila predstavlja zbroj dužina lijevog i desnog krlila te širine pronotuma između krila (slika 3.5) (Phillips i sur., 2015)). Omjer raspona krila (AR) predstavlja najvažniji geometrijski element koji opisuje krilo kukaca, to je omjer kvadrata dužine raspona krila i zbroja površina obaju krila muhe. Predstavlja vrijednost pomoću koje se kvantificira koliko su dugačka i vitka, odnosno kratka i široka krila kukaca pa je posljedično tome vrlo bitna u određivanju letnih sposobnosti jedinki. Vrijednosti omjera raspona krila značajno utječu na aerodinamičku učinkovitost krila, okretnost i druge karakteristike leta (Altizer i Davis, 2010).

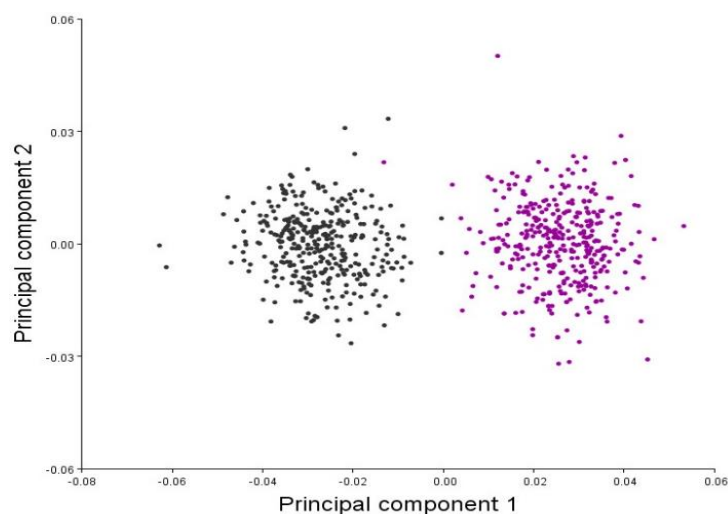


Slika 3.5. Prikaz parametara potrebnih za izračun „Aspect ratio (AR)“
Izradila: Lemić (2022.)

4. Rezultati

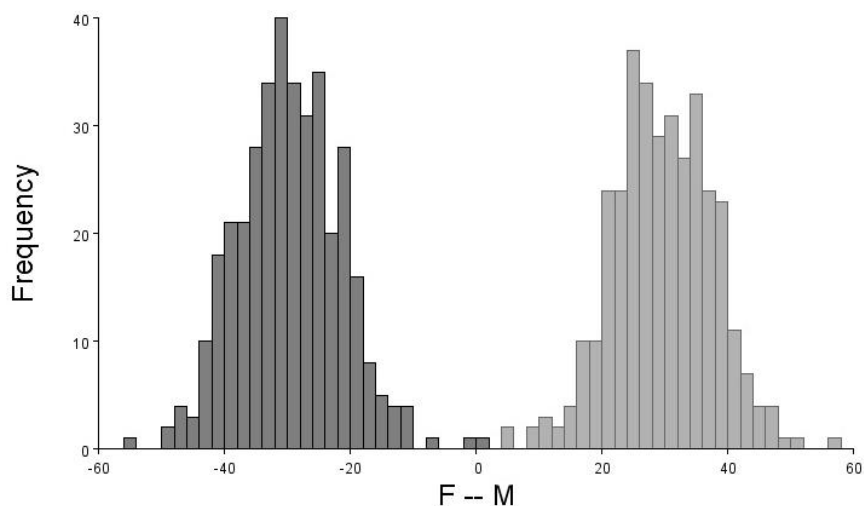
Varijabilnost analizirana metodama geometrijske morfometrije

Varijabilnost oblika krila za sve istraživane populacije utvrđena je analizom glavnih komponenti (PCA) i prikazana je na slici 4.1. PCA se provodi kako bi se utvrdila ukupna varijabilnost između istraživanih populacija. Utvrđeno je da prve tri glavne komponente predstavljaju 70 % ukupne varijabilnosti; PC1 objašnjava 56 %, a PC2 i PC3 13 % utvrđene varijabilnosti. Analizom glavnih komponenti PCA utvrđena je varijabilnost oblika krila između spolova; odnosno spolni dimorfizam. Navedeno je utvrđeno za sve istraživane populacije.



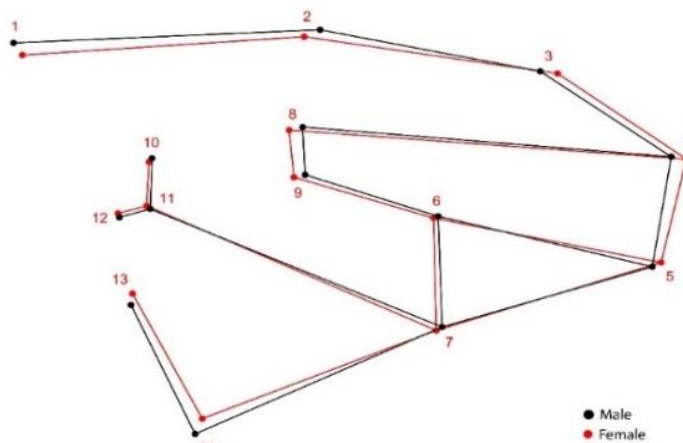
Slika 4.1. Spolni dimorfizam mediteranske voćne muhe (crno: mužjaci; ljubičasto: ženke)

Diskriminantnom analizom provedenom na svim uzorcima ($n=190\text{m}/196\text{ž}$) utvrđena je signifikantna razlika između krila mužjaka i ženki. Diskriminantna analiza pokazuje razdvajanje mužjaka i ženki na temelju oblika krila (slika 4.2). Prema obliku krila mužjaci i ženke mediteranske voćne muhe signifikantno se razlikuju ($T^2=10640.18$; $P<0.0001$). Ekstremne razlike u obliku prikazane su grafički upotrebom okvira (konfiguracija definirana od 14 specifičnih točaka koje opisuju oblik žila (slika 4.3). Prema grafičkom prikazu konfiguracije okvira možemo utvrditi da su krila ženki veća i izduženija, dok su krila mužjaka uža i kraća.



Slika 4.2. Histogram prikazuje razdvajanje mužjaka i ženki mediteranske voćne muhe diskriminantnom analizom prema obliku krila (lijevo: ženke; desno: mužjaci)

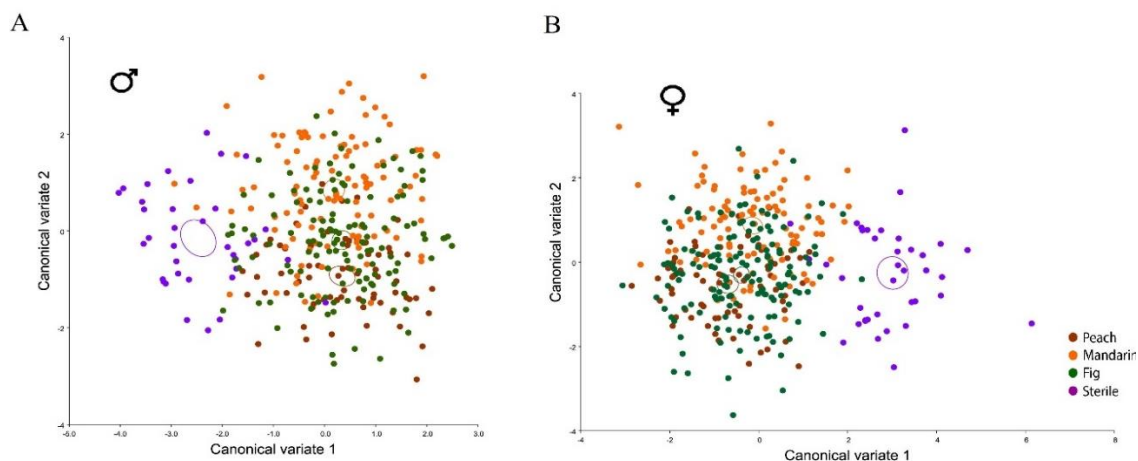
Nakon superimpozicije dobivenog prosječnog oblika krila za svaku populaciju i spol zasebno, uočena je određena varijabilnost. Varijabilnost kod ženki se očituje u izduživanju terminalnih žila odnosno promjene u položaju specifičnih točaka 3, 4, 5, 8 i 9 dok su kod mužjaka uočena šira krila zbog promjene u položaju točaka 1, 2 i 14. Navedeno znači da ženke imaju dulja i jača krila koja su karakteristična za duge letove, dok mužjaci imaju uska i kratka krila karakteristična za jedinke koje puno ne migriraju.



Slika 4.3. Linijski prikaz krila mediteranske voćne muhe. Crne linije prikazuju shematski oblik krila mužjaka, crvene krila ženki

Varijabilnost u obliku krila mediteranske voćne muhe s različitih domaćina

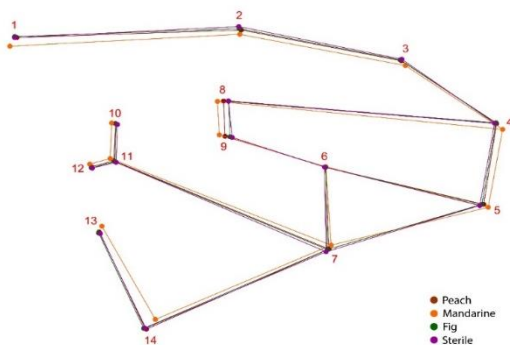
Kanonijskom diskriminantnom analizom (CVA) analizirano je ukupno 392 krila ženki i 380 krila mužjaka mediteranske voćne muhe. Analiza ženki pokazala je da se 45 % varijabilnosti može objasniti s prve dvije osi (CV1 i CV2), dok se 41 % varijabilnosti mužjaka može objasniti s prve dvije kanonijske osi (CV1 i CV2) (slika 4.4).



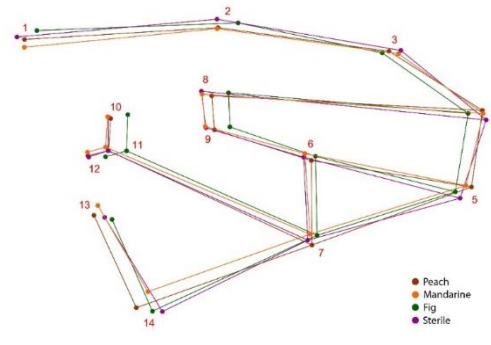
Slika 4.4. Kanonijska diskriminantna analiza (CVA) krila mužjaka (A: lijevo) i ženki (B: desno) mediteranske voćne muhe obzirom na različite domaćine (crveno: breskva; narančasto: mandarina; zeleno: smokva; ljubičasto: sterilne). Elipse predstavljaju srednje vrijednosti grupa s 90 % pouzdanosti.

Prema slici 4.4 kanonijska diskriminantna analiza oblika krila mužjaka i ženki mediteranske voćne muhe izdvojila je sterilne populacije te jedinke uzgojene iz mandarine u odnosu na ostale domaćine. Populacije prikupljene iz smokve i breskve međusobno se ne razlikuju.

Na slikama 4.5. i 4.6 konfiguracijom okvira prikazana je varijabilnost kod ženki i mužjaka prikupljenih iz različitih domaćina. Kod mužjaka su te razlike vrlo male i očituje se u nešto dužim krilima jedinki iz mandarine kroz izduživanje središnjih žila krila u položaju specifičnih točaka 4, 5 i 8, 9. Kod ženki razlike u obliku krila su jasnije i možemo uočiti izdužena krila muha iz mandarine kroz izduživanje središnjih žila kao i kod mužjaka u položaju specifičnih točaka 4, 5 i 8, 9. Takva krila su aerodinamičnija i sposobna za duže letove. Krila sterilnih muha i muha iz smokve su uska i kratka vidljivo kroz skraćivanje terminalnih žila u položaju specifičnih točaka 1, 5, 8, 9, 10-12. Takav oblik krila karakterističan je za kratke i spore letove.



