

Występowanie i rola ekologiczna grzyba *Puccinia komarovii* w Polsce – konsekwencje dla ochrony przyrody

Distribution and ecological role of the fungus *Puccinia komarovii* in Poland
– implications for nature conservation

Lech Krzysztofiak

Wigierski Park Narodowy, Krzywe 82, 16-402 Suwałki

e-mail: krzysztofiak.lech@wigry.org.pl

Abstract. *Puccinia komarovii* Tranzschel (1936) is a pathogenic fungus of the family Pucciniaceae, whose natural hosts are plants of the genus *Impatiens*. In Poland, its only host is the invasive small-flowered balsam, *Impatiens parviflora*. This study provides a synthesis of current knowledge on the distribution of this fungus species in Poland, its population dynamics, and its ecological significance in the context of nature conservation. The analysis was based on data collected from the 1990s to 2025, the results of the latest molecular studies, and data from the relevant literature.

The first record of *P. komarovii* in Poland dates back to 1934 (Silesia region). Recent studies have confirmed the widespread presence of the pathogen in numerous national parks: Wigry (over 250 sites), Drawa, Wielkopolska, Wolin, Świętokrzyski, Gorce, Słowiński, Roztocze, Pieniny, and Góry Stołowe (Table 1), as well as in other areas, particularly in southern Poland (Table 2, Fig. 1).

Detailed observations conducted in Drawa National Park (DPN) and Wigry National Park (WPN) revealed significant variation in infection intensity. In selected locations, the proportion of infected plants ranged from 25% to 100%. Molecular analyses of isolates confirmed that the Polish populations belong to the subspecies *P. komarovii* var. *komarovii* and revealed genetic diversity in comparison with isolates from the Wielkopolska region.

The pathogen exhibits high host specificity; no infections of the native common balsam *Impatiens noli-tangere* were recorded during the three-year study. Infection causes significant host weakening, including reduced biomass and reproduction, and, under conditions of high pathogen pressure, seedling mortality reaching 100%. These results confirm the potential of *P. komarovii* as a natural factor limiting the expansion of *I. parviflora* in Polish forest ecosystems. Further research should focus on monitoring the population dynamics and genetic variability of this fungus.

Słowa kluczowe: *Puccinia komarovii*, grzyby rdzawnikowe, *Impatiens parviflora*, gatunek inwazyjny, biokontrola

Keywords: *Puccinia komarovii*, rust fungi, *Impatiens parviflora*, invasive species, biological control

1. Wstęp

Inwazje biologiczne uznawane są obecnie za jeden z kluczowych czynników prowadzących do przekształceń ekosystemów i spadku różnorodności biologicznej (Chmura 2014). W Europie Środkowej szczególne znaczenie ma ekspansja niecierpka drobnokwiatowego *Impatiens parviflora* DC., który od momentu introdukcji w połowie XIX wieku stał się jednym z najszerzej rozpowszechnionych gatunków runa leśnego. Pierwsze stwierdzenia tej rośliny w środowisku przyrodniczym na obszarze Polski w obecnych granicach pochodzą z roku 1850 z okolic Gdańska i Krakowa (Adamowski i in. 2018, na podstawie Kamińskiego 1884). Sukces inwazyjny *I. parviflora* był tłumaczony do tej pory m.in. wysoką plastycznością ekologiczną, efektywną reprodukcją wegetatywną i generatywną, potencjałem allelopacyjnym oraz brakiem naturalnych wrogów w nowym środowisku (Vrchotová i in. 2011; Chmura 2014).

W ostatnich dekadach coraz większą uwagę zwraca się na rolę patogenów jako czynników ograniczających populacje gatunków inwazyjnych (Tanner i in. 2015a; Evans i in. 2018). Jednym z takich patogenów jest *Puccinia komarovii* – grzyb rdzawnikowy o wysokiej specyficzności żywicielskiej, którego naturalnym gospodarzem są rośliny z rodzaju *Impatiens*. Związek tego grzyba z niecierpkami został opisany już na przełomie XIX i XX wieku (Komarow 1895; Sydow, Sydow 1903), a ostatnie lata przyniosły intensywne badania nad możliwościami jego wykorzystania w kontroli biologicznej roślin inwazyjnych (Tanner i in. 2015a; 2015b; Pollard i in. 2019; Ellison i in. 2020).

W Polsce *P. komarovii* został po raz pierwszy stwierdzony w 1934 roku na obszarze Śląska, w tym Beskidu Zachodniego, w okolicach Góry Grojec niedaleko Żywca (Stec-Rouppertowa 1936; Majewski 1979) – około 84 lata po pierwszym potwierdzonym pojawieniu się jego żywiciela – niecierpka drobnokwiatowego *I. parviflora* – w naszym kraju. Przez długi czas grzyb ten był uznawany za rzadki, jednak współczesne badania, prowadzone od lat 90. XX wieku, a w szczególności intensywne obserwacje w parkach narodowych po 2017 roku, ujawniły jego znacznie szersze rozmieszczenie i istotne znaczenie ekologiczne. *Puccinia komarovii* uznawany jest obecnie za gatunek obcy w Polsce (Nawrot i in. 2013), a w skali Europy bywa klasyfikowany jako gatunek inwazyjny (Bacigálová, Zlochová 2001).

Celem niniejszego opracowania jest:

- syntetyczne podsumowanie aktualnej wiedzy dotyczącej rozmieszczenia geograficznego i ekologicznego *P. komarovii* w Polsce;
- przedstawienie cyklu rozwojowego oraz objawów chorobowych wywoływanych przez patogen;
- ocena znaczenia ekologicznego rdzy w kontekście ograniczania ekspansji niecierpka drobnokwiatowego;
- identyfikacja perspektyw i zagrożeń związanych z potencjalnym wykorzystaniem patogenu w ochronie przyrody.

2. Charakterystyka biologiczna *Puccinia komarovii*

2.1. Pozycja systematyczna i historia taksonomiczna

Puccinia komarovii należy do rzędu rdzowców (Pucciniales) w obrębie podstawczaków (Basidiomycetes), w bardzo licznym rodzaju *Puccinia*, obejmującym ponad 4000 opisanych gatunków grzybów rdzawnikowych. Rdze są pasożytami obligatoryjnymi (biotroficznymi), co oznacza, że ich rozwój i rozmnażanie wymaga obecności żywiciela.

Historia taksonomiczna gatunku jest ściśle związana z badaniami rosyjskiego botanika Władimira Leontjewicza Komarowa, który w 1895 roku, w trakcie badań nad florą Dalekiego Wschodu Rosji, jako pierwszy zaobserwował i opisał grzyba pasożytującego na *Impatiens parviflora*. Komarow błędnie zaklasyfikował zebrane okazy jako *Puccinia argentata* – gatunek znany wówczas głównie z roślin z rodziny astrowatych (Asteraceae). Pomyłka taksonomiczna wynikała z podobieństw morfologicznych między różnymi gatunkami rdzy oraz ograniczeń metodologicznych ówczesnej mykologii (Komarow 1895; Vanderweyen, Fraiture 2011).

