

Chwytające struktury u roślin pułapkowych

Krzysztof Zwoliński, Krzysztof Banaś, Agnieszka Kowalkowska
Uniwersytet Gdański, Wydział Biologii
e-mail: agnieszka.kowalkowska@ug.edu.pl

Słowa kluczowe – *Nepenthes*, rośliny pułapkowe, rośliny mięsożerne, rośliny owadożerne, dzbaneczniki, *Drosera*

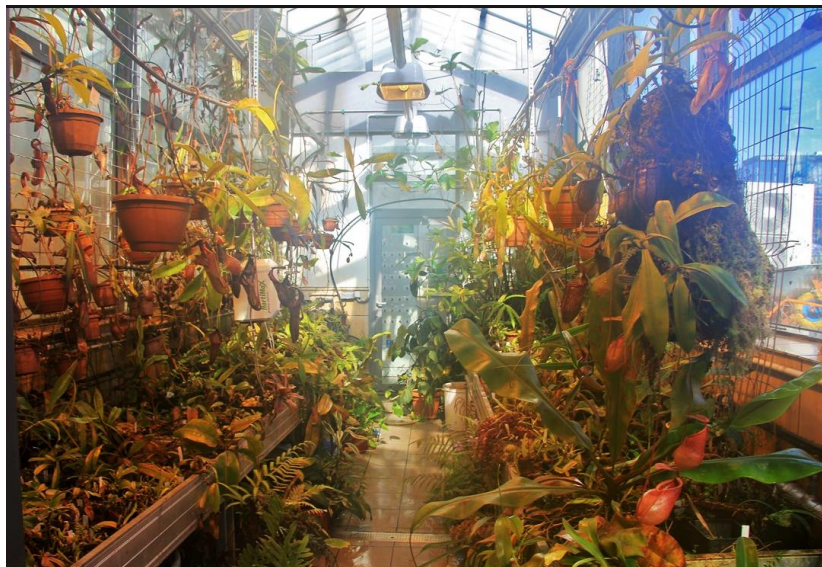
Obserwując świat flory...

Świat flory pełen jest intrygujących roślin. W celu przystosowania do niesprzyjających warunków środowiska wiele z nich wykształciło modyfikacje struktur, takich jak liście u roślin pułapkowych, umożliwiającym im sprawne pozyskiwanie pokarmu w postaci owadów, stąd ich nazwa – rośliny owadożerne (łac. *plantae insectivorae*) czy w szerszym ujęciu – rośliny mięsożerne (łac. *plantae carnivorae*).

Po co *Nepenthes* „poluje”?

Nepenthes L. (Caryophyllales: Nepenthaceae) to rodzaj obejmujący 179 gatunków [1], rosnących od Madagaskaru po Nową Kaledonię, z centrum występowania na Borneo (Clarke 1997), Sumatrze (Clarke 2001) i na

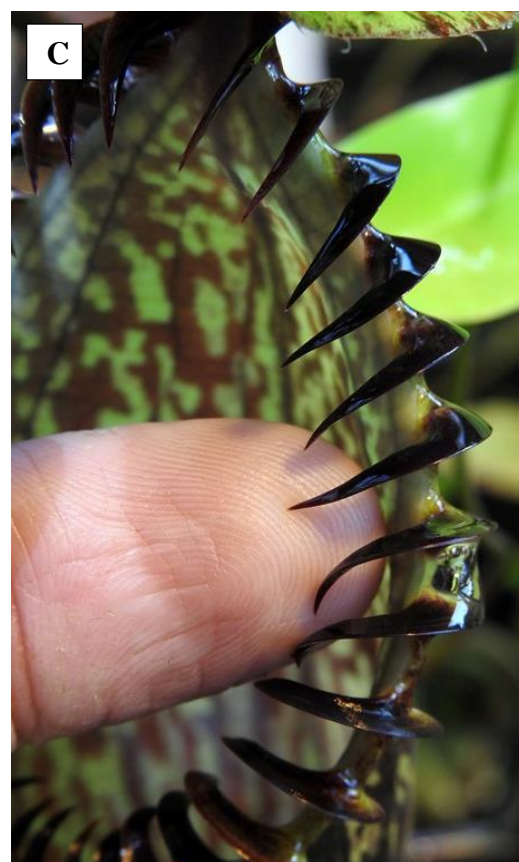
Filipinach (McPherson, 2009) (Ryc. 1–4). Te tropikalne pnącza występują na neurodzajnych podłożach ubogich w składniki pokarmowe, zwłaszcza w azot. Rosną w lasach wrzosowiskowych, lasach bagiennych, namorzynach i w lasach górskich. Rośliny te wykształciły na wierzchołkach wąsów liści pułapki w kształcie dzbanków (stąd ich nazwa: dzbaneczniki), o różnych rozmiarach, kształtach oraz barwach (Ryc. 5). Do pułapek tych wpadają małe stawonogi, zapewniając główne źródło pokarmu dla rośliny, w tym pierwiastki takie, jak azot, fosfor, siarka, potas, wapń, magnez (Adamec, 1997; Schultze i in., 1997; Gaume i in., 2016). Oczywiście, rośliny te czerpią także składniki mineralne, w tym azot z podłoża, a nawet azot atmosferyczny (Schultze i in., 1997).



