

bilo vredno čakati. In še enkrat bomo lahko dokazali, da temeljno znanost velja podpreti. Kje pa bi bili, če bi tistemu, ki je izumil kolo, pred tem odvzeli orodje. Takrat še sam ni vedel, čemu bo to kolo koristilo, razvijali naj bi ga za potrebe umetnosti. Danes pa namesto kolesa nadgrajujemo Sončev ščit in

tehnologijo, ki je ponesla v vesolje šest ton težek teleskop, ki nam bo dal odgovore na vprašanja, kako smo nastali in ali je morda mogoče živeti na planetih zunaj našega Osončja.



Maruša Bradac je od 1. januarja leta 2022 profesorica na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, pred tem pa je bila profesorica na Univerzi v Kaliforniji Davis. Glavna tema njenih raziskav so prve galaksije v vesolju. Preučuje tudi sestavo vesolja, njena posebnost pa so meritve lastnosti temne snovi, ki sestavlja kar četrtino vesolja. Sodeluje v skupini, ki je razvijala kamero NIRISS na vesoljskem teleskopu James Webb. Je dobitnica projekta First Light (Prva svetloba), ki ga financira Evropski raziskovalni svet (European Research Council, ERC). Raziskovala bo nastanek prvih zvezd in galaksij. Pri tem bo uporabila podatke, pridobljene z vesoljskim teleskopom James Webb. S temi podatki bo preučevala obdobje temnega veka, ko so prve galaksije ionizirale nevtralni vodik in spremenile vesolje iz neprepustnega v prozornega za ultravijolično svetlobo. Foto: Peter Irman.

Botanika in etologija opraevalcev • Vpliv zgradbe socvetja pri zaviti škrbici

Vpliv zgradbe socvetja pri zaviti škrbici *Spiranthes spiralis* (L.) Chevall. (Orchidaceae) na vedenje opraevalcev

Dorotej Černela, Žan Cenc, Igor Paušič

Zavita škrbica (*Spiranthes spiralis*) je travniška vrsta iz družine kukavičevk (Orchidaceae). Med vsemi predstavnicami te družine, samoniklimi v Sloveniji, prične cveteti najkasneje v rastni sezoni, cvetoče primerke lahko v naravi občudujemo pozno poleti in vse do konca oktobra. Prepoznamo jo po značilnih socvetjih, sestavljenih iz majhnih, belih in dišečih cvetov. Prijetni vonj cvetov mnoge spominja na vonj vanilije ali šmarnice. Če njene cvetoče primerke pogledamo podrobneje, lahko ugotovimo, da se socvetja med posameznimi rastlinami razlikujejo: tako po številu cvetov, dolžini socvetja

in - kar je najpomembnejše in najbolj očitno - po sami zgradbi socvetja. Zgradba socvetja oziroma trirazsežna razporeditev cvetov na osi socvetja se med posameznimi primerki razlikuje, kar ima ključno vlogo pri njenem opraešitvenem uspehu. Različne oblike socvetij namreč izzovejo različne vedensjske vzorce pri opraevalcih. Prav pestrost cvetov in različne oblike socvetij nas botanike navdušujejo in zato cvetnice v naravi občudujemo in fotografiramo. Poudariti velja, da je kljub veliki pestrosti oblik in različni zgradbi socvetij pri kritosemenkah vpliv zgradbe na privabljanje opraevalcev, njihovo vedenje

in posledično na opraitveni uspeh posamičnih cvetov področje, ki je še zmeraj slabo preučeno. Vpliv različne zgradbe socvetij pri zaviti škrbici (znotrajvrstne variabilnosti oziroma spremenljivosti zgradbe socvetja) na vednje učinkovitega opraevalca predstavljamo v nadaljevanju.