Dopiero Tranzschel (1936), po analizie holotypu opisanego przez Komarowa, dokonał poprawnej diagnozy taksonomicznej i wydzielił nowy takson, nadając mu na cześć rosyjskiego botanika nazwę *Puccinia komarovii*. Publikacja zawierająca formalny opis gatunku ukazała się w 1903 roku w monografii rodzaju *Puccinia* autorstwa P. Sydowa i H. Sydowa, wydanej w pojedynczych częściach w latach 1902–1904 (Sydow, Sydow 1903).

W obrębie *P. komarovii* wyróżnia się obecnie dwie odmiany różniące się specyficznością żywicielską (Tanner i in. 2015a):

- *Puccinia komarovii* var. *komarovii* – infekujący *Impatiens parviflora* (oraz w obszarze rodzimym *I. amphorata*);
- *Puccinia komarovii* var. *glanduliferae* – infekujący niecierpka gruczołowatego *Impatiens glandulifera*, wykorzystywany od 2014 roku w Wielkiej Brytanii w programie kontroli biologicznej tego gatunku.

W Polsce dotychczas potwierdzono występowanie wyłącznie odmiany *P. komarovii* var. *komarovii* (Baturó-Cieśniewska i in. 2023). Obie odmiany są morfologicznie i molekularnie nierozróżnialne na podstawie standardowych markerów ITS i LSU – do ich odróżnienia potrzebne są badania krzyżowej inokulacji, wykazujące ścisłą specyficzność żywicielską poszczególnych odmian (Pollard i in. 2020; Tanner i in. 2015a).

2.2. Cykl rozwojowy

Puccinia komarovii jest grzybem rdzawnikowym jednodomowym (autoecyjnym) i pełnocyklowym (makrocyklicznym) – cały cykl rozwojowy zachodzi na jednym żywicielu i obejmuje pięć typów zarodników wytwarzanych w pięciu różnych strukturach, następujących po sobie sekwencyjnie (Majewski 1979; Patejuk, Pusz 2018):

- spermacje – jednojądrowe komórki płciowe powstające w spermogoniach, widoczne jako jasne, drobne plamki na górnej stronie blaszki liściowej;

- ecjospory – dikariotyczne zarodniki powstające w kielichowatych ecjach na łodydze i ogonkach liściowych po procesie kariogamii; powodują infekcję wtórną kolejnych roślin;
- urediniospory – brodawkowate, jednokomórkowe zarodniki letnie, widoczne jako jasnobrunatne skupienia na dolnej stronie blaszki liściowej; ich rolą jest wielokrotne rozprzestrzenianie patogenu w sezonie wegetacyjnym; przenoszone są z wiatrem na znaczne odległości;
- teliospory – dwukomórkowe, ciemnobrunatne zarodniki przetrwalnikowe (ciemne punkty widoczne na zamierających liściach); zimują na resztkach porażonych roślin;
- bazydiospory – zarodniki podstawkowe powstające na bazydiach, wyrastających z teliospor po okresie zimowania; rozpoczynają nowy cykl infekcyjny w kolejnym sezonie.

Do infekcji pierwotnej dochodzi już w stadium siewki, gdy rośliny *I. parviflora* osiągają około 5–7 cm wysokości. Porażana jest przede wszystkim łodyga, jednak zainfekowane mogą być również liścienie oraz hipokotyl. Proces chorobowy stymuluje roślinę do niekontrolowanego rozrostu i podziału komórek (hipertrofii i hiperplazji), co skutkuje deformacją porażonych organów (Patejuk, Pusz 2018).

Kielkowanie urediniospor i infekcja gospodarza warunkowane są specyficznym mikroklimatem – ośmiogodzinnym zwilżeniem powierzchni liścia oraz temperaturą w zakresie 5–25°C, z optimum około 15°C (Patejuk, Pusz 2018; Pędziwilk i in. 2022). Zjawisko to zachodzi przede wszystkim w wilgotnych, cienistych biotopach leśnych, na obrzeżach dróg i polanach śródleśnych. Na przełomie sierpnia i września porażone liście zamierają, a na ich dolnej stronie pojawiają się charakterystyczne czarne punkty – telia z teliosporami, które stanowią formę przetrwalnikową grzyba.

2.3. Objawy chorobowe na żywicielu

Diagnoza choroby opiera się na charakterystycznych dla tego patogenu symptomach, których przebieg w sezonie wegetacyjnym przedstawia się następująco (Piskorz, Klimko 2006; Patejuk, Pusz 2018):

- maj–czerwiec: pojawienie się ecjów na łodygach, ogonkach liściowych i spodniej stronie liścieni; ich obecności towarzyszą czasami deformacje hipokotyli;
- czerwiec–lipiec: rozwój urediniów na dolnej stronie blaszek liściowych w postaci małych, jasnobrunatnych skupień; na górnej stronie liścia widoczne są nieregularne, żółtawe plamy chlorotyczne;
- lipiec–sierpień: maksymalne nasilenie objawów; rozwój teliów w postaci koncentrycznie rozmieszczonych, ciemnobrunatnych skupień;
- sierpień–wrzesień: stopniowe zamieranie porażonych liści; w przypadku silnej infekcji obserwuje się przedwczesną śmiertelność całych osobników, niekiedy całych populacji w danej lokalizacji.

W warunkach optymalnych dla rozwoju patogenu (wysoka

wilgotność, umiarkowane temperatury, zwarte populacje żywiciela) infekcja może obejmować nawet 100% powierzchni liści, prowadząc do drastycznego zmniejszenia powierzchni asymilacyjnej, ograniczenia fotosyntezy oraz znacznego (50–70%) obniżenia biomasy rośliny (Piskorz, Klimko 2006). Towarzyszy temu redukcja produkcji kwiatów i nasion – obniżenie zdolności reprodukcyjnej rośliny oszacowano na około 23% (Piskorz, Klimko 2006), a w niektórych populacjach odnotowano nawet ponad 50% spadek liczby nasion (Fałtynowicz 2016; 2017; 2018).