Slika 4.5. Linijski prikaz krila mužjaka mediteranske voćne muhe s različitih domaćina. Crvene linije prikazuju shematski oblik krila mužjaka s breskve; narančaste s mandarine; zelene sa smokve i ljubičaste linije prikazuju sterilne populacije



Slika 4.6. Linijski prikaz krila ženki mediteranske voćne muhe s različitih domaćina. Crvene linije prikazuju shematski oblik krila mužjaka s breskve; narančaste s mandarine; zelene sa smokve i ljubičaste linije prikazuju sterilne populacije

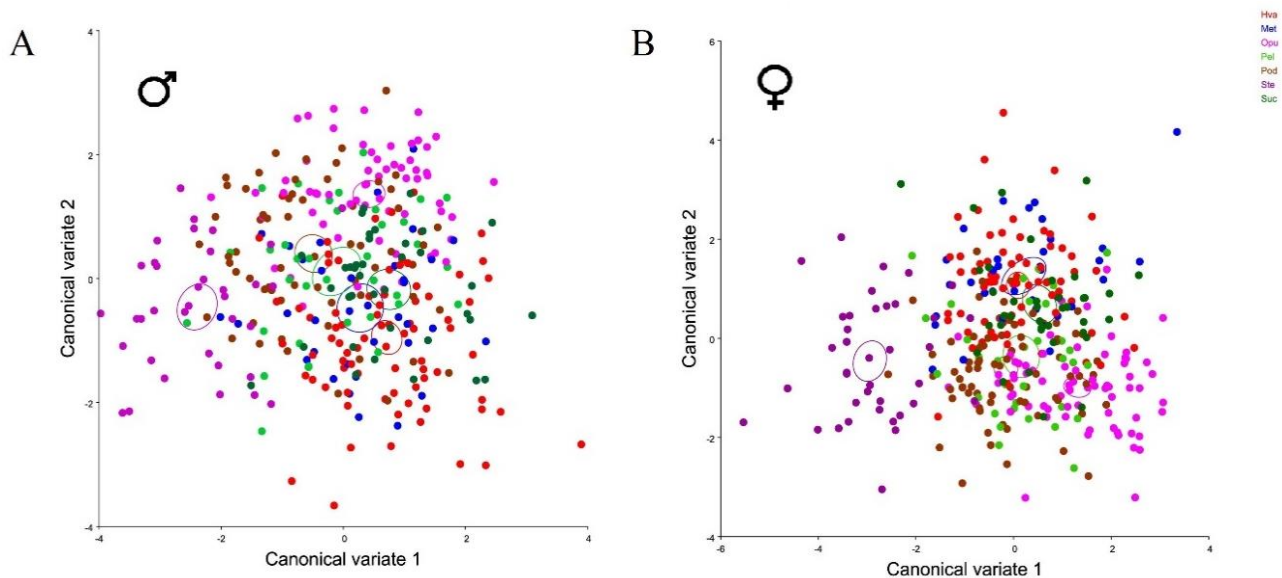
Populacijska struktura temeljena na Mahalanobisovim i Prokrustovim udaljenostima između parova populacija je najveća između sterilnih populacija u usporedbi sa svim ostalim populacijama (domaćinima). Također, vrlo visoke vrijednosti strukture populacije utvrđene su između populacija iz mandarine u odnosu na ostale domaćine (tablica 4.1). Prema Mahalanobisovim udaljenostima između parova lokacija na temelju najvećih vrijednosti možemo utvrditi tri populacije: 1) sterilna populacija; 2) populacija iz mandarine; 3) populacija iz ostalih domaćina.

Tablica 4.1. Rezultati analize CVA s prokrustovim i mahalanobisovim udaljenostima i odgovarajućim vrijednostima P, za mužjake i ženke između različitih domaćina.

MUŽJACI	Breskva	Mandarina	Smokva	Breskva	Mandarina	Smokva
	Mahalanobisova udaljenost P vrijednost			Prokrustova udaljenost P vrijednost		
Mandarina	1.8115 P<0.0001			0.0099 P<0.0001		
Smokva	1.1727 P<0.0001	1.2301 P<0.0001		0.0084 P<0.0001	0.0054 P=0.0023	
Sterilne	2.9715 P<0.0001	2.8492 P<0.0001	2.841 P<0.0001	0.0178 P<0.0001	0.0186 P<0.0001	0.0175 P<0.0001
ŽENKE	Breskva	Mandarina	Smokva	Breskva	Mandarina	Smokva
	Mahalanobisova udaljenost P vrijednost			Prokrustova udaljenost P vrijednost		
Mandarina	1.6085 P<0.0001			0.0093 P<0.0001		
Smokva	1.1564 P<0.0001	1.3039 P<0.0001		0.0061 P=0.0014	0.0065 P<0.0001	
Sterilne	3.7637 P<0.0001	3.3428 P<0.0001	3.4391 P<0.0001	0.0229 P<0.0001	0.0212 P<0.0001	0.0207 P<0.0001

Varijabilnost u obliku krila mediteranske voćne muhe s različitih lokacija

Kanonijskom diskriminantnom analizom analizirane su zasebno ženke i mužjaci s obzirom na lokalitet s kojeg potječu. Prema slici 4.7 kanonijska diskriminantna analiza oblika krila mužjaka i ženki mediteranske voćne muhe izdvojila je sterilne populacije uzgojene u laboratoriju te jedinke iz Opuzena u odnosu na ostale lokalitete. Populacije prikupljene s ostalih sedam lokaliteta međusobno se ne razlikuju.



Slika 4.7. Kanonijska diskriminantna analiza (CVA) krila mužjaka (A: lijevo) i ženki (B: desno) mediteranske voćne muhe obzirom na različite lokalitete prikupljanja (crveno: Hvar; plavo: Metković; roza: Opuzen; svjetlo zeleno: Pelješac; smeđe: Podstrana; tamno zeleno: Sućurac; ljubičasto: sterilne-laboratorijske). Elipse predstavljaju srednje vrijednosti grupa s 90 % pouzdanosti.

Populacijska struktura ženki mediteranske voćne muhe temeljena na Mahalanobisovim i Prokrustovim udaljenostima između parova lokacija je najveća između sterilnih jedinki uzgojenih u laboratoriju i svih ostalih populacija. Također, vrlo visoke vrijednosti strukture populacije utvrđenje se između lokacije Opuzen u usporedbi s ostalim lokacijama (tablica 4.2). Prema Mahalanobisovim udaljenostima između parova lokacija na temelju najvećih vrijednosti možemo utvrditi barem tri populacije ženki: 1) populacija s lokaliteta Opuzen; 2) populacija uzgojena u laboratoriju (streilna); 3) populacija s ostalih lokaliteta iz istraživanja.

Tablica 4.2. Rezultati analize CVA s prokrustovim i mahalanobisovim udaljenostima i odgovarajućim vrijednostima P za ženke mediteranske voćne muhe između različitih lokaliteta.

ŽENKE	Hvar	Metković	Opuzen	Pelješac	Podstrana	Sterilne
	Mahalanobisova udaljenost P vrijednost					
Metković	1.4832 P=0.0014					
Opuzen	2.5498 P<0.0001	2.7942 P<0.0001				
Pelješac	1.9459 P<0.0001	2.3817 P<0.0001	2.0943 P<0.0001			
Podstrana	2.2512 P<0.0001	2.4622 P<0.0001	2.5266 P<0.0001	2.0517 P<0.0001		
Sterilne	3.5225 P<0.0001	3.8136 P<0.0001	4.2868 P<0.0001	3.4827 P<0.0001	3.4432 P<0.0001	
Sučurac	1.4768 P<0.0001	1.7915 P<0.0001	2.2037 P<0.0001	2.2459 P<0.0001	2.3188 P<0.0001	3.8186 P<0.0001
	Prokrustova udaljenost P vrijednost					
Metković	0.0072 P=0.0276					
Opuzen	0.013 P<0.0001	0.0155 P<0.0001				
Pelješac	0.0108 P<0.0001	0.0125 P<0.0001	0.0114 P<0.0001			
Podstrana	0.0103 P<0.0001	0.0111 P<0.0001	0.0128 P<0.0001	0.0096 P<0.0001		
Sterilne	0.0227 P<0.0001	0.0232 P<0.0001	0.0256 P<0.0001	0.0195 P<0.0001	0.019 P<0.0001	
Sučurac	0.0074 P=0.0061	0.0084 P=0.0126	0.013 P<0.0001	0.0125 P<0.0001	0.011 P<0.0001	0.0223 P<0.0001

Populacijska struktura temeljena na Mahalanobisovim i Prokrustovim udaljenostima između parova lokacija je ista kao i u populaciji ženki te je najveća između sterilnih mužjaka uzgojenih u laboratoriju i svih ostalih populacija. Također, vrlo visoke vrijednosti strukture populacije utvrđene su između lokacije Opuzen u usporedbi s ostalim lokacijama (tablica 4.3). Prema Mahalanobisovim udaljenostima između parova lokacija na temelju najvećih vrijednosti možemo utvrditi barem tri populacije mužjaka: 1) populacija s lokaliteta Opuzen; 2) populacija uzgojena u laboratoriju (sterilna); 3) populacija s ostalih lokaliteta iz istraživanja.

Tablica 4.3. Rezultati analize CVA s prokrustovim i mahalanobisovim udaljenostima i odgovarajućim vrijednostima P za mužjake mediteranske voćne muhe između različitih lokaliteta.

MUŽJACI	Hvar	Metković	Opuzen	Pelješac	Podstrana	Sterilne
	Mahalanobisova udaljenost P vrijednost					
Metković	1.5215 P=0.0006					
Opuzen	2.3725 P<0.0001	2.2746 P<0.0001				
Pelješac	1.837 P<0.0001	1.4733 P=0.0589	1.8769 P<0.0001			
Podstrana	2.224 P<0.0001	1.8551 P<0.0001	2.1022 P<0.0001	1.7606 P<0.0001		
Sterilne	3.1992 P<0.0001	3.0333 P<0.0001	3.3603 P<0.0001	2.7428 P<0.0001	2.7072 P<0.0001	
Sučurac	1.3312 P=0.0023	1.6089 P=0.0045	1.0232 P<0.0001	1.8999 P<0.0001	1.9145 P<0.0001	3.3065 P<0.0001
	Prokrustova udaljenost P vrijednost					
Metković	0.0072 P=0.037					
Opuzen	0.0139 P<0.0001	0.0113 P<0.0001				
Pelješac	0.0112 P<0.0001	0.0071 P=2187	0.0078 P=0035			
Podstrana	0.0117 P<0.0001	0.008 P=0414	0.0109 P<0.0001	0.0081 P=0.0097		
Sterilne	0.0209 P<0.0001	0.0187 P<0.0001	0.0178 P<0.0001	0.0158 P<0.0001	0.0172 P<0.0001	
Sučurac	0.0069 P=0.0291	0.0082 P=0.0745	0.0113 P<0.0001	0.0103 P=0.0008	0.0096 P=0.0009	0.0195 P<0.0001

Varijabilnost analizirana metodama tradicionalne morfometrije

Rezultati linearnog morfološkog mjerenja također upućuju na varijabilnost obzirom na različitost biljnih domaćina iz kojih su se razvile istraživane populacije. Dokazana je značajna varijabilnost između populacija ženki i mužjaka svih istraživanih populacija te su s ciljem prikaza spolnog dimorfizma metodama tradicionalne morfometrijske analize kreirane tablice 4.7 i 4.8. Statistički značajna varijabilnost je utvrđena i između populacija koje su se razvile iz istog biljnog domaćina, ali s različitih uzgojnih lokacija (tablica 4.4, 4.5 i 4.6).

Analize su napravljene na temelju mjerenja različitih morfoloških karakteristika (duljina krila, širina krila, površina krila i širina pronotuma) te su kategorizirane prema lokaciji, biljnom domaćinu i spolu.

