Aerobiologia grzybów

Aerobiology of fungi

dr Agnieszka Grinn-Gofroń
Katedra Taksonomii Roślin i Fitogeografii Uniwersytetu Szczecińskiego

Streszczenie: Praca ta jest w całości krótkim przeglądem tych cech morfologicznych zarodników grzybów, które umożliwiają im rozprzestrzenianie się w powietrzu. Omawia też mechanizmy uwalniania spor i najważniejsze czynniki, które wpływają na wysokość stężeń zarodników w powietrzu.

Abstract: This paper is a short review about the most important, morphological features of airborne fungal spores which enable them to spread in the air. It also describes the mechanisms of spore release and the most influential factors from whom depends the level of concentration of spores in the air.

Słowa kluczowe: aerodynamika, aerobiologia, zarodniki, grzyby
Key words: aerodynamic, aerobiology, spores, mould

For non-commercial use only

Aerodynamika

Zarodniki grzybów służą do rozmnażania bezpłciowego oraz do rozprzestrzeniania się konkretnych gatunków na nowe siedliska. Większość typów zarodników posiada specjalne przystosowania do rozprzestrzeniania się drogą powietrzną. W warunkach bezwietrznych zarodniki opadałyby na ziemię zgodnie z siłą grawitacji (prawo Stokesa), czyli: prędkość opadania jest proporcjonalna do kwadratu promienia zarodnika, który w tym wypadku jest traktowany jako obiekt sferyczny. Oprócz siły grawitacji wpływ na behavior aerodynamiczny ma także kształt i rzeźba powierzchni zarodników. Spory o nieregularnych, niekulistych kształtach i z nierówną, np. gruzełkowatą, powierzchnią rozprzestrzeniają się wolniej i mniej efektywnie. Na rozprzestrzenianie się zarodników wpływa także to, czy zarodniki występują w powietrzu pojedynczo, czy w skupiskach. Spory wielu rodzajów, m.in. *Cladosporium* i *Penicillium*, często występują w skupieniach jako grupy o nieregularnych kształtach lub długie łańcuszki. Takie skupienia zarodników z reguły zwiększają prędkość opadania i rozprzestrzeniania się konkretnych gatunków. Czynniki, jakie wpływają na aerodynamikę zarodników, są rozważane teoretycznie i eksperymentalnie, najczęściej w warunkach kompletnej ciszy, niezwykle rzadko występującej w warunkach naturalnych, w których prądy powietrza opóźniają opadanie spor na powierzchnię gruntu.

Mechanizmy uwalniania i rozprzestrzeniania się zarodników

Zarodniki są uwalnianie i trafiają do atmosfery pasywnie lub za pomocą mechanizmów aktywnych. Spory uwalniane na drodze pasywnej najczęściej trafiają do atmosfery dzięki ruchom powietrza (wiatr), wody (krople deszczu) lub przy udziale zwierząt. Zarodniki, które są rozprzestrzeniane przez ruchy powietrza, są przeważnie hydrofobowe, czyli niezależne od obecności wody w atmosferze, a ich stężenie zależy od sposobu ich uwalniania z *mycelium* lub owocnika, od prędkości wiatru i ruchów powietrza. Ten typ rozprzestrzeniania się jest związany z brakiem opadów i niską wilgotnością względną powietrza. Zarodniki, które osiągają wysokie stężenia w takich właśnie warunkach, nazywane są *suchymi sporami*. Należą do nich: *Cladosporium*, *Alternaria*, *Epicoccum*, *Drechslera,* teliospory i urediospory wielu gatunków rdzy. Najwyższe koncentracje suchych spor notowane są w godzinach popołudniowych, kiedy wilgotność powietrza jest niska, a prędkość wiatru najwyższa.