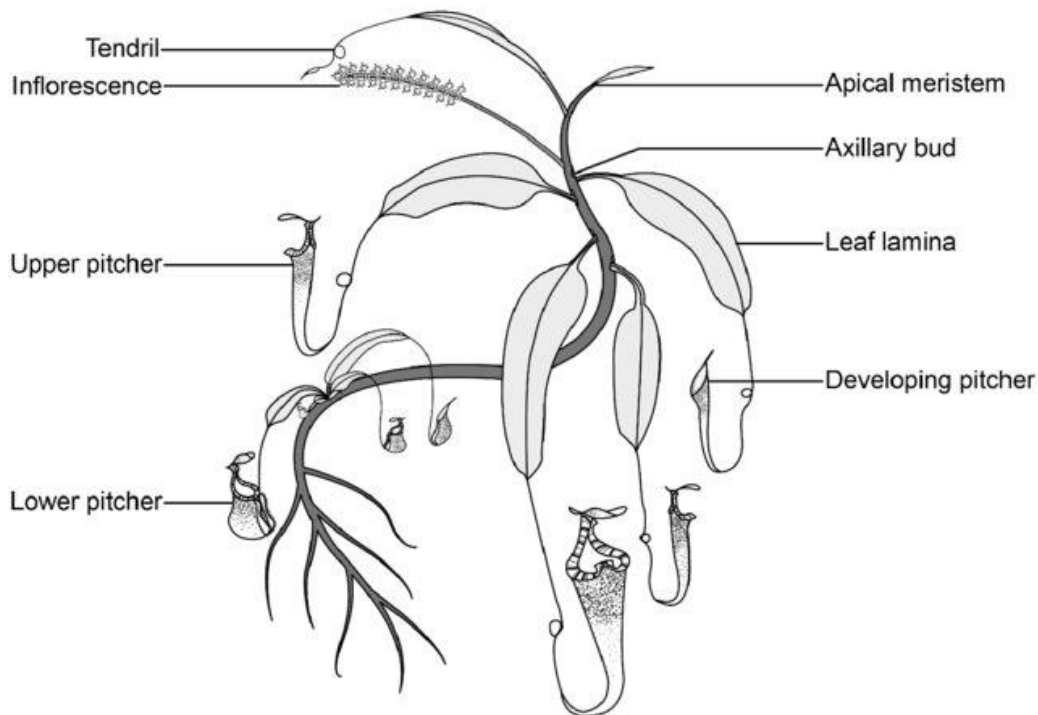
Ryc. 1. Kolekcja roślin pułapkowych w szklarni Wydziału Biologii, Uniwersytetu Gdańskiego (autor zdjęcia: Krzysztof Banaś)



Ryc. 2. Wybrane gatunki z rodzaju *Nepenthes* L. rosnące w szklarni Wydziału Biologii UG:
 A. *Nepenthes sibuyanensis* x *merrilliana*; B. *Nepenthes veitchii*; C. *Nepenthes ampullaria*;
 D. *Nepenthes ventricosa*; E. *Nepenthes burbidgeae* x *platychila*; F. *Nepenthes aristolochioides*
 (autor zdjęć: Krzysztof Banaś)



Ryc. 3. Gatunki z rodzaju *Nepenthes* L. (szklarnia WB, UG): A. *Nepenthes boschiana*; B i C. *Nepenthes hamata* – dzbanki dolne z charakterystycznym perystodem w kształcie zębów (autor zdjęć: Krzytof Banaś)