3. Rozmieszczenie i występowanie *Puccinia komarovii* w Polsce

3.1. Historia badań i wczesne stwierdzenia

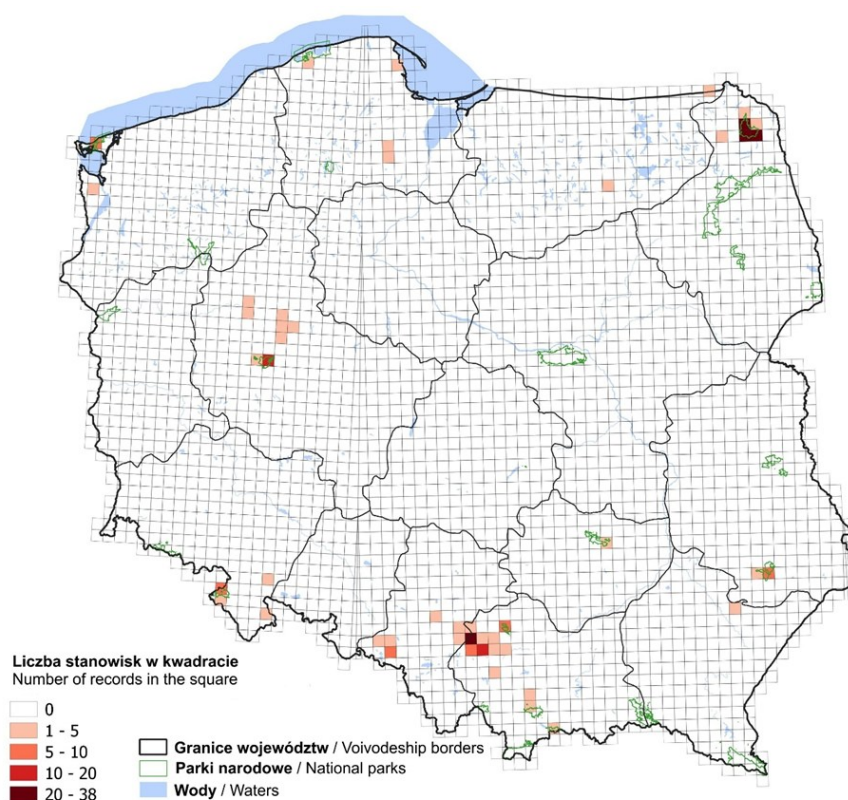
W Europie grzyb ten po raz pierwszy odnotowano w 1921 roku w Kijowie na Ukrainie (Sydow 1935), a w kolejnych dekadach był stwierdzany m.in. w Niemczech (Brandenburger 1985), we Francji (Viennot-Bourgin 1956), Austrii (Poelt, Zwetko 1997), Czechach, Finlandii, Szwajcarii i na Słowacji (Bacigálová i in. 1998), Belgii oraz Wielkiej Brytanii (Tanner i in. 2015a; Pollard i in. 2020). Obecnie występuje w co najmniej w 21 krajach europejskich (Pollard i in. 2020). Pierwsze potwierdzone stwierdzenie *P. komarovii* w Polsce pochodzi z 1934 roku z obszaru Śląska – z okolic Góry Grojec niedaleko Żywca (Stec-Rouppertowa 1936).

Według monografii Majewskiego (1979) *P. komarovii* miał być pospolity na terenie całego kraju, jednak po jej publikacji notowany był jedynie w czterech lokalizacjach (Mułenko i in. 2008). Mułenko i in. (2010) zaliczają ten gatunek do neomyceces – nowych, obcych gatunków grzybów w polskiej mykobiozie. Współczesne, systematyczne badania prowadzone od 2017 roku wskazują, że rozmieszczenie patogenu jest zdecydowanie szersze, niż wynikało z wcześniejszych, sporadycznych obserwacji.

3.2. Mapa rozmieszczenia *P. komarovii* w Polsce

Aktualną mapę rozmieszczenia *P. komarovii* w Polsce (ryc. 1) opracowano w siatce MGRS (10x10 km), opartej na układzie UTM (Universal Transverse Mercator). Wykorzystano w tym celu dane z lat 1991–2025 pochodzące z publikacji naukowych, niepublikowanych raportów, materiałów własnych autora oraz danych archiwalnych przekazanych przez pana Piotra Grzegorza, byłego kustosa Muzeum im. Ireny i Mieczysława Mazarachich w Chrzanowie. Mapa wskazuje na największą koncentrację stanowisk w trzech głównych obszarach kraju:

- rejonie południowym (Wyżyna Śląska, Wyżyna Krakowsko-Częstochowska, Beskidy Zachodnie, Pagóry Jaworznickie) – obszar najlepiej rozpoznany dzięki długoletnim badaniom prowadzonym od 1991 roku;
- Wielkopolsce (rejon Wielkopolskiego Parku Narodowego oraz Pojezierza Wielkopolskiego);
- Polsce północno-wschodniej (Wigierski Park Narodowy, także nadleśnictwa Gołdap, Krynki i Maskulińskie).



Rycina 1. Mapa rozmieszczenia stanowisk *Puccinia komarovii* w Polsce w oparciu o dane z lat 1991–2025. Skala kolorów oznacza liczbę stanowisk w obrębie kwadratu MGRS 10×10 km

Figure 1. Map showing the distribution of *Puccinia komarovii* localities in Poland based on data from 1991–2025. The colour scale indicates the number of localities within each 10×10 km MGRS square

Puccinia komarovii został potwierdzony na obszarze 10 parków narodowych (tab. 1). Obecne dane nie odzwierciedlają w pełni rzeczywistego rozmieszczenia patogenu w kraju. Brak stwierdzeń w niektórych regionach (środkowa i wschodnia Polska poza wskazanymi obszarami) wynika prawdopodobnie z braku systematycznych badań fitopatologicznych nad mykobiotą roślin inwazyjnych, a nie z faktycznej nieobecności grzyba. Wzorec rozmieszczenia *P. komarovii* jest ściśle skorelowany z rozmieszczeniem populacji *I. parviflora*, który występuje obecnie we wszystkich województwach Polski (Adamowski i in. 2018).

Poza obszarami parków narodowych *P. komarovii* odnotowano również w licznych nadleśnictwach: Henryków (woj. dolnośląskie, 2019), Gołdap (woj. warmińsko-mazurskie, 2021), Suwałki (woj. podlaskie, 2021), Szczebra (woj. podlaskie, 2021), Spychowo (woj. warmińsko-mazurskie, 2021), Kaliska (woj. zachodniopomorskie, 2020) oraz w Arboretum Bramy Morawskiej w Raciborzu (2020). Stwierdzono go również poza obszarami chronionymi – w Świętochłowicach (Góra Hugona), Libiążu, Gawrych Rudzie oraz w okolicach Jaskini Radochowskiej w Górach Żłoty (Mułenko i in. 2008; Pusz i in. 2019; 2020; 2021; 2022a).

Tabela 1. Polskie parki narodowe, w których potwierdzono występowanie *Puccinia komarovii*

Table 1. Polish national parks where the occurrence of *Puccinia komarovii* has been confirmed.

Park narodowy / National park	Lata stwierdzeń / Years of observation	Źródło danych / Data source
Wielkopolski Park Narodowy	2002, 2006, 2019–2020	Piskorz, Klimko 2002, 2006; Pusz i in. 2020
Wigierski Park Narodowy	2016, 2017, 2018, 2019–2022	Fałtynowicz 2016; Patejuk, Pusz 2018; Pusz i in. 2018, Pusz i in. 2017, 2019, 2020, 2021, 2022a; Batur-Cieśniewska i in. 2023
Drawieński Park Narodowy	2022–2023	Pusz i in. 2022a; Batur-Cieśniewska i in. 2023
Woliński Park Narodowy	2019	Pusz i in. 2019
Świętokrzyski Park Narodowy	2019	Pusz i in. 2019
Słowiński Park Narodowy	2020	Pusz i in. 2020
Gorczański Park Narodowy	2020, 2022	Pusz i in. 2020, 2022a
Roztoczański Park Narodowy	2022	Pusz i in. 2022a
Pieniński Park Narodowy	2022	Pusz i in. 2022a
Park Narodowy Gór Stołowych	2022	Pusz i in. 2022a

Wyjątkowo cenny zasób informacji o wcześniejszym rozmieszczeniu patogenu stanowi zbiór 110 stanowisk zgromadzonych w latach 1991–2013, przekazanych dzięki uprzejmości byłego kustosa Muzeum w Chrzanowie (tab. 2). Dane te – dotychczas niepublikowane – wskazują, że rozprzestrzenienie *P. komarovii* w Polsce południowej było znaczne już w latach 90. XX wieku, jednak brak specjalistycznych badań i upubliczniania zbieranych informacji powodował niedoszacowanie obecności patogenu w polskiej mykobiocie.

