

Polinacijska biologija odabranih skupina jednosupnica

Ljubičić, Lota

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:928715>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-11**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno – matematički fakultet

Biološki odsjek

Lota Ljubičić

Polinacijska biologija odabranih skupina jednosupnica

Završni rad

Zagreb, 2024.

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Lota Ljubičić

Polination biology of selected monocot groups

Bachelor thesis

Zagreb, 2024.

Ovaj završni rad je izrađen u sklopu studijskog programa Znanosti o okolišu na Botaničkom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno–matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Ivana Radosavljevića.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Završni rad

Polinacijska biologija odabranih skupina jednosupnica

Lota Ljubičić

Roosveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

U ovome radu obradit ću tematiku oprašivanja pojedinih skupina jednosupnica koje su pokazale najveći stupanj prilagodbe na oprašivače i okoliš koji nastanjuju. Jednosupnice, kao manja skupina unutar velike grupe kritosjemenjača, posjeduju iznimno velik broj mehanizama prijenosa polena. Kod porodica jednosupnica koje se po oprašivanju smatraju odvedenijima, došlo je do izmijene morfologije cvijeta kako bi privlačenje i zadržavanje oprašivača bilo uspješnije. Vrste koje su osigurale najveću preciznost u prijenosu polena, često su oprašivane samo jednom vrstom oprašivača, a oblikom i izgledom svoga cvijeta u potpunosti su mu prilagođene. Postupak prenošenja polena, koji se u najvećoj mjeri ostvaruje kukcima, predstavlja simbiozu u kojoj oba organizma imaju koristi. Zbog urbanizacije i industrijalizacije, promijene klime te intenzivnije upotrebe pesticida, velik broj staništa je postao ugrožen i pod direktnim utjecajem čovjeka. Osim zbog ravnoteže ekosustava i bioraznolikosti, velika važnost u razumijevanju i očuvanju biologije oprašivanja jednosupnica vezana je i uz globalnu proizvodnju hrane.

Ključne riječi: oprašivanje, oprašivači, jednosupnice, polen,

(32 stranica, 8 slika, 0 tablica, 39 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u središnjoj biološkoj knjižnici.

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Radosavljević

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Biology

Polination biology of selected monocot groups

Lota Ljubičić

Bachelor thesis

In this paper, I will address the topic of pollination in certain groups of monocots that have demonstrated the highest degree of adaptation to their pollinators and the environments they inhabit. Monocots, as a smaller group within the larger clade of angiosperms, exhibit a significantly greater variety of pollen transfer mechanisms. In monocot families that are considered more derived in terms of pollination, floral morphology has evolved to enhance the attraction and retention of pollinators. Species that have achieved the highest precision in pollen transfer are often pollinated by a single pollinator species, and their flower shape and appearance are entirely adapted to it. The process of pollen transfer, which is predominantly mediated by insects, represents a symbiotic relationship from which both organisms benefit. Due to urbanization, industrialization, climate change and the intensified use of pesticides, many habitats have become endangered and are directly impacted by human activity. Other than ecosystem balance and biodiversity, understanding and conserving the biology of monocot pollination is crucial for global food production, as well.

Keywords: pollination, pollinators, monocotyledones , polen

(32 pages, 8 figures, 0 tables, 39 references, original in: Croatian)

Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Radosavljević

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. POLINACIJA	2
3. PREGLED SKUPINA	5
3.1. Red Alismatales	5
3.1.1 Porodica <i>Araceae</i>	5
3.1.2. Porodica <i>Posidoniaceae</i>	8
3.1.3. Porodica <i>Hydrocaritaceae</i>	9
3.2. Red Asparagales	10
3.2.1. Porodica <i>Orchidaceae</i>	11
3.2.2. Porodica <i>Iridaceae</i>	15
3.2.3. Porodica <i>Hyacinthaceae</i>	20
3.3. Red Poales	23
3.3.1. Porodica <i>Poaceae</i>	24
4. ZAKLJUČAK	27
5. LITERATURA	28

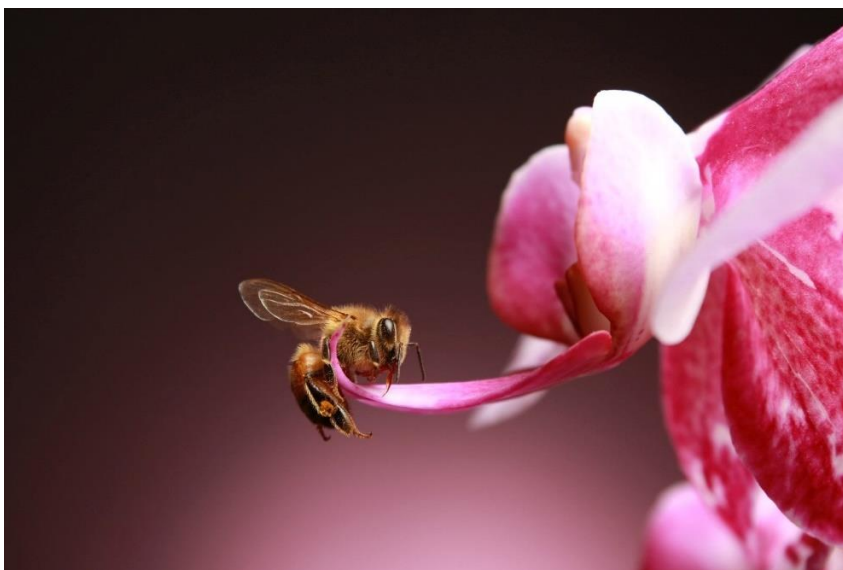
1. UVOD

Jednosupnice su biljna skupina koja zajedno s skupinom dvosupnica sačinjava kritosjemenjače. Jednosupnice obuhvaćaju oko 60 000 biljnih vrsta koje nastanjuju brojna staništa i monofiletskog su podrijetla. Karakteristična obilježja su paralelna nervatura listova, izostanak kambija zbog čega ne posjeduju sekundarni rast u debljinu, i kako im i samo ime govori, sjemenka im razvija samo jednu supku. Cvjetovi jednosupnica uglavnom su trimerni, a korijenje čupavo. Ova skupina sadržava neke od ekonomski i komercijalno najvažnijih vrsta od kojih su najpoznatije unutar reda Aspargales, ali i vrste od kritične važnosti za proizvodnju hrane koje se nalaze unutar porodice *Poaceae*.

Polinacija (oprašivanje) predstavlja prijenos polena na njušku tučka. Kod jednosupnica je često predmet istraživanja jer su unutar skupine zastupljeni brojni mehanizmi prijenosa polena. Osim mehanizama prijenosa polena koji mogu biti hidrofilijski, anemofilija i zoofilija, pojedine porodice unutar skupine jednosupnica pokazuju znatnu izmjenu morfologije cvijeta koja je prilagođena što uspješnijem privlačenju i zadržavanju oprašivača. Iako manji razred unutar velike skupine kritosjemenjača, jednosupnice pokazuju visoki stupanj evolucije kojim je omogućena preciznost u prijenosu polena, uspostava specijaliziranih odnosa s oprašivačima i nastanjivanje različitih staništa. U ovome radu obradit ću temu polinacije odabranih porodica jednosupnica. Spomenute porodice posjeduju jedinstvene načine prijenosa polena koji ih izdvajaju od ostalih porodica unutar skupine. Osim prijenosa polena, ovaj rad istražuje simbiotske odnose koji oprašivači uspostavljaju s pojedinim biljnim vrstama te biljne fenomene koji se na razini kritosjemenjača smatraju rijetkima, a mogu se pronaći unutar skupine jednosupnica.

2. POLINACIJA

Polinacija ili oprašivanje je proces prijenosa peludnih zrna na njušku tučka. Peludno zrno, koje u sebi krije muški gametofit, nepokretna je struktura. Uloga polinacije je prijenos muškog gametofita do jajne stanice sjemenog zametka unutar plodnice tučka gdje se događa oplodnja. Prijenos se vrši putem peludnih vektora koji mogu biti različiti biotski ili abiotski čimbenici. Abiotski ili neživi čimbenici su vjetar (te s njime povezana anemofilija) i voda (te s njom povezana hidrofilija). Oko 20% kritosjemenjača oprašuje se abiotski, od kojih se oko 85% oprašuje vjetrom, a oko 15% vodom (Nikolić, 2017). Neke porodice kritosjemenjače koje se oprašuju vjetrom (npr. Poaceae i Cyperaceae) to su obilježje stekli evolucijom u više navrata i danas se anemofilija kod njih smatra sekundarnim i odvedenim obilježjem. Bazalne porodice kritosjemenjača zadržale su izvorno obilježje oprašivanja kukcima, a prijelaz na anemofiliju kod nekih porodica kritosjemenjača nastupio je zbog promjena u okolišu koje su onemogućile uspješno oprašivanje kukcima (entomofilija) (Slika 1.). Otežana entomofilija i posljedični prijelaz na anemofiliju nastupit će uslijed smanjivanja broja ili nestanka oprašivača, nepodudaranja pojedinih perioda aktivnosti biljke i pogodnog oprašivača, dugotrajnih ili privremenih migracija oprašivača ili uslijed kompeticije različitih biljnih vrsta za iste oprašivače. Kada postoje uvjeti za prijelaz na anemofilno oprašivanje kod biljke koja je izvorno entomofilna, ona će prvo biti ambofilna; sposobna za oprašivanje vjetrom i kukcima i s prijelaznim obilježjima (Nikolić, 2017). Hidrofilija u kritosjemenjača rijetka je pojava prisutna u samo 15% porodica, a najzastupljenija je unutar skupine jednosupnica s 80% svih hidrofilnih vrsta. Biotski su čimbenici živi vektori (životinje) čije se oprašivanje može jednom riječju nazvati zoofilija ili prijenos polena životinjama. Ako polen prijenose kukci, oprašivanje je entomofilija, ako ga prenose ptice ornitofilija, šišmiši hiropterofilija itd. Osim spomenutih najzastupljenijih životinja koje prenose polen, u zoofiliji mogu sudjelovati kopneni sisavci, puževi i gmazovi. Biljke koje su oprašivane životinjama uspostavljaju s njima vrlo bliske odnose koji su rezultat promjena organizama koji su u dugotrajnoj interakciji (koevolucija). Životinje u biljkama pronalaze sklonište, izvor hrane, mjesto za parenje ili polaganje potomstva, a biljke od životinja dobivaju zaštitu i koriste ih za prijenos polena ili plodova. Samim time, u odnosu biljaka i životinja govorimo o simbiozi; međudnosu koji pozitivno utječe na oba organizma. Kada govorimo o polinaciji, u većini slučajeva radi se o simbiozi koja je pozitivna za sve sudionike - mutualizmu.



Slika 1: Kukac oprašuje cvijet orhideje (entomofilija)

(<https://www.vanillabeankings.com/blogs/recipes/hand-pollination-process-of-vanilla-beans-and-bees>, 9.9.2024.)

Vrste biljaka koje su oprašivane samo jednom vrstom životinja pokazuju visoku specijalizaciju u morfologiji cvjetova (npr. porodica *Orchidaceae*). Biljke koje oslobađaju polen kako bi ga oprašila jedna vrsta životinje nazivaju se specijalisti, dok su s druge strane generalisti – vrste koje su oprašivane različitim životinjama. Nakon što je polen biljke slobodan za prijenos, oprašivači dolaze direktno na mjesto nastanka polena, odnosno do prašnika. Takav polen, koji se oslobađa na mjestu nastanka, naziva se primarno prezentirani polen. Sekundarno prezentirani polen oslobađa se na dijelu cvijeta u kojemu nije nastao, ponekad i dok je cvijet još zatvoren.