Ryc. 4. Morfologia typowej rośliny *Nepenthes*: apical merystem – merystem wierzchołkowy, axillary bud – pąk pachwinowy; developing pitcher – rozwijający się dzbanek; inflorescence – kwiatostan; leaf lamina – blaszka liściowa; lower pitcher – dolny dzbanek; tendril – wąż; upper pitcher – górny dzbanek; (autorka ilustracji: Felicia Leong Wei Shan, za: Lam i Tan, 2020)

W pułapkach wielu gatunków głównie zostają uwięzione owady latające z 9 rodzajów w obrębie Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, Lepidoptera i Thysanoptera. Chociaż *Nepenthes albomarginata* i *Nepenthes gracilis* są bardziej wyspecjalizowane. U pierwszego obserwuje się dużo złapanych termitów, określając ten typ dzbanek jako wykazujący „syndrom termitów”, a u drugiego gatunku - kilka gatunków pszczoł (Gaume i in., 2016).

Poznajmy „chwytające” struktury

Rośliny pułapkowe zaskakują budową struktur chwytających. Dzbanki mogą być wąskie lub lejkowate (Gaume i Di Giusto, 2009), jajowate (Cresswell, 1998), dużych rozmiarów (Chin i in., 2010) lub kopulaste (Moran i in., 2012). Dodatkowo obserwuje się zmienność wewnątrzgatunkową: dwa rodzaje dzbanek odmiennych morfologicznie, zwane dolnymi i górnymi (Gaume i Di Giusto 2009), co jest efektem przejścia ze stadium młodo-

cianego do stadium dojrzałego (Lee i Richards 1991). Oprócz dzbanek, gatunki *Nepenthes* przyciągają owady (potencjalne ofiary) za pomocą nagrody – nektaru (Bauer i in., 2009), uwalniając zapachy (Di Giusto i in., 2010), czy stosując wizualne sygnały (Moran i in., 1999). Nie dość na tym! W dzbankach widzimy perystem ze śliską powierzchnią (Bohn i Federle, 2004), także ściany pułapek są pokryte śliską, woskową warstwą (Gaume i in., 2002), a na dnie pułapki znajduje się lepko-sprężysty płyn trawienny (Gaume i Forterre, 2007) lub pułapki znajdują się lepko-sprężysty płyn trawienny (Gaume i Forterre, 2007) lub pułapki znajdują się lepko-sprężysty płyn trawienny (Gaume i Forterre, 2007) lub pułapki znajdują się lepko-sprężysty płyn trawienny (Gaume i Forterre, 2007) lub pułapki znajdują się lepko-sprężysty płyn trawienny (Gaume i Forterre, 2007).



Ryc. 5. Klony *Nepenthes bicalcarata* z dwóch lokalizacji: A. z Sipitang, Borneo; B. odmiana Giant Red z Sarawak, Borneo (szklarnia WB, UG, autor zdjęć: Krzysztof Banaś)

Co ciekawe, aktywność wydzielania z miodników u *Nepenthes bicalcarata* (Ryc. 6) zmienia się podczas rozwoju pułapki: miodniki na wąsie i ścianie zewnętrznej dzbanka są przeważnie aktywne w rozwijających się, zamkniętych dzbankach. Podczas gdy w dojrzałych pułapkach większość nektaru jest wydzielana pod wieczkiem i na perystomie. Przed otwarciem dzbanka, zbawione mrówki tworzą przyszłe szlaki żerowania. Później, owady, idąc tymi szlakami, mogą wpadać do otwartego dzbanka. Jednak na początku dzbanek jest chroniony przed zjedzeniem (Bauer i Federle, 2009; i literatura tam cytowana).

Objętość dzbanka nie zawsze przekładała się na większą liczbę schwytanych owadów. Pokazuje to, że najważniejsze jest wnętrze – dosłownie. Zamknięte dzbanki są wypełnione CO₂, a kiedy otwierają się uwalniają go i gradient dwutlenku węgla, tworzący się wokół pułapek, działa jak wskazówka zwabiająca ofiary (Baby i in., 2017).