Wigierski Park Narodowy stanowi obecnie najlepiej rozpoznany pod względem obecności *P. komarovii* obszar w Polsce. Wieloletnie systematyczne badania prowadzone od 2016 roku (Fałtynowicz 2016; 2017; 2018; Patejuk, Pusz 2018; Pusz i in. 2019; 2020; 2021; 2022a) doprowadziły do udokumentowania na obszarze parku ponad 250 stanowisk z obecnością tej rdzy. Stanowiska zlokalizowane są w różnych typach zbiorowisk leśnych, co wskazuje na szeroką tolerancję patogenu wobec warunków siedliskowych w obrębie ekosystemów leśnych:

- subborealny bór mieszany (m.in. wydzielienia 226, 233, 245g, 281, 365, 371);
- bór mieszany świeży (m.in. wydzielienia 222a, 234b);
- grąd subkontynentalny – w wariacie typowym (m.in. wydzielienia 48, 58, 59, 68, 71, 73, 91, 119, 207, 337, 385);
- grąd subkontynentalny trzcinikowy (m.in. wydzielienia 6, 23, 102a);
- ols porzeczkowy (oddział 32).

4. Zmienność genetyczna i populacyjna polskich izolatów *P. komarovii*

Materiał badawczy obejmował 31 izolatów uzyskanych z porażonych liści *Impatiens parviflora* zebranych w Drawieńskim

i Wigierskim Parku Narodowym (DPN i WPN) (Batur-Cieśniewska i in. 2023; Pusz i in. 2022b). Sekwencje regionów ITS i LSU, kluczowych dla precyzyjnej identyfikacji molekularnej i analiz pokrewieństwa ewolucyjnego, okazały się identyczne we wszystkich polskich izolatach, co może wskazywać na wspólne pochodzenie lokalnych populacji patogenu w obu parkach. Porównanie ich z izolatami pochodzącymi z Wielkopolski ujawniło natomiast pewne zróżnicowanie geograficzne w obrębie polskich populacji *P. komarovii* var. *komarovii*, sugerujące, że poszczególne populacje mogą wywodzić się z więcej niż jednego źródła introdukcji.

Wyraźne odróżnienie polskich izolatów od *P. komarovii* var. *glanduliferae* z *I. glandulifera* (niecierpek gruczołowy) oraz od izolatów z *I. brachycentra* potwierdza wysoką specyficzność żywicielską i przynależność polskich populacji wyłącznie do var. *komarovii*. Z punktu widzenia ochrony przyrody jest to istotna informacja – *I. brachycentra* nie występuje w Polsce, a *I. glandulifera* choć obecny w naszym kraju jako gatunek inwazyjny, nie jest dotychczas atakowany przez polskie populacje patogenu.

Zmienność genetyczna patogenu, choć ograniczona, jest pożądana z perspektywy potencjalnego wykorzystania go w biokontroli – niejednorodna populacja patogena ma większe szanse na przełamanie ewentualnej odporności gospodarza i adaptację do zmieniających się warunków środowiska (Covo 2020).

5. Wpływ ekologiczny *Puccinia komarovii* na populacje *Impatiens parviflora*

5.1. Wpływ na biomasę i wzrost

Infekcja *P. komarovii* powoduje znaczącą redukcję biomasy *I. parviflora*. Według badań Piskorza, Klimki (2006) prowa-

Tabela 2. Liczba stanowisk *Puccinia komarovii* udokumentowanych w latach 1991–2013 w poszczególnych regionach geograficznych Polski południowej (dane archiwalne z Muzeum w Chrzanowie)

Table 2. Number of *Puccinia komarovii* records documented in 1991–2013 in individual geographical regions of southern Poland (archival data from the Museum in Chrzanów)

Region geograficzny / Geographical region	Liczba stanowisk / Number of records
Wyżyna Śląska, Pagóry Jaworznickie	33
Wyżyna Śląska, Płaskowyż Rybnicki	10
Wyżyna Krakowsko-Częstochowska, Grzbiet Tenczyński	45
Wyżyna Krakowsko-Częstochowska, Rów Krzeszowski	2
Wyżyna Krakowsko-Częstochowska, Wyżyna Olkuska	7
Kotlina Oświęcimska, Dolina Górnej Wisły	1
Brama Krakowska, Pomost Krakowski	1
Pojezierza Wielkopolskie, Pojezierze Poznańskie	1
Pojezierza Wielkopolskie, Poznański Przełom Warty	3
Pojezierza Wielkopolskie, Pojezierze Gnieźnieńskie	5
Pradolina Toruńsko-Eberswaldzka, Kotlina Gorzowska	1
Beskid Zachodni, Beskid Makowski	1
Razem / Total	110

dzonych w latach 2000–2002 w Wielkopolskim Parku Narodowym, u silnie porażonych osobników biomasa może być obniżona o 50–70% w porównaniu z roślinami zdrowymi. W warunkach silnej infekcji obserwuje się ponadto:

- zmniejszenie powierzchni asymilacyjnej liści o 60–95%;
- obniżenie aktywności fotosyntetycznej;
- zaburzenia transportu wody i związków pokarmowych (Piskorz, Klimko 2006).

5.2. Wpływ na reprodukcję i przeżywalność

Reprodukcja roślin porażonych przez *P. komarovii* jest istotnie ograniczona. Na podstawie badań w Wielkopolskim Parku Narodowym Piskorz i Klimko (2006) oszacowali redukcję wydolności reprodukcyjnej o około 23%. Następuje wyraźne obniżenie masy kwiatów i nasion oraz zmniejszenie liczby produkowanych nasion. Szczególnie dramatyczne skutki obserwuje się u siewek – śmiertelność siewek porażonych aeciosporami *P. komarovii* var. *komarovii* może sięgać 100% (Bacigálová i in. 1998; Piskorz, Klimko 2006). Stuprocentowe zamieranie populacji *I. parviflora* zostało po raz pierwszy opisane w zachodniej Słowacji w 1998 roku przez Eliáša (1999). We wcześniejszych latach (1987–1994) przedwczesne zamieranie roślin w słowackich populacjach wynosiło 65–90% (Eliáš 1995; 1999). W Polsce stuprocentowe pokrycie liści *I. parviflora* przez *P. komarovii*, prowadzące do śmiertelności całych populacji, zostało udokumentowane w obu badanych parkach narodowych: w Wigierskim Parku Narodowym w 2021 roku oraz w DPN w 2023 roku (Baturó-Cieśniewska i in. 2023).