Splošni opis vrste

Zavita škrbica je visoka od deset do petindvajset centimetrov in ima dlakavo sivo zeleno cvetno steblo. Listi so goli, temno zeleni, eliptične ali suličaste oblike in tvorijo pritlično rozeto. Socvetje je sestavljeno iz treh do dvajsetih cvetov, ki so pri večini primerkov nameščeni izrazito spiralno okrog cvetnega stebela. Cvetovi so majhni, bele barve, z odtenki zelene na medeni ustni. Tudi cvetovi so poraščeni z drobnimi dlačicami - trihomi. Medena ustna je podolgovata in ovalna, v osrednjem delu rahlo razširjena in valovita. Na bazi medene ustne lahko opazimo dve dobro vidni nektarni žlezi. Ta orhideja se razmnožuje spolno in vegetativno. Vegetativna rast, ki je sicer precej omejena, zajema tvorbo stranskih brstov podzemnih stebel. Vrsta nima mehanizma samoopraševanja, zato so za uspešno opraititev potrebni opraevalci, predvsem kožerilci (čmrlji in čebele). Uspešnost opraitevanja v naravnem okolju in tvorba plodov sta visoki, v povprečju več kot petdesetodstotna (Jacquemyn, Hutchings, 2010). Na boljši opraitveni uspeh posameznih cvetov vplivata velikost rastline in posledično tudi večje število cvetov v socvetju. Negativno na njeno opraititev vplivajo druge rastline, ki cvetijo v istem obdobju, saj z njo tekmujejo pri privabljanju opraevalcev.

Spremenljivost (variabilnost) zgradbe socvetij

Socvetja so povečini spiralno zavita, z dvema prevladujočima oblikama navitja - spirale. Spiralna namestitev cvetov poteka v smeri urinega kazalca ali v obratni smeri, poznamo torej levo- in desnosučna socvetja. Smer spirale ni edina razlika, ki jo lahko zasledimo, saj se socvetja razlikujejo tudi po



Zavita škrbica (Spiranthes spiralis).

Foto: Dorotej Černela.



Levosučna spirala (slika levo) in desnosučna oblika spirale (slika desno). Foto: Igor Paušič.

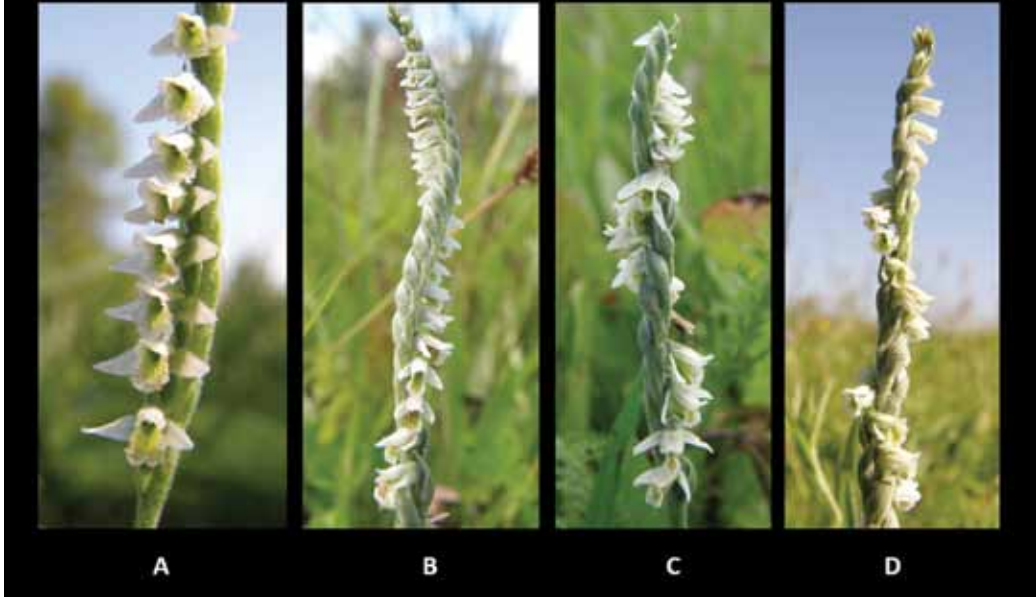
številu zavojev znotraj socvetja (kolikokrat se spirala obrne za celi krog - 360° - oziroma kakšen je skupni seštevek horizontalnih - vijačnih - kotov med sosednjimi cvetovi). V naravi opazimo primerke, katerih spirala se zasuka zgolj enkrat, spirale, ki se zasukajo enkrat in pol, dvakrat, in celo spirale, ki se zasukajo trikrat. So tudi socvetja, pri katerih so cvetovi na cvetno steblo nameščeni enostransko in so torej ravna.