Równie istotna jest powierzchnia wewnętrznej strony dzbanka, w której skład wchodzi strefa dolna gruczołowa i górna woskowa. Dodatkowo brzeg dzbanka tworzy perystom mający regularny wzór grzbietów i miodniki pozakwiatowe. Perystom często jest wydłużony ku górze tworząc szyjkę zakończoną wieczkiem, ochraniającą dzbanek przed ulewnymi deszczami. U niektórych gatunków wieczko jest wygięte do tyłu lub zredukowane. Powierzchnia perystomu jest stale zwilżona, co prawdopodobnie jest możliwe dzięki kombinacji powierzchniowych, hydrofilowych związków chemicznych, chropowatości powierzchni i obecności higroskopijnego nektaru (Bauer i Federle, 2009). Nektar jest higroskopijny z powodu wysokiej zawartości cukru. Wykazano, że obecność nektaru na perystomie znacząco zwiększa zwilżenie powierzchni poprzez jego kondensację (Bauer i in., 2008). Taka właściwość perystomu powoduje ślizganie się owadów po jego powierzchni (Bauer i Federle, 2009).



Ryc. 6. *Nepenthes alata* (szklarnia WB, UG, autor zdjęcia: Krzysztof Banaś)

Badania powierzchni u *Nepenthes alata* (Gaume i in., 2002) dowodzą, że skuteczność chwytania owadów jest możliwa dzięki połączeniu funkcji kilku powierzchni, ich śliskości, wpływu na przyczepność odnóży owadów. Może to reprezentować przystosowanie rośliny do maksymalizacji zdobywania owadów. Perystom, mimo promienistych grzbietów zakończonych zębami i z obecnymi miodnikami, miał śliską powierzchnię. Strefa woskowa pokryta kryształami wosku, zbudowana z heksagonalnych komórek epidermy ze zmodyfikowanymi aparatami szparkowymi tworzącymi komórki księżycowate, odgrywała kluczową rolę w syndromie poślizgu ("the slippery syndrome"), przy czym wypukłe komórki księżycowate znacznie zakłócały poruszanie się owadów. Dodatkowo, między strefą woskową a trawienną była obecna gładka strefa przejściowa, która również powoduje upadki owadów. Także dolna powierzchnia wieczka jest gładka i pełni

podobną funkcję. Poduszcзки na przedstopiach odnóży, szczególnie u much (Wigglesworth, 1987), umożliwiają owadom poruszanie się po gładkich powierzchniach (Gorb, 1998; Gorb, 2001), nawet przy dużych nachyleniach, takich jak wieczko dzbanka czy części perystomu. Stąd wniosek, że sama gładka powierzchnia nie może wyjaśnić utraty przyczepności owadów (Gaume i in., 2002). Może do tego przyczynić się rzeźba powierzchni, w tym kąt jej nachylenia. Jeśli spojrzymy na pofałdowania dolnej strony wieczka – gładkie i występujące na zębach perystomu – pionowe, to prawdopodobnie pełnią one funkcję zmniejszania powierzchni kontaktu owadzich odnóży. Dodatkowo, orientacja komórek epidermy, jak i ich geometria, może wpływać na anizotropię przyczepu owadów. Komórki księżycowate występujące w strefie woskowej mogą sprzyjać upadkowi owadów, a także pełnić rolę pułapki poprzez utrudnianie ucieczki. Prawdopodobnie zmodyfikowane aparaty szparkowe wyewoluowały na skutek presji selekcyjnej, co dowodzi zmiany funkcji tych struktur w inne. Ponadto strefa woskowa może wpływać na spadanie owadów ze względu na to, że kryształy bądź płyty wosku mogą łatwo odrywać się od powierzchni i przyklejać do odnóży, co potwierdzili Gaume i in. (2002) obserwując, że owady po przejściu przez strefę woskową, często czyściły swoje odnóża.

Śliskie powierzchnie dzbanka umożliwiają upadek owadów na dół dzbanka. Znajdująca się tam strefa trawienna jest miejscem, w którym znajdują się gruczoły trawienne produkujące lepki sok trawienny. U *Sarracenia flava* (Sarraceniaceae) wykazano dodatkowo obecność substancji paraliżujących, które mogą wpływać na zachowanie się owadów przed zadziałaniem związków trawiennych (Juniper i in., 1989; Gaume i in., 2002). Śliskie powierzchnie dzbanka umożliwiają upadek owadów na dół dzbanka. Znajdująca się tam strefa trawienna jest miejscem, w którym znajdują się gruczoły trawienne produkujące lepki sok trawienny. U *Sarracenia flava*