5.3. Specyficzność żywicielska i bezpieczeństwo dla rodzimej flory

Kluczowym aspektem ekologicznym *P. komarovii* jest jego wysoka specyficzność żywicielska. Według obecnego stanu wiedzy, polska odmiana patogenu (*komarovii*) atakuje wyłącznie niecierpka drobnokwiatowego *I. parviflora*. Mimo wieloletnich badań w Polsce nie stwierdzono dotychczas naturalnej infekcji rodzimego niecierpka pospolitego *Impatiens noli-tangere*, nawet w przypadku współwystępowania obu gatunków na tym samym stanowisku (Pusz i in. 2021; Baturó-Cieśniewska i in. 2023).

Trzyletnie obserwacje prowadzone w Drawieńskim i Wigierskim Parku Narodowym przez zespół Baturó-Cieśniewskiej i in. (2023) potwierdziły brak objawów *P. komarovii* na *I. noli-tangere*. Również literatura europejska nie zawiera informacji o naturalnych infekcjach rodzimego niecierpka pospolitego przez tę rdzę. Specyficzność ta wynika z koewolucji patogenu z jego rodzimym żywicielem w obszarze pochodzenia (Azja Środkowa) i prawdopodobnie jest wzmocniana przez fizjologiczne i biochemiczne mechanizmy odporności *I. noli-tangere*.

5.4. Wpływ na strukturę zbiorowisk leśnych

Ograniczenie populacji *I. parviflora* przez *P. komarovii* ma istotne konsekwencje dla struktury i funkcjonowania zbiorowisk

leśnych. Niecierpek drobnokwiatowy w warunkach silnej dominacji może wpływać na:

- strukturę runa leśnego – tworzy gęste, jednogatunkowe płaty (Chmura 2014);
- powstawanie i przeżywalność siewek gatunków drzewiastych (Chmura 2014);
- właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby (Chmura 2014);
- strukturę zbiorowisk drożdży glebowych (Glushakova i in. 2015);
- strukturę zbiorowisk mrówek (Stukalyuk 2016).

Patogen, redukując liczebność i biomasa żywiciela, sprzyja regeneracji rodzimych gatunków runa oraz odnowieniu naturalnemu drzewostanów, co ma szczególne znaczenie w kontekście ochrony zbiorowisk grądowych i łęgowych. Zjawisko to wpisuje się w koncepcję wykorzystania naturalnych wrogów jako mechanizmu regulacyjnego w ekosystemach (Callaway, Ridenour 2004).

6. Znaczenie *Puccinia komarovii* dla ochrony przyrody

6.1. Status i ranga gatunku w systemie ochrony

Puccinia komarovii został w Polsce sklasyfikowany jako gatunek obcy (Nawrot i in. 2013), a w skali europejskiej bywa również określany jako gatunek inwazyjny w polskiej mykobiotyce (Bacigálová, Zlochová 2001; Mułenko i in. 2010). Najwcześniejsze udokumentowane stwierdzenie tego patogenu na obszarze Polski pochodzi z 1934 roku, co oznacza, że jest on obecny w naszej mykoflorze od ponad 90 lat.

Status żywiciela *P. komarovii*, czyli niecierpka drobnokwiatowego, w Polsce oceniono jako: gatunek szeroko rozprzestrzeniony, silnie ekspansywny oraz mało inwazyjny gatunek obcy. W ujęciu ekologicznym i konserwatorskim *P. komarovii* stanowi szczególnie przypadek: jest gatunkiem obcym, którego obecność może wywierać korzystny wpływ na rodzimą bioróżnorodność, ponieważ ogranicza ekspansję innego, znacznie bardziej inwazyjnego gatunku obcego – *Impatiens parviflora*.

6.2. Potencjał wykorzystania *Puccinia komarovii* w kontroli biologicznej *Impatiens parviflora*

Metody biologiczne polegają na ograniczaniu liczebności gatunku uznawanego za niepożądany (patogen, szkodliwy owad) z wykorzystaniem wrogów naturalnych. Skuteczna kontrola wymaga, aby organizm używany lub rozważany jako naturalny czynnik kontroli (biologicznej) innego gatunku był (Evans, Ellison 2005; Barton 2012):

- wysoce specyficzny dla gatunku docelowego;
- zdolny do trwałego utrzymania równowagi z populacją żywiciela;
- bezpieczny dla rodzimej flory, fauny i mykobioty;
- dostosowany do warunków klimatycznych obszaru wprowadzenia.

Puccinia komarovii var. *komarovii* spełnia wszystkie te kryteria w odniesieniu do *I. parviflora* w Polsce. Patogen ten jest obecny w kraju od ponad 90 lat, co eliminuje potrzebę jego celowej introdukcji, a uzasadnia raczej wspieranie jego naturalnego rozprzestrzeniania oraz monitorowanie skuteczności w lokalnym ograniczaniu populacji żywiciela.

Doświadczenia międzynarodowe potwierdzają potencjał tego patogenu jako narzędzia biokontroli inwazyjnych niecierpków. W latach 2014–2018 w Wielkiej Brytanii zrealizowano pierwszy w Europie program biokontroli z wykorzystaniem *P. komarovii* var. *glanduliferae* przeciwko niecierpkowi gruczołowatemu *Impatiens glandulifera*. Na kilkudziesięciu stanowiskach celowo wprowadzono rdzę pochodzącą z Indii i Pakistanu jako naturalny czynnik kontroli biologicznej tej silnie inwazyjnej rośliny. Pierwsze wyniki tych działań (Ellison i in. 2020; Pollard i in. 2021) wskazują na obiecujący potencjał patogenu w ograniczaniu inwazji, przy czym skuteczność jego oddziaływania jest zróżnicowana lokalnie i zależy m.in. od warunków mikroklimatycznych oraz zmienności biotypowej populacji żywiciela.

6.3. Ryzyka i ograniczenia

Mimo wysokiej specyficzności żywicielskiej i relatywnie wysokiego bezpieczeństwa dla rodzimej flory, wykorzystanie *P. komarovii* w ochronie przyrody wymaga uwzględnienia kilku potencjalnych ryzyk:

- możliwość ewolucji patotypów – patogeny grzybowe cechują się dużą zmiennością genetyczną, co teoretycznie stwarza ryzyko pojawienia się nowych patotypów zdolnych do infekowania rodzimego *Impatiens noli-tangere* (Batur-Cieśniewska i in. 2023, Pusz i in. 2021); konieczne jest długoterminowe monitorowanie tej kwestii na obszarach współwystępowania obu gatunków niecierpków (Patejuk, Pusz 2018);
- wahania międzysezonowe – intensywność infekcji silnie zależy od warunków środowiskowych; w latach niekorzystnych dla patogenu (suchych, gorących) skuteczność biokontroli może być istotnie obniżona, co sprawia, że *P. komarovii* nie może być traktowany jako jedyna metoda zarządzania populacjami niecierpka (Patejuk, Pusz 2018, Pusz i in. 2022b);
- wpływ zmian klimatu – prognozowane zmiany klimatyczne (wzrost temperatury, zmiany reżimu opadów) mogą oddziaływać zarówno na żywiciela, jak i na patogen; konsekwencje tych procesów dla równowagi układu patogen-gospodarz pozostają w dużej mierze nieznane (Pędziwilk i in. 2022);
- interakcje ekologiczne – obecność innych patogenów i bezkręgowców zasiedlających *I. parviflora* (m.in. *Alternaria alternata*, mszyca *Impatiens asiaticum*) może modyfikować dynamikę infekcji *P. komarovii* w sposób trudny do przewidzenia (Pusz i in. 2021);
- niepełna eliminacja gatunku inwazyjnego – nawet przy wysokim nasileniu infekcji pełna eliminacja niecierpka drobnokwiatowego z ekosystemu nie jest możliwa wyłącznie

przy użyciu metod biologicznych; konieczne jest łączenie biokontroli z mechanicznymi zabiegami eliminacyjnymi (Adamowski, Bomanowska 2016) oraz prowadzenie długoterminowego monitoringu skuteczności działań.