Analiza podataka muhe razvijane iz plodova breskve obuhvaća tri populacije: Opuzen, Podstrana, sterilna populacija te su rezultati prikazani tablicom 4.4. Rezultati pokazuju da su jedinke oba spola s lokacije Opuzen nakon provedene statističke analize signifikantno veća u odnosu na ostale jedinke. Detaljnom analizom rezultata utvrđeno je da ženke muhe iz Opuzena imaju značajno veću dužinu oba krila, kao i širinu pronotuma u odnosu na ostale populacije u analizi. Mužjaci muhe iz Opuzena imaju značajno veću širinu i površinu krila u odnosu na sve ostale jedinke u analizi. Jedinke muhe oba spola iz sterilne populacije imaju signifikantno najniže vrijednosti svih istraživanih parametara.

Tablica 4.4. Rezultati mjerenja letnih parametara istraživanih populacija razvijenih u plodovima breskve.

LOKACIJA SPOL	DUŽINA (lijevo krilo)	ŠIRINA (desno krilo)	POVRŠINA (lijevo krilo)	DUŽINA (desno krilo)	ŠIRINA (desno krilo)	POVRŠINA (desno krilo)	ŠIRINA PRNOTUMA
Opuzen, ženke	6,7±0,1a*	3,7±0,0ab	20,1±0,4ab	6,7±0,1a	3,7±0,0ab	20,1±0,4ab	3,9±0,0a
Opuzen, mužjaci	6,5±0,1abc	3,7±0,1a	20,8±0,4a	6,5±0,1ab	3,8±0,0a	20,8±0,3a	3,6±0,0bc
Podstrana, ženke	6,6±0,1ab	3,6±0,0abc	19,9±0,4ab	6,6±0,1ab	3,6±0,1abc	19,9±0,4ab	3,8±0,1ab
Podstrana, mužjaci	6,3±0,1bc	3,6±0,0abc	19±0,2bc	6,3±0,1bc	3,6±0,0bc	19,1±0,2bc	3,6±0,1c
Sterilne ženke	6,3±0,1bc	3,5±0,0c	18,3±0,2c	6,2±0,1c	3,5±0,0bc	18±0,2c	3,6±0,0bc
Sterilni mužjaci	6,3±0,1c	3,6±0,0bc	18,4±0,3c	6,2±0,0c	3,5±0,1c	18,2±0,2c	3,4±0,0c
HDS P=0.05	0,3	0,2	1,3	0,3	0,2	1,3	0,2

*vrijednosti označene istim slovom (a, b, c) sigifikantno se ne razlikuju prema Tukey's HSD test (P = 0.05).

Analiza podataka muhe razvijane iz plodova smokve obuhvaća pet populacija: Hvar, Opuzen, Podstrana, Sućuraj i sterilna populacija te su sveobuhvatni rezultati prikazani tablicom 4.5. Iz rezultata se istaknula populacija muhe oba spola s lokacije Sućuraj koja ima signifikantno najveće vrijednosti svih analiziranih parametara. Ostale populacije razvijene iz smokve sigifikantno su manje u odnosu na Sućuraj s izuzetkom mužjaka iz Opuzena i Podstrane koji u parametru širina krila imaju iste vrijednosti kao i populacija iz Sućuraja. Jedinke muhe oba spola iz sterilne populacije imaju singnifikantno najniže vrijednosti svih istraživanih parametara.

Tablica 4.5. Rezultati mjerenja letnih parametara istraživanih populacija razvijenih u plodovima smokve.

LOKACIJA SPOL	DUŽINA (lijevo krilo)	ŠIRINA (lijevo krilo)	POVRŠINA (lijevo krilo)	DUŽINA (desno krilo)	ŠIRINA (desno krilo)	POVRŠINA (desno krilo)	ŠIRINA PRONOTUM A
Hvar, ženke	6,6±0,1abc	3,6±0,0bcd	19,7±0,3bc	6,7±0,1ab	3,5±0,1b	19,4±0,3bc	3,4±0,1cd
Hvar, mužjaci	6,21±0,1a-d	3,7±0,0ab	20,7±0,2ab	6,5±0,1bc	3,7±0,1ab	20,1±0,4ab	3,3±0,1d
Opuzen, ženke	6,7±0,1abc	3,7±0,0a-d	20,2±0,3ab	6,8±0,1ab	3,6±0,0ab	20,0±0,4ab	3,6±0,0bc
Opuzen, mužjaci	6,7±0,1abc	3,8±0,0a	20,2±0,3ab	6,6±0,1ab	3,6±0,1ab	20,2±0,3ab	3,4±0,1cd
Podstrana, ženke	6,9±0,1ab	3,7±0,0abc	20,4±0,4ab	6,9±0,1ab	3,6±0,1ab	20,3±0,4ab	3,50,0bc
Podstrana, mužjaci	6,5±0,1bcd	3,7±0,0abc	20,1±0,4ab	6,6±0,1ab	3,7±0,1a	20,4±0,26ab	3,2±0,1d
Sučuraj, ženke	6,9±0,1a	3,7±0,0a	20,8±0,2ab	6,9±0,1a	3,7±0,0a	20,8±0,1a	3,9±0,1a
Sučuraj, mužjaci	6,8±0,1ab	3,8±0,0a	21,0±0,2a	6,7±0,1ab	3,8±0,1a	20,9±0,3a	3,8±0,0ab
Sterilna, ženke	6,3±0,1cd	3,5±0,0d	18,3±0,2d	6,2±0,1c	3,5±0,0b	18,0±0,2c	3,6±0,2bc
Sterilna, mužjaci	6,3±0,1d	3,5±0,0cd	18,4±0,3cd	6,2±0,0c	3,5±0,1b	18,2±0,2c	3,4±0,0bcd
HDS P=0.05	0,4	0,1	1,3	0,3	0,2	1,4	0,3

*vrijednosti označene istim slovom (a, b, c) sigifikantno se ne razlikuju prema Tukey's HSD test (P = 0.05).

Analiza podataka muhe razvijane iz plodova mandarine obuhvaća četiri populacija: Hvar, Metković, Ston i sterilnu populaciju te su sveobuhvatni rezultati prikazani tablicom 4.6. Iz rezultata je vidljivo da postoje značajne razlike u parametrima između ženki i mužjaka. Posebno ženke s Hvara se ističu u veličini u odnosu na ostale jedinke. U većini parametara nema značajnijih razlika između ostalih populacija sa svih lokacija, međutim sve prirodne populacije značajno su veće u svim istraživanim parametrima u odnosu na sterilnu laboratorijsku populaciju.

Tablica 4.6. Rezultati mjerenja letnih parametara istraživanih populacija razvijenih u plodovima mandarine.

LOKACIJA SPOL	DUŽINA (lijevo krilo)	ŠIRINA (lijevo krilo)	POVRŠINA (lijevo krilo)	DUŽINA (desno krilo)	ŠIRINA (desno krilo)	POVRŠINA (desno krilo)	ŠIRINA PRONOTUMA
Hvar, ženke	7,2±0,0a	3,7±0,1a	21,4±0,4a	7,2±0,1a	3,8±0,0 a	21,6±0,3a	3,9±0,0ab
Hvar, mužjaci	6,9±0,1ab	3,8±0,1a	21,7±0,5a	6,8±0,1ab	3,9±0,1 a	21,6±0,5a	3,9±0,1ab
Metković, ženke	7,1±0,1ab	3,7±0,1ab	20,9±0,4a	7,06±0,1ab	3,8±0,1 a	21,0±0,4a	3,9±0,1ab
Metković, mužjaci	6,8±0,1b	3,8±0,1a	20,8±0,4a	6,7±0,1b	3,8±0,1 a	20,8±0,5a	3,7±0,0bc
Ston, ženke	7,0±0,1ab	3,7±0,0ab	20,6±0,3a	7,05±0,0ab	3,7±0,0 a	20,8±0,3a	4,0±0,1a
Ston, mužjaci	6,7±0,1b	3,8±0,0ab	20,8±0,3a	6,8±0,0b	3,80,1a	20,6±0,3a	3,8±0,0bc
Sterilna, ženke	6,30±1c	3,5±0,0c	18,3±0,2b	6,2±0,1c	3,5±0,0 b	18,0±0,2b	3,6±0,0cd
Sterilna, mužjaci	6,3±0,1c	3,6±0,0bc	18,4±0,2b	6,2±0,0c	3,5±0,1 b	18,2±2b	3,4±0,0d
HDS P=0.05	0,4	0,2	1,5	0,4	0,2	1,5	0,2

*vrijednosti označene istim slovom (a, b, c) sigifikantno se ne razlikuju prema Tukey's HSD test (P = 0.05).

Analizom varijance testirane su samo ženke iz svih istraživanih populacija i iz svih domaćina. Populacija ženki s otoka Hvara ima statistički najveća i najšira oba krila u odnosu na ostale populacije. U vrijednostima širine pronotuma vidljivo je da se razlikuju vrijednosti obzirom na lokaciju, a ne prema domaćinu. Bilježimo iste vrijednosti za ženke iz smokve, madarine i breskve, međutim iz tih istih domaćina populacije s Hvara te iz Opuzena i Podstrane imaju manju širinu pronotuma. Ponovno, sve testirane lokacije i domaćini statistički su veći u svim parametrima od sterilnih ženki (tablica 4.7).

Tablica 4.7. Rezultati mjerenja letnih parametara svih istraživanih populacija ženki.

LOKACIJA DOMAĆIN	DUŽINA (lijevo krilo)	ŠIRINA (lijevo krilo)	POVRŠINA (lijevo krilo)	DUŽINA (desno krilo)	ŠIRINA (desno krilo)	POVRŠINA (desno krilo)	ŠIRINA PRONOTUMA
Hvar, smokva	6,7±0,1cd	3,6±0,9bc	19,7±0,3bc	6,7±0,0cd	3,5±0,1b	19,4±0,3cd	3,4±0,1c
Opuzen, smokva	6,7±0,1cd	3,7±0,0abc	20,2±0,3ab	6,8±0,1bcd	3,6±0,0ab	19,9±0,4bc	3,6±0,0bc
Podstrana, smokva	6,9±0,1abc	3,7±0,0abc	20,4±0,4ab	6,9±0,1a-d	3,7±0,0ab	20,3±0,4abc	3,6±0,0c
Sućuraj, smokva	6,9±0,1abc	3,7±0,0a	20,8±0,2ab	6,9±0,1a-d	3,7±0,0a	20,8±0,2abc	3,9±0,0a
Opuzen, breskva	6,7±0,1bc	3,7±0,0ab	20,1±0,4ab	6,7±0,1cd	3,7±0,0ab	20,1±0,4abc	3,9±0,0a
Podstrana, breskva	6,6±0,1cd	3,6±0,0abc	19,9±0,4b	6,6±0,d	3,6±0,1ab	19,9±0,4bc	3,8±0,0ab
Hvar, mandarina	7,2±0,1a	3,8±0,0a	21,4±0,4a	7,2±0,1a	3,7±0,0a	21,6±0,3a	3,9±0,0a
Metković, mandarina	7,1±0,1ab	3,7±0,1ab	20,9±0,4ab	7,0±0,1abc	3,8±0,0a	20,9±0,4ab	3,9±0,1a
Ston, mandarina	7,0±0,1abc	3,7±0,0ab	20,6±0,3ab	7,1±0,0ab	3,7±0,0a	20,8±0,3abc	4,0±0,1a
Sterilne	6,3±0,1d	3,5±0,0c	18,3±0,2c	6,2±0,1e	3,5±0,0b	18,0±0,2d	3,6±0,0bc
HDS P=0.05	0,4	0,2	1,5	0,3	0,2	1,5	0,2

*vrijednosti označene istim slovom (a, b, c) sigifikantno se ne razlikuju prema Tukey's HSD test (P = 0.05).