(Sarraceniaceae) wykazano dodatkowo obecność substancji paraliżujących, które mogą wpływać na zachowanie się owadów przed zadziałaniem związków trawiennych (Juniper i in., 1989; Gaume i in., 2002). Lepka konsystencja soku ogranicza możliwość ucieczki ewentualnej zdobyczy - może działać mechanicznie jak klej poprzez utrudnienie poruszania. Wyniki doświadczeń pokazują, że owady najdłużej przebywały na powierzchni gruczołowej, ale rola strefy gruczołowej jako strefy adhezyjnej, służącej zatrzymywaniu owadów u *Nepenthes*, wymaga dalszych badań (Gaume i in., 2002). Co ciekawe, w kielichach Sarraceniaceae, w których nie wykształcają się gruczoły trawienne, funkcję zatrzymywania owadów pełnią włosy retencyjne (Adams i Smith, 1977). Wysoka liczebność schwytych owadów-ofiary wynika z połączenia funkcji różnych powierzchni ze „strategiami” łapania. Dane porównawcze odnośnie przebywania owadów w dzbankach pokazują, że np. mrówki mogły przebywać na strefie woskowej znacznie dłużej niż muchy, a nawet wydostać się z pułapki. Natomiast muchy, które znalazły się na powierzchni pokrytej woskiem, częściej i szybko wpadały do dzbanka, próbując nie ślizgać się na perystomie (Lloyd, 1942, Gaume i in., 2002). Wyjaśnia to typ poduszczyk w odnóżach. Muchy są „gorszymi” biegaczami po wosku, ale mają „lepsze” narządy adhezyjne. Powoduje to, że kryształki wosku lepiej przylegają do ich poduszczyków i je zanieczyszczają (Gaume i in., 2002).

Niektórzy przedstawiciele *Nepenthes* rezygnują z pewnych modyfikacji. Przykładem tego jest kompleks *Nepenthes rafflesiana*. Porównano odmiany: *typica* i *elongata*, które różnią się kształtem i rozmiarem dzbanka. U odmiany *elongata* dzbanki są wydłużone, ulegają niewielkim zmianom w trakcie ontogenezy. Strefa woskowa jest rozbudowana i mimo, że w badaniach eksperymentalnych, dzięki woskowi, mrówki wpadały do pułapek, to nie powodowało to, by liczba ofiar była znacząca. Natomiast u odmiany *typica* strefa

woskowa była zredukowana podczas kolejno pojawiających się dzbanków, a w stadium młodocianym zanikała. Ponadto kształt dzbanków zmieniał się w trakcie rozwoju: od wydłużonych po jajowate. Liczba schwytych owadów-ofiary w dzbankach była u tej odmiany większa. W tym przypadku efekt ten roślina zawdzięcza płynowi trawiennemu w pułapkach niż woskowi w strefie woskowej dzbanków. Rośliny z woskiem na powierzchni nie wykazują wyższego zatrzymywania i większej liczebności ofiar w dzbankach w porównaniu z tymi, u których brak wosku (Gaume i Di Giusto, 2009).

Czy owady to jedyne menu *Nepenthes*?

Okazuje się, że gatunek wysokogórski z Borneo - *Nepenthes lowii* (Ryc. 7) wykształca inną strategię na przetrwanie w trudnym środowisku. Wytwarza on dwa typy pułapek, które są zróżnicowane pod względem kształtu i pełnionej funkcji. Nie-dojrzałe okazy wytwarzają dzbanki według „typowego” wzoru, które chwytają stawonogi. Dojrzałe okazy mają pułapki, bez cech warunkujących mięsożerność. Są one wizytowane przez ryjówki drzewne (*Tupaia montana*), które posilają się wydzielinami z wieczka i zostawiają „pakunek typu dwójka” do dzbanków, przyczyniając się do zwiększenia ilości azotu w liściach – od 57% do 100% zawartości. Mutualizm między *N. lowii* a ryjówkami jest oparty na wymianie źródeł pożywienia, których brakuje w górskim środowisku. Dzięki temu *N. lowii* uzyskuje dodatkowe źródło azotu, a ryjówka pożywienie z wydzielin wieczka (Clarke i in., 2009). Ciekawą strategię obserwujemy u innego gatunku z Borneo, tym razem - nizinnego *Nepenthes hamsleyana*. Jeżeli w ogóle łapie owady, to znacznie mniej niż inne. Za to jest „noclegownią” dla wełnianych nietoperzy Hardwicke (*Kerivoula hardwickii*), które załatwiają się do dzbanka. Kał nietoperzy zawiera azot, wykorzystywany przez tego dzbanecznika (Grafe i in., 2011).