S obzirom na to prenosi li se polen s jedne biljke na drugu ili unutar iste biljke, razlikujemo stranooprašivanje i samooprašivanje. Stranooprašivanje ili alogamija je predstavlja prijenos polena između različitih jedinki. Njezine prednosti su genetska rekombinacija i povećanje raznolikosti, te smanjena vjerojatnost ispoljavanja recesivnih, nepoželjnih gena. Kod samooprašivanja ili autogamije polen ostaje unutar istog cvijeta ili se prenosi na neki drugi cvijet iste jedinke. Većina biljnih vrsta različitim mehanizmima u cilju ima provesti stranooprašivanje i stranooplodnju, dok se samooprašivanje i samooplodnja javljaju kao sekundarna pojava. Gotovo kod 72 % vrsta, cvjetovi su dvospolni (sadrže andrecej i ginecej), građeni tako da su prašnici i njuška tučka na jako maloj udaljenosti (Nikolić, 2017). Kako bi se kod dvospolnih cvjetova spriječilo samooprašivanje, biljke su razvile brojne mehanizme. Jedan

od mehanizama je samosterilnost, gdje biljka u slučaju da dođe do prijenosa polena iste jedinke do njuške tučka, sprječava njegovo klijanje. Ako se polen neke druge vrste nađe na njuški tučka, polenovo zrno će razviti polenovu mješanicu, koja će dovesti muške spolne stanice do jajne stanice, te posljedične oplodnje. Čest mehanizam zaštite od samooprašivanja kod dvospolnih cvjetova je dihogamija. Ona se može očitovati kao protoandrija, odnosno prvotni razvoj prašnika pa tek nakon toga tučka ili kao protoginija, gdje se prvo razvija tučak, a nakon njega prašnici. Protoginija je puno rjeđa i smatra se jednim od najstarijih mehanizama za sprječavanje samooprašivanja (Nikolić, 2017).

Puno rjeđe su biljne vrste s jednospolnim cvjetovima, tj. one čiji cvjetovi posjeduju samo andrecej (muški cvjetovi) ili samo ginecej (ženski cvjetovi). Dvodomne biljke, koje imaju muške i ženske cvjetove odvojene na različite jedinke, u potpunosti osiguravaju stranooprašivanje. Prisutna je u samo 4% kritosjemenjača i to zbog neisplativosti (Nikolić, 2017). Naime, jedinke koje imaju samo muške cvjetove sudjeluju samo u proizvodnji polena, ali ne stvaraju plodove i sjemenke, već tu ulogu u potpunosti preuzimaju jedinke sa ženskim cvjetovima. Biljke koje razvijaju jednospolne cvjetove na istoj jedinci nazivaju se jednodomne. Zastupljene su među 5 % kritosjemenjača i imaju veći rizik od samooprašivanja i samooplodnje (Nikolić, 2017). Često razvijaju već spomenutu dihogamiju u obliku protoandrije ili protoginije. Polen koji andrecej cvijeta proizvodi u svrhu oprašivanja ima ključnu ulogu u privlačenju kukaca koji ga koriste kao hranu. Ipak zbog važnosti koju polen ima za biljku, ona se okreće drugim metodama privlačenja oprašivača, poput nektara u funkciji atraktanta. Boja cvjetova ima veliku ulogu u privlačenju oprašivača jer je prilagođena spektru boja koji je oprašivač sposoban raspoznati. Tako na primjer, pčele i ose ne vide crvenu boju, dok su ptice posebno sklone cvjetovima narančaste i crvene boje (Nikolić, 2017). U vizualnoj komunikaciji veliku ulogu imaju šare vodilje koje usmjeravaju oprašivače prema nektarijima, mjestima proizvodnje nektara. Kemijska komunikacija između biljaka i životinja, koja se temelji na proizvodnji kemijskih sredstva za podraživanje, privlači oprašivače koji proizvedene mirise povezuju s hranom. Pretpostavlja se da kemijski signali imaju veću ulogu od vizualnih, zbog toga što čak i najmanje promjene u sastavu proizvedenih tvari, oprašivači uočavaju, reagiraju na njih i pamte mjesto izvora tih mirisa (Nikolić, 2017).

Jedan od ključnih razloga specijalizacije biljaka i prilagodbe na točno određene oprašivače je „konstantno posjećivanje“ cvijeta. Time je omogućen ciljni prijenos polena i uspješnija polinacija. Sve veća konstantnost posjećivanja omogućila je prilagodbe u veličini, položaju i obliku fertilnih dijelova cvijeta (Nikolić, 2017).

3. PREGLED SKUPINA

3.1. Red Alismatales

Ovaj red jednosupnica obuhvaća 4800 vrsta koje nastanjuju vodena i kopnena staništa. One koje su akvatičke, predstavljaju važan dio staništa za ribe i imaju veliku ulogu u učvršćivanju i sprječavanju erozije obale. Red sadržava 14 porodica, 166 rodova i oko 4800 vrsta. Nastanjuju pretežito temperaturno umjerena i tropska područja, a mogu se pronaći na svim kontinentima osim Antarktike. Od 14 porodica unutar reda Alismatales, u ovom radu obradit ću tri porodice: *Araceae*, *Posidoniaceae* i *Hydrocaritaceae*.

3.1.1 Porodica *Araceae*

Porodica obuhvaća više od 4000 vrsta raspodijeljenih unutar 114 rodova, a postoji i 8 potporodica. Predstavnici porodice *Araceae* mogu se pronaći svugdje u svijetu, ali se najviše pojavljuju u tropskim područjima. Često su penjačice, kao i ukorijenjene ili slobodno – plutajuće vodene biljke. Većina vrsta ima karakterističnu peteljku i list koji, za razliku od ostalih predstavnika jednosupnica, pokazuje nervaturu žila koja nije paralelna. Listovi u većini slučajeva sadrže spoj kalcijev oksalat koji je pod mikroskopom vidljiv u obliku igličastih kristala. Ovaj spoj pronađen je u više od 200 biljnih porodica. Konzumiranjem biljaka koje sadrže kalcijev oksalat, dolazi do iritacije sluznice koja obavija organe i usta te se takve biljke smatraju otrovnima. Cvjetovi mogu biti dvospolni ili jednospolni i uglavnom su ujedinjeni u strukturu poput šiljka koja se naziva spadiks. Ta nakupina cvjetova, odnosno cvat, okružena je pricvatnim listom, tzv. spatom.

Vrsta *Amorphophallus titanum* (Slika 2.) endemična je za otok Sumatru, a cvjeta svakih 4 do 10 godina. Zbog iznimne atraktivnosti, privlači velik broj turista, te nosi titulu najvećeg cvijeta na svijetu jer može postići visinu do tri metra. Kao i ostale vrste unutar porodice *Araceae*, ova vrsta građena je od pricvatnog lista, spate i spadiksa, specifično građenog cvata koji nosi sterilne i fertilne muške i ženske cvjetove. Ovakav oblik cvata povezan je sa specifičnim mehanizmom oprašivanja, te djeluje kao zamka za insekte oprašivače koje privlači povišenom temperaturom unutar spate i proizvodnjom mirisa koji podsjeća na raspadajuće meso. *Amorphophallus titanum* dominantno oprašuju muhe iz porodica *Sarcophagidae* ili kornjaši iz porodice *Silphidae*.



Slika 2. Cvijet vrste *Amorphophallus titanum*

(<https://www.usbg.gov/gardens-plants/corpse-flowers>, 9.9.2024.)

Vrsta *Arum maculatum* (Slika 3.) također posjeduje sposobnost stvaranja topline i zagrijavanja cvata na temperaturu višu od okoline. Pri tome ključnu ulogu imaju mitohondriji unutar stanica. Smatra se da to ima za ulogu zaštitu tkiva biljke u hladnijim područjima, te je također važno za privlačenje oprašivača. U večernjim satima, vrsta *Arum maculatum* počinje izlučivati neugodan miris, koji u kombinaciji s povišenom temperaturom cvata, podsjeća na raspadajuću životinju i tako privlači insekte, točnije *Psychoda phalaenoides* L. – muhu koja je dominantni oprašivač vrste *Arum maculatum* (Lack i Diaz, 1991). Osim sposobnosti proizvodnje topline i mirisa koji privlače oprašivače, ova vrsta je razvila poseban mehanizam kako bi osigurala uspješnu polinaciju. Cvat tj. spadiks je obavijen spatom koja djeluje kao zamka za insekte. Cvat je sastavljen je od 20-40 fertilnih ženskih cvjetova pri bazi, zatim slijedi nekoliko sterilnih dlačica koje su zapravo sterilni ženski cvjetovi i 60-100 fertilnih muških cvjetova iznad kojih se nalaze sterilne dlačice, tj. sterilni muški cvjetovi. Svi cvjetovi cvata su u potpunosti obavijeni spatom, a sam vrh spadiksa izviruje van i ne dodiruje spatu. Kada se spata počne otvarati (u početku u potpunosti zatvara i štiti mladi cvat u razvoju), fertilni ženski cvjetovi na bazi postaju receptilni, te se počinje oslobađati specifičan miris koji privlači ženke već

spomenute vrste dvokrilaca, *Psychoda phalaenoides* L. (Lack i Diaz, 1991). Prema C.T. Primeu (1960.), muha slijeće na spatu, prolazi i sterilne muške i sterilne ženske cvjetove dlake kojih su orijentirane prema dolje, te se tako bez poteškoća probija do baze spadiksa i komore koja je zapravo stupica za kukca. Dok dlake sterilnih ženskih cvjetova ne uvenu, muha ne može izaći iz ovoga dijela cvata, te kretanjem po komori u kojoj je zarobljena i uslijed pokušaja da je napusti, vrši oprašivanje pod pretpostavkom da je na svome tijelu imala polen prilikom dolaska na ovu jedinku. Ujutro neugodan miris iščezne, dlake sterilnih ženskih cvjetova uvenu, te kukac dolazi do fertilnih muških cvjetova koji tek sada oslobađaju polen. Na posljertku, dlake sterilnih muških cvjetova također uvenu, te na taj način omogućavaju konačni izlazak kukca iz cvata. Na taj je način spriječeno samooprašivanje te je istovremeno osigurano vrlo efikasno oprašivanje polenom druge jedinke. Fritz Knoll je 1926. u Dalmaciji istraživao polinaciju kod vrste *Arum nigrum*, rastom veće od *Arum maculatum* i s oba reda sterilnih dlačica podjednake dužine, dok je kod *Arum maculatum* gornji red dlačica znatno duži. Knoll je zaključio da muhe, *Psychoda phalaenoides* L, slijeću na spatu i upadaju u zamku zbog skliske površine. Upravo je to razlog zašto se muha ne može izvući, a samim time sterilne dlačice, za razliku od onoga što je smatrao C.T. Prime, nemaju nikakvu ulogu. Iako se radilo o različitim vrstama, mnogi znanstvenici su u godinama nakon radova Knolla i Primea, opisujući neku od vrsta iz roda *Arum*, kombinirali njihove tvrdnje i tako davali nova objašnjenja. 1990. godine u gradu Oxfordu provedeno je istraživanje kako bi se razjasnio mehanizam zamke kod vrste *Arum maculatum*. Na nekoliko desetaka jedinki, primijenjene su dvije metode mehaničke polinacije: unakrsno oprašivanje i samooprašivanje. Unakrsno oprašeni ženski cvjetovi plodonosili su u 57% do 69% slučajeva, a samooprašeni u 0% do 20% slučajeva. Time je zaključeno da je *Arum maculatum* ima iznimno slabu sposobnost samooplodnje. Promatrajući mehanizam polinacije u stvarnim uvjetima, utvrđeno je da se spata počinje otvarati u kasnijim jutarnjim satima, proizvodeći prepoznatljiv neugodan miris, a muhe se počinju skupljati u vrijeme sumraka ili kasnije. Većina ih je sletjela na spatu i upala u zamku pri bazi cvata, a mali broj bi samostalno ušao unutar strukture. Pokušale bi napustiti strukturu, ali bi ih gusto poredan sloj muških sterilnih cvjetova u tome spriječio. Sljedeći dan, neugodan miris bi nestao, a polenova zrna bi se s prašnika unutar strukture prenijela na muhe. Također, primijećeno je da su se sterilni cvjetovi prorijedili i zbog toga muhe, uspinjući se po klasu, napuštaju strukturu. Nakon što napuste biljku, muhe na svojim tijelima prenose polenova zrna do druge jedinke *Arum maculatum* koja ih privuče mirisom i toplinom i unakrsno oprašivanje je time osigurano (Lack i Diaz, 1990).