Vednje opraevalca v odvisnosti od zgradbe socvetja

Cvetovi pri zaviti škrbici so lahko spiralno nameščeni na steblo socvetja, če gre za zavita socvetja. V primeru, ko imamo ravno socvetje, so cvetovi nanizani linijsko, enostransko drug nad drugim. Vijačni kot (horizontalni kot med sosednjimi cvetovi) je vzdolž

socvetja enak, se pa razlikuje med socvetji posameznih primerkov. Cvetovi se pričnejo odpirati na spodnji strani socvetja. Bolj ko se od najnižjega cveta v socvetju oddaljujemo, z drugimi besedami, bolj ko potujemo proti vrhu socvetja, manj cvetov je odprtih oziroma še niso popolnoma odprti. Povsem na vrhu socvetja lahko opazujemo cvetove, ki so še nerazviti, zaprti. Na bazalnem delu medene ustne sta dve medeni žlezi, ki izločata majhne količine nektarja. Nektar se zbira v majhnih votlinah v neposredni bližini obeh žlez. Pot do nektarja je izjemno ozka. Do nektarja lahko opraevalci lažje dostopajo na popolnoma odprtih, starejših cvetovih, ki se nahajajo na spodnjem delu socvetja. Tam se pri veliki večini opraevalcev začne pot prehranjevanja in opraevanja pri zaviti škrbici. Ta pot se torej običajno

Različna arhitektura socvetja (različen vijačni kot)



Na primeru številčno večjih populacij zavite škrbice (kot so na primer na Goričkem), lahko opazujemo različne zgradbe socvetij: A – enostransko nameščene cvetove (ravna socvetja), B – 360 stopinj – enojna spirala, C – 540 stopinj – spirala in pol, D – 720 stopinj – dvojna spirala. Na terenu opazimo tudi vmesne oblike med njimi. Foto: Igor Paušič.

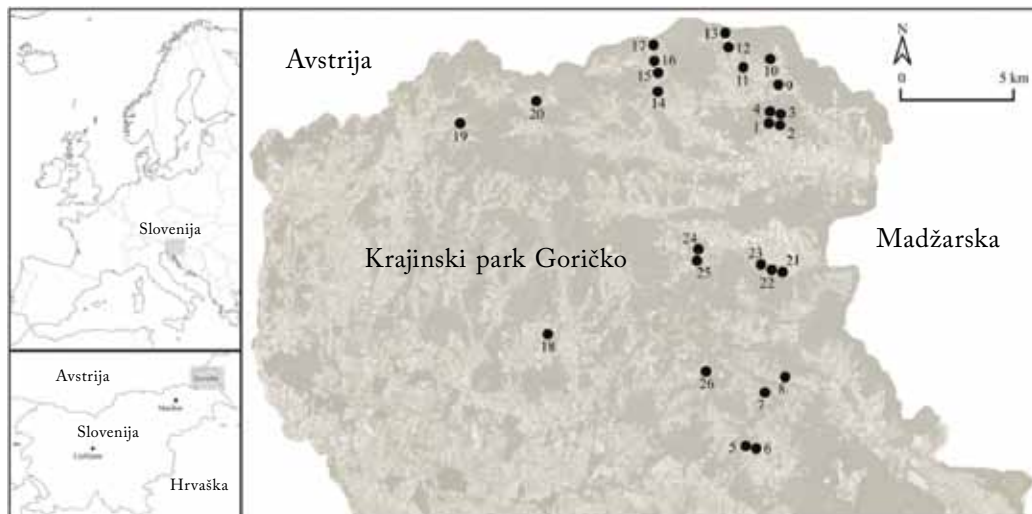
začne na dnu socvetja na najbolj odprtem cvetu, ki je še vitalen, in nadaljuje na cvetovih vse do vrha (Iwata in sod., 2011). Če opraševalec izpusti cvet ali več cvetov na svoji poti proti vrhu socvetja, to imenujemo neobičajni potek gibanja opraševalca po socvetju (Iwata in sod., 2011). Opraševalec v nepopolno odprtih cvetovih do nektarja težje dostopa in ob poskušanju, da bi nektar dosegel, z jezičkom (proboscis) sega v cvet. V neposredni bližini medenih žlez se nahajata prašnika. Skupki peloda (polinariji) so nameščeni na lepljivo ploščico (viscidij), ki se opraševalcu med prehranjevanjem prilepi na glavo. Tako opraševalec nehote prenese pelod na sosednji cvet.