Ryc. 7. *Nepenthes lowii* (szklarnia WB, UG, autor zdjęcia: Krzysztof Banaś)

Mięsożerni bliscy *Nepenthes*

Do roślin mięsożernych o równie wielkim apetycie, co *Nepenthes*, zaliczają się gatunki *Drosera*, czyli rosiczki (Ryc. 8). Podobnie, jak *Nepenthes*, wykształciły one modyfikacje pozwalające im na owadożerność. W przypadku *Drosera capensis* są to liście zaopatrzone w włoski gruczołowe, które w odpowiedzi na bodźce mechaniczne wydzielają lepki płyn uniemożliwiający ofierze ucieczkę, a następnie trawiący owada (Krausko i in., 2017). Dodatkowo cały liść z włoskami ulega zgięciu, co zwiększa efektywność chwytania owadów. U *Drosera* wyginanie liści wywołane jest przez bodziec mechaniczny lub przez pojawienie się ofiary. Impuls mechaniczny jest następnie zamieniany na sygnały elektryczne, które są niezbędne do zainicjowania odpowiedzi obronnej poprzez sygnalizację jasmonianu (Mousavi i in., 2013). Jasmoniany są ważnymi regulatorami odpowiedzi roślin na stresy biotyczne i abiotyczne, a także wzrostu i rozwoju (Koo i Howe, 2009; Wasternack i Hause, 2013; za: Krausko i in., 2017).



Ryc. 8. *Drosera anglica* (szklarnia WB, UG, autor zdjęcia: Krzysztof Banaś)

Również rośliny z rodzajów *Aldrovanda* oraz *Dionaea* wykształciły specyficzne pułapki zatraskowe umożliwiające łapanie owadów. W przypadku *Aldrovanda vesiculosa* części pułapki pozostają nieruchome, a środkowy nerw „kieruje” zamknięciem pułapki (Poppinga i in., 2013). Odmienne wygląda to u *Dionaea muscipula*, gdzie ruchome części zamykają się po podrażnieniu włosków wewnątrz pułapki przez owada, a środkowy nerw pozostaje nieruchomy (Poppinga i in., 2013). Szybkość, z jaką pułapki zatraskowe mogą się zamykać, wynosi około 100 ms (Poppinga i in., 2013; i literatura tam cytowana), co gwarantuje roślinie schwywanie posiłku w postaci stawonoga.

Owady w defensywie

Nie należy jednak lekceważyć owadów, one również posiadają parę sztuczek w zanadru, które umożliwiają im unikanie niechybnej śmierci. Istotnym mechanizmem obronnym jest czyszczenie odnóży po opuszczeniu dzbanka, jeśli w ogóle wydostanie się na zewnątrz. To właśnie odnóże stanowią główny ratunek z tarapatów, gdy owad wpadnie do dzbanka. Wiele gatunków posiada odnóże wyposażone w specjalne modyfikacje, które pozwalają im na wspinaczkę po woskowej strefie dzbanka.

Warto również poruszyć kwestię skrzydeł. Potencjalnie może się wydawać, że ich posiadanie stanowi przewagę nad bezskrzydłymi owadami. Niestety, po zamoczeniu w płynie obecnym w dzbanku przewaga ta zanika i owad zostaje zdany „na łaskę” rośliny.

Niektóre owady są również pozbawione wzroku, co dodatkowo utrudnia im unikanie roślin mięsożernych. Dzieje się tak w przypadku większości gatunków termitów, które wiedzione pokusą jadalnych części dzbanka wpadają w zasadzkę, a następnie są trawione (Gaume i in., 2016).

Trudno jednak wyróżnić gatunek owada najsprawniej radzący sobie w przypadku starcia z rośliną pułapkową. Na przykład

Drosophila melanogaster świetnie radzi sobie podczas chodzenia po woskowej strefie dzbanka, lecz spędza więcej czasu na tej strefie niż *Iridomyrmex humilis*. Dzieje się tak, gdyż narządy przyczepności silniej przylegają do kryształów wosku łatwo przylegających do odnóży (Gaume i in., 2002).