Slika 3. *Arum maculatum*. (<https://www.britannica.com/plant/cuckoopint>, 9.9.2024.)

3.1.2. Porodica *Posidoniaceae*

Unutar ove porodice pronalazimo samo jedan rod, *Posidonia* - morska trava. Niz karakteristike čine ovu porodicu posebno zanimljivom. Naime, smatra se da *Posidoniaceae* potječu iz ere mezozoika, a starosti im je procijenjena na 140 do 65 milijuna godina. Evolucijom je došlo do niza promjena kako bi se vrste unutar ove porodice prilagodile na morski okoliš. Rasprostranjene su uz obalu Sredozemnog mora te u vodama oko Australije. Ovo su višegodišnje biljke sa snažnim i monopodijalno razgranjenim podzemnim izdankom - rizomom. Listovi su dugi i uski, ukorijenjeni rizomima. Cvjetovi pokazuju radijalnu simetriju, dvospolni su, a svaki cvijet ima tri prašnika i jedan tučak. Mehanizam polinacije koji karakterizira porodicu *Posidoniaceae* iznimno se rijetko susreće.

Posidoniaceae je jedina porodica unutar reda *Alismatales* koja se oprašuje isključivo posredstvom vode. Postoji niz prilagodbi koje *Posidonia* mora zadovoljiti kako bi se uspješno oprašila u vodi. Veća količina polenovih zrna povećava vjerojatnost uspješne polinacije, a građa polena osigurava plutanje i rasprostranjivanje morskim strujama (Nikolić, 2017). Budući da se peludna zrna prenose isključivo vodom, unutar ove porodice dolazi do prave hidrofilije. Kada plod sazrije, oslobađa se kao mekana struktura bogata uljima koja pluta na površini vode. Otvara se po dužini, a iz svakog pojedinačnog ploda se nakon određenog vremena plutanja i udaljavanja od matične biljke, oslobađa po jedna sjemenka koja tone na dno gdje će očekivano doći do klijanja (Kuo i McComb, 1991).

3.1.3. Porodica *Hydrocaritaceae*

Porodica *Hydrocaritaceae* ili žabogriza se sastoji od 18 rodova koji su kozmopolitski rasprostranjeni i nastanjuju slatkovodna, morska ili brakička vodena tijela u kojima su potpuno ili djelomično uronjena. Predstavnici ove porodice uglavnom su diecični što znači da jedinka razvija samo muške ili ženske rasplodne organe. Cvjetovi su radijalno simetrični i tvore cvatove. Ova porodica je značajna zbog razvitka više različitih mehanizama polinacije. Rodovi *Apalante*, *Egeria*, *Hydrocharis*, *Otella* i *Stratiotes* oprašuju se privlačenjem kukaca, entomofilno, iako rastu u vodi (Nikolić, 2017). Rod *Blyxa* oprašuje se na isti način, ali bez aktivnog privlačenja kukaca. Ipak, upravo kukci donose peludna zrna, ali zbog toga što koriste plutajuće cvjetove kao privremeno mjesto odmora. Ostatak rodova koristi mehanizam oprašivanja posredovan vodom - hidrofilija. Hidrofilija je specifična i ujedno najbolje istražena u rodova *Hydrilla* i *Vallisneria* (Nikolić, 2017).

Rod *Hydrilla* sadrži jednu vrstu, *Hydrilla verticillata*. Može biti monecična ili diecična, a vrlo često se njezina polinacija opisuje kao eksplozivna. Cook (1982) i Tanaka (2002, 2003) zaključili su da se polinacija odvija isključivo u prisustvu Sunčeve svjetlosti. Muški cvjetovi se odvajaju još kao pupovi te se otvaraju kada dodirnu vodenu površinu i tada izbacuju polenova zrna u zrak. Hipantij ženskog cvijeta nagnje se prema površini vode, a perijant, tj. čaška i vjenčić, se otvara formirajući hidrofobnu strukturu poput lijevka. Iako se radi o hidrofiliji, smatra se da polenova zrna izbačena iz muških cvjetova do ženskih cvjetova stižu zrakom. Budući da je unutrašnjost perijanta iznimno suha i bez vode, Scultrope (1967.) je isključio mogućnost da polenova zrna do ženskog cvijeta dospijevaju vodom. Samim time, pelud koja bi upala u vodu, smatrala bi se nevažnom za polinaciju ženskog cvijeta.

Tanaka (2000) u svome radu provodi istraživanje kako bi razriješio sumnje oko hidrofilije vrste *Hydrilla verticillata*. Naime, on je smatrao da polenova zrna koja se nađu u vodi, imaju podjednako vjerojatnost polinacije. Zaključio je da muški cvjetovi eksplozivno izbacuju polen u radijusu od oko 5 centimetara, a ako je neki ženski cvijet prisutan u blizini, polen izravno završi unutar perijanta, kao što je do tada pretpostavljano. Međutim, veći broj polena završi u vodi, te biva dalje nošen tokom vode. Ako prođu u blizini ženskog cvijeta, bivaju usisani i nađu se na njuški tučka. Na polenu i ženskim cvjetovima četiri sata nakon mehaničke polinacije provedeni su enzimski testovi kako bi se utvrdila prisutnost aktivnih enzima i respiracija stanica što direktno ukazuje na sposobnost germinacije polenovih zrna. Aktivnost stanica polena prije ulaska u vodu bila je 94,4%, nakon 10 minuta u vodi 93,5%, a nakon 20 sati u vodi 43,8%. Tanaka je zaključio da je veći broj polenovih zrna koji je uspješno oprašio ženski cvijet *Hydrilla*

maculata došao putem vode, a ne iz zraka. Glavni pokazatelj toga bilo je opažanje da čak 80% polena pokazuje aktivnost enzima i respiracije stanice nakon pet sati u vodi, što se smatra dovoljnim vremenskim rasponom da polenova zrna uspiju doći do ženskog cvijeta. Kada dođe do njuške tučka, polen uspješno prolazi kroz peludnu mješanicu i dolazi do plodnice. Iako je nakon 20 sati u vodi više od 90% polena još uvijek plutalo, 55.6% od njih se raspuklo i bilo bezvrijedno za polinaciju. Upravo se raspuknuće zrna smatra ograničavajućim faktorom za polinaciju, dok njihovo potapanje nema toliko veliku ulogu. Zbog svih novosti koje je Tanaka iznio, zaključio je da je mehanizam polinacije kod *Hydrilla maculata* epihidrofilija.

Rod *Vallisneria* obuhvaća 14 akvatičkih vrsta koje obitavaju u umjerenim ili tropskim zemljopisnim širinama. Jedinke imaju tanke i duge listove te rizome preko kojih se mogu nespolno razmnožavati. Biljke su diecične, što znači da postoje jedinke koje razvijaju samo muške, odnosno samo ženske rasplodne organe. Polinacija je detaljno opisana u vrste *Vallisneria spiralis* (Kausik, 1939). Ženski cvjetovi imaju dugačke stabljike i razvijaju se u vodi. Unutar čaške nalaze se tri zakrčljale laticice i tri tučka. Za vrijeme polinacije, kada cvjetovi dopru do površine vode, stabljike prestanu rasti. Zbog napetosti koja nastaje uslijed povezanosti ženskog cvijeta na izdanak, na površini vode nastaje oku-neprijetna konusna udubina u kojoj ženski cvijet pluta (Kausik, 1939). Muški cvjetovi su veličinom manji, tvore cvat i imaju kratke stabljike koje ih drže pod vodom. Kada polenova zrna sazriju, muški cvjetovi se odvajaju od matične jedinke i otvaraju se. Plutaju do ženskog cvijeta nošeni tokom vode ili vjetrom. Već spomenuta konusna udubina ima ključnu ulogu u polinaciji; kada muški cvijet dođe do udubine, naginje se zbog niže razine površine. Tako se u vrijeme polinacije u jednoj udubini oko ženskog cvijeta može vidjeti više desetaka sitnih muških cvjetova. Polinacija je postignuta ili kontaktom između prašnika muškog i tučka ženskog cvijeta ili prenošenjem polena s muškog na ženski cvijet. Nakon što dođe do oprašivanja, stabljika ženskog cvijeta počinje stvarati zavojnice čime se skraćuje i tako povlači cvijet ispod površine vode. Tek tada dolazi do sazrijevanja ploda (Kausik, 1939).

3.2. Red Asparagales

14 porodica, 1122 rodova i više od 36000 vrsta obuhvaćeno je u ovom redu prepoznatljivom kao jednom od komercijalno najvažnijih. Veliki broj višegodišnjih vrtnih biljaka koje imaju lukovice, modificirane stabljike koje služe za skladištenje rezervi hrane, pripadaju u red Asparagales. Prema molekularnim analizama i mehanizmima polinacije, red je podijeljen na dvije velike skupine. Prva obuhvaća *Asparagaceae* i *Amaryllidiaceae*, a druga skupina

obuhvaća *Orchidaceae*, *Asteliaceae*, *Hypoxidaceae*, *Iridaceae*, *Asphodelaceae* i još nekoliko manjih porodica. Jedinke unutar ovog reda imaju mesnate stabljike od kojih se odvajaju dugi i uski listovi s paralelnom nervaturom tipičnom za jednosupnice. Ako biljka razvija cvjetove, oni su upečatljivi i jarkih boja. Kod brojnih porodica teško je raspoznati latice od lapova, budući da su i oni evolucijom postali jarko obojani. Zbog toga takvu cvjetnu strukturu, u kojoj ne razlikujemo latice i lapove, nazivamo tepala. Osnovni mehanizam polinacije je zoofilija, tj. oprašivanje životinjama. Gotovo sve porodice privlače oprašivače svojim jarko obojanim cvjetovima ili slatkim nektarom. Porodice poput *Orchidaceae* i *Iridaceae* otišle su korak dalje kako bi polinacija bila učinkovitija. Građa njihovog cvijeta u potpunosti je prilagođena prihvatu i zadržavanju kukca oprašivača.