Metode dela

Na izbranem območju Krajinskega parka Goričko smo od začetka septembra do

druge polovice oktobra leta 2021 spremljali vednje opraševalcev na rastiščih zavite škrbice. Na teren smo se odpravili desetkrat, le v sončnem vremenu. Naš cilj je bil posneti učinkovitega opraševalca na primerkih zavite škrbice z različno zgradbo socvetja. Vednje opraševalca smo spremljali pri vsakem zgradbenem tipu socvetja posebej in pri vsaj petih rastlinah enakega tipa socvetja. Tako smo lahko z gotovostjo razložili vzorec obnašanja opraševalca glede na zgradbo socvetja zavite škrbice. Uporabljali smo tri videokamere visoke ločljivosti. Hkrati pa smo foto- in videoposnetke pridobili tudi z našimi pametnimi telefoni in poskušali čim bolj podrobno posneti različne tipe socvetij (smer spirale, število cvetov, število zavojev in tako dalje) in vednje opraševalcev na posameznem zgradbenem tipu socvetja.

Območje raziskovanja



Prostorski prikaz znanih rastišč zavite škrbice v Krajinskem parku Goričko. Opraevalce smo snemali in spremljali na rastiščih od 14 do 17. Ta travnišča so v okolici naselij Čepinci, Budinci, Dolenci in Markovci. Izbrali smo jih zaradi vitalne populacije zavite škrbice, na nekaterih delih travnikov smo našli tudi po nekaj sto njenih primerkov.

Vir: Paušič in sod., 2017.

*Oprema, ki je potrebna za spremljanje učinkovitih opraevalcev pri zaviti škrbici (*Spiranthes spiralis*) na Goričkem.*

Foto: Dorotej Černela.



Rezultati

Rezultate našega terenskega dela predstavljajo videoposnetki in fotografije, ki smo jih posneli z mobilnim telefonom. Ugotovili smo, da spiralni kot med sosednjimi cvetovi v socvetju močno vpliva na vedenje opraevalcev in posledično na opraitveni uspeh

cvetov zavite škrbice. Dokazali smo, da posebna zgradba socvetja pri zaviti škrbici izzove natančno določeni vednjski odziv pri opraevalcih. Spremljali smo predvsem čebele (*Apis mellifera*), ki so znane učinkovite opraevalke zavite škrbice. Povečanje vijačnega kota med sosednjimi cvetovi pov-

*Običajna pot premikanja opraevalca po socvetju navzgor. Učinkoviti opraevalec (*Apis mellifera*) ne izpušča sosednjih cvetov in obiše vse odprte cvetove od spodnjega dela socvetja proti vrhu, pri čemer mu ni treba opravljati kratkih letov med cvetovi, kar pomeni manjšo porabo energije pri pomikanju po socvetju. Slike si sledijo v kronološkem zaporedju od leve proti desni. Foto: Dorotej Černela.*



Neobičajna pot gibanja opraevalca po socvetju zavite škrbice. Slike si sledijo v kronološkem zaporedju od leve proti desni. Čebela izpusti nekaj cvetov in ne sledi spirali oziroma sosednjim cvetovom ter odleti na oddaljeni cvet. Foto: Dorotej Černela.