Podsumowanie

Rośliny pułapkowe, dla których owady są źródłem przyswajalnego azotu, intrygują. Dzięki wzajemnym oddziaływaniom roślin-owad możemy śledzić zależności między organizmami, mechanizmy, jakie mięsożerne rośliny wykształciły, by zmaksymalizować szanse na zdobycz, a owady – na ucieczkę przed zjedzeniem. Dowodzi to niejako istnienia „wyścigu zbrojeń” między rośliną a owadem, przy czym roślina walczy o posiłek, a owad o przeżycie. Szczególną uwagę należy poświęcić tym roślinom również ze względu na ewentualną ochronę dzbaneczników – w celu zachowania ich bioróżnorodności gatunkowej.

Literatura

- Adamec, L. 1997. Mineral nutrition of carnivorous plants: A review. *The Botanical Review*, 63(3), 273-299.
- Adams, R.M., Smith, G.W. 1977. An S.E.M. survey of the five carnivorous pitcher plant genera. *American Journal of Botany*, 64, 265-272.
- Baby, S., Johnson, A. J., Zachariah, E. J., Hussain, A. A. 2017. *Nepenthes* pitchers are CO₂-enriched cavities, emit CO₂ to attract preys. *Scientific Reports*, 7(1), 11281.
- Bauer, U., Bohn, H.F., Federle, W. 2008. Harmless nectar source or deadly trap: *Nepenthes* pitchers are activated by rain, condensation and nectar. *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences* 275, 259-265.
- Bauer, U., Federle, W. 2009. The insect-trapping rim of *Nepenthes* pitchers: surface structure and function. *Plant Signaling & Behavior*, 4(11), 1019-1023.
- Bauer, U., Willmes, C., Federle, W. 2009. Effect of pitcher age on trapping efficiency and natural prey capture in carnivorous *Nepenthes rafflesiana* plants. *Annals of Botany*, 103, 1219-1226.
- Bazile, V., Le Moguédec, G., Marshall, D.J., Gaume, L. 2015. Fluid physico-chemical properties influence