7. Dyskusja

Synteza dostępnych danych dotyczących *Puccinia komarovii* w Polsce wskazuje na istotny postęp wiedzy o tym patogenie w ostatnich dwóch dekadach. Od pojedynczych, sporadycznych stwierdzeń sprzed lat 90. XX wieku (Majewski 1979) doszliśmy do dysponowania danymi z setek stanowisk, w tym ponad 250 wyłącznie z Wigierskiego Parku Narodowego oraz systematycznie monitorowanymi powierzchniami w Drawieńskim Parku Narodowym (Patejuk, Pusz 2018; Batur-Cieśniewska i in. 2023).

Współczesny obraz rozmieszczenia *P. komarovii* w Polsce pokazuje, że patogen ten jest znacznie bardziej rozpowszechniony, niż wynikało z wcześniejszych ocen. Jednocześnie obserwowane wzorce zróżnicowania intensywności infekcji wskazują na istotną rolę warunków lokalnych w kształtowaniu dynamiki infekcji.

Występowanie *P. komarovii* w Polsce wpisuje się w szerszy kontekst tzw. kaskad inwazyjnych, w których kolejne organizmy obce pojawiają się w odpowiedzi na wcześniejsze zaburzenia (Evans i in. 2018). W tym przypadku patogen podąża za swoim gospodarzem, tworząc nowy układ ekologiczny. Jest to klasyczny przykład sytuacji, w której naturalny wróg gatunku inwazyjnego jest sam gatunkiem obcym, ale jego obecność prowadzi do efektów korzystnych dla rodzimej różnorodności biologicznej.

Wyniki analiz molekularnych Batur-Cieśniewskiej i in. (2023) ujawniły interesujący wzorec zróżnicowania genetycznego polskich populacji *P. komarovii* var. *komarovii*. Identyfikacja sekwencji izolatów z DPN i WPN przy równoczesnym zróżnicowaniu względem wcześniejszych izolatów z Wielkopolski sugeruje, że patogen mógł docierać do Polski w różnych falach kolonizacji lub z różnych obszarów rodzimego występowania. To z kolei ma implikacje dla zrozumienia historycznego biogeograficznego rozprzestrzeniania się tego gatunku w Europie.

Z perspektywy ochrony przyrody szczególnie istotna jest wysoka specyficzność żywicielska polskich izolatów. Brak naturalnych infekcji rodzimego niecierpka pospolitego *I. noli-tangere*, potwierdzony zarówno przez Pusa i in. (2021), jak i Batur-Cieśniewską i in. (2023), oznacza, że *P. komarovii* działa selektywnie wyłącznie na gatunek inwazyjny, nie zagrażając rodzimej florie. Ta specyficzność stanowi fundament potencjalnego wykorzystania patogenu w klasycznej kontroli biologicznej.

Należy jednak podkreślić, że obserwowane różnice intensywności infekcji między latami i lokalizacjami wskazują, iż *P. komarovii* sam w sobie nie zapewni eliminacji niecierpka drobnokwiatowego z rodzimych ekosystemów. Patogen może natomiast pełnić rolę istotnego czynnika regulującego liczebność i ekspansję żywiciela, działającego w synergii z innymi metodami zarządzania (mechaniczne usuwanie, monitoring, edukacja). Doświadczenia z Białowieckiego Parku Narodowego, gdzie likwidacja jednej populacji *I. parviflora* metodami mechanicznymi zajęła 9 lat

(Adamowski, Keczyński 1998), wskazują na trudności z eliminacją gatunku przy użyciu wyłącznie zabiegów mechanicznych.

Istotnym wyzwaniem pozostaje określenie wpływu zmian klimatu na dynamikę interakcji *P. komarovii* i *I. parviflora*. Zarówno żywiciel, jak i patogen, wykazują wrażliwość na warunki termiczno-wilgotnościowe. Prognozy klimatyczne dla Polski (Stagl i in. 2014) wskazują na wzrost temperatur i zmianę reżimu opadów, co może przesunąć równowagę między tymi dwoma organizmami w kierunku trudnym do przewidzenia. Konieczne są długoterminowe badania monitoringowe pozwalające na uchwycenie tych zmian.

8. Podsumowanie i rekomendacje

Na podstawie zsyntetyzowanej w niniejszym opracowaniu wiedzy można sformułować następujące wnioski:

- *Puccinia komarovii* jest obecny w Polsce od co najmniej 90 lat (od 1934 roku) i wykazuje znacznie szersze rozmieszczenie, niż wynikało z wcześniejszych opracowań – jej stanowiska stwierdzono w 10 parkach narodowych oraz na wielu obszarach poza terenami chronionymi.
- Polskie populacje patogenu należą wyłącznie do odmiany *P. komarovii* var. *komarovii*, o wąskiej specyficzności żywicielskiej, ograniczonej do *Impatiens parviflora*. Nie odnotowano dotychczas naturalnych infekcji rodzimego *I. noli-tangere*.
- Intensywność infekcji jest istotnie zróżnicowana, zarówno przestrzennie, jak i w czasie.
- Wpływ patogenu na żywiciela jest znaczący i może skutkować redukcją biomasy oraz ograniczeniem reprodukcji.
- Krajowe izolaty *P. komarovii* wykazują pewne zróżnicowanie genetyczne w porównaniu do wcześniej badanych populacji w Polsce. Może to wskazywać zarówno na rozmnażanie płciowe i lokalną adaptację, jak i na różne „punkty wejścia” patogenu do Polski.
- Z punktu widzenia ochrony przyrody *P. komarovii* stanowi cenny element naturalnej regulacji populacji gatunku inwazyjnego, mogący wspierać działania ochronne poprzez ograniczanie presji *I. parviflora* na rodzime zbiorowiska runa leśnego.

Rekomendacje:

- Wdrożenie systemu monitoringu obecności i intensywności infekcji *P. komarovii*, zwłaszcza w obrębie kluczowych obszarów chronionych – w parkach narodowych i rezerwach przyrody – opartego na stałych powierzchniach badawczych i jednolitej metodyce (np. obserwacje co 4 tygodnie w sezonie wegetacyjnym).
- Inwentaryzacja stanowisk *P. komarovii* poza obszarami chronionymi, w celu uzyskania pełnego obrazu rozmieszczenia patogenu w skali kraju.
- Kontynuowanie badań genetycznych polskich populacji patogenu w celu identyfikacji potencjalnych biotypów oraz monitorowania ewentualnych zmian w specyficzności żywicielskiej.
- Traktowanie *P. komarovii* jako elementu zintegrowanego zarządzania populacjami *I. parviflora* w obszarach chronionych, a nie jako samodzielnego narzędzia eliminacji gatunku inwazyjnego;

najlepsze efekty można uzyskać łącząc naturalną presję patogenu z mechanicznym usuwaniem niecierpka w niewrażliwych miejscach (cenne fitocenozy, stanowiska *I. noli-tangere*, stanowiska gatunków chronionych).