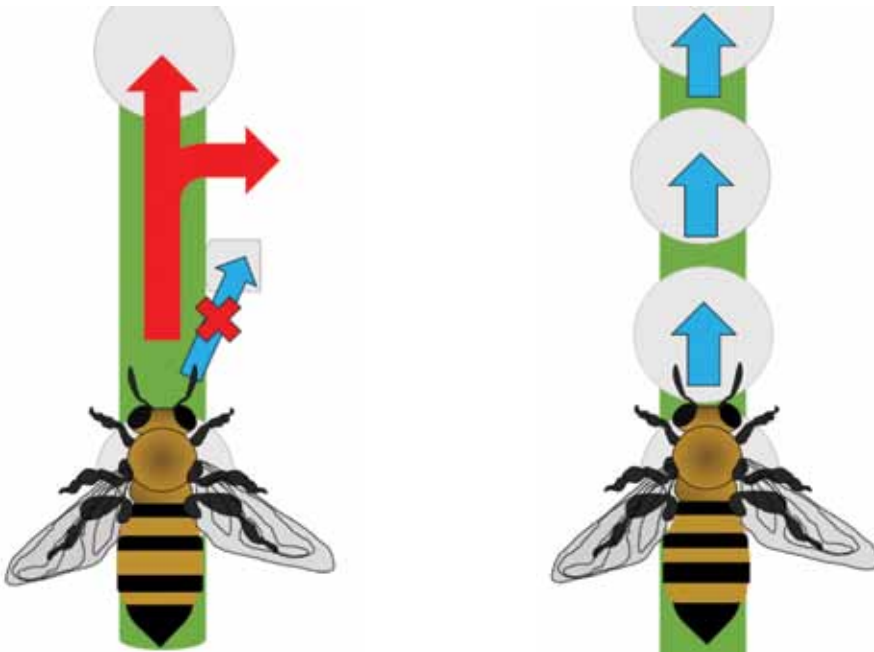


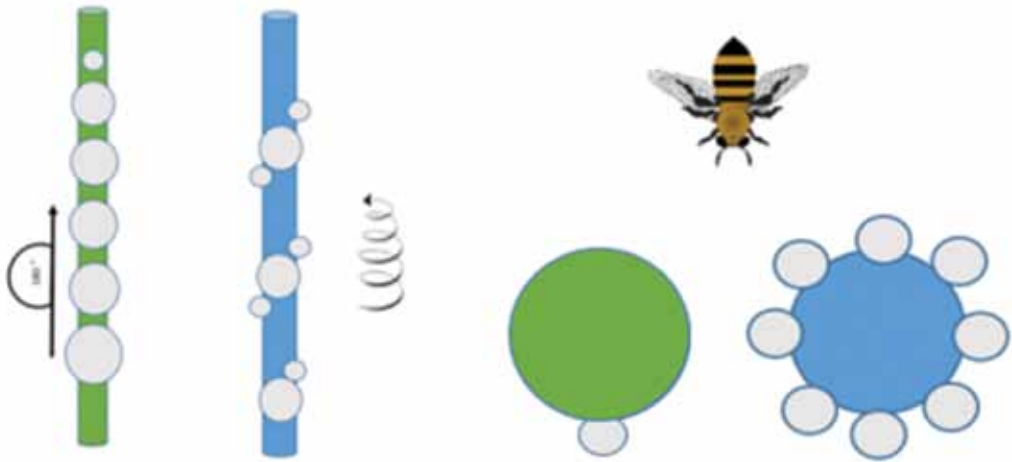
zroči, da se število obiskov takega socvetja zmanjša, število uspešnih oprášitev upade, pot opráševalca pa se v smeri proti vrhu socvetja spremeni tako, da opráševalec začne izpuščati posamezne cvetove. Ker je kot med cvetovi tako velik, se čebela ne more sprehajati s cveta na cvet, ampak je potreben kratek let, kar od opráševalca zahteva dodatno energijo. Močno zasukana (spiralizirana) socvetja opráševalec kmalu zapusti in odleti na naslednjo rastlino. Za opráševalce najbolj privlačna so »ohlapno« zavita in nespiralizirana (enostranska) socvetja ter tista, kjer vsota vseh vijačnih kotov sosednjih cvetov znaša 360 stopinj - enojna spirala. Pri teh socvetjih je tudi navpična razdalja med sosednjimi cvetovi najmanjša (največja gostota cvetov). Opráševalec na poti po takem socvetju porabi najmanj energije, saj se pomika s cveta na cvet in mu