3.2.1. Porodica Orchidaceae

Orhideje su s oko 25000 vrsta najveća porodica kritosjemenjača. Kozmopolitske su rasprostranjenosti, ali najbrojnije su u tropima. Porodica je u potpunosti terestrička, a većina orhideja su epifiti što znači da rastu na podlozi bez da se ukorijene, tj. korijen im slobodno visi. Suprotno mišljenju da ih to čini parazitima, one same proizvode hranu. Vodu upijaju iz okolnog zraka, a mogu živjeti kao saprofiti te iz organskog materijala uzimati potrebne nutrijente. Također, često ulaze u simbiotske odnose s gljivama koje nastanjuju njihovo korijenje. Iako je ova porodica ostvarila brojne prilagodbe u metabolizmu, ipak je najveća ona vezana uz polinaciju. Smatra se da su se orhideje odvojile od svojih srodnika prije oko 75 milijuna godina (Ramirez, 2007), a upravo je specijalizacija oprašivanja dovela do te evolucijske promijene.

Evolucijska prilagodba koja je unutar porodice *Orchidaceae* olakšala polinaciju je srastanje muških i ženskih rasplodnih organa u strukturu ginestomij. Ta prilagodba dovela je do redukcije broja prašnika u orhideja pa tako većina orhideja ima najviše tri prašnika. Štoviše, prema Key Royal Botanic Gardens (2013) više od 99% svih orhideja ima samo jedan prašnik. Izdužena struktura ginestomija ujedinjuje vrat tučka i prašnik koji se nalaze na samom kraju strukture, dok se plodnica tučka nalazi na suprotnom kraju. Ispod ginestomija nalazi se labelum, medna usna nastala izmjenom unutarnje latice perigona koja služi kao sletnica za oprašivače. Nektariji se nalaze na bazi labeluma. Kako bi se spriječilo rasprostranjivanje polena vjetrom, zrna obje teke, kojih ima od dva do osam, slijepljena su u strukturu zvanu polinij. Svaka teka na kojoj se nalaze slijepljena polenova zrna, zajedno s polovicom filamenta čine polinarij. Na svakom polinariju nalaze se ljepljiva tjelešca koja se slijepe za oprašivača tek kada on napušta cvijet

orhideje. S obzirom na to da oprašivač polen prikuplja pri izlasku iz unutrašnjosti cvijeta, mogućnost samooprašivanja, odnosno oprašivanja njuške tučka polenom istog cvijeta, svedena je na minimum. Cvjetovi mogu biti oprašeni životinjama iz skupine kralješnjaka i beskralješnjaka. Najčešći oprašivači su pčele i ose, opnokrilci (red Hymenoptera) koji čine oko 60% svih oprašivača (van Der Pijl i Dodson, 1966), ali to mogu biti i životinje poput malih ptica. Najučinkovitiju polinaciju imaju orhideje koje se oprašuju od strane samo jedne vrste kukaca. Scopece i sur. (2010) su zaključili da specijalizirano oprašivanje osigurava direktni prijenos polena i umanjuje vjerojatnost da će se polen prenijeti do različite vrste orhideje.

Wong i Schiestl (2002) utvrdili su da orhideje koriste različite metode kako bi primamili oprašivače i ne oslanjaju se samo na proizvodnju nektara. Ugrožena vrsta u Hrvatskoj, pčelinja kokica (*Ophrys apifera*) (Slika 4.), jedan je od najpoznatijih primjera mimetizma - fizičkog oponašanja drugog organizma. Labelum, medna usna ove orhideje podsjeća na ženku pčele *Eucera spp.* s kojom se mužjak pokušava pariti, a ponekad zalazi dublje u cvijet u potrazi za još ženki. Tada se polen zalijepi za dorzalnu stranu mužjaka pčele. Nakon što napusti cvijet, kada mužjak pčele ponovno uoči cvijet *Ophrys apifera*, opet će se pokušati pariti i prenijet će polen na njušku tučka sadržanoj u strukturi ginestomija. Taj proces, gdje se kukci pokušaju pariti s cvijetom nekih vrsta orhideja, naziva se pseudokopulacija.



Slika 4. Pčelinja kokica (*Ophrys apifera*) koja mimikrijom privlači mužjake pčela *Eucera spp.*
(<https://www.shutterstock.com/search/bee-orchid>, 9.9.2024.)

Osim oponašanjem, prema Wongu i Schiestlu (2002) cvjetovi porodice Orchidaceae mogu privući oprašivače i ispuštanjem spojeva koji podsjećaju na feromone mužjaka ili izlučivanjem spojeva koje oprašivači mogu iskoristiti za obranu ili privlačenje partnera. DeVries i Stiles (1990) su istraživali vrstu orhideje *Epidendrum paniculatum* na području Costa Rica. Otkrili su da jedinka sintetizira posebne alkaloidne koji mužjaci leptira iz potporodica *Arctiinae*, *Ithomiinae* i *Danainae* koriste za obranu i pronalazak ženke. Nakon provedenog istraživanja, zaključili su da su gotovo jedini insekti koji su bili privučeni cvijetu *Epidendrum paniculatum*, bili već spomenuti leptiri koji koriste alkaloidne iz cvijeta. Mehanizam koji je također dobro razvijen u porodici *Orchidaceae* je mehanizam zamke. Jedinke roda *Coryanthes* (Slika 5.) prošle su kroz morfološke promjene gdje je medna usna izmijenjena u oblik vrča, a također su prestale proizvoditi nektar i u potpunosti su izgubile nektarije. U taj vrč izlučuje se ulje koje proizvodi cvijet, a uloga mu je da privuče mužjake pčela roda *Euglossa* (Du Puy i Cribb, 2007). Pčele unutar tog roda, na stražnjim nogama imaju strukturu poput džepa u kojem skladište ulje koje prikupe iz cvjetova koje kasnije koriste kako bi privukli ženke. Kada slete na orhideju, upadnu u vrč. Pčele ostanu privremeno zarobljene, a pri pokušajima da napuste vrč, dođu u blizinu strukture polinija koja im se zbog ljepljivih tjelesaca pričvrsti za dorzalnu stranu tijela. Kada uspiju napustiti cvijet, sa sobom nose polinij koji će onda rasprostraniti do sljedećeg cvijeta orhideje koji ih privuče.



Slika 5. Orhideja iz roda *Coryanthes* s labelumom preobraženim u vrč
(https://en.wikipedia.org/wiki/Coryanthes_macrantha, 9.9.2024.)

Zbog ujedinjenja polena u strukturu polinija osigurana je preciznost polinacije koja omogućuje da neke vrste kukaca oprašuju više vrsta orhideja bez poteškoća. Vrste *Dendrobium infundibulum* i *Cymbidium insigne* oprašuje isti vrsta bumbara. Zahvaljujući različitom položaju polinija kod svake orhideje, kada bumbar uđe u cvijet *Dendrobium infundibulum* polen mu se slijepi za glavu, a u slučaju *Cymbidium insigne*, za dorzalnu stranu tijela kukca (Du Puy i Cribb, 2007). Naime, ginestomij prve vrste orhideje puno je manji od potonje. Osim pri prikupljanju polena, veličina i položaj ginestomija ima ključnu ulogu pri unakrsnoj polinaciji. U slučaju da bumbar u isto vrijeme prenosi oba polinija, jedan na glavi, a drugi na toraksu, te uđe u cvijet orhideje *Dendrobium infundibulum* koja ima kraći i manji ginestomij, samo će polen smješten na glavi biti prenesen na njušku tučka. Ako bumbar sleti do druge vrste, *Cymbidium insigne*, polinacija će ponovno biti uspješna jer će se na veći i duži ginestomij moći prenijeti samo polinij smješten na toraksu bumbara (Du Puy i Cribb, 2007).

Osim porodice *Apidae* čiji su pripadnici najčešći oprašivači orhideja, sljedeći najbrojniji oprašivači su leptiri i moljci. Česti su primjeri orhideja koje su evolucijom morfološki izmijenile mednu usnu, labelum, kako bi se polinacija pojednostavila i specijalizirala. Primjer su orhideje *Angraecum sesquipedale* i *Dendrophylax lindenii* koje su konvergentno evoluirale zajedno sa svojim oprašivačima. Medna usna ovih orhideja preobražena je u duboku i usku ostrugu u kojoj cvijet odlaže proizvedeni nektar. Jedine životinje koje mogu doprijeti do nektara u ostruzi su moljci iz porodice ljljaca koji imaju dugo sisalo pomoću kojeg uzimaju nektar (Ray i Wendram, 2015).

Uočeno je da orhideje, koje su oprašivane od strane moljaca i leptira, uglavnom imaju manji broj sjemenih zametaka. Razlog tome je, što kod vrsta koje ne pripadaju porodici *Orchidaceae* polen se prenosi tako da ga kukci stave na jezik što svede broj prikupljenih zrna na minimum (McHatton, 2011). Orhideje su se prilagodile tom problemu ljepljivim tjelešcima na poliniju koji se najčešće zalijepi za glavu kukca. Za razliku od pčela koje ne raspoznaju crvenu boju, leptire privlače jarke boje pa su zbog toga orhideje čiji su oni oprašivači crvene, jarko ružičaste, ljubičaste ili žute (McHatton, 2011). Upravo zbog toga što je glavni čimbenik privlačenja leptira boja, orhideje koje leptiri oprašuju uglavnom ne posjeduju nikakav miris. Za razliku od leptira, moljci mogu raspoznati samo tamu i svjetlo, pa su orhideje koje oni oprašuju svijetlih i neutralnih boja poput bijele ili zelene (McHatton, 2011).

Iako je to možda manje poznato, brojne vrste orhideja oprašivane su od strane manjih kralješnjaka, poput ptica. Mehanizam kojim orhideje privlače ptice sličan je kao kod leptira, a temelji se na jarkim bojama cvjetova koji su čvršći zbog veličine oprašivača. Također, kao i kod

orhideja oprašivanih leptirima, miris izostaje. Na višim nadmorskim visinama gdje su tlak i temperatura niži, ptice postaju važne za polinaciju jer mali organizmi poput kukaca teže podnose takve uvjete (McHatton, 2011). Vrapčarke iz porodice *Nectariniidae* česti su oprašivači orhideja roda *Dendrobium* u tropskim šumama Afrike i Azije, dok su u tropima Srednje i Južne Amerike tu ulogu preuzele ptice iz porodice *Trochilidae* – kolibrići. Kod ptica koje oprašuju cvjetove, polen se najčešće prilijepi na njihov kljun. Evolucijski je polen iz karakteristično žute boje, kod orhideja oprašivanih pticama, promijenio boju u crnu. Smatra se da je razlog tome, što je polen te boje pticama manje uočljiv pa je veća vjerojatnost da će ga slučajno „pokupiti“ kada slete ne cvijet orhideje u potrazi za nektarom (McHatton, 2011).

Bez obzira o kojem se oprašivaču radi, ako je polinacija bila uspješna, doći će do razvoja peludne mješine i plodnica cvijeta početi će oticati i rasti. Unutar plodnice razvit će se golema količina sitnih sjemenki, upravo zbog toga što je vjerojatnost njihovog klijanja i opstanka jako mala. Nakon što se sjemenke iz tobolca rasprostrane vjetrom, padaju na tlo. Usprkos svim prednostima koje orhideje pokazuju, kao sjemenke kojima nedostaje endosperm ključan za rast i klijanje, za njihov uspjeh ključna je simbioza koju ostvaruju čim dođu na zemlju. Simbiozu ostvaruju s mikoriznim gljivama koje pomažu orhideji u upijanju vode i nutrijenata te prevode kompleksne molekule u šećere.