Analizom varijance testirani su samo mužjaci iz svih istraživanih populacija i iz svih domaćina. Populacija mužjaka razvijenih iz mandarina ima signifikantno najveće vrijednosti u svim testiranim parametrima u odnosu na ostale domaćine, a bez razlike u lokaciji (tablica 4.8). Ponovno sve testirane lokacije i domaćini statistički su veći u svim parametrima od sterilnih mužjaka. Važno je uvidjeti da se u širini promotuma populacije mužjaka razvijenih iz smokve ne razlikuju u odnosu na sterilne mužjake (tablica 4.8).

Tablica 4.8. Rezultati mjerenja letnih parametara svih istraživanih populacija mužjaka.

LOKACIJA DOMAĆIN SPOL	DUŽINA (lijevo krilo)	ŠIRINA (lijevo krilo)	POVRŠINA (lijevo krilo)	DUŽINA (desno krilo)	ŠIRINA (desno krilo)	POVRŠINA (desno krilo)	ŠIRINA PRONOTUMA
Hvar, smokva	6,6±0,1abc	3,7±0,0abc	20,7±0,2ab	6,5±0,1abc	3,7±0,1abc	20,0±0,0ab	3,3±0,0d
Opuzen, smokva	6,7±0,1ab	3,8±0,0ab	20,2±0,3abc	6,6±0,1ab	3,6±0,1abcc	20,2±0,0ab	3,4±0,1cd
Podstrana, smokva	6,5±0,1abc	3,7±0,0abc	20,1±0,4bc	6,6±0,1ab	3,7±0,1ab	20,4±0,0ab	3,2±0,1d
Sučuraj, smokva	6,8±0,1a	3,8±0,0ab	21,0±0,2ab	6,7±0,1ab	3,8±0,1ab	20,9±0,0a	3,7±0,0ab
Opuzen, breskva	6,5±0,1abc	3,8±0,1abc	20,8±0,0,4ab	6,5±0,1abc	3,8±0,0ab	20,7±0,0a	3,6±0,0abc
Podstrana, breskva	6,3±0,1bc	3,6±0,0bc	19,0±0,2cd	6,3±0,1bc	3,6±0,0bc	19,0±0,0bc	3,6±0,1bc
Hvar, mandarina	6,9±0,1a	3,8±0,1a	21,7±0,5a	6,8±0,1a	3,8±0,1a	21,6±0,0a	3,9±0,1a
Metković, mandarina	6,8±0,1a	3,8±0,0ab	20,8±0,4ab	6,7±0,1ab	3,8±0,1ab	20,7±0,0a	3,7±0,0ab
Ston, mandarina	6,8±0,1a	3,7±0,0abc	20,8±0,3ab	6,8±0,1a	3,8±0,0ab	20,5±0,0ab	3,8±0,0ab
Sterilne	6,2±0,1c	3,6±0,0c	18,4±0,3	6,2±0,0c	3,5±0,0c	18,2±0,0c	3,4±0,0cd
HDS P=0.05	0,4	0,2	1,5	0,4	0,2	1,5	0,3

*vrijednosti označene istim slovom (a, b, c) sigifikantno se ne razlikuju prema Tukey's HSD test (P = 0.05).

Omjer raspona krila (Aspect ratio-AR)

Po prethodno opisanom postupku izračunat je „AR“ za sve istraživane populacije mediteranske voćne muhe, a dobiveni rezultati testirani su analizom varijance (ANOVA) te su rezultati prikazani u tablici 4.9.

Nakon provedene analize utvrđeno je da postoje statističke razlike u vrijednostima omjera raspona krila (AR) između istraživanih populacija. Analiza varijance provedena je kako bi se utvrdila statistička značajnost spomenutih razlika. Izvor varijacije "*Between Groups*" ukazuje na statistički značajne razlike omjera raspona krila (AR) između populacija muha koje su se razvijale iz plodova breskve, smokve, odnosno mandarine (SS = 1,408776, df = 2, MS = 0,704388). F-vrijednost od 6,087034 s p-vrijednošću od 0,007556 potvrđuje statistički značajnu razliku. Kritična F-vrijednost (F crit) od 3,422132 također podržava statističku značajnost rezultata. Srednje vrijednosti AR-a za populacije razvijene iz plodova breskve, smokve, mandarine su sljedeće: 6,99, 7,05 i 7,51, iako su razlike u srednjim vrijednostima omjera raspona krila male, statistički su značajne.

Tablica 4.9. Varijabilnost obzirom na različite vrijednosti izračunatog omjera raspona krila (AR) za populacije razvijene u tri različita biljna domaćina.

SUMMARY				
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
AR-breskva	7	48,97469	6,996384	0,100587
AR-smokva	10	70,45015	7,045015	0,09751
AR-mandarina	9	67,61323	7,512581	0,147554

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1,408776	2	0,704388	6,087034	0,007556	3,422132
Within Groups	2,661547	23	0,115719			
Total	4,070324	25				

5. Rasprava

Ovo istraživanje prvo je ovakvoga tipa gdje se metode geometrijske i tradicionalne morfometrije, odnosno analiza oblika i veličine koristi u istraživanju varijabilnosti mediteranske voćne muhe, s ciljem utvrđivanja utjecaja biljke domaćina (ali i lokacije) na invazivnost i mogućnosti prilagodbe ovoga štetnika. Uz visoki biotički potencijal i reproduktivne sposobnosti (Bakarić, 1978), varijabilnost štetnika razvijena uslijed djelovanja različitih agroekoloških uvjeta uzgoja ključ je prilagodbe i opstanka vrste na novom području (Fierst, 2011).

Ovo istraživanje rezultiralo je slijedećim najvažnijim rezultatima: 1) spolni dimorfizam u obliku krila prisutan je u svim istraživanim populacijama mediteranske voćne muhe; 2) domaćini u kojima se razvija mediteranska voćna muha utječu na oblik krila odnosno uvjetuju njenu varijabilnost; 3) značajna varijabilnost utvrđena je u svim istraživanim parametrima između sterilnih i divljih populacija mužjaka i ženki; 4) utvrđena je visoka fenotipska plastičnost populacija mediteranske voćne muhe na istraživanom području; 5) linearna morfološka mjerenja (tradicionalna morfometrija) također upućuju na varijabilnost istraživanih populacija mediteranske voćne muhe obzirom na različitost biljnih domaćina i uzgojnih lokacija; 6) domaćin ličinki mediteranske voćne muhe utječe na vrijednosti omjera raspona krila (AR) istraživanih populacija mediteranske voćne muhe.

1) Primjenom standardnih analiza geometrijske morfometrije dokazana je značajna varijabilnost u obliku krila između ženki i mužjaka svih istraživanih populacija. Spolni dimorfizam u obliku krila vrlo se uspješno detektira alatima geometrijske morfometrije kod različitih vrsta kukaca, a najviše kod vrsta iz redova: Diptera, Coleoptera, Hymenoptera i Lepidoptera (Bonduriansky, 2006; Gidaszewski i sur., 2009; Marsteller i sur., 2009; Benitez i sur., 2011; Lemić i sur., 2014; Lemic i sur., 2020). U ovom istraživanju utvrđeno je da ženke mediteranske voćne muhe imaju izduženija i veća krila u odnosu na mužjake što potvrđuje preliminarna istraživanja od Lemic i sur. (2020). Izduženija krila smatraju se aerodinamičnijima, te manje podložna oštećenjima uslijed letova (Wootton, 1992; Mikac i sur., 2013). Izduženi oblik krila pomaže ženkama kod migratornih letova u potrazi za mjestima ovipozicije (Nylin i Gotthard, 1998). Isard i sur. (2004) utvrdio je da se dužina letova ženki pred ovipoziciju povećava. Također, istraživanjima je utvrđeno da pojedine ženke pokušavaju dosegnuti visinu gdje im strujanja zraka pomažu u letu i pomoću njih migriraju na velike udaljenosti, što nije neobično niti kod drugih kukaca (npr. Psocoptera: Broadhead, 1954). Izduženija krila smatraju se također prednošću kod nošenja jaja (Nylin i Gotthard, 1998). U istraživanjima na kukuruznoj zlatici utvrđen je prestanak dugih letova nakon završetka razvoja jajnika (Isard et al., 2004). Kod nekih vrsta kukaca, npr. krumpirov moljac *Phthorimaea operculella*, Zeller utvrđena su duža krila kod mužjaka što im omogućuje duge letove u potrazi za ženkama i hranom (Hernández-L i sur., 2010). Mužjaci mediteranske voćne muhe nemaju potrebu za dugim letovima jer su upravo mužjaci spol koji ispušta feromone kojima privlače ženke, koje lete na veće udaljenosti kako bi ih pronašle, kopulirale s njima te osigurale

egzistenciju vrste (Hendrichs i sur., 2002). Evidentno je da ženke mediteranske voćne muhe imaju veće zahtjeve za učestalijim i dužim letovima kroz duži vremenski period što ih čini spolom odgovornim za proširenja u nova područja.

2) U ovom istraživanju populacije mediteranske voćne muhe prikupljene u mandarinama značajno su se razlikovale od muha prikupljenima u drugim domaćinima (breskva, smokva). Kod mužjaka su te razlike vrlo male i očituju se u nešto dužim krilima jedinki iz mandarine koje je rezultat izduživanja središnjih žila krila u položaju specifičnih točaka 4, 5 i 8, 9. Kod ženki razlike u obliku krila su veće i možemo uočiti izduženija krila muha iz mandarine kroz izduživanje središnjih žila u istim specifičnim točkama kao i kod mužjaka (4, 5 i 8, 9). Kao što je rečeno u prethodnom odlomku, izduženija krila karakteristika su jedinki koje provode migratorne letove, posebno s ciljem ovipozicije (Nylín i Gotthard, 1998).

Temperatura i hrana kojom se hrane ličinke glavni su faktori koji modificiraju veličinu tijela kukaca, a time i veličinu krila (Atkinson i Sibly, 1997; Angilletta i Dunham, 2003). Kod većine ektotermnih organizama niža temperatura usporava razvoj, a povećava veličinu tijela (Hoffman i sur., 2007). Kakvoća (izražena kroz kemijski sastav) biljnog domaćina u kojem se jaja i ličinke muhe razvijaju također utječe na veličinu tijela odraslih oblika. Biljni domaćini lošijih hranidbenih vrijednosti u interakciji s temperaturom mogu izmijeniti norme toplinskih reakcija u tijelu kukca što dovodi do smanjenja tijela kukaca (Stamp 1990). Inglesfield (1982) je dokazao kako su se iz jaja mediteranske voćne muhe razvijanih u naranči razvile veće odrasle muhe u odnosu na jedinke razvijene u krušci. U istraživanju Navarro-Campos i sur. (2011) utvrdili su veće odrasle mediteranske voćne muhe razvijene iz ličinki podvrgnutih nižim temperaturama. Isti autori uočili su veće odrasle muhe razvijene iz inficiranih plodova sakupljenih u listopadu u odnosu na one prikupljene u kolovozu i rujnu kada su temperature bile značajno više. Plodovi iz kojih su se razvile populacije istraživane u ovome radu prikupljene su se u periodu sa sličnim temperaturnim uvjetima, stoga možemo zaključiti kako temperatura nije uzročnik dokazane varijabilnosti populacija iz mandarina. Hranidbena vrijednost svih istraživanih plodova vrlo je slična, udio proteina, masti i vlakana gotovo je identičan u sva tri ploda domaćina, dok je nešto veća koncentracija šećera prisutna u smokvi (Vinson, 1999; Asharf i sur., 2011; Ferenčić i sur., 2016). Ono što razlikuje plod mandarine u odnosu na plod breskve i smokve jest velika količina aspartanske kiseline koje u 100 g mandarine ima preko 130 mg (Ferenčić i sur., 2016). Ova kiselina sudjeluje u sintezi proteina, uključena je u sintezu hormona rasta te potpomaže proces pretvorbe ugljikohidrata u energiju (Roshanzamir i Safavi, 2017). Iz navedenoga možemo zaključiti kako je aspartanska kiselina mogući razlog većih krila, a time i veće varijabilnosti mediteranske voćne muhe iz mandarina u usporedbi s ostalim domaćinima u istraživanju. U budućim procjenama prilagodbe mediteranske voćne muhe na nove domaćine valja voditi računa o količini aspartanske kiseline kao mogućeg čimbenika koji uvjetuje razvoj jedinki većih letačkih sposobnosti, a time i veće invazivne prirode.