Alergoprofil 2010, Vol. 6, Nr 2, 6-9
Pracę otrzymano: 2010-06-02
Zaakceptowano do druku: 2010-07-15
"Copyright by Medical Education"
© Medical Education. For private and non-commercial use only. Downloaded from https://www.journalsmededu.pl/index.php/alergoprofil: 05.08.2025; 11:42,28

Zarodniki, które są uwalniane na drodze pasywnej przy udziale deszczu i przy dużej wilgotności, są przeważnie hydrofilowe i nazywane *mokrymi sporami*. Należą do nich konidia takich gatunków jak: *Fusarium*, *Gliocladium*, *Verticillium* i askospory *Didymella* czy zarodniki *Leptosphaeria.* Bardzo interesującymi gatunkami należącymi do gromady podstawczaków są purchawki, które również uwalniają zarodniki drogą pasywną. Zarodniki trafiają do atmosfery w postaci chmurki powstającej podczas uderzenia kropli wody deszczowej w owocnik. Silne podmuchy wiatru lub małe zwierzęta mogą wywołać taki sam efekt.

Aktywne mechanizmy uwalniania zarodników są powszechne w królestwie grzybów. Większość askospor i bazydiospor jest aktywnie uwalniana do atmosfery dzięki mechanizmom wymagającym obecności wody deszczowej, rosy albo przynajmniej dużej wilgotności powietrza. U workowców wysokie ciśnienie osmotyczne, które powstaje wewnątrz owocnika poprzez bezpośrednią absorpcję wody lub pęcznienie śluzu, wspomaga uwalnianie spor. Zarodniki są wyrzucane z worka szybko, w postaci „obłoczka" i w ten sposób trafiają do atmosfery. Askospory są najliczniejsze w powietrzu podczas deszczu i kilka godzin po ustaniu opadów. Zarodniki podstawczaków (bazydiospory) są, podobnie jak askospory, uwalniane przy określonym poziomie wilgotności powietrza. Dokładny mechanizm nie został jednak poznany. Bazydiospory są często notowane we wczesnych godzinach porannych, najczęściej przed wschodem słońca, kiedy poziom wilgotności powietrza jest odpowiednio wysoki. Haard i Kramer (1970) badali sposoby uwalniania zarodników u 19 gatunków grzybów (głównie podstawczaków) i wyodrębnili 3 podstawowe wzorce. W pierwszym typie, który dotyczy większości gatunków, największe stężenia w powietrzu notowano około północy, wzrost zaczynał się późnym popołudniem lub wczesnym wieczorem, a spadek następował w godzinach porannych. Typ drugi, prezentowany głównie przez grzyby pasożytnicze (huby), charakteryzował się maksymalnymi stężeniami dwukrotnie w ciągu doby: wczesnym rankiem i wieczorem. W typie trzecim, który dotyczył niewielkich grzybów kapeluszowych, zarodniki uwalniane są w sposób ciągły aż do momentu obumarcia bazydiokarpu, a ich najwyższe stężenia notowane od 24 do 48 godzin od otwarcia owocnika.

Transport powietrzny

Na powierzchni gruntu i powierzchni wszystkich obiektów znajduje się ekstremalnie cienka warstwa nieruchomego powietrza. Powietrze to jest zespolone z powierzchnią za pomocą sił molekularnych. Ponad tą warstwą znajduje się tak zwana *warstwa graniczna*, w której przepływ powietrza jest równoległy do powierzchni obiektu. Warstwa ta jest przeważnie bardzo cienka (około 1 mm), ale może być różna w zależności od typu powierzchni, przy której występuje. Ponad warstwą graniczną znajduje się kolejna – tzw. *niespokojna* (ang. *turbulent*), która jest częścią atmosfery. W tej warstwie występuje już transport cząsteczek. Ruchy powietrza w tej ostatniej części są nieregularne i nieprzewidywalne. Turbulencja zależy od prędkości i kierunku wiatru, temperatury i lokalnych zawirowań powietrza, które są wywołane ukształtowaniem terenu.