3.2.2. Porodica Iridaceae

Ova porodica obuhvaća 66 rodova i oko 2200 vrsta koje rastu u umjerenoj do tropskoj klimi. Najbrojniji rod je *Iris* koji sadrži oko 300 vrsta, *Gladiolus* s oko 300, *Crocus* sa 75 vrsta, *Freesia* i rod *Sisyrinchium* oko 200 vrsta. Većina vrsta unutar porodice *Iridaceae* komercijalno je i ekonomski važna u hortikulturi. To su uglavnom višegodišnje biljke koje proizvode korijenske sustave rizoma i lukovica koje najčešće povezujemo s vrstama koje rastu u južnoj Europi. Morfologija cvjetova se razlikuje na razini porodice pa samim time postoji nekoliko različitih mehanizama polinacije.

Rod *Iris* (perunika) (Slika 6.), najpoznatiji i najveći rod unutar porodice, raste u sjevernom umjerenom pojasu, najviše na području Mediterana i središnje Azije. Jedinke imaju podzemne korijenske sustave u obliku rizoma ili lukovica. Listovi su dugi i uski, s karakterističnom paralelnom nervaturom, ušiljeni pri vrhu i nemaju peteljku. Na vrhu duge stabljike nalaze se najčešće tri cvijeta koja čine cvat, a cvjetovi su dvospolni, krupni i jarkih boja koje privlače oprašivače. Građa je strogo trimerna, a cvjetovi su radijalno simetrični. Ukupno je šest listova

perigona raspoređeno u dva ciklusa, od kojih se svaki sastoji od tri lista. Svaki pojedini cvijet perunike ima tri oprašivačke jedinice međusobno postavljene pod kutom od 120° od kojih svaka funkcionalno odgovara zasebnom cvijetu. Takva struktura koja je prisutna kod roda *Iris*, naziva se merantij. Tučak je rascijepljen na tri režnja, plodnica je podrasla i sastoji se od tri srasla plodna lista, a plod koji nastaje je tobolac. Kada oprašivač dođe do biljke, on neovisno može pristupiti bilo kojem od tri režnja tučka, kao da se radi o zasebnim cvjetovima. Budući da je plodnica u potpunosti pregrađena te se svaki od tri režnja tučka oprašuje neovisno, nakon oprašivanja i oplodnje, unutar ploda dolazi do razvoja sjemenki koje potječu od tri različita donora polena (Mitić, 2014). Perunike se oprašuju entomofilijom, a najčešći oprašivači su kukci iz porodice *Apidae* (Guo, 2015). Pri polinaciji, list vanjskog kruga perigona djeluje kao sletnica za kukce, položena je prema dolje, a još se naziva i donja usna. Istovremeno, list unutarnjeg kruga perigona predstavlja krov ili gornju usnu i položen je prema gore. Svaki od tri režnja tučka se nalazi ispod gornje usne na distalnom kraju. Bojom se ne razlikuje od listova perigona, a sama njuška na vrhu pojedinog režnja tučka povija se prema unutrašnjosti cvijeta i tako tvori džep za oprašivača. Kukci u potrazi za nektarom kreću se prema unutrašnjosti cvijeta. Krećući se prema nektaru, leđima zahvate jezičac na njušci tučka koji je smješten s donje strane, otvore ga, te na njegovu unutarnju receptilnu površinu prenesu polen. Pri izlasku kukca iz cvijeta ne može doći do samooplodnje, odnosno kukac ne može prenijeti polen na tučak istog cvijeta. To je osigurano tako što kukac izlazi iz cvijeta istim putem kako je i ušao, te pritom, s obzirom da se kreće u suprotnom smjeru, prilikom izlaska zatvori jezičac na njuški tučka i time onemogućuje prijenos polena toga cvijeta na receptilnu površinu tučka. Donja usna perunike često je ukrašena s izbočinama ili krijestama s dlačicama koje pomažu u polinaciji. Vjeruje se da one imaju vizualnu, olfaktornu ili taktilnu ulogu za privlačenje oprašivača i s njih kukci također skupljaju nektar (Guo, 2015).



Slika 6. Cvijet perunike (*Iris* sp.)

(https://en.wikipedia.org/wiki/Iris_sanguinea, 9.9.2024.)

Rod *Crocus* (šafрани) rasprostranjen je u umjerenim širinama. Njuška tučka najpoznatije vrste unutar roda, *Crocus sativus*, koristi se za dobivanje istoimenog začina. Vrste unutar roda imaju otporne lukovice iz kojih se najčešće u jesen razvija mlada biljka, a za razliku od većine jednosupnica, metabolizam im se usporava u proljeće. Iz lukovice se razvija jedan ili dva cvijeta, a moguće je da broj dostigne 12. Građen je od perigona s 6 jarko ljubičastih listova sjedinjenih na bazi. Unutar karakterističnog perigona oblika poput čaše nalaze se tri prašnika i plodnice s dugačkim vratom tučka koja završava s tri upečatljivo crvene njuške. Budući da je plodnica šafrana podrasla, tj. svi dijelovi cvijeta nalaze se iznad ravnine tučka, vjeruje se da nektar nema ključnu ulogu u privlačenju oprašivača budući da bi do njega bilo teško doprijeti (Totland i Mathews, 1998). Vrste unutar roda *Crocus* dominantno oprašuju kukci iz porodice *Apidae* što znači da je oprašivanje entomofilija. Uobičajeno je da biljke koje su oprašivane kukcima imaju znatne količine polena, međutim to nije slučaj kod šafrana. Nakon što biljka procvjeta, što se događa kada nastupi temperatura iznad 15° stupnjeva ili biljka dobije dovoljno Sunčeve svjetlosti, dolazi do sazrijevanja teka prašnica i polena (Kerndorf, Pasche i Harpke, 2015). Nedugo nakon, teka se otvara vertikalno po dužini i otpušta polen. Kada kukac koji dođe do cvijeta skupi polen, odlazi do drugog cvijeta te se tako nastavlja unakrsno oprašivanje (Kerndorf, Pasche i Harpke, 2015).

Cvatovi vrsta unutar roda *Gladiolus* sastavljeni su od do 30 trubastih cvjetova položenih s jedne strane stabljike. Ime roda dolazi od latinske riječi za mač što ukazuje na oblik listova koji su pri vrhu ušiljeni. Cvjetovi su sastavljeni od šest listova perigona, tri vanjska i tri unutrašnja. Unutar perigona nalaze se tri prašnika i tri njuške tučka. Najčešće su bijele ili ružičaste boje s tamnijim crvenim ili ružičastim linijama koje oprašivačima ukazuju na položaj nektara s visokom koncentracijom saharoze. Kao i ostali rodovi unutar porodice *Iridaceae*, dominantni oprašivači su kukci iz porodice *Apidae*, ali to mogu biti i moljci, leptiri ili muhe s dugim usnim aparatom proboscisom (Goldblatt i Manning, 2010). Čak 16 vrsta od ukupno oko 300, većina s juga Afrike, dominantno se oprašuje muhama s dugim proboscisom iz porodica *Tabanidae* (obadi) i *Nemestrinidae*. Prednost u polinaciji koju su razvili pripadnicu roda *Gladiolus* je protoandrija (Scott Elliot, 1891; Goldblatt i sur., 1998). Naime, nekoliko sati nakon što se cvijet otvori, teke prašnica se otvaraju po dužini i izlažu polen. Kada će se teka otvoriti ovisi o više faktora, poput temperature i vlage zraka. Polenova zrna su slijepljena zajedno i ostaju unutar teke sve dok ih kukac oprašivač ne sakupi. Tri režnja njuške tučka su sjedinjenje tri do četiri dana od otvaranja cvijeta, a otprilike petog dana, vrat tučka se izduži, režnjevi se rastvaraju i nadvisuju prašnike. Tek tada vratovi tučka postaju sposobni za oprašivanje. Tijekom tri do četiri dana nakon otvaranja cvijeta, dok je cvijet u isključivo muškoj fazi, kukci oprašivači sakupljaju polen s prašnika cvjetova. Peti dan, kada je cvijet u ženskoj fazi, kukac bi sa svojih leđa prenio polen na tek rastvorene njuške tučka. Nakon što njuške postanu sposobne za primitak polena, kukci imaju još samo jedan do dva dana da uspješno provedu polinaciju (Goldblatt i Manning, 1999).

Vrste unutar roda *Freesia*, kao i unutar roda *Crocus*, rastu iz trajnih lukovica. Stabljike nose nekoliko cvjetova koji posjeduju karakterističan miris nalik na limun. Perigon, sastavljen od lapova i latica koji se ne razlikuju, tvori cvjetove bijele, žute, narančaste ili plave boje. Kod vrsta *Freesia verrucosa*, *F. laxa*, *F. grandiflora* i *F. viridis*, perigon je građen tako da oprašivači ne mogu doći do nektara. Pčele s dugim jezikom oprašuju cvjetove vrste *F. verrucosa* koja ima dugi perigon ružičaste boje s žutim ili crvenim prugama i ne posjeduje miris. *F. laxa* i *F. grandiflora* razvijaju cvjetove grimizne boje s tamnim prugama koji ne miriše, a oprašuju ih leptiri. Cvjetovi neupečatljivih boja i intenzivna mirisa koji se otpušta noću, obilježje su vrste *F. viridis*, a ove karakteristike pokazatelj su da je oprašivana moljcima aktivnim noću (Goldblatt i Manning, 2010). Ostale vrste unutar roda imaju perigon dovoljnog raspona da oprašivači uđu u njegovu unutrašnjost. Cvjetovi su bijeli do svijetložuti s ljubičastim, žutim ili narančastim šarama u unutrašnjosti. Većina ih posjeduje umjeren do snažan slatkasti miris. *F. refracta*

najčešće je oprašivana vrstama pčela iz roda *Amergilla* i *Andrena*, a oprašivač vrste *F. fucata* je također pčela iz roda *Amergilla* (Goldblatt i Manning, 2010). Time je potvrđena pretpostavka da su dominantni oprašivači unutar podroda s cvjetovima kojima oprašivači mogu pristupiti, upravo pčele s dugim jezicima. Iako cvjetovi prestaju proizvoditi miris noću, kod vrsta *F. andersoniae* i *F. speciosa* miris je primjetan tijekom noći i dana što ukazuje na djelomično oprašivanje od strane moljaca. Vrste unutar roda *Freesia* čijem nektaru oprašivači mogu pristupiti rijetko se zatvaraju tijekom noći i tijekom hladnog vremena, što je primijećeno i kod vrsta *F. grandiflora*, *F. laxa* i *F. viridis*. Jedino se cvjetovi *F. verrucosa* zatvaraju noću što znatno odskače od ostalih cvjetova s uskim i nepristupačnim perigonom (Goldblatt i Manning, 2010).