3) SIT (Sterile Insect Technique) je ekološki u potpunosti prihvatljiva metoda suzbijanja štetnih organizama u poljoprivredi temeljena na ispuštanju sterilnih mužjaka koji će omesti

proces kopulacije divljih populacija štetnika (Juran i Gotlin Čuljak, 2019). Da bi ova tehnika bila izvediva, postupku moraju biti podvrgnute veće i izolirane geografske površine, kao što su kod nas neki otoci ili područje doline rijeke Neretve gdje se SIT već dulji niz godina uspješno primjenjuje za suzbijanje mediteranske voćne muhe (Bjeliš, 2012). Cijela je tehnika temeljena na sposobnosti sterilnih mužjaka da ometu proces kopulacije divljih jedinki. Obzirom da ženke biraju veličinom dominantnije i udvaračkim predispozicijama sposobnije mužjake to dodatno problematizira primjenu SIT-a (Anjos-Duarte i sur., 2010; De Aquino i sur., 2014). De Aquino i sur. (2014) dokazali su kako ženke za kopulaciju biraju veće mužjake čak i kad je odnos manjih i većih mužjaka 5:1. Sposobnost „udvaranja“ mužjaka uz njegovu veličinu presudan je čimbenik za izbor partnera kod ženki u periodu kopulacije. Osim toga dokazano je kako mužjaci divljih populacija imaju bolje sposobnosti „udvaranja“ te ženke za kopulaciju češće biraju divlje mužjake iako su ponekad sterilni mužjaci uzgojeni u laboratoriju veličinom dominantniji (De Aquino i sur., 2014). Rezultati ovog istraživanja dokazuju značajnu varijabilnost sterilnih u odnosu na divlje populacije mediteranske voćne muhe. Jedinke oba spola sterilne populacije imaju manja i uža krila u odnosu na sve divlje populacije. Krila sterilnih muha su uska i kratka što je rezultat skraćivanja žila u položaju specifičnih točaka 1, 5, 8, 9, 10-12. Navedene točke nalaze se na radijalnim žilama te na medijalnoj i analnoj žili koje su ključno anatomske obilježje za razlikovanje morfotipova temeljem različitih krila vrsta iz porodice voćnih muha (Van Cann i sur., 2015). Nije poznato koji od postupaka sterilizacije uvjetuje takve morfološke promjene, ali zasigurno da one čine sterilne jedinke manje konkurentne nakon ispuštanja u prirodne uvjete. Kako je konkurentnost sterilnih jedinki u područjima ispuštanja vrlo niska, to opravdava potrebu za ispuštanjem iznimno velikog broja sterilnih mužjaka kod provođenja SIT-a.

4) Generalno ovo istraživanje dokazalo je određenu varijabilnost populacija utvrđenu na istraživanome području površine nešto više od 2700 ha, prvenstveno uvjetovanu biljkom domaćinom, što je rezultat razvoja lokalizirane fenotipske plastičnosti populacije. Fenotipska plastičnost definira se kao promjena fenotipskog izražavanja genotipa kao odgovor na agroekološke čimbenike (Schlichting, 2004) i pokazalo se da ima značajne evolucijske posljedice (Schlichting, 2004; Murren i sur., 2005). U prethodnim istraživanjima (Lemic i sur., 2020) nije utvrđena jasna varijabilnost između populacija s užeg područja južne Dalmacije. Nisku populacijsku varijabilnost mediteranske voćne muhe utvrdili su i Gasparich i sur. (1997) i Gasperi i sur. (2002) koristeći biokemijske i molekularne markere. Prema nalazima navedenih autora, populacije mediteranske voćne muhe genetski su slične diljem Sredozemlja. Mnoga istraživanja sugeriraju da novoinvazivne vrste imaju višu razinu fenotipske plastičnosti, ali empirijski testovi ove teorije su vrlo rijetki (Hulme, 2008; Davidson i sur., 2011). Iako se smatra invazivnom vrstom, mediteranska voćna muha prisutna je u hrvatskim primorskim krajevima više od sedamdeset godina (Kovačević, 1960). U tom periodu mediteranska voćna muha uspješno se prilagodila na brojne domaćine (breskva, mandarina, nektarine, šljiva, smokva, naranča i sl.) (Bjeliš i sur., 2014). Utvrđena, ali niska morfološka varijabilnost između populacija iz očito vrlo različitih agroekoloških sustava (biljka domaćin) istraženih u ovom istraživanju, ukazuje na stabilnost genotipa mediteranske voćne muhe, što se odražava stabilnim

fenotipom (objašnjeno u Bouyer i sur., 2007). Niske varijabilnosti očitovane kroz spolni dimorfizam te uvjetovane načinom uzgoja (sterilne vs. divlje) i biljkom domaćinom karakteristika su invazivnih vrsta koji žive u promjenjivim okolišnim uvjetima. Suprotno očekivanju, u istraživanju je uočena varijabilnost (struktura) populacija porijeklom s područja Opuzena u odnosu na ostale geografske lokalitete s kojih su istraživane populacije uzorkovane. Kako je upravo područje Opuzena bila prva i najintenzivnije lokacija primjene SIT tehnike u Hrvatskoj (Bjeliš, 2011; Bjeliš i sur., 2012), abiotsko mijenjanje životnih uvjeta na tome području mogući je uzrok utvrđene varijabilnosti opuzenske populacije u odnosu na ostale populacije. Iako su lokacije geografski bliske, zračna udaljenost između dvije najudaljenije istraživane populacije iznosi 71,5 km što jedinke mediteranske voćne muhe nisu sposobne preletjeti. Imajući na umu veliku rasprostranjenost i invazivnost mediteranske voće muhe kao i dokazanu sposobnost prilagodbe različitim agroekološkim uvjetima (fenotipska plastičnost), u vremenima značajnih klimatskih promjena možemo očekivati njeno proširenje i prilagodbe u prostore i na domaćine koji još do sada nisu zabilježeni.

5) Primjenom metoda tradicionalne morfometrije, odnosno linearnim mjerenjem dužine, širine i površine krila te širine pronotuma dokazana je određena varijabilnost obzirom na različitost biljnih domaćina u kojima su se razvijale istraživane populacije. Istom metodom utvrđena je i varijabilnost između istraživanih populacija mužjaka i ženki. Varijabilnost dokazana metodama tradicionalne morfometrije značajno je manja od one koju smo dokazali primjenom metoda geometrijske morfometrije. Geometrijska morfometrija smatra se pouzdanijom metodom za dokazivanje varijabilnosti istraživanih populacija, omogućuje detaljniju analizu oblika krila i otkrivanje suptilnijih razlika među populacijama ili unutar populacija istraživanih organizama (Rohlf i Marcus, 1993; Klingenberg, 2016). S druge strane, tradicionalna morfometrija može pružiti informacije o osnovnim dimenzijama određenih morfoloških cjelina, poput duljine ili širine, ali ne može pružiti detaljne informacije o obliku i prostornom rasporedu karakterističnih točaka na istraživanoj morfološkoj cjelini (u ovom slučaju krilima kukaca) (Rohlf i Marcus, 1993; Ivanović i Kalezić, 2009). Analizom rezultata linearnog mjerenja krila i pronotuma mediteranske voćne muhe može se zaključiti kako su krila ženki duža te su pronotumi ženki širi u odnosu na krila i pronotume mužjaka, što potvrđuje rezultate geometrijske morfometrije i ukazuje na bolje letačke sposobnosti ženki. Isti trend bilježe i drugi istraživači na brojnim drugim kukcima. Stillwell i sur. (2010) istraživali su veličinu tijela mužjaka i ženki kod gotovo 2000 vrsta kukaca i utvrdili da velika većina vrsta (do 95%) iskazuje spolni dimorfizam u veličini tijela u korist ženki. Primjenom metoda tradicionalne morfometrije Pajač Živković i sur. (2022) dokazali su značajan spolni dimorfizam između istraživanih populacija ženki i mužjaka smeđe mramoraste stjenice (*Halyomorpha halys*), vrijednosti svih mjerenih parametara bile su značajno veće kod populacija ženki.

Veće statistički značajne vrijednosti dužine i površine krila dokazane su kod populacija razvijenih iz plodova mandarine (dužina: 6,2 – 7,2 mm i površina: 18 – 21,7 mm), nego kod populacija razvijenih iz plodova breskve (dužina: 6,2 – 6,7 mm i površina: 18 – 20,8 mm), odnosno smokve (6,2 – 6,9 mm i površina: 18 – 21,0 mm). Varijabilnost dokazana linearnim mjerenjem, još je jedna potvrda spomenute teze da različite energetske vrijednosti plodova i

temperaturni uvjeti u kojima se populacije štetnika razvijaju utječu na njihovu varijabilnost, a posljedično tome i na potencijal njihove prilagodbe i širenja (Atkinson i Sibly, 1997; Vinson, 1999; Angilletta i Dunham, 2003; Asharf i sur., 2011; Ferenčić i sur., 2016).

6) Srednje vrijednosti omjera raspona krila populacija razvijenih iz breskve (6,99), smokve (7,05) i mandarine (7,51) statistički su značajne te također potvrđuju varijabilnost između populacija mediteranske voćne muhe razvijenih iz različitih biljnih domaćina. Omjer raspona krila (AR) smatra se najvažnijim geometrijskim elementom koji opisuje krila kukaca, pomoću njega se kvantificira oblik krila i određuju letne sposobnosti pojedinih vrsta (Altizer i Davis, 2010). Phillips i sur. (2015) navode kako su krila s vrijednostima AR (>10) duža i tanja te da su takva krila prikladnija za dulje letove, izdržljivija te da se tijekom leta troši manje energije. Dok su krila s vrijednostima AR (<10) kraća i zaobljenija, takva krila pogodnija su za kraće letove, imaju bolje manevarske sposobnosti tijekom leta, prikladnija su za letove iznad mora zbog bolje preciznosti te su pogodnija za let s teretom (primjerice; oplođene ženke s jajima). Navedena teza uz klimatske prilike zapravo je ključ uspješnog širenja mediteranske voćne muhe u obalnim krajevima te objašnjava njenu raširenost gotovo duž cijele obale Jadrana.