ni treba leteti. Opráševalec se pri »ohlapno« spiraliziranih socvetjih zadrži dlje časa, obišče več cvetov, kar poveča oprášitveni uspeh cvetov takih socvetij. Dokazali smo, da se oprášitveni uspeh pri zaviti škrbici zmanjšuje s povečevanjem vijačnega kota med sosednjimi cvetovi.

Kljub večjemu oprášitvenemu uspehu cvetov v enostranskih in ohlapno zavutih socvetjih imajo tudi močno spiralizirana socvetja v populacijah pomembno vlogo. Gre namreč za optično zaznavo socvetij s strani učinkovitih opráševalcev. Vidni dražljaj je tisti, zaradi katerega opráševalec socvetje med letom zazna in se mu približa. Vidno ga privabi tudi barvni kontrast cvetov, ki ga tvorijo s cvetnim stebлом in njihovo okolico. Opráševalci v naravi namreč zaznavajo tudi vzorce in si jih zapomnijo. Zaznajo posebno zgradbo socvetja škrbice kot vzorec, ki

Skica neobičajne poti opráševalca po socvetju (levo), kjer opráševalec cvet ali več cvetov izpusti, del socvetja preleti in tako porabi pri prehranjevanju z medicino več energije. Skica običajne poti premikanja opráševalca po socvetju, kjer opráševalec ne izpušča sosednjih cvetov (desno). Slika: Dorotej Černela.





Skica različnih zgradb socvetja. Na levi strani imamo dve različni socvetji, prikazani iz perspektive stranskega risa in na desni iz perspektive tlorisa (zeleno steblo predstavlja enostransko socvetje, modro obarvano steblo spiralno socvetje). Desna skica še prikazuje, da enostransko socvetje opraševalcu ni vidno iz smeri preleta, medtem ko je zavito vidno iz vseh smeri. Slika: Dorotej Černela.

ga privabi. Enostranska in »ohlapno« zavita socvetja so mu vidna le iz smeri poteka cvetov, medtem ko so mu močno spiralizirana socvetja vidna iz vseh smeri. Vsak cvet zavite škrbice ima dve nektarni žlezi, ki tvorita razmeroma malo medicīne, kar pomeni malo nagrade za opraševalca. Če bi bila vsa socvetja na primer samo enostranska, bi opraševalci, ki si v prostoru zapomnijo vzorce (so učljivi), hitro izgubili zanimanje za to vrsto in bi za pašo izbirali druge, bolj medonosne cvetoče rastline, od obiska katerih bodo imeli v energetskega smislu večjo korist. Škrbica cveti na koncu rastne sezone, ko je na travnikih le še nekaj drugih vrst cvetočih rastlin, vremenske razmere (predvsem dnevna temperatura zraka) postajajo manj ugodne, opraševalci se pripravljajo na prezimovanje in varčujejo z energijo. Tudi zato je pomembno, da zavita škrbica s svojo zelo raznoliko zgradbo socvetij med primerki v istih populacijah ohranja pozornost opraševalcev. Tako si zagotovi oprašitev cvetov kljub nizki nagradi, majhni količini medicīne, ki jo zagotavlja opraševalcem.