Rod *Sisyrinchium* izgledom podsjeća na trave i rasprostranjen je na području Sjeverne i Južne Amerike. Listovi su dugi, uski, čvrsti i ušiljeni pri vrhu. U toplijem dijelu godine, u proljeće ili ljeto, otvaraju se sitni cvjetovi koji mogu biti žute, bijele ili plave boje. Oblikom su zvjezdasti, a perigon se sastoji od 6 listova, tri šira vanjska i tri uža unutarnja. Zanimljivo je opažanje, da kada su filamenti prašnika povezani cijelom dužinom, prašnice su sterilne (Cocucci i Vogel, 2001). Kada su filamenti vezani samo pri bazi, polen može biti prikupljen s prašnica. Vratovi tučka su sjedinjeni do polovice dužine dok su njuške slobodne, a između su umetnuti prašnici. Takva struktura u kojoj su muški i ženski rasplodni organi ujedinjeni naziva se ginostemij. Cvjetovi svih vrsta unutar roda *Sisyrinchium* ne posjeduju miris. Cvjetovi ovog roda, kao i kod velikog broja vrsta unutar porodice *Iridaceae*, proizvode ulje koje je nagrada za dominantne oprašivače - pčele. Putem uljnih nektarija (elaiofora) cvjetovi proizvode ulja bogata lipidima koje pčele koriste kao hranu za ličinke ili za učvršćivanje strukture košnice (Cocucci i Vogel, 2001). Žljezdaste dlake (trihomi) nalaze se na bazi vrata tučka ili na listovima perigona, a zajedno s uljnim nektarijima sudjeluju u proizvodnji ulja. Unutar roda stanice koje grade nektarije su trihomskog tipa. Taj tip je rijedi kod jednosupnica, a temelji se na dlakama (trihomima) koje preuzimaju ulogu žljezdanog tkiva. Unutar vršnog dijela žljezdatih dlaka, uljni nektariji izlučuju lipidna ulja. Nakon otvaranja, cvjetovi opstaju do dva dana te se zatvaraju noću. Pčele u potrazi uljem, probuše dlake koje se u najvećim količinama nalaze na vratu tučka. Nakon što prikupe ulje s tučka, slučajno uzmu i polen koji se nalazi uz sam tučak, ujedinjen u strukturu ginestomija (Cocucci i Vogel, 2001).

3.2.3. Porodica Hyacinthaceae

Porodica Hyacinthaceae obuhvaća oko 2500 vrsta višegodišnjih biljaka raspoređenih u više od 150 rodova. Unutar porodice postoje jako različiti oblici, a ono što im je zajedničko je da imaju dvospolne cvjetove te da rastu iz preobraženih stabljika ili lukovica. Velik broj vrsta ima sjemenke crne boje zbog prisustva organskog spoja fitomelanina. Porodica se može podijeliti i na sedam potporodica od kojih je među najvećima potporodica *Agavaceae* koja obuhvaća devet rodova i oko 300 vrsta. Vrste unutar ove potporodice rasprostranjene su na suhim do polusuhim područjima Sjeverne i Južne Amerike, ponajviše u Meksiku. Polinacija je zoofilna, a većina vrsta je oprašivana životinjama aktivnim noću. Rod *Yucca* koji je oprašivan moljcima iz porodice *Prodoxidae*, tzv. yucca – moljcima (Slika 7.), zajedno sa svojim oprašivačima predstavlja primjer ekstremne specijalizacije i svojevrsne simbioze o kojem su oba organizma ovisna. Cvjetovi roda *Yucca* proizvode slab miris ili su bez mirisa. *Yucca* – moljci skupljaju polen sa cvjetova i istovremeno ga oprašuju, a nakon toga polažu jaja u plodnicu tučka. Ličinke moljaca hrane se sjemenim zametcima u plodnici koji se neće razviti u sjemenke ako nisu u interakciji s moljcima (Pellmyr, 2003). Unutar roda *Agave*, dio vrsta oprašivan je šišmišima iz roda *Leptonycteris* (Eguiarte i sur., 2000), međutim pretpostavlja se da šišmiši nisu jedini oprašivači. Unutar istog roda, vrste su oprašivane pčelama, kolibrićima ili vrapčarkama, posebno iz roda *Oriolus* (Rocha i sur., 2006).



Slika 7. Cvijet vrste unutar roda *Yucca* oprašivan moljcima iz porodice *Prodoxidae*
(https://www.fs.usda.gov/wildflowers/pollinators/pollinator-of-the-month/yucca_moths.shtml,

9.9.2024.)

Uvjerljivo najveća je potporodica *Scilloideae* s oko 800 do 1000 vrsta. Vrste unutar ove potporodice dominantno su rasprostranjene na području mediteranske klime u Europi, Aziji i Africi. Unutar roda *Scilla* provedena su detaljna istraživanja polinacije. 50 vrsta ovog roda iz lukovica stvara ružičaste, plave ili bijele cvjetove sa šest listova perigona, tri vanjska i tri unutarnja. Unutar se nalazi šest prašnika i jedan tučak s nadraslom plodnicom. Oprašivanje je entomofilno, a dominantni oprašivači su iz porodice *Apidae*: medonosna pčela (*Apis mellifera*) i bumbari (Zuraw, 2010). Brojne vrste unutar roda cvjetaju rano u godini, najčešće u ožujku ili travnju. To ih čini vrlo važnim jer su među prvim jednosupnicama koje opskrbljuju kukce s nektarom i polenom. Osim nektarom, privlače kukce jarkom bojom cvjetova i mirisom. Kod vrsta *Scilla bifolia* i *Scilla sibirica* zamijećeno je da nakon što je s prašnika pokupljen polen, vrat tučka se izdužio i promijenio boju, kod potonje vrste iz plave u bijelu, a kod prve iz ljubičaste u bijelu. Budući da su nektariji kod tih vrsta smješteni upravo na vratu tučka, to je bio pokazatelj da je nektar izlučen (Zuraw, 2010).

Filogenija vrste *Whitehedia bifolia* koja se nalazi unutar potporodice *Scilloideae*, još uvijek nije razjašnjena budući da je neki izvori svrstavaju u istoimeni rod *Whitehedia* u kojemu je ona jedina vrsta, a drugi je svrstavaju unutar roda *Massonia*. Ta vrsta koja raste u aridnim područjima Namibije i Republike Južne Afrike, ima vrlo zanimljivu i jedinstvenu polinaciju. Između dva velika ovalna lista zelene boje uzdiže se cvat sastavljen od zelenih cvjetova okruženih sterilnim braktejama (Manning, Goldbatt i Saunders, 2011). Naime, cvjetovi su oprašivani glodavcima aktivnim noću, najčešće vrstom miša *Aethomys namaquensis* (Slika 8.). Glavna obilježja cvjetova koji su oprašivani glodavcima su neupečaljive boje, snažna i otporna građa, izloženi spolni dijelovi cvijeta, znatne količine nektara, snažan miris i noćno cvjetanje (Rebelo i Breytenbach, 1987; Johnson i sur., 2001). Biljke rastu na stjenovitoj podlozi koja pruža sjenu i zaštitu za lukovicu iz koje rastu. *Aethomys namaquensis* iz porodice *Muridae* (miševi i štakori) aktivan je noći kada napušta stijene među kojima se skriva i kreće u potragu za hranom. Kada miš pronade jedinku ove vrste, gura svoju njušku unutar njezinih cvjetova i jezikom uzima nektar koji se nalazi između plodnice i njuške tučka. Prilikom hranjenja na svojoj njušci prikupi polen koji zatim prenese na njušku tučka drugih cvjetova jedne biljke, ali polen prenese i na drugu biljku ako se hrane njezinim nektarom (Wester, Stanway i Pauw, 2009). Istraživanje kojim je potvrđena hipoteza da su cvjetovi *W. bifolia* oprašivani glodavcima, posebno miševima vrste *Aethomys namaquensis*, provedeno je u zatvorenim terarijima, kao i na otvorenom terenu. Unutar terarija postavljena je pješčana podloga te dvije biljke, a u svakom terariju je bio po jedan miš. Na otvorenom terenu postavljene su zamke u blizini biljaka koje su

uhvatile miševe. Prikupljeni su uzorci izmeta miševa te je uzet bris njihove njuške kako bi se detektirao polen, a uhvaćeni miševi označeni su. Također, kako bi se pratilo kretanje oprašivača, cvatovi biljaka označeni su fluorescentnom bojom. Rezultati su pokazali da su miševi namjerno dolazili do cvjetova *W. bifolia* kako bi se hranili nektarom, a pri tome su prikupljali polen i rasprostranili ga preko svojih njuški (Wester, Stanway, Pauw, 2009). Pri tome nisu oštetili cvjetove. Na njuškama *Aethomys namaquensis* i u izmetu pronađen je polen ove biljne vrste. Iako se miševi nisu direktno hranili polenom cvjetova, pretpostavlja se da su miševi prilikom čišćenja i uređivanja vlastitog krzna konzumirali zrna polena (Wester, Stanway i Pauw, 2009). Još uvijek nije razjašnjeno zašto bi se miševi kao svejedi kojima je dostupna i druga hrana, hranili nektarom ove vrste koji je dostupan samo u periodu od kraja srpnja do kolovoza kada biljka cvjeta. Jedna od pretpostavki je da, budući da je period cvjetanja kasna zima i ujedno sezona parenja miševa, nektar cvjetova predstavlja važan izvor energije za glodavce (Wester, Stanway i Pauw, 2009). *Aethomys namaquensis* ne pokazuje nikakve prilagodbe za hranjenje nektarom, međutim mnoga obilježja *W. bifolia* idu u korist glodavcima kao oprašivačima. Cvjetanje zimi odgovara sezoni parenja miševa kao i periodu kada je manje hrane dostupno, a cvjetovi koji su bojom neupečatljivi nisu privlačni pticama i kukcima čemu dodatno doprinosi i otvaranje cvjetova noću. Cvjetovi su blizu tlu čime su lako dostupni miševima, a čvrsta građa biljke čini ju izdržljivom i otpornom na mehaničke povrijede, čak i kada se radi o velikom oprašivaču poput miša. Također, prema Wiens i sur. (1983), kod biljnih vrsta koje su oprašivane glodavcima, vrat i njuška udaljene su oko 10 milimetara, što odgovara duljini rostruma glodavaca. To ide u prilog vrsti *W. bifolia* kod koje su njuška i vrat tučka udaljene 9 milimetara (Wester, Stanway i Pauw, 2009). Iako su miševi često dolazili do cvjetova, količine nektara koje su izmjerene bile su niže nego u ostalih biljaka koje su oprašivane glodavcima. Nektar ove vrste je viskoznan i ljepljiv, a smatra se da je razlog tome kako cvijet ne bi bio oprašen kukcima. Nektar te strukture često je privlačan za šišmiše, koji se mogu pronaći na staništu na kojem raste *W. bifolia*, ali nije uočeno da sudjeluju u njezinom oprašivanju (Wester, Stanway i Pauw, 2009). Miris cvjetova ima najveću ulogu u privlačenju glodavaca oprašivača. Kod *W. bifolia* uočen je slab miris što ne isključuje mogućnost da ga miševi mogu detektirati s obzirom na njihov razvijen osjet njuha (Wester, Stanway i Pauw, 2009).



Slika 8. Cvjetovi *Whitehedia bifolia* oprašivani mišem *Aethomys namaquensis*
(<https://blog.umd.edu/agronomynews/2021/05/>, 9.9.2024.)