6. Zaključci

- Geometrijska morfometrija jednostavna je i jeftina tehnika koja se uspješno može koristiti za detekciju fenotipske varijabilnosti mediteranske voćne muhe nastale pod utjecajem genotipa, što ju čini validnom zamjenom za skuplje i izvedbeno kompliciranije genetičke metode.
- Utvrđen je spolni dimorfizam u svim istraživanim populacijama. Ženke mediteranske voćne muhe imaju izduženija i veća krila u odnosu na mužjake. Takva krila su aerodimичnijima, te manje podložna oštećenjima uslijed letova, ženka omogućavaju učestalije i duže letove kroz duži vremenski period što ih čini spolom odgovornim za proširenja u nova područja.
- Dokazana je varijabilnost u obliku krila mediteranske voćne muhe prikupljene u mandarinama u usporedbi s muhami iz drugih domaćina (breskva, smokva) posebno kod ženki. Mandarina u odnosu na breskvu i smokvu ima veliku količinu aspartanske kiseline koja sudjeluje u sintezi proteina, uključena je u sintezu hormona rasta te potpomaže proces pretvorbe ugljikohidrata u energiju. Aspartanska kiselina mogući je razlog većih krila i varijabilnosti mediteranske voćne muhe iz mandarina u usporedbi s ostalim domaćinima u istraživanju.
- Krila sterilnih muha (oba spola) su uska i kratka što je rezultat skraćivanja žila u položaju specifičnih točaka 1, 5, 8, 9, 10-12, što uvjetuje vrlo loše letačke sposobnosti ovih jedinki. I metodama tradicionalne morfometrije potvrđene su manje vrijednosti svih letnih parametara u populacijama sterilnih muha. Konkurentnost sterilnih jedinki u područjima ispuštanja vrlo je niska, što opravdava potrebu za ispuštanjem iznimno velikog broja sterilnih mužjaka kod provođenja SIT-a.
- Utvrđena, ali relativno niska morfološka varijabilnost između populacija iz vrlo različitih agroekoloških sustava (biljka domaćin) istraženih u ovom istraživanju, ukazuje na stabilnost genotipa mediteranske voćne muhe, što se odražava utvrđenim stabilnim fenotipom (fenotipska plastičnost). Niske varijabilnosti očitovane kroz spolni dimorfizam te uvjetovane načinom uzgoja (sterilne vs. divlje) i biljkom domaćinom karakteristika su invazivnih vrsta koji žive u promjenjivim okolišnim uvjetima.
- Uočena je varijabilnost populacija porijeklom s područja Opuzena u usporedbi s ostalim geografskim lokalitetima istraživanja. Kako je područje Opuzena prva i najintenzivnija lokacija primjene SIT tehnike u Hrvatskoj abiotско mijenjanje životnih uvjeta na tome području mogući je uzrok utvrđene varijabilnosti te populacije.
- Niska i lokalizirana (samo lokacija Opuzen) varijabilnost dokazana ovim istraživanjem upućuje na značajnu fenotipsku plastičnost mediteranske voćne muhe. Visoka fenotipska plastičnost muhe ključ je visoke sposobnosti prilagodbe ovoga organizma na agroekološke čimbenike razvoja što je karakteristika njene invazivnosti i mogućnosti brze prilagodbe genotipa na promjene okoliša, što čini mediteransku voćnu muhu prijetnjom i za nova područja (i domaćine) proširenja.
- Metodom tradicionalne morfometrije, linearnim mjerenjem osnovnih obilježja krila populacija mediteranske voćne muhe, dokazana je varijabilnost obzirom na različitost

biljnog domaćina. I ovom metodom utvrđena je veća vrijednost svih letnih parametara u populacijama muhe razvijene iz plodova mandarine.

- Razlika u srednjim vrijednostima omjera raspona krila statistički je vrlo značajna te također potvrđuje varijabilnost istraživanih populacija obzirom na različitost biljnog domaćina.

7. Literatura

1. Aboussaid H., El-Aouame L., El-Messoussi S., Oufdou K. (2010). Biological Activity of *Bacillus thuringiensis* (Berliner) Strains on Larvae and Adults of *Ceratitis Capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae). JEP 1: 337–345.
2. Adams D.C., Rohlf F.J., Slice D.E. (2004). Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. Italian Journal of Zoology 71: 5-16.
3. Altizer S., Davis A.K. (2010). Populations of monarch butterflies with different migratory behaviors show divergence in wing morphology. Dostupno na: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1558-5646.2009.00946.x> (pristupljeno: 20. svibnja 2023.)
4. Angilletta M.J., Dunham A.E. (2003). The temperature-size rule in ectotherms: simple evolutionary explanations may not be general. Am. Nat. 162: 332-342.
5. Anjos-Duarte C.S., Costa A.M., Joachim-Bravo I.S. (2010). Sexual behaviour of the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae): the influence of female size on mate choice. J. Appl. Entomol. 1:1–7.
6. APHIS (1992). Risk assessment, Mediterranean fruit fly. Washington D.C.: Planning and Risk Analysis Systems. Policy and Program Development. Animal and Plant Health Inspection Service USDA.
7. Asharf C.M., Iqbal S., Dildar A. (2011). Nutritional and physicochemical studies on fruit pulp, seed and shell of indigenous *Prunus persica*. Journal of Medicinal Plants Research 5(16): 3917-3921.
8. Atkinson D., Sibly R.M. (1997). Why are organisms usually bigger in colder environments? making sense of a life history puzzle. Trends Ecol. Evol. 12: 235-239.
9. Bakarić P. (1978). Mjere u sprječavanju pojave i širenja voćne muhe. Stanica za južne kulture, Dubrovnik. PPK Zagreb. Neretvanska, Opuzen.
10. Barnes B.N. (2016). Sterile Insect Technique (SIT) for Fruit Fly Control – The South African Experience. U: Fruit Fly Research and Development in Africa - Towards a Sustainable Management Strategy to Improve Horticulture. Ekesi S., Mohamed S., De Meyer M. (ur.) Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43226-7_19

11. Benitez H. A. (2013). Sexual Dimorphism Using Geometric Morphometric Approach. Dostupno na: <https://www.intechopen.com/books/sexual-dimorphism/sexual-dimorphism-using-geometric-morphometric-approach> (pristupljeno 25. svibnja 2021.)
12. Benitez H. A., Lemić D., Bažok R., Garalldo-Araya C. M., Mikac K. (2014). Evolutionary Directional Asymmetry and Shape Variation in *Diabrotica v. virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae): an example using hind wings. *Biological Journal of the Linnean Society* 111(1):110–118.
13. Benitez H., Parra L., Sepulveda E., Sanzana M. (2011). Geometric Perspectives of Sexual Dimorphism in the Wing Shape of Lepidoptera: the Case of *Synneuriasp.* (Lepidoptera: Geometridae). *Journal of the Entomological Research Society* 13(1): 53-60.
14. Bergsten D., Lance D., Stefan M. (1999). Mediterranean fruit flies and their management in the U.S.A. *The Royal Society of Chemistry* 10: 207-212.
15. Berrigan D.M., Scheiner S.M. (2004). Modelling the evolution of phenotypic plasticity. In *Phenotypic plasticity. U: Functional and conceptual approaches* DeWitt T. J., Scheiner S.M (ur.). Oxford, UK: Oxford University Press. str. 82–97.
16. Bjeliš M. (2007). Nazočnost sredozemne voćne muhe (*Ceratitis capitata* Wiedemann) u odabranim maslinicima srednje Dalmacije. *Poljoprivreda* 13: 29-34.
17. Bjeliš M. (2011). Pilot project of medfly – *Ceratitis capitata* Wied. (Diptera, Tephritidae) suppression by sterile insect technique in the Neretva river valley of Croatia. 10th Slovenian conference on plant protection with international participation, Društvo za Varstvo Rastlin Slovenije, str. 23.
18. Bjeliš M., Popović L., Kiridžija M., Ortiz G., Pereira R., (2014). Suppression of Mediterranean Fruit Fly Using Sterile Insect Technique in Neretva River Valley of Croatia. U: *Proceedings of the 9th International Symposium on Fruit Flies of Economic Importance*, Bangkok, Thailand, str. 29-45.
19. Bjeliš M., Popović L., Marušić I., Gakić S., Buljubašić I., Ivanović A., Arnaut P., Cardoso-Pereira R. (2012). Medfly suppression by sterile insect technique in Neretva valley of Croatia. 2nd TEAM International meeting, Abstract- Biological invasions of Tephritidae: scological and economic impacts. ZITI Publications str. 88.
20. Bjeliš M., Radunić D., Masten R. (2009). Metode suzbijanja mediteranske voćne muhe. Program i sažeci priopćenja 53. seminara biljne zaštite. *Glasilo biljne zaštite* 2009. str. 18-19.

21. Boller E.F. (1985). *Rhagoletis cerasi* and *Ceratitis capitata*. Handbook of Insect Rearing. Elsevier Science Ltd, Singh, P. (ur.) 2: 135-144.
22. Bonduriansky R. (2006). Convergent evolution of sexual shape dimorphism in Diptera. J. Morphol. 267: 602–611.
23. Bonizzoni M., Katsoyannos B.I., Marguerie R., Guglielmino C.R., Gasperi G., Malacrida A., Chapman T. (2002). Microsatellite analysis reveals remating by wild Mediterranean fruit fly females, *Ceratitis capitata*. Mol. Ecol. 11:1915–1921.
24. Bookstein F.L. (1991). Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
25. Bouyer J., Ravel S., Dujardin J.P., De Meeus T., Via L., Thévenon S., Guerrini L., Sidibé I., Solano P. (2007). Population structuring of *Glossina palpalis gambiensis* (Diptera: Glossinidae) according to landscape fragmentation in the Mouhoun river, Burkina Faso. Journal of Medical Entomology 44: 788-795.
26. Bradshaw A.D. (1965). Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. Adv. Genet., 13: 115–155.
27. Braughton S. (2012). Managing Mediterranean fruit fly in backyards. Garden note. Dostupno na: <https://nucleus.iaea.org/sites/naipc/twd/Documents/South%20Perth-Australia-Medfly.pdf> (pristupljeno 28. ožujka 2020.)
28. Braughton S. (2018). Mediterranean fruit fly life cycle & biology. Agriculture and food. Dostupno na: <https://www.agric.wa.gov.au/medfly/mediterranean-fruit-fly-life-cycle-biology> (pristupljeno 28. ožujka 2020.)
29. Broadhead, E. (1954) The infestation of warehouses and ships' holds by psocids in Britain. Entomologists Monthly Magazine 90, 103–105.
30. Camara M., Caro-Rian H., Ravel S., Dujardin J.P., Hervouet J.P., De Meeus T., Kagbadouno M.S., Bouyer J., Solano P. (2006). Genetic and Morphometric Evidence for Population Isolation of *Glossina palpalis gambiensis* (Diptera:Glossinidae) on the Loos Islands, Guinea. Journal of Medical Entomology 43: 853-860.
31. Carey J. (1992). The Mediterranean fruit fly in California: taking stock. Calif. Agr. 46(1): 12-17.
32. Cayol J.P. (1996). Box thorn, key early season host of the Mediterranean fruit fly. International Journal of Pest Management 42(4): 325-329.

33. Clabaut C. (2006). Morphometric, Molecular Phylogenetic and Gene Expression Approaches towards the Understanding of the Adaptive Radiations of the East African Cichlids. Department of Biology, University of Konstanz, Germany.
34. Cook D. C., Fraser R. W., Paini P. R., Wared A. C., Lonsdale W. M., De Barro P. J. (2011). Biosecurity and yield improvement technologies are strategic complements in the fight against food insecurity. Dostupno na: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0026084> (pristupljeno 22. svibnja 2021.)
35. Davidson A.M., Jennions M., Nicotra A.B. (2011). Do invasive species show higher phenotypic plasticity than native species and, if so, is it adaptive? A metaanalysis. *Ecol. Lett.* 14: 419-431.
36. De Aquino J.C., Joachim-Bravo I.S. (2014). Relevance of Male Size to Female Mate Choice in *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae): Investigations with Wild and Laboratory-Reared Flies. *Journal of Insect Behavior* 27:162–176.
37. De Meyer, M. (2000). Systematic revision of the subgenus *Ceratitis* Mac Leays.s. (Diptera, Tephritidae). *Zoological Journal of the Linnean Society* 128: 439–467.
38. Dumonteil E., Tripetm F., Ramirez-Sierra M.J., Payet V., Lanzaro G., Menu F. (2007). Assessment of *Triatoma dimidiata* dispersal in the Yucatan Peninsula of Mexico by Morphometry and Microsatellite Markers. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene.* 76: 930-937.
39. Duncan R. P., Blackburn T. M., Sol D. (2003). The ecology of bird introductions. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 34: 71–98.
40. Duyck P.F., David P., Quilici S. (2004). A review of relationships between interspecific competition and invasions in fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Ecological Entomology* 29: 511– 520.
41. Enkerlin W., Mumford J. (1997). Economic Evaluation of Three Alternative Methods for Control of the Mediterranean Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) in Israel, Palestinian Territories, and Jordan. *J Econ Entomol* 90: 1066–1072.
42. Ferenčić D., Gluhić D. (2016): Eterična ulja i nusproizvodi kore mandarine. *Glasnik zaštite bilja* 5: 44-49.
43. Ferenčić D., Gluhić D., Dudaš S. (2016). Hranjiva vrijednost mandarina (*Citrus reticulata* Blanco, *Citrus nobilis* Lour). *Glasnik zaštite bilja* 3: 39.