Zarodniki grzybów są częstym komponentem tej ostatniej warstwy, a ich stężenie w atmosferze może osiągać 200 000 zarodników w metrze sześciennym. Przy udziale wiatru zarodniki są transportowane zarówno poziomo, jak i pionowo. Spory, które są unoszone przez prądy termalne, mogą osiągać pułap do 5000 m. W kierunku poziomym (horyzontalnym) zarodniki mogą przemieszczać się tysiące kilometrów. Uredospory z rodzaju rdzy z południa Stanów Zjednoczonych i z Meksyku były notowane na północy Stanów Zjednoczonych i w Kanadzie. Czynnikiem meteorologicznym, który wyraźnie ogranicza produkcję i rozprzestrzenianie się zarodników, jest bardzo niska temperatura powietrza i pokrywa śnieżna lub lodowa.

Chociaż wiele rodzajów zarodników grzybów jest przystosowanych do rozprzestrzeniania się drogą powietrzną, a w porównaniu ze strzępkami grzybni (jako elementami rozmnażania wegetatywnego) są bardziej odporne na stres ekologiczny, to wykazują wrażliwość na niektóre parametry środowiskowe. Wystawione na działanie szkodliwego promieniowania lub ekstremalne wartości temperatur powietrza czy wilgotności tracą w znacznym stopniu zdolności przeżycia czy infekowania. Gatunki patogenne mogą stracić zdolności infekcyjne w przypadku poddania ich zarodników działaniu bardzo silnych czynników stresogennych, jednak należy podkreślić, że spory najprawdopodobniej zachowują właściwości alergogenne nawet przy braku zdolności do życia.

Nagłe zmiany prędkości wiatru mogą powodować gwałtowne wahania poziomu wilgotności względnej powietrza, co również ma wpływ na przeżywalność zarodników. Ten ostatni czynnik jest szczególnie istotny dla bezbarwnych, cienkościennych spor, które mogą ulegać plazmolizie w przypadku znacznego zmniejszenia zawartości pary wodnej w powietrzu, zwłaszcza w ciągu dnia. W nocy i na dużej wysokości warunki meteorologiczne są mniej stresogenne i w nich zarodniki zachowują swoje właściwości.

© Medical Education. For private and non-commercial use only. Downloaded from
https://www.journalsmededu.pl/index.php/alergoprofil: 05.08.2025; 11:42,28

Promieniowanie ultrafioletowe w górnych warstwach atmosfery również może mieć wpływ na przeżywalność zarodników. Bardziej narażone na ten destrukcyjny wpływ są zarodniki bezbarwne o cienkich ścianach, a znacznie mniej zarodniki zawierające ciemny barwnik. Niskie temperatury w wysokich warstwach atmosfery mogą chronić zarodniki przed uszkodzeniami powodowanymi przez promieniowanie UV.

Obecność w powietrzu

W porównaniu z (dobrze poznaną) sezonową obecnością pyłku w powietrzu zarodniki grzybów mogą być obecne w atmosferze przez cały rok. Dobrze poznane są „wzory" obecności bądź jej braku dla tak zwanych „suchych spor" (m.in. *Cladosporium*, *Alternaria*, *Drechslera* i *Epicoccum*). Duże, charakterystyczne i łatwe do zidentyfikowania konidia tych rodzajów są monitorowane przez większość obecnie dostępnej aparatury do badań aerobiologicznych. Literatura dotycząca koncentracji zarodników tych rodzajów jest obecnie dość obszerna i pochodzi z wielu zakątków świata.

Rodzaj *Cladosporium* jest najczęściej i najliczniej odnotowywany przez większość stacji badawczych na świecie. Stężenia tego rodzaju mogą osiągać nawet 200 000 zarodników w metrze sześciennym i stanowić 90% wszystkich notowanych gatunków grzybów. Inne rodzaje suchych spor są przeważnie mniej licznie reprezentowane, ale mogą dominować w niektórych regionach, zwłaszcza w określonych porach roku. Chociaż zarodniki mogą być obecne w powietrzu przez cały rok, to najwyższe stężenia są najczęściej notowane w lecie, a w regionach o klimacie umiarkowanym także wczesną jesienią. W krajach o klimacie suchym, gdzie znaczną część obszaru zajmują pustynie, najwyższe stężenia notowane są wiosną, ze słabym „pikiem" w okresie jesiennym. W tych regionach najczęściej i najliczniej notowany był rodzaj *Cladosporium* oraz rodzaje *Ustilago*, *Alternaria*, *Drechslera* i *Chaetomium*. Rodzaje *Culvularia* i *Nigrospora* są ważnymi składnikami aeroplanktonu na obszarach tropikalnych, podobnie jak *Aspergillus,* którego zarodniki są charakterystyczne dla klimatów tropikalnych i wilgotnych. W powietrzu Singapuru gatunkiem najczęściej notowanym w próbkach z trzech uprzemysłowionych regionów był gatunek *Nigrospora sphaerica*. Rodzaje *Cladosporium* i *Alternaria* były notowane rzadziej.