Literatura:

- Acharya, K. P., Wood, J. J., Berwian, R., Sharma, A., 2010: *Spiranthes spiralis* (Orchidaceae), a new record for the Nepal Himalaya. *Harvard Papers in Botany*, 15 (1): 71-72.
- Ishii, H. S., Hirabayashi, Y., Kudo, G., 2008: Combined effects of inflorescence architecture, display size, plant density and empty flowers on bumble bee behaviour: experimental study with artificial inflorescences. *Oecologia*, 156 (2): 341-350.
- Iwata, T., Nagasaki, O., Ishii, H. S., Ushimaru, A., 2012: Inflorescence architecture affects pollinator behaviour and mating success in *Spiranthes sinensis* (Orchidaceae). *New Phytologist*, 193 (1): 196-203.
- Jacquemyn, H., Hutchings, M. J., 2010: Biological Flora of the British Isles: *Spiranthes spiralis* (L.) Chevall. *Journal of Ecology*, 98 (5): 1253-1267.
- Jordan, C. Y., Harder, L. D., 2006: Manipulation of bee behavior by inflorescence architecture and its consequence for plant mating. *American Naturalist*, 167: 496-509.
- Paušič, I., Kaligarič, M., Bakan, B., 2017: Late seasonal mowing enhances central European *Spiranthes spiralis* (L.) Chevall. (Orchidaceae) population viability. *Botany Letters*, 164 (4): 401-412.
- Scopece, G., Gravendeel, B., Cozzolino, S., 2017: The effect of different chiral morphs on visitation rates and fruit set in the orchid *Spiranthes spiralis*. *Plant Ecology and Diversity*, 10 (2-3): 97-104.

Slovarček manj znanih besed:

Proboscis. Dolg koničasti jeziček za srkanje nektarja.

Generativno razmnoževanje. Spolno razmnoževanje s semeni.

Vegetativno razmnoževanje. Nespolno razmnoževanje z deli rastlin (brsti).

Polinarij. Rumeni lepljivi paketek s pelodom.

Intraspecifična variabilnost. Raznolikost znotraj iste vrste.



Dorotej Černela je svoj prosti čas že od nekdaj rad preživel v naravi, kjer je z velikim zanimanjem občudoval različne živalske in rastlinske vrste, prav svet rastlin pa je tisto področje, ki je še posebej pritegnilo njegovo pozornost. Zanimanje za naravo je bil ključen razlog, da ga je poznejša pot zanesla v biologijo. Na dodiplomskem študiju se je zanimanje za rastline še povečalo, saj je svoje znanje botanike še dodatno poglobil in na terenskih vajah spoznal pestro floro Slovenije. Ko je spoznal prvo predstavnico travniških orbidej iz rodu mačjih ušes (Ophrys), se je začelo raziskovanje te prekrasne družine, ki ga je pripeljalo tudi do zavite škrbice (Spiranthes spiralis). Vpliv zgradbe socvetja pri zaviti škrbici je predstavil na botaničnem simpoziju na Wraberjevem dnevu 2021. Septembra leta 2021 je diplomiral iz biologije na Fakulteti za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru. S študijem sedaj nadaljuje na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani na študijskem programu ekologije in biodiverzitete.



Žan Cenc je tehnični sodelavec (laborant) na Oddelku za biologijo Fakultete za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru. Večino dela opravlja na področju botanike, predvsem je zadolžen za terensko delo. Ljubiteljsko se ukvarja s hortikulturo, čebelarstvom in potapljaštvom, vedno več pa zahaja tudi v gore. Zadnje čase ga zanimajo predvsem avtohtone kukavice in njihovi opraševalci kakor tudi vzgoja ogroženih vrst in vitro.



Igor Paušič je po izobrazbi geograf in biolog, zaposlen je kot docent na Oddelku za biologijo Fakultete za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru, kjer poučuje splošno botaniko in sistematiko rastlin ter s študenti izvaja laboratorijske in terenske vaje. Njegovo raziskovalno področje obsega krajinsko ekologijo, arheobotaniko, zlasti pa taksonomijo in ekologijo naših samoniklih vrst iz družine kukavičevk. Ukvarja se predvsem z rodovoma Ophrys in Nigritella.