44. Fierst J.L. (2011). A history of phenotypic plasticity accelerates adaptation to a new environment. *J. Evol. Biol.* 24: 1992-2001.
45. Gasparich G.E., Silva J.G., Han H.Y., Mcpherson B.A., Steck G.J., Sheppard W.S. (1997). Population Genetic Structure of Mediterranean Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) and Implications for Worldwide Colonization Patterns. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 90: 790-797.
46. Gasperi G., Bonizzoni M., Gomulski L.M., Murelli V., Torti C., Malacrida A.R., Guglielmino C.R. (2002). Genetic Differentiation, Gene Flow and the Origin of Infestations of the Medfly, *Ceratitis capitata*. *Genetica* 116: 125–135.
47. Gaston K.J. (2003). The structure and dynamics of geographical ranges. Oxford University Press, Oxford.
48. Roff D.B. (1998). Heterochrony and allometry: the analysis of evolutionary change in ontogeny. *Biological Reviews* 73: 79-123.
49. Gidaszewski N.A., Baylac M., Klingenberg C.P. (2009). Evolution of sexual dimorphism of wing shape in the *Drosophila melanogaster* subgroup. *BMC Evol. Biol.* 9: 110.
50. Gilstrap F.E., Hart W.G. (1987). Biological control of the Mediterranean fruit fly in the United States and Central America. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Services Publication, ARS-56.
51. Gutierrez A.P., Ponti L. (2011). Assessing the invasive potential of the Mediterranean fruit fly in California and Italy. *Biological Invasions* 13: 2661-2676.
52. Helmuth B., Kingsolver J.G., Carrington E. (2005). Biophysics, physiological ecology, and climate change: does mechanism matter? *Annu. Rev. Physiol.* 67: 177–201.
53. Hendrichs J., Robinson A.S., Cayol J.P., Enkerlin W.R. (2002). Medfly Area-wide Sterile Insect Technique Programmes for Prevention, Suppression or Eradication: The Importance of Mating Behavior Studies. *Florida Entomologist* 85: 1-13.
54. Hernández-L, N., Barragán, Á.R., Dupas, S., Silvain, J.F. & Dangles, O. (2010) Wing shape variations in an invasive moth are related to sexual dimorphism and altitude. *Bulletin of Entomological Research* 100, 529-541.
55. Hoffmann A.A., Ratna E., Sgro`C.M., Barton M., Blacket M., Hallas R., De Garis S., Weeks A.R. (2007). Antagonistic selection between adult thorax and wing size in field released *Drosophila melanogaster* independent of thermal conditions. *J. Evol. Biol.* 20: 2219-2227.

56. Hulme P.E. (2008). Phenotypic plasticity and plant invasions: is it all Jack? *Funct. Ecol.* 22: 3-7.
57. Hulme P.E. (2009). Trade, transport and trouble: Managing invasive species pathways in an era of globalization. *J. Appl. Ecol.* 46(1): 10–18.
58. Inglesfield C. (1982). Larval hosts, adult body size and population quality in *Ceratitis capitata* Wied.: a laboratory study. *Annali della Facolta` di Agraria dell'Universita` di Sassari* 28: 25-39.
59. Isard, S.A., Spencer, J.L., Mabry, T.R. & Levine, E. (2004) Influence of atmospheric conditions on high-elevation flight of western corn rootworm (Coleoptera : Chrysomelidae). *Environmental Entomology* 33, 650-656.
60. Ivanović A., Kalezić M. (2009). Teorijske postavke i geometrijska morfometrija. *Biološki fakultet, Beograd.* str. 7-107.
61. James Rohlf F., Marcus L. F. (1993). A revolution morphometrics. *Trends in Ecology & Evolution*, 8(4): 129–132.
62. Juran I., Gotiln Čuljak T. (2019). Nekemijske mjere suzbijanja štetnih organizama. *Glasilo biljne zaštite* 19(5): 559 – 564.
63. Kendall D.G. (1977). The Diffusion of Shape. *Applied Probability* 9: 428-430.
64. Klassen W., Curtis C. F. (2005). History of the sterile insect technique. U: *Sterile insect technique*. Dyck V., Hendrichs J., Robinson A. (ur.). Dordrecht: Springer str. 3–36.
65. Klingenberg C.P. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources* 11: 353-357.
66. Klingenberg C.P. (2016). Size, shape, and form: concepts of allometry in geometric morphometrics. *Development Genes and Evolution*, 226: 113–137.
67. Klingenberg C.P., Leamy L.J., Routman E.J., Cheverud, J.M. (2001). Genetic architecture of mandible shape in mice: effects of quantitative trait loci analyzed by geometric morphometrics. *Genetics*. 157, 785–802.
68. Klingenberg, C.P., Zaklan S.D. (2000). Morphological Integration between Developmental Compartments in the *Drosophila* Wing. *Evolution* 54(4): 1273-1285.
69. Koehl M.A.R. (1996). When does morphology matter? *Annual Review of Ecology and Systematics* 27: 501-542.
70. Koentges G. (2008). Evolution of anatomy and gene control. *Nature* 451: 658-663.
71. Kovačević Z., (1960). Voćna mušica *Ceratitis capitata* W. (Diptera, Tephritidae) kao novi problem. *Agron. Glas.* 161-170.

72. Krainacker D.A., Carey J.R., Vargas R.I. (1987). Effect of larval host on life history traits of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*. *Oecologia* 73: 583-590.
73. Lance D.R., McInnis D.O., Rendon P., Jackson C.G. (2000). Courtship among sterile and wild *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in field cages in Hawaii and Guatemala. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 93(5): 1179–1185.
74. Lance, D.R., McInnis D.O. (2005). Biological basis of the sterile insect technique. U: Sterile insect technique: Principles and practice in area-wide integrated pest management. Dyck V.A., Hendrichs J., Robinson A.S. (ur.), Springer, Dordrecht, The Netherlands str. 69–994.
75. Lauder G.V. (1981). Form and function: structural analysis in evolutionary morphology. *Paleobiology* 7: 430-442.
76. Lauder G.V. (1982). Historical biology and the problem of design. *Journal of Theoretical Biology* 97: 57-67.
77. Lazarević M. (2014). Does geometric morphometrics of the wings venation in *Lysiphlebus „fabarum”* group of species (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) could be used for the identification to the species level. Master thesis, Faculty of Biology, Niš.
78. Lee C.E. (2002). Evolutionary genetics of invasive species. *Trends Ecol. Evol.* 17: 386–391.
79. Lemic D., Benitez H. A., Bjeliš M., Ordenes-Claveria R., Ninčević P., Mikac K., Pajač Živković I. (2020). Agroecological effect and sexual shape dimorphism in medfly *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) an example in Croatian populations. *Zoologischer anzeiger* 288: 118-124.
80. Lemic D., Benitez H.A., Čačija M., Kozina A., Bažok R. (2014). [Shape variations of *Agriotes ustulatus* in different environmental conditions](#). X. European Congress of Entomology, ECE 2014 Abstracts. Royal Entomological Society.
81. Lemić D., Benitez H. A., Bažok R. (2014). Intercontinental effect on sexual shape dimorphism and allometric relationships in the beetle pest *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte (Coleoptera: Chrysomelidae). *Zoologischer anzeiger* 3: 203-206.
82. Liquido N.J., Barr P.G., Cunningham R.T. (1998). MEDHOST: An Encyclopedic bibliography of the Host Plants of the Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (electronic database/program). USDA, Agriculture Research Service. ARS – 144 U: Fruit Fly Expert Identification System and Biosystematic Information Database. Thompson F.C. (ur.), Diptera Data Dissemination Disk (CD Rom).

83. Liquido N.J., Cunningham R.T., Nakagawa S. (1990). Host Plants of Mediterranean Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) on the Island of Hawaii (1949–1985 Survey). *J. Econ. Entomol.* 83: 1863–1878.
84. Lockwood J.L., Cassey P., Blackburn T. (2005). The role of propagule pressure in explaining species invasions. *Trends Ecol. Evol.* 20: 223–228.
85. Lodge D.M. (1993). Biological invasions: Lessons for ecology. *Trends Ecol. Evol.* 8:133–137.
86. Malacrida A.R, Gomulski L.M, Bonizzoni M., Bertin S., Gasperi G., Guglielmino C. R. (2007). Globalization and Fruitfly Invasion and Expansion: the Medfly Paradigm. *Genetica* 131: 1.
87. Manly B.F.J. (1986). *Multivariate Statistical Methods - A Primer*. Chapman and Hall Ltd. London, New York.
88. Maria I. (2010). Biology studies and improvement of *Ceratitis capitata* (Wiedemann) mass trapping control technique. Univ. LLEIDA. Universitat de Lleida.
89. Marsteller S., Adams D.C., Collyer M.L., Condon M. (2009). Six cryptic species on a single species of host plant: morphometric evidence for possible reproductive character displacement. *Ecol. Entomo.* 34: 66-73.
90. Meulemeester T.D., Michez D., Aytakin A.M., Danforth B.N. (2012). Taxonomic affinity of halictid bee fossils (Hymenoptera: Anthophila) based on geometric morphometrics analyses of wing shape. *Journal of Systematic Palaeontology* 10: 1-10.
91. Meyer M. (2000). Systematic revision of the subgenus *Ceratitis* MacLeay s.s. (Diptera, Tephritidae). *Zoological Journal of the Linnean Society* 128(4): 439-467.
92. Mikac K., Lemic D., Bažok R., Benitez A.H. (2017). Changes in corn rootworm wing morphology related to development of pest resistance. 26th IWGO Conference. IWGO IOBC Global, Peking str. 6-T 5.
93. Mikac K., Lemić D., Bažok R., Benitez H.A. (2016). Wing shape changes: a morphological view of the *Diabrotica virgifera virgifera* European invasion. *Biological invasions* 18(12): 3401-3407.
94. Mikac K.M., Douglas J., Spencer J.L. (2013). Wing Shape and Size of the Western Corn Rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) is Related to Sex and Resistance to Soybean-Maize Crop Rotation. *Journal of Economic Entomology* 106(4): 1517–1524.
95. Ministarstvo poljoprivrede (2021). Ministrica otvorila berbu mandarina u Opuzenu. Dostupno na: <https://poljoprivreda.gov.hr/vijesti/ministrica-otvorila-berbu-mandarina-u-opuzenu/3627> (pristupljeno 18. ožujka 2021.)