O wiele mniej wiadomo na temat stężeń zarodników grzybów należących do workowców (*Ascomycetes*) i podstawczaków (*Basidiomycetes*). Obecność askospor w powietrzu jest przeważnie związana z opadami deszczu. W większości opracowań zarodniki workowców są łączone w jedną grupę lub analizowane są tylko rodzaje łatwe do zidentyfikowania, takie jak: *Chaetomium*, *Leptosphaeria* czy *Venturia.* Askospory przezroczyste z pojedynczą przegrodą osiągają wysokie koncentracje w okresach ze zwiększoną wilgotnością powietrza, przed deszczem, w miesiącach letnich. Allit (1986) zanotowała, że mogą one wtedy osiągać stężenia do 9500 zarodników w metrze sześciennym, a większość z nich należy do rodzaju *Didymella*.

Stężenia zarodników z gromady podstawczaków też nie były często opisywane w literaturze. W Szwecji bazydiospory stanowiły około 30% wszystkich zarodników zliczonych z preparatów w ciągu kilku lat. W rejonach arktycznych i subarktycznych, podczas krótkich sezonów wegetacyjnych, w powietrzu zdecydowanie dominują askospory i bazydiospory. W pozostałych pracach zarówno askospory, jak i bazydiospory stanowią od kilkunastu do kilkudziesięciu procent wszystkich zarodników notowanych w powietrzu.

Nie ulega wątpliwości, że oprócz badań medycznych i aerobiologicznych do badań nad właściwościami alergennymi trzeba również włączyć takie rodzaje analiz, które dadzą jasną odpowiedź na pytanie o czynniki warunkujące wysokie stężenia zarodników w powietrzu. Niezbędne wydają się analizy molekularne i badania z zakresu fizjologii i aerodynamiki.

Praca ta jest w całości oparta na fragmentach książki „Bioaerosols", pod redakcją Harriet A. Burge, wydanej przez Lewis Publishers. Wykaz literatury zamieszczony w piśmiennictwie pochodzi z powyższej publikacji.

Piśmiennictwo:

1. *Allit U.: Identity of airborne hyaline, one-septate ascospores and their relation to inhalant allergy. Trans. Br. Mycol. Soc. 1986, 87: 147.*
2. *Anderson J.H.: Allergenic airborne pollen and spores in anchorage, Alaska. Ann. Allergy 1985, 54: 390.*
3. *Aylor D.E.: The role of intermittent wind in the dispersal of fungal pathogens. Ann. Rev. Phytopathol. 1990, 28: 73.*
4. *Burge H.A.: Fungus allergens. Clin. Rev. Allergy 1985, 3: 319.*
5. *Burge H.A.: Some comments on the aerobiology of fungus spores. Grana 1986, 25: 143.*
6. *Bush R.K.: Aerobiology of pollen and fungal allergens. J. Allergy Clin. Immunol. 1989, 84: 1120.*
7. *Cosentino S., Pisano P.L., Fadda M.E., Palmas F.: Pollen and mold allergy: aerobiological survey in the atmosphere of Caligari, Italy (1986 – 1988). Ann. Allergy 1990, 65: 393.*

© Medical Education. For private and non-commercial use only. Downloaded from https://www.journalsmededu.pl/index.php/alergoprofil: 05.08.2025; 11:42,28

