

Marta Wrzosek
Zbigniew Sierota

GRZYBY

jakich nie znamy



Centrum Informacyjne
Lasów Państwowych

Marta Wrzosek
Zbigniew Sierota

GRZYBY jakich nie znamy



**Centrum Informacyjne
Lasów Państwowych**

Wydano na zlecenie
Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych
Warszawa 2012

© Centrum Informacyjne Lasów Państwowych
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 r. nr 3
02-362 Warszawa
tel.: (22) 822-49-31
faks: (22) 823-96-79
e-mail: cilp@cilp.lasy.gov.pl
www.lasy.gov.pl

Autorzy

Dr Marta Wrzosek – Uniwersytet Warszawski, Wydział Biologii,
Al. Ujazdowskie 4, 00-478 Warszawa
Prof. dr hab. Zbigniew Sierota – Instytut Badawczy Leśnictwa,
Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

Recenzje

Dr inż. Łukasz Brodziak
Prof. dr hab. Andrzej Grzywacz

Redakcja

Wawrzyniec Milewski

Zdjęcia

Anna Biedunkiewicz (A.B.), Dorota Borowska-Wykręt (D.B.W.), Cezary Bystrowski (C.B.),
Wojciech Grodzki (W.G.), Dorota Hilszczańska (D.H.), Wojciech Janiszewski (W.J.),
Tadeusz Kowalski (T.K.), Krzysztof Kujawa (K.K.), Tomasz Leski (T.L.), Teresa Podgórska (T.P.),
Zbigniew Sierota (Z.S.), Teresa Stocka (T.S.), Cezary Tkaczuk (C.T.), Mirela Tulik (M.T.),
Rafał Ważny (R.W.), Marta Wrzosek (M.W.)

Zdjęcia na okładce

Krzysztof Kujawa, archiwum

Projekt graficzny

Grażyna Dziubińska

Korekta

Elżbieta Kijewska

ISBN 978-83-61633-87-7

Przygotowanie do druku

Agencja Reklamowo-Wydawnicza A. Grzegorzcyk

Druk i oprawa

ORWLP w Bedoniu

SPIS TREŚCI

Od Autorów	7
1. Grzyb, czy nie grzyb? Wprowadzenie do opowieści o leśnym bogactwie	9
2. Grzyby ważne w ekosystemie i gospodarce leśnej	19
2.1. Rozkład, który daje życie – pleśniak (<i>Mucor</i>), rozłóżek (<i>Rhizopus</i>) i czernidłak (<i>Coprinus</i>)	19
2.2. Janusowe oblicze lakówek (<i>Laccaria</i>)	27
2.3. Opieńka (<i>Armillaria</i>) – miodowa, czy złośliwa?	35
2.4. Grzyb przeciw grzybowi, czyli o pożytecznej konkurencji. Korzeniowiec (<i>Heterobasidion</i>) i żylak (<i>Phlebiopsis</i>)	44
2.5. Hubiak jak najbardziej pospolity – <i>Fomes fomentarius</i>	49
2.6. Bezwzględny niszczyciel dębu, sprawca mączniaka – drobnokulkowiec (<i>Microsphaera alphitoides</i>)	56
2.7. Grzyby, których w ogóle nie widać – endofity	63
2.8. Grzyby służące owadom – owady służące grzybom (<i>Ambrosiella</i> , <i>Ophiostoma</i> , <i>Leptographium</i>)	69
2.9. Niewolnicy owadomorki muszej (<i>Entomophthora muscae</i>)	77
2.10. Naturalni selekcjonerzy na czas nienaturalnych zdarzeń (<i>Metarhizium anisopliae</i> , <i>Beauveria</i> , <i>Paecilomyces</i>)	82
2.11. O porostach, czyli grzybogłonach – złotorosty (<i>Xanthoria</i>)	88
3. Grzyby ważne w życiu każdego z nas	95
3.1. Antybioza, antybiotyk, czyli o lekach z grzybów i przeciw grzybom (<i>