- capture and diet in *Nepenthes* pitcher plants. *Annals of Botany*, 115, 705-716.
- Bohn, H.F., Federle, W. 2004. Insect aquaplaning: *Nepenthes* pitcher plants capture prey with the peristome, a fully wettable water-lubricated anisotropic surface. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 101, 14138-14143.
- Bonhomme, V., Pelloux-Prayer, H., Jousselin, E., Forterre, Y., Labat, J.-J., Gaume, L. 2011. Slippery or sticky? Functional diversity in the trapping strategy of *Nepenthes* carnivorous plants. *New Phytologist*, 191, 545-554.
- Chin, L., Moran, J. A., Clarke, C. M. 2010. Trap geometry in three giant montane pitcher plant species from Borneo is a function of tree shrew body size. *New Phytologist*, 186, 461-470.
- Clarke, C. 1997. *Nepenthes* of Borneo. Natural History Publications (Borneo) Sdn. Bhd, Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia.
- Clarke, C. 2001. *Nepenthes* of Sumatra and Peninsular Malaysia. Natural History Publications (Borneo), Kota Kinabalu.
- Clarke, C. M., Bauer, U., Lee, C. C., Tuen, A. A., Rembold, K., Moran, J. A. 2009. Tree shrew lavatories: a novel nitrogen sequestration strategy in a tropical pitcher plant. *Biology Letters*, 5(5), 632-635.
- Cresswell, J.E. 1998. Morphological correlates of necromass accumulation in the traps of an eastern tropical pitcher plant, *Nepenthes ampullaria* Jack, and observations on the pitcher infauna and its reconstitution following experimental removal. *Oecologia*, 113, 383-390.
- Di Giusto, B., Bessière, J.-M., Guérout, M., Lim, L.B.L., Marshall, D.J., Hossaert-McKey, M., Gaume, L. 2010. Flower-scent mimicry masks a deadly trap in the carnivorous plant *Nepenthes rafflesiana*. *Journal of Ecology*, 98, 845-856.
- Gaume, L., Bazile, V., Huguin, M., Bonhomme, V. 2016. Different pitcher shapes and trapping syndromes explain resource partitioning in *Nepenthes* species. *Ecology and Evolution*, 6(5), 1378-1392.
- Gaume, L., Di Giusto, B. 2009. Adaptive significance and ontogenetic variability of the waxy zone in *Nepenthes rafflesiana*. *Annals of Botany*, 104(7), 1281-1291.
- Gaume, L., Forterre, Y. 2007. A viscoelastic deadly trap in *Nepenthes* pitcher plants. *PLoS One*, 2: e1185.
- Gaume, L., Gorb, S., Rowe, N. 2002. Function of epidermal surfaces in the trapping efficiency of *Nepenthes alata* pitchers. *The New Phytologist*, 156(3), 479-489.
- Gorb, S.N. 1998. The design of the fly adhesive pad: distal tenent setae are adapted to the delivery of an adhesive secretion. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 265, 747-752.
- Gorb, S.N. 2001. Attachment devices of insect cuticle. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Grafe, T.U., Schöner, C.R., Kerth, G., Junaidi, A., Schöner, M.G. 2011. A novel resource-service mutualism between bats and pitcher plants. *Biology Letters*, 7(3), 436-439.
- Juniper, B.E., Robins, R.J., Joel, D. 1989. The carnivorous plants. London, UK: Academic Press.
- Koo, A.J.K., Howe, G.A. 2009. The wound hormone jasmonate. *Phytochemistry*, 70, 1571-1580.
- Krausko, M., Perutka, Z., Šebela, M., Šamajová, O., Šamaj, J., Novák, O., Pavlovič, A. 2017. The role of electrical and jasmonate signalling in the recognition of captured prey in the carnivorous sundew plant *Drosera capensis*. *The New Phytologist*, 213(4), 1818-1835.
- Lam, W.N., Tan, H.T.W. 2020. The Pitcher Plants (*Nepenthes* Species) of Singapore. Lee Kong Chian Natural History Museum, National University of Singapore, Singapore.
- Lee, D.W., Richards, J.H. 1991. Heteroblastic development in vines. pp. 205-243 in E. F. Putz and H. A. Mooney, eds. The biology of vines. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Lloyd, F.E. 1942. The carnivorous plants. Waltham, MA, USA: Chronica Botanica Co.
- McPherson, S. 2009. Pitcher plants of the old world (Vol. 2). Redfern Natural History Production, Pool, Dorset, U.K.
- Moran, J.A., Booth, W.E., Charles, J.K. 1999. Aspects of pitcher morphology and spectral characteristics of six Bornean *Nepenthes* pitcher plant species: implications for prey capture. *Annals of Botany*, 83, 521-528.
- Moran, J.A., Clarke, C., Gowen, B.E. 2012. The use of light in prey capture by the tropical pitcher plant *Nepenthes aristolochioides*. *Plant Signalling & Behavior*, 7, 957-960.
- Mousavi, S.A.R, Chauvin, A., Pascaud, F., Kellenberger, S., Farmer, F.E., 2013. Glutamate receptor-like genes mediate leaf-to-leaf wound signals. *Nature*, 500, 422-426.
- Poppinga, S., Hartmeyer, S. R., Masselter, T., Hartmeyer, I., Speck, T. 2013. Trap diversity and evolution in the family Droseraceae. *Plant Signaling & Behavior*, 8(7), e24685.

Schultze, W., Schultze, E.D., Pate, J.S., Gillison, A.N. 1997. The nitrogen supply from soils and insects during growth of the pitcher plants *Nepenthes mirabilis*, *Cephalotus follicularis* and *Darlingtonia californica*. *Oecologia*, 112, 464-471.

Wasternack, C., Hause, B. 2013. Jasmonates: biosynthesis, perception, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. An update to the 2007 review in *Annals of Botany*. *Annals of Botany*, 111, 1024-1058.

Wigglesworth, V.B. 1987. How does a fly cling to the under surface of a glass sheet. *Journal of Experimental Biology*, 129, 363-367.

Źródła internetowe

[1] Plants of the World Online, <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:327014-2> (dostęp z dn. 19.09.2022)

Notka o Autorach

Krzysztof Zwoliński jest absolwentem Biologii medycznej I stopnia na Wydziale Biologii Uniwersytetu Gdańskiego, a obecnie jest studentem I roku Medycyny na Gdańskim Uniwersytecie Medycznym.

Esej powstał jako efekt współpracy z prowadzącą ćwiczenia warsztatowe „Współczesne problem naukowe w biologii – tutoring naukowy” dr hab. Agnieszką Kowalkowską, prof. UG i właścicielem kolekcji dzbaneczników dr. hab. Krzysztofem Banasiem, prof. UG.