8. *Cox C.S.: The Aerobiological Pathway of Microorganisms. John Wiley & Sons, New York 1987.*
9. *Ebner M.R., Haselwandter K., Frank A.: Seasonal fluctuations of airborne fungal allergens. Mycol. Res. 1989, 92: 170.*
10. *Gregory P.H.: The Microbiology of the Atmosphere. 2nd ed. Halstead Press, New York 1973.*
11. *Haard R.T., Kramer C.L.: Periodicity of spore discharge in the hymenomycetes. Mycologia 1970, 62: 1145.*
12. *Hamilton F.D.: Studies on the air spora. Acta Allergol. 1959, 13: 143.*
13. *Hasnain S.M., Wilson J.D., Newhook F.J., Segedin B.P.: Allergy to basidiospore immunologic studies. N. Z. Med. J. 1985, 98: 393.*
14. *Hirst J.M.: Changes in atmospheric spore content: diurnal periodicity and the effects of weather. Trans. Br. Mycol. Soc. 1953, 36: 375.*
15. *Kramer C.L.: Fungus, moss and fern spores. W: Aerobiology: The Ecological system Approach. Edmonds R.L.(red.). Dowden, Hutchinson, and Ross, Stroudsburg, PA 1979.*
16. *Lacey J.: Aerobiology and health: the role of airborne fungal spores in respiratory disease. W: Frontiers in Mycology. Hawksworth D.L. (red.). C.A.B. International Wallingford, Oxon, United Kingdom, 1991.*
17. *Lehrer S.B., Aukrust L., Salvaggio J.E.: Respiratory allergy induced by fungi. Clin. Chest Med. 1983, 23: 4.*
18. *Levetin E.: Studies on airborne basidiospores. Aerobiologia 1990, 6: 177.*
19. *Levetin E.: Identification and concentration of airborne basidiospores. Grana 1991, 30: 123.*
20. *Mason C.J.: Atmospheric transport. W: Aerobiology: The Ecological Systems Approach. Edmonds R.L. (red.). Dowden, Hutchinson, and Ross, Stroudsburg, PA 1979.*
21. *Misra R.P.: Studies on seasonal and diurnal variation in the occurrence of airborne spores of basidiomycetes. Perspec. Mycol. Res. 1987, 1: 243.*
22. *Moore-Landecker E.: Fundamentals of the Fungi. 3rd ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. NJ 1990.*
23. *Nagarajan S., Singh D.V.: Long-distance dispersion of rust pathogens. Ann. Rev. Phytopathol. 1990, 28: 139.*
24. *Rubulius J.: Airborne fungal spores in Stockholm and Eskilstuna, central Sweden. Nordic Aerobiol. 1984, 85.*
25. *Salvaggio J., Seabury J., Schoenhardt E.A.: New Orleans asthma. V. Relationship between Charity Hospital asthma admissions rates, semiquantitative pollen and fungal spore counts, and total particulate aerometric sampling data. J. Allergy Clin. Immunol. 1971, 48: 96.*
26. *Salvaggio J., Aukrust L.: Mold-induced asthma. J. Allergy Clin. Immunol. 1981, 68: 327.*
27. *Solomon W.R.: Common pollen and fungus allergens. W: Allergic Diseases of infancy Childhood and Adolescence. Bierman C.W., Pearlman D.S. (red.). W. B. Saunders, Philadelphia 1980.*
28. *Tan T.K., Teo T.S., Lee W., Chong A.: Variations in tropical airspora in Singapore. Mycol. Res. 1992, 96: 221.*

Adres do korespondencji:
dr Agnieszka Grinn-Gofroń
Katedra Taksonomii Roślin i Fitogeografii
Wydział Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Szczecińskiego
71-415 Szczecin, ul. Wąska 13
e-mail: agofr@univ.szczecin.pl

For non-commercial use only

© Medical Education. For private and non-commercial use only. Downloaded from https://www.journalsmededu.pl/index.php/alergoprofil: 05.08.2025; 11:42,28