- Prowadzenie działań edukacyjnych skierowanych do zarządców obszarów chronionych w zakresie rozpoznawania objawów porażenia przez *P. komarovii* oraz zrozumienia jego znaczenia ekologicznego.
- Rozwijanie współpracy międzynarodowej z ośrodkami zajmującymi się biokontrolą inwazyjnych gatunków z rodzaju *Impatiens*, w szczególności z zespołami realizującymi program CA-BI dotyczący *P. komarovii* var. *glanduliferae*.

Konflikt interesów

Autor deklaruje brak potencjalnych konfliktów.

Źródła finansowania badań

Badania zostały dofinansowane ze środków funduszu leśnego przez Lasy Państwowe na podstawie umów nr: EZ.0290.1.6.2016, EZ.0290.1.39.2017, EZ.0290.1.36.2018, EZ.0290.1.20.2019, EZ.0290.1.21.2020, EZ.0290.1.21.2021 oraz EZ.0290.1.21.2022. Część materiału zebrano w ramach badań prowadzonych przez autora ze środków własnych.

Literatura

- Adamowski W., Bomanowska A. 2016. Niecierpek drobnokwiatowy *Impatiens parviflora* DC, w: A. Obidziński, E. Kołaczowska, A. Otręba (red.) Metody zwalczania obcych gatunków roślin występujących na terenie Puszczy Kampinoskiej. BioDar, Izabelin-Kraków. s. 25–31.
- Adamowski W., Chmura D., Hołdyński C. 2018. Niecierpek drobnokwiatowy *Impatiens parviflora* DC. Karta Informacyjna Gatunku. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Adamowski W., Keczyński A. 1998. Czynna ochrona zbiorowisk leśnych Białowieskiego Parku Narodowego przed wkroczeniem *Impatiens parviflora*, Parki narodowe i Rezerваты Przyrody 17(1): 49–55.
- Bacigálová K., Eliáš P., Šrobárová A. 1998. *Puccinia komarovii* – a rust fungus on *Impatiens parviflora* in Slovakia, *Biologia* (Bratislava) 53 (1): 7–13.
- Bacigálová K., Zlochová K. 2001. Invázne mikroskopické huby, *Životné prostredie* 35(2): 96–97.
- Barton J. 2012. Predictability of pathogen host range in classical biological control of weeds: An update, *BioControl* 57(2): 289–305.
- Baturo-Cieśniewska A., Patejuk K., Kaczmarek-Pieńczewska A., Jurga-Zotow M. 2023. Variability of *Puccinia komarovii* var. *komarovii* isolates from *Impatiens parviflora* DC. and its occurrence in the Drawa and Wigry National Parks in Poland, *Acta Mycologica* 76: 174570: 1–14. DOI: <https://doi.org/10.5586/am/174570>.
- Brandenburger W. 1985. Parasitische Pilze an Gefäßpflanzen in Europa. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, XXI, 1248 s.

- Callaway R.M., Ridenour W.M. 2004. Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability, *Frontiers in Ecology and the Environment* 2(8): 436–443.
- Chmura D. 2014. Biology and ecology of an invasion of *Impatiens parviflora* DC in natural and semi-natural habitats. Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, Rozprawy naukowe 50, Bielsko-Biała, 216 s.
- Covo S. 2020. Genomic instability in fungal plant pathogens, *Genes* 11(4): 421.
- Eliáš P. 1995. Stem fungi disease (*Puccinia komarovii*) on *Impatiens parviflora* in Slovakia: effects on population dynamics and its role in regulation of plant populations. *Carinthia II*, Sonderheft 53: 14–16.
- Eliáš P. 1999. Biological and ecological causes of invasion of *Impatiens parviflora* DC. into forest communities in Central Europe, *Acta Horticulturae et Regiotecturae* 1: 1–3.
- Ellison C.A., Pollard K.M., Varia S. 2020. Potential of a coevolved rust fungus for the management of Himalayan balsam in the British Isles: First field releases, *Weed Research* 60(1): 37–49.
- Evans H.C., Ellison C.A. 2005. The biology and taxonomy of rust fungi associated with the neotropical vine *Mikania micrantha*, a major invasive weed in Asia, *Mycologia* 97(4): 935–947. DOI: <https://doi.org/0.3852/mycologia.97.4.935>.
- Evans H.C., Ellison C.A., Seier M.K. 2018. Biological control of Himalayan balsam using fungal pathogens, *Plant Pathology* 67(5): 1031–1038.
- Fałtynowicz W. 2016. Wpływ niecierpka drobnokwiatowego *Impatiens parviflora* na różnorodność gatunkową wybranych organizmów i stan środowisk leśnych Wigierskiego Parku Narodowego – etap I. Wrocław (maszynopis).
- Fałtynowicz W. 2017. Wpływ niecierpka drobnokwiatowego *Impatiens parviflora* na różnorodność gatunkową wybranych organizmów i stan środowisk leśnych Wigierskiego Parku Narodowego – etap II. Wrocław (maszynopis).
- Fałtynowicz W. 2018. Wpływ niecierpka drobnokwiatowego *Impatiens parviflora* na różnorodność gatunkową wybranych organizmów i stan środowisk leśnych Wigierskiego Parku Narodowego – etap III. Wrocław (maszynopis).
- Glushakova A.M., Kachalkin A.V., Chernov I.Y. 2015. Effect of invasive herb species on the structure of soil yeast complexes in mixed forests exemplified by *Impatiens parviflora* DC, *Microbiology* 84: 717–721.
- Kamieński F. 1884. Nowy nabytek flory polskiej, *Pamiętnik Fizjograficzny* 4: 266–271.
- Komarow W.L. 1895. *Puccinia argentata* ss. Komarov, *Scripta Bot. Hort. Univ. Imp. Petrop.* 4(2): 254.
- Majewski T. 1979. Flora Polska. Grzyby (Mycota). XI: Basidiomycetes, Uredinales. 2, Tom XI. PWN, Warszawa-Kraków.
- Muilenko W., Majewski T., Ruskiewicz-Michalska M. (red.) 2008. A preliminary checklist of micromycetes in Poland. Biodiversity of Poland. Vol. 9. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków, 752 s.
- Muilenko W., Piątek M., Wołczańska A., Kozłowska M., Ruskiewicz-Michalska M. 2010. Plant parasitic fungi introduced to Poland in modern times. Alien and invasive species, w: Z. Mirek (red.) Biological invasions in Poland. W. Szafer Institute of Botany PAS, Kraków, s. 49–71.
- Nawrot J., Kozłowski J., Horoszkiewicz-Janka J., Miklaszewska K. 2013. Katalog obcych gatunków agrofagów mających znaczenie w rolnictwie. Instytut Ochrony Roślin – PIB.
- Patejuk K., Pusz W. 2018. Występowanie *Puccinia komarovii* Tranzschel w wybranych lokalizacjach Wigierskiego Parku Narodowego, *Przegląd Przyrodniczy* 29(1): 96–100.
- Pędzwiłk M., Kubiak D., Grodzki W. 2022. Rust fungi in changing climatic conditions of Central Europe, *Mycological Progress* 21(3): 291–304.
- Piskorz R., Klimko M. 2002. Kolonizacja powalonych drzew i buchtowisk dzików przez *Impatiens parviflora* DC. w zbiorowiskach *Galio sylvestris*-*Carpinetum* wybranych rezerwatów Wielkopolskiego Parku Narodowego. Roczniki AR Poznań 334, Botanika Steciana 4: 151–163.
- Piskorz R., Klimko M. 2006. The effect of *Puccinia komarovii* Tranzsch. infection on characters of *Impatiens parviflora* DC. in *Galio sylvestris*-*Carpinetum* (R. tx. 1939) Oberd. 1957 forest association, *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 75(1): 51–59. DOI: <https://doi.org/10.5586/asbp.2006.008>.
- Poelt J., Zwetko P. 1997. Die Rostpilze Österreichs. Biosystematics and Ecology. Series 12, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien. 365 s.
- Pollard K.M., Kurose D., Varia S., Evans H.C., Ellison C.A. 2020. First report of *Puccinia komarovii* on *Impatiens parviflora* in the UK, *New Disease Reports* 41: 4. DOI: <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2020.041.004>.
- Pollard K.M., Varia S., Ellison C.A., Gange A.C. 2019. Field release of a rust fungus for the biological control of Himalayan balsam in the UK: constraints to success. W: Proceedings of the XV International Symposium on Biological Control of Weeds, Engelberg, Switzerland: 231–233.
- Pollard K.M., Varia S., Seier M.K., Ellison C.A. 2021. Battling the biotypes of balsam: The biological control of *Impatiens glandulifera* using the rust fungus *Puccinia komarovii* var. *glanduliferae* in GB, *Fungal Biology* 125(8): 637–645.
- Pusz W., Patejuk K., Kaczmarek A., Batur-Cieśniewska A. 2017. Grzyby pasożytnicze występujące na wybranych gatunkach roślin inwazyjnych w Wigierskim Parku Narodowym – etap 1. Wrocław (maszynopis).
- Pusz W., Patejuk K., Kaczmarek A., Batur-Cieśniewska A. 2018. Grzyby pasożytnicze występujące na wybranych gatunkach roślin inwazyjnych w Wigierskim Parku Narodowym – etap 2. Wrocław (maszynopis).
- Pusz W., Batur-Cieśniewska A., Patejuk K., Kaczmarek A., Krzysztofiak A., Krzysztofiak L. 2019. Grzyby pasożytnicze występujące na wybranych gatunkach roślin inwazyjnych w Wigierskim Parku Narodowym – etap 3. Wrocław (maszynopis).
- Pusz W., Batur-Cieśniewska A., Patejuk K., Kaczmarek A., Fałtynowicz W., Fałtynowicz H., Krzysztofiak A., Krzysztofiak L. 2020. Możliwości wykorzystania *Puccinia komarovii* w ograniczaniu populacji *Impatiens parviflora* w Wigierskim Parku Narodowym – etap 1. Wrocław-Krzywe (maszynopis).