3.3. Red Poales

Red trava obuhvaća oko 20000 vrsta što čini više od jedne trećine svih jednosupnica. Ekonomski predstavlja najvažniji red jednosupnica koji je rasprostranjen gotovo svuda u svijetu. Red se može podijeliti na tri grupe: trave, šiljevi i rogozi. Vrste unutar ovog reda zauzimaju različita staništa te su to najčešće uobičajene kopnene vrste nerijetko s aridnih staništa, no mogu biti i hidrofiti ili epifiti, a jedino izostaje oblik stabla. Spomenute grupe često se udružuju u zajednice pa je tako porodica *Poaceae* (trava) dominantna u savanama i stepama, a porodica *Cyperaceae* (šiljevi) u vlažnim područjima. Dominantni oblik polinacije kod gotovo svih vrsta unutar reda Poales je anemofilija, oprašivanje vjetrom, čemu su morfološki u potpunosti prilagođene. Glavna prilagodba je mnoštvo cvjetova koje je udruženo u cvatove kako bi vjetar što lakše zahvatio polenova zrna (Friedman i Harder, 2004). Cvjetovi su jednospolni, bez obzira radi li se o jednodomnoj ili dvodomnoj vrsti što se uglavnom vezuje uz anemofiliju (Linder, 1998). Većina vrsta unutar reda nema jarko obojani perigon, budući da nije potrebno privući kukce. Uz pretpostavku da su trave nekad imale obojani perigon, to su obilježje izgubile evolucijom u nekoliko navrata kao prilagodba na hidrofiliju ili anemofiliju. Kod porodica *Cyperaceae* i *Typhaceae* perigon je izmijenjen u čekinje ili ljuste, a kod *Poaceae* u lodikule koje imaju ulogu otvaranja cvjetova kada nabubre. Također, kod velikog broja

porodica došlo je do redukcije broja listova perigona. Uz anemofiliju se veže i pojava većeg broja polenovih zrna u odnosu na broj sjemenih zametaka (Faegri i Van der Pijl, 1979.), iako je evolucijom u više navrata došlo do smanjenja broja prašnika unutar reda Poales. Broj prašnika unutar reda varira pa tako postoje porodice s dva, tri, četiri ili šest prašnika. Smanjenje broja sjemenih zametaka i tučaka ukazuje na anemofilne biljke (Faegri i Van der Pijl, 1979). Brojne porodice trava imaju reduciran broj plodnih listova s tri na jedan, tzv. pseudokarpni ginecej. Porodice *Poaceae* i *Cyperaceae* imaju jedan tučak čija je plodnica građena od jednog plodnog lista. Za dva preostala plodna lista pretpostavlja se da su postali sterilni ili su reducirani. Smanjen broj sjemenih zametaka povezuje se s cvatovima koji izgledaju kao jedan cvijet ili s jedinkama prilagođenim na oprašivanje vjetrom (Linder i Rudall, 2005).

3.3.1. Porodica Poaceae

Porodica Poaceae – trave, je s oko 11000 vrsta raspoređenih u 800 rodova, četvrta najveća biljna porodica. Može se pronaći na svim kontinentima budući da se dobro prilagođavaju na različita staništa. Ekonomska važnost ove porodice proizlazi iz činjenice da su trave najvažnija porodica biljaka za proizvodnju hrane. Žitarice, među koje ubrajamo običnu pšenicu (*Triticum aestivum*), kukuruz (*Zea mays*), sjetvenu rižu (*Oryza sativa*) i običnu zob (*Avena sativa*), su među prvim biljkama koje je čovjek kultivirao i čine osnovu za razvoj prvih civilizacija. Kukuruz koji potječe iz Meksika uzgajali su Maye, Inke i Asteci, a riža, koja se smatra najvažnijom i najviše konzumiranom žitaricom, potječe iz jugoistočne Azije (Peterson, 2013).

Plod trava – pšeno, glavni je izvor hrane i nutritivne vrijednosti te ujedno najvažnije obilježje porodice *Poaceae*. Pšeno ili kariopsis nastaje od nadrasle plodnice sraslih plodnih listova (cenokrapni ginecej) kojih je većinom dva s jednim sjemenim zametkom. Velik broj trava ima rizome ili puzajuće stabljike koje omogućuju vegetativno razmnožavanje. Trave posjeduju umetnute zone rasta (interkalarni meristem) pomoću kojeg mogu rasti na području nodija. Cvatovi trava nazivaju se klasići, a udruženi su u strukturu složenih cvatova ili metlice. Pojedinačni cvjetovi su mali te se razvijaju u pazušku brakteje, tj. obuvenca. Ocvijeće je manje ili više reducirano, a vanjski krug ocvijeća reduciran je u strukturu zvanu košuljica koja je nastala srastanjem dva listića. Kod većine vrsta unutar porodice, dva listića unutarnjeg kruga ocvijeća izmijenjena su u lodikule koje za ulogu imaju otvaranje cvjetova i klasića. Prašnika je uglavnom dva do tri, a plodnica koja je nadrasla iz vrata razvija dvije njuške tučka. Cvat trava, tj. klasić sastoji se od 1 – 50 cvjetova, a na bazi se nalaze pricvatni listovi klasića – pljeve.

Pljeve su sterilne i za ulogu imaju zatvaranje klasića čime ga štite. Oprašivanje trava smatra se sekundarnom anemofilijom jer su prve kritosjemenjače bile oprašivane kukcima. Anemofilija kod trava smatra se odvedenim obilježjem do kojeg je došlo evolucijom u više navrata (Nikolić, 2017).

Porodica *Poaceae* može se podijeliti na 12 potporodica koje dijele većinu morfoloških obilježja poput anatomije listova i anemofilije. Potporodica *Bambusoideae* obuhvaća 1400 vrsta unutar oko 115 rodova i može se podijeliti u dvije grupe: bambusi i bambusove trave. Grupa bambusa posebno je zanimljiva zbog razlike u građi listova, drvenastoj stabljici i razvoja podzemnog sustava korijenja – rizoma. Osim što pokazuju morfološke razlike u odnosu na ostale biljne predstavnike unutar porodice *Poaceae*, bambusi posjeduju specifičan životni ciklus. Naime, iako su višegodišnje biljke, anemofilni cvjetovi bambusa proizvode velike količine plodova samo jednom tijekom njihovog rasta. Zanimljivo je da se oslobađanje plodova na razini iste vrste događa u isto vrijeme nakon čega šume bambusa odumiru. Životni ciklus većine vrsta bambusa traje između 3 – 120 godina, a sastoji se od vegetativnog rasta rizoma i stabljika (Sridhara i Rajendran, 2010). Najpoznatije vrste bambusa koje pokazuju masivno, združeno cvjetanje nakon kojeg odumiru su unutar roda *Phyllostachys* i po jedna vrsta u rodovima *Arundinaria*, *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Gigantochloa*, *Melacanna*, *Guadua*, *Nechouzeaua*, *Ochlandra* i *Thyrostachys*. Ne pokazuju sve vrste bambusa takav životni ciklus pa tako s druge strane vrste *Bambusa forbesii*, *Arundinaria wightiana*, *Arundinaria elegans*, *Arundinaria glomerulata*, *Ochlandra rheedei*, *O. stridula*, *Shibataea kumasaca* i *Bambusa lineata* cvjetaju jednom godišnje kroz cijeli svoj životni vijek (Sridhara i Rajendran, 2010). Prema Jansenu (1976) bambusi koji daju plodove samo jednom i nakon toga umiru potaknuti su vlastitim biološkim satom, dok je kod bambusa koji imaju jednogodišnje cvjetanje okidač temperatura.

Oni koji pokazuju masovno cvjetanje nakon kojeg umiru imaju drvenaste stabljike i rastu u subtropskim ili umjerenim klimama, a najveća zastupljenost takvih vrsta bambusa zabilježena je u Indiji gdje rastu čak 70 od 72 poznate vrste (Sridhara i Rajendran, 2010). Problem koji je usko povezan s masovnim i združenim cvjetanjem i odbacivanjem plodova bambusa je promjena dinamike populacija koje se hrane plodovima bambusa, od kojih su najbrojniji glodavci. Otkako je masovno cvjetanje bambusa počelo biti istraživano, znanstvenici su postavili različite hipoteze kako bi objasnili ovaj fenomen. Najveću problematiku kod istraživanja predstavlja dug životni ciklus bambusa koji se kod većine istraživanih vrsta kreće između 30 do 50 godina pa čak i do 120 godina kod vrste *Phyllostachys bambusoides*. Hipoteza

koja se danas smatra najtočnijom je teorija zasićenja predatora (Sridhara i Rajendran, 2010). Naime, bambusi proizvode velik broj plodova koje otpuštaju u isto vrijeme kako bi se osiguralo preživljavanje barem dijela plodova. Osim glodavaca kao dominantnih predatora, neke vrste herbivora poput divljih svinja, ptica i slonova također se hrane plodom bambusa. Otpuštanjem velikog broja plodova i samim time zasićenja predatora, vjerojatnost da će sjemenka bambusa uspješno proklijati raste. Također, izbjegavanjem jednogodišnjeg razvoja plodova, populacija glodavaca održava se na kontroliranoj razini budući da povećanje količine hrane u većini slučajeva rezultira povećanjem fekunditeta predatora (Sridhara i Rajendran, 2010). Naglo povećanje broja glodavaca u velikom je broju zemalja povezano sa cvjetanjem bambusa. Na području sjeveroistočne Indije, takav rast populacije glodavaca je u više navrata uzrokovao glad stanovništva, budući da kada glodavci pojedu dostupne plodove bambusa, kreću u potragu za hranom na usjevima koje uništavaju. Štoviše, u pokrajini Mizoram u Indiji, postoje dva različita termina koja označavaju veliku glad: *Mautam* i *Thingtam*. *Mautam*, koja je prvi puta zabilježena 1864. i ostavlja teže posljedice za stanovništvo, je vezana uz cvjetanje vrste bambusa *Melaconna bambusoides*, a *Thingtam* uz *Dendrocalamus longispathus* i *Bambusa tulda*. Razlika između cvjetanja tih vrsta, tj. između *Mautam* i *Thingtam* je između 18 i 45 godina. Kako bi populacija glodavaca nakon masovnog i združenog cvjetanja bambusa bila u ravnoteži, od 2006. na području Indije vrše se identifikacije vrsta glodavaca i praćenje njihove distribucije (Sridhara i Rajendran, 2010).

4. ZAKLJUČAK

Jednosupnice, iako manja skupina unutar velikog razreda kritosjemenjača, često su predmet istraživanja zbog svoje ekonomske i agronomske važnosti. Vrste unutar porodica poput *Orchidaceae*, *Iridaceae* i *Hyacinthaceae* cijenjene su u hortikulturi, a porodica trava koja obuhvaća rižu, kukuruz, pšenicu, zob i mnoge druge žitarice, najvažnija je biljna porodica za proizvodnju hrane. Polinacija, kojom se polen prenosi na njušku tučka abiotskim ili biotskim vektorima, proces je od iznimne važnosti jer osim što osigurava produljenje postojanja biljnih vrsta kao temeljne skupine organizama za život na Zemlji, važna je za održavanje ravnoteže i simbioze među oprašivačima i biljkama. Budući da su među jednosupnicama zastupljeni gotovo svi poznati mehanizmi prijenosa polena, polinacija kod jednosupnica zaokuplja sve veći broj istraživača. Hidrofilija, koja je zastupljena među porodicama *Posidoniaceae* i *Hydrocaritaceae*, među kritosjemenjačama je rijetka pojava, ali je gotovo u potpunosti zastupljena unutar skupine jednosupnica. Anemofilija se smatra odvedenim obilježjem kada je prisutna kao mehanizam polinacije među kritosjemenjačama. Glavni je način oprašivanja unutar porodice trava koje su morfologijom cvjetova u potpunosti prilagođeni prijenosu polena vjetrom. Smatra se da su bazalne kritosjemenjače posjedovale zoofiliju, točnije entomofiliju, koja se i do danas zadržala kao dominantni način oprašivanja. Iako su kukci najpoznatiji i najzastupljeniji biotski vektori, tj. živi oprašivači, velik broj porodica unutar skupine jednosupnica pokazuje bliske odnose s glodavcima, pticama ili šišmišima koji pretežno koriste nektar cvjetova kao hranu. Budući da je velik broj vrsta unutar skupine jednosupnica oprašivan samo jednom vrstom oprašivača, brojni su primjeri visoke razine specijalizacije i koevolucije oprašivača i cvjetova. Među jednosupnicama, zabilježen je više fenomena koji se na razini cijele skupine kritosjemenjača smatraju rijetkima, poput pseudokopulacije kod porodice *Orchidaceae* i masovnog i združenog cvjetanja kod potporodice *Bambusoideae*.