96. Ministarstvo poljoprivrede (2021). Popis registriranih sredstava za zaštitu bilja. Dostupno na: <https://fis.mps.hr/trazilicaszb/> (pristupljeno 18. svibnja 2021.)
97. Murren C.J., Denning W., Pigliucci M. (2005). Relationships between vegetative and life history traits and fitness in a novel field environment: impacts of herbivores. *Evol. Ecol.* 19: 58.
98. Narodne Novine (2013). NN80/2013. Zakon o zaštiti prirode.
99. Narodne Novine (2018). NN73/2018. Naredba o poduzimanju mjera za sprječavanje širenja i suzbijanje sredožemne voćne muhe - *Ceratitis capitata* (Wiedemann).
100. Navarro-Campos C., Campos J.M., Martinez-Ferrer M.T., Fibla J.M. (2011). The Influence of Host Fruit and Temperature on the Body Size of Adult *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) Under Laboratory and Field Conditions. *Environmental Entomology* 40(4): 931-938.
101. Novoseltsev V.N., Carey R.J., Novoseltseva J.A., Papadopoulos N.T., Blay S., Yashin A.I. (2004). Systemic mechanisms of individual reproductive life history in female Medflies. *Mech. Ageing. Dev.* 125: 77–87.
102. Nyamukondiwa C., Terblanche J.S. (2010). Within-generation variation of critical thermal limits in adult Mediterranean and Natal fruit flies *Ceratitis capitata* and *Ceratitis rosa*: thermal history affects short-term responses to temperature. *Physiological Entomology* 35(3): 255-264.
103. Nylin S., Gotthard K. (1998). Plasticity in life history-traits. *Annual Review of Entomology* 43: 63-83.
104. Orlić M., Marinović M. (2012). Primjena metode glavnih komponenti u različitim područjima istraživanja. *Društvo i tehnologija* 189-198.
105. Oxnard C. E. (1978). One biologist's view of morphometrics. *Annual Review of Ecology and Systematics* 9: 219-241.
106. Paini D.R., Sheppard A.W., Cook D.C., De Barro P.J., Worner S.P., Thomas M.B. (2016). Global threat to agriculture from invasive species. *PNAS* 113(27): 7575-7579.
107. Pajač Živković I., Mulamehmedović J., Goldel B., Lemić D. (2022). Sexual dimorphism of brown marmorated stink bug. *Journal of Central European Agriculture*, 2022, 23(1): 62-68.
108. Pajač Živković I., Lemić D., Mešić A., Barić B., Ordenes, R., Benítez A.H. (2018). Effect of fruit host on wing morphology in *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): A first view using geometric morphometrics. *Entomological research* 4: 262-268.

109. Phillips N., Knowles K., Bomphrey J.R. (2015). The effect of aspect ratio on the leading-edge vortex over an insect-like flapping wing. Dostupno na: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-3190/10/5/056020> (pristupljeno 22. ožujka 2023.)
110. Pieterse W., Benítez H.A., Addison P. (2017). The use of geometric morphometric analysis to illustrate the shape change induced by different fruit hosts on the wing shape of *Bactrocera dorsalis* and *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Zoologischer Anzeiger*. 269 (2017) 110-116.
111. Pimentel D., Zuniga R., Morrison D. (2005). Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecol. Econ.* 52(3): 273–288.
112. Prakash A., Rao J., Mukherjee A.K., Berliner J., Pokhare S.S., Adak T., Munda S., Shashank P.R. (2014). Climate Change: Impact on Crop Pests. Applied Zoologists Research Association (AZRA), Central Rice Research Institute, Odisha, India 81-900947-2-7.
113. Radinsky L.B. (1985). Approaches in evolutionary morphology: a search for patterns. *Annual Review of Ecology and Systematics* 16: 1-14.
114. Radonjić S. (2011). Intenzitet napada mediteranske voćne muve *Ceratitis capitata* Wiedem. (Diptera, Tephritidae) na mandarinu na području Crnogorskog primorja. *Pestic. Phytomed.* 26(4): 355-361.
115. Reymat A.R. (2005). Chapter 2: Morphometrics. An Historical Essay, Stockholm. 17.str.
116. Ricklefs R.E., Miles D.B. (1994). Ecological and evolutionary inferences from morphology: an ecological perspective. U: *Ecological Morphology. Integrative Organismal Biology*. Wainwright, P.C., Reilly S.M. (ur.) University of Chicago Press, Chicago str.13-41.
117. Rohlf F.J. (1990). Morphometrics. *Annual Review of Ecology and Systematics* 21: 299-316.
118. Rohlf F.J. (2008). Digitize Landmarks and Outlines. Version 2.12. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook. New York.
119. Rohlf F.J., Corti M. (2000). Use of two-block partial least-squares to study covariation in shape. *Syst. Biol.* 49: 740-753.
120. Rohlf F.J., Marcus, L.F. (1993). A revolution in morphometrics. *Trends in Ecology& Evolution* 8: 129-132.

121. Romisa A., Elani R., Lacroix R., Ant T., Collad A., Finnegan L., Siciliano P., Mazaih A., Koukidon M. (2019). Preventative releases of self-limiting *Ceratitis capitata* provide pest suppression and protect fruit quality in outdoor netted cages. *International Journal of Pest Management* 66(2): 182-193.
122. Roshanzamir F., Safavi, S.M. (2017) The putative effects of D-Aspartic acid on blood testosterone levels: A systematic review. *Int. J. Reprod. Biomed.* 15(1): 1–10.
123. Roth V.L., Mercer J.M. (2000). Morphometrics in development and evolution. *American Zoologist* 40: 801–810.
124. Saki A.K., Allendorf F.W., Holt J.S., Lodge D.M., Molofsky J., With K.A. (2001). The population biology of invasive species. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 32: 305–332.
125. Sankarperumal G., Pandian T.J. (1991). Effects of temperature and *Chlorella* density on growth and metamorphosis of *Chironomus circumdatus* (Kieffer) (Diptera). *Aquat. Insects* 13: 167-177.
126. Scalera R., Genovesi P., Essl F., Rabitsch W. (2012). The impacts of invasive alien species in Europe. Technical Report. Luxembourg, European Environmental Agency. Dostupno na: <http://www.eea.europa.eu/publications/impacts-of-invasive-alien-species> (pristupljeno 7. svibnja 2021.)
127. Schlichting C.D. (1986). The evolution of phenotypic plasticity. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 17: 667–693.
128. Schlichting C.D. (2004). The role of phenotypic plasticity in diversification. U: *Phenotypic Plasticity: Functional and Conceptual Approaches*. deWitt T.J., Scheiner, S.M. (Ur.) Oxford University Press: Oxford, U.K. str. 191-200.
129. Schutze M.K, Jessup A., Clarke A.R. (2011). Wing shape as a potential discriminator of morphologically similar pest taxa within the *Bactrocera dorsalis* species complex (Diptera: Tephritidae). *Cambridge University Press* 102: 103-111.
130. Sciaretta A., Tabilio M.R., Lampazzi E., Ceccaroli C., Colacci M., Trematerra R. (2018). Analysis of the Mediterranean fruit fly [*Ceratitis capitata* (Wiedemann)] spatio-temporal distribution in relation to sex and female mating status for precision IPM. *PLoS ONE* 13(4): e0195097.
131. Siciliano P., He X., Woodcock C., Pickett J., Field L., Birkett M., Kalinova B., Gomulski L., Scolari F., Gasperi G. (2014). Identification of pheromone components and their binding

- affinity to the odorant binding protein CcapOBP83a-2 of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*. Insect Biochem. Mol. Biol. 48: 51–62.
132. Silva-Neto A.M., Dias V.S., Joachim-Bravo I.S. (2012). Comportamento reprodutivo de *Ceratitis capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae): Efeito do tamanho dos machos sobre o seu sucesso de cópula. Entomo Brasilis (Vassouras). Dostupno na: <https://www.entomobrasilis.org/index.php/ebras/article/view/ebrasilis.v5i3.182> (pristupljeno 22. travnja 2021.)
 133. Stamp N. E. (1990). Growth versus molting time of caterpillars as a function of temperature, nutrient concentration and the phenolic rutin. Oecologia 82: 107-113.
 134. Stillwell R. C, Blanckenhorn W. U., Teder T., Davidowitz G., Fox C. W. (2010) Sex differences in phenotypic plasticity affect variation in sexual size dimorphism in insects: from physiology to evolution. Annual Review of Entomology, 55: 227-245.
 135. Swiderski D.L., Zelditch M.L., Fink W.L. (2000). Phylogenetic analysis of skullshape evolution in marmotine squirrels using landmarks and thin-plate splines. Histrix, the Italian Journal of Mammalogy 11(1): 49-75.
 136. Szyniszewska A.M., Tatem A.J. (2014). Global Assessment of Seasonal Potential Distribution of Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). PLoS One 9(11): e111582.
 137. Thomas M.C., Heppner J.B., Woodruff R.E., Weems H.V., Steck G.J., Fasulo T.R. (2001). Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Insecta: Diptera, Tephritidae). University of Florida, IFAS Extension, EENY – 214.
 138. Tominić A. (1951). Muha voćnih plodova (*Ceratitis capitata* Wied.) na primorju. Biljna proizvodnja 3: 132.-136.
 139. Tominić A., Brnetić D. (1960). Biološka ispitivanja voćne muhe (*Ceratitis capitata*) u 1959. godini. Biljna zaštita 59-65.
 140. Trussell G.C., Smith L.D. (2000). Induced defenses in response to an invading crab predator: an explanation of historical and geographic phenotypic change. Proc. Natl Acad. Sci. USA 97: 2123–2127.
 141. Umeh V.C., Olaniyan A.A., Ker J., Andir J. (2004). Development of citrus fruit fly control strategies for small-holders in Nigeria. Fruits 59(4): 265-274.
 142. Upton M.F.S., Mantel B.L. (2010). Methods for Collecting, Preserving, and Studying Insects and Other Terrestrial Arthropods. Australian Journal of Enomology 51: 4.

143. Van Cann J., Virgilio M., Jordaens K., De Meyer M. (2015). Wing morphometrics as a possible tool for the diagnosis of the *Ceratitis fasciventris*, *C. anonae*, *C. rosa* complex (Diptera, Tephritidae). *ZooKeys* 540: 489-506.
144. Van Kleunen M., Fisher M. (2005). Constraints on the evolution of adaptive phenotypic plasticity in plants. *New Phytol.* 166: 49–60.
145. Vinson J. (1999). The functional food properties of figs. *Cereal Foods World* 44(2): 82-87.
146. Walther G.R. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389–395.
147. Weems H.V., Thomas M.C., Heppner J.B., Woodruff H.V., Steck G.J., Fasulo T.R. (1981). Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Insecta: Diptera: Tephritidae). IFAS Extension. University of Florida 214: 1-16.
148. White I. M., Elson-Harris M.M. (1992). Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics. CAB International, Wallingford and ACIAR, Canberra.
149. White I. M., Elson-Harris M.M. (1994). Fruit Flies of Economic Significance. Their Identification and Bionomics. Wallingford, UK, CAB International.
150. White I.M., Meyer M., De Stonehouse J. (2001). Proceedings of the Indian Ocean Commission Regional Fruit Fly Symposium, Mauritius, Indian Ocean Commission, Mauritius str. 15-21.
151. Wootton, R.J. (1992) Functional morphology of insect wings. *Annual Review of Entomology* 37, 113-140.
152. Yuval B., Hendrichs J. (2000). Behavior of flies in the genus *Ceratitis*. *Phylogeny and Evolution of Fruit Flies (Tephritidae) Behavior*. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA str. 429-457.

Životopis

Pave Ninčević rođen je 18. travnja, 1998. godine u Zadru. U Zadru završava osnovnu te 2013. godine upisuje srednju školu; Gimnaziju Franje Petrića. Kroz srednjoškolsko obrazovanje veliki interes pokazuje za biologiju i kemiju, ljubav prema istima vuku ga u biotehničko znanstveno područje te 2017. godine upisuje Agronomski fakultet u Zagrebu. Odlučuje se za preddiplomski studij Fitomedicine. Poseban interes pokazuje za područje entomologije te je od 2019. član entomološke grupe. Želja za novim i dodatnim znanjima na području fitomedicine vuče ga i dalje te je od 2019. član Hrvatskog društva biljne zaštite. Sudjelovao je na brojnim znanstvenim i stručnim konferencijama i skupovima te startup natjecanjima, inkubatorima i radionicama. Autor je više stručnih te koautor na nekoliko znanstvenih radova. Njegova izvrsnost tijekom studiranja nagrađivana je nekoliko puta različitim stipendijama i nagradama, od kojih svakako vrijedi istaknuti nagradu „Milan Maceljski“ koju dodjeljuje Hrvatsko društvo biljne zaštite najuspješnijim studentima diplomskog studija Fitomedicine u Hrvatskoj te sveučilišnu stipendiju za izvrsnost za studente rangirane u 10% najuspješnijih tijekom pojedine akademske godine. Od stranih jezika govori i piše engleski jezik na razini C1 te talijanski jezik na razini B1.