- Pusz W., Fałtynowicz W., Krzysztofiak L., Patejuk K., Kaczmarek A., Romański M., Klink A., Polechońska L., Krzysztofiak A. 2021. Wykorzystanie *Puccinia komarovii* w ograniczaniu populacji *Impatiens parviflora* w Wigierskim Parku Narodowym – etap 2. Wrocław-Krzywe (maszynopis).
- Pusz W., Krzysztofiak L., Patejuk K., Romański M., Kaczmarek-Pieńczewska A., Baturo-Cieśniewska A., Krzysztofiak A. 2022a. Wykorzystanie *Puccinia komarovii* w ograniczaniu populacji *Impatiens parviflora* w Wigierskim Parku Narodowym i Drawieńskim Parku Narodowym. Wrocław-Krzywe (maszynopis).
- Pusz W., Patejuk K., Kaczmarek-Pieńkowska A. 2022b. Mykobiota porażonych organów niecierpka drobnokwiatowego (*Impatiens parviflora* DC.) w Wigierskim Parku Narodowym, *Progress in Plant Protection* 62(1): 37–43.
- Stagl J., Mayr E., Koch H., Hattermann F.H., Huang S. 2014. Effects of Climate Change on the Hydrological Cycle in Central and Eastern Europe, w: S. Rannow, M. Neubert (red.). Managing Protected Areas in Central and Eastern Europe Under Climate Change, Advances in Global Change Research 58. Springer, Dordrecht.
- Stec-Rouppertowa W. 1936. *Puccinia Komarovi* Tranzsch. in Polen, *Annales Mycologici* 34(1/2): 59–60.
- Stukalyuk S.V. 2016. Changes in the structure of broad-leaved forest ant assemblages due to domination of *Impatiens parviflora* DC. (Balsaminaceae) in herbaceous layer, *Russian Journal of Biological Invasions*: 101–117.
- Sydow H. 1935. Einzug einer asiatischen Uredinee (*Puccinia komarowi* Tranzsch.) in Deutschland, *Annales Mycologici* (Berlin) 33, 149–208.
- Sydow P., Sydow H. 1903. Monographia Uredinearum seu specierum omnium ad hunc usque diem descriptio et adumbratio systematica. Vol. I (III): Genus *Puccinia*. Lipsiae, *Fratres Borntraeger* 972 s.
- Tanner R.A., Ellison C.A., Seier M.K., Kovács G.M., Kassai-Jäger E., Berecky Z., Varia S., Djeddour D., Singh M.C., Csiszár Á., Csontos P., Kiss L., Evans H.C. 2015a. *Puccinia komarovii* var. *glanduliferae* var. *nov.*: a fungal agent for the biological control of Himalayan balsam (*Impatiens glandulifera*), *European Journal of Plant Pathology* 141: 247–266. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-014-0539-x>.
- Tanner R.A., Pollard K.M., Varia S., Evans H.C., Ellison C.A. 2015b. First release of a fungal classical biocontrol agent against an invasive alien weed in Europe: Biology of the rust, *Puccinia komarovii* var. *glanduliferae*, *Plant Pathology* 64(5): 1130–1139.
- Vanderweyden A., Fraiture A. 2011. Catalogue des Uredinales de Belgique 3ème partie Pucciniaceae (genre *Puccinia*) (suite 1). *Lejeunia, Revue de Botanique* 189.
- Viennot-Bourgin G. 1956. Mildious, oïdiums, caries, charbons, rouilles des plantes de France. Encyclopédie mycologique XXVI-XXVII. Editions Paul Lechevalier, Paris.
- Vrchotová N., Šerá B., Krejčová J. 2011. Allelopathic activity of extracts from *Impatiens* species. *Plant, Soil and Environment* 57 (2): 57–60.