Mehanizmi prijenosa polena detaljno su istraženi unutar porodica *Orchidaceae* i *Iridaceae*, ali još postoji velik broj vrsta o kojima nema dovoljno informacija. Također, većina radova koji nude pregled upravo tih, nedovoljno istraženih porodica, zastarjela je i ne koristi se metodama i analizama koje su danas dostupne. Samim time, potrebna su dodatna istraživanja polinacije pojedinih porodica jednosupnica kako bi razumjeli odnose biljaka i oprašivača, njihovu međuovisnost i zaštitili njihova staništa koja su pod sve većim utjecajem čovjeka.

5. LITERATURA

Berry, P. E. (2015). *Alismatales*. Encyclopedia Britannica.

<https://www.britannica.com/plant/Alismatales> (20.7.2024.)

Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2020). *Iridaceae*. Encyclopedia Britannica. Dostupno na: <https://www.britannica.com/plant/Iridaceae> (23.7.2024.)

Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2024). *hyacinth*. Encyclopedia Britannica. Dostupno na: <https://www.britannica.com/plant/hyacinth-plant> (24.7.2024.)

Campbell, C. S. (2024). *Poaceae*. Encyclopedia Britannica. Dostupno na: <https://www.britannica.com/plant/Poaceae> (26.7.2024.)

Cocucci, A. A., Vogel, S. (2001) *Oil-producing flowers of Sisyrinchium species (Iridaceae) and their pollinators in southern South America*. Flora, 196, 26-46. Dostupno na: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/38528/CONICET_DIGITAL_Nro.1Cocucci.pdf;jsessionid=A541B55BE4BD9E006AFF5D1658B63CEF?sequence=5 (23.7.2024.)

Dodson, C. H. (2024). *orchid*. Encyclopedia Britannica. Dostupno na: <https://www.britannica.com/plant/orchid> (22.7.2024.)

Goldblatt, P., Manning, J. C. (1999.) *The Long-Proboscis Fly Pollination System in Gladiolus (Iridaceae)*. Annals of the Missouri Botanical Garden, 86(3), 758-774. Dostupno na: <https://www.jstor.org/stable/2666153> (23.7.2024.)

Jacono, C.C., Richerson, M.M., Howard Morgan, V., Pfingsten, I.A., Redinger, J., (2024), *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle: U.S. Geological Survey, Nonindigenous Aquatic Species Database. Dostupno na: <https://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.aspx?SpeciesID=6> (21.7.2024.)

Johnston, B. () *A Close-up View of Two Members of the Hyacinthaceae Family - "Common Hyacinth" & "Grape Hyacinth": Hyacinthus orientalis & Muscari armeniacum*, Dostupno na: <http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/indexmag.html?http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/artapr07/bj-hyacinth.html> (26.7.2024.)

Kausik, S. B. (1939.) *Pollination and Its Influences on the Behavior of the Pistillate Flower in Vallisneria spiralis*. American Journal of Botany (online), 26(3), 207-211. Dostupno na: <http://www.jstor.org/stable/2436490> (20.7.2024.)

- Kress, W. John (2010). *Poales*. Encyclopedia Britannica. Dostupno na: <https://www.britannica.com/plant/Poales> (30.7.2024.)
- Kress, W. John (2023). *Asparagales*. Encyclopedia Britannica. Dostupno na: <https://www.britannica.com/plant/Asparagales> (22.7.2024.)
- Kuo, J., McComb, A.J. (1991). Posidoniaceae Lotsy, Vortr. Bot. Stammesgesch. 3(658), 404-408. Dostupno na: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-03531-3_38 (9.9.2024.)
- Lack, A. J., Diaz, A. (1991.) *The pollination of Arum maculatum L.: A historical review and new observations*. Watsonia (online), 18, 333-342. Dostupno na: <https://archive.bsbi.org.uk/Wats18p333.pdf> (21.7.2024.)
- Linder, H. P., Paula J. Rudall P. J. (2005) *Evolutionary history of Poales*. Annual Review of Ecology Evolution and Systematics, 36, 107-124. Dostupno na: [\(PDF\) Evolutionary History of Poales \(researchgate.net\)](#) (28.7.2024.)
- Manning J. C., Goldblatt, P. (2010) *Botany and horticulture of the genus Freesia (Iridaceae). Strelitzia 27*. South African National Biodiversity Institute, 9(22), 86-88. Dostupno na: <https://www.sanbi.org/wp-content/uploads/2018/04/strelitzia-27-2010.pdf> (23.7.2024.)
- Manning, J., Goldblatt, P., Saunders, R. (2011) 721. Massonia bifolia: Hyacinthaceae. Curtis's Botanical Magazine, 28(4), 324-332. Dostupno na: <https://www.jstor.org/stable/45066172> (26.7.2024.)
- Mchatton, R. (2011). *Orchids: Orchid Pollination*, 340-349. Dostupno na: <https://staugorchidsociety.org/PDF/OrchidPollinationbyRonMcHatton.pdf> (22.7.2024.)
- Mitić, B. (2014) *Perunike: Božanski cvjetovi*. Hrvatska revija, 4 (2014), 23-27. Dostupno na: <https://www.matica.hr/hr/434/perunike-bozanski-cvjetovi-23985/> (24.7.2024.)
- Mzabril, I., Charif, K., Rimani, M., Kouddane, N., Boukroute, A., Berrichi, A. (2021) *History, biology, and culture of Crocus sativus: Overview and perspectives*. Arabian Journal of Chemical and Environmental Research, 8(1), 1-28. Dostupno na: <https://www.mocedes.org/ajcer/volume8/AJ CER-01-Mzabri-2021.pdf> (24.7.2024.)
- Nikolić, T. (2017) *Morfologija biljaka: Razvoj, građa i uloga biljnih tkiva, organa u organskih sustava*. Zagreb: Alfa

Peterson, P. M. (2013) *Poaceae (Gramineae)*. Encyclopedia of Life Sciences (ELS).

Dostupno na:

https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/22179/bot_Peterson_Poaceae_eLS_2013_final_a0003689.pdf (28.7.2024.)

Petruzzello, M. (2023). *Araceae*. Encyclopedia Britannica. Dostupno na:

<https://www.britannica.com/plant/Araceae> (21.7.2024.)

Petruzzello, M. (2024). titan arum. Encyclopedia Britannica. Dostupno na:

<https://www.britannica.com/plant/Titan-arum> (9.9.2024.)

Prieto-Baena, J. C., Hidalgo, P. J., Dominquez, E., Gala, C. (2003) *Pollen production in the Poaceae family*. Grana 42, 153–160. Dostupno na:

<https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/00173130310011810?needAccess=true> (27.7.2024.)

Ray, H., Vendrame, W. (2015) *Orchid Pollination Biology*. Dostupno na:

https://serc.si.edu/sites/default/files/orchid_pollination_biology.pdf (22.7.2024.)

Rocha, M., Good-Ávila, S. V., Molina-Freaner, F., Arita, H. T., Castillo, A. (2006) *Pollination Biology and Adaptive Radiation of Agavaceae, with Special Emphasis on the Genus Agave*.

Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany, 22(1), 329-344. Dostupno na:

<https://scholarship.claremont.edu/aliso/vol22/iss1/27> (25.7.2024.)

Seifríz, W. (1923) Observations on the Causes of Gregarious Flowering in Plants. American Journal of Botany , 10(2), 93-112. Dostupno na: <https://www.jstor.org/stable/2435577>

(29.7.2024.)

Silverio, A., Nadot, S., Souza-Chies, T. T., Chauveau, O. (2012) *Floral rewards in the tribe Sisyrinchieae (Iridaceae): oil as an alternative to pollen and nectar?* Sexual plant

reproduction, 25, 267-279. Dostupno na:

https://www.researchgate.net/publication/230832888_Floral_rewards_in_the_tribe_Sisyrinchieae_Iridaceae_Oil_as_an_alternative_to_pollen_and_nectar (23.7.2024.)

Soderstrom, T. R., Calderon, C. E. (1979) *A Commentary on the Bamboos (Poaceae:*

Bambusoideae). Biotropica, 11(3) 161-172. Dostupno na: <http://www.jstor.org/stable/2388036>

(29.7.2024.)

- Sridhara, S., Rajendran, T. P. (2010) *Gregarious Bamboo Flowering and Rodent Outbreaks – An Overview*. Journal Proceedings of the Vertebrate Pest Conference, 24(24), 228-234. Dostupno na: <https://escholarship.org/uc/item/9g4962ck> ISSN 0507-6773 (29.7.2024.)
- Sullivan, G., Tutus, J. E. (1996.) *Physical site characteristics limit pollination and fruit set in the dioecious hydrophilous species, Vallisneria americana*. Oecologia, 108, 285-292. Dostupno na: <https://www.jstor.org/stable/4221417> (22.7.2024.)
- Tanaka, N., (2000). Pollination of the Genus Hydrilla (Hydrocharitaceae) by Waterborne Pollen Grains. Annals of the Tsukuba Botanical Garden 19, 7-12. Dostupno na: https://www.kahaku.go.jp/research/publication/tsukuba/download/19/ATBG19_7.pdf (21.7.2024.)
- Wylie, R. B., (1917.) *The pollination of Vallisneria spiralis*. Botanical Gazette, 6(3), 135-145, Dostupno na: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.1086/331983> (21.7.2024.)
- Totland, O., Matthews, I. (1998) *Determinants of pollinator activity and flower preference in the early spring blooming Crocus vernus*. Acta Oecologica, 19(2), 155-165. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1146609X98800192> (24.7.2024.)
- Wester, P., Stanway, R., Pauw, A. (1998) *Mice pollinate the Pagoda Lily, Whiteheadia bifolia (Hyacinthaceae) — First field observations with photographic documentation of rodent pollination in South Africa*. South African Journal of Botany 75, 713–719. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/338097070_Ingenious_floral_structure_drives_explosive_pollination_in_Hydrilla_verticillata_Hydrocharitaceae (26.7.2024.)
- Zhang, Q., Fu, W.-L., Wang, X.-F., Huang L.-J., (2019) *Ingenious floral structure drives explosive pollination in Hydrilla verticillata (Hydrocharitaceae)*. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/338097070_Ingenious_floral_structure_drives_explosive_pollination_in_Hydrilla_verticillata_Hydrocharitaceae (20.7.2024.)
- Zheng, X., Lin, S., Fu, H., Wan, Y., Ding, Y. (2020) *The Bamboo Flowering Cycle Sheds Light on Flowering Diversity*. Frontiers in Plant Science, 11(381). Dostupno na: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2020.00381/full> (29.7.2024.)
- Zuraw, B. (2011) *Flowering biology of three taxa of the genus Scilla L. (Hyacinthaceae) and flower visitations by pollinating insects*. Acta Agrobotanica, 64(1), 11-18. Dostupno na:

https://www.researchgate.net/publication/272737946_Flowering_biology_of_three_taxa_of_the_genus_Scilla_L_Hyacinthaceae_and_flower_visitation_by_pollinating_insects
(26.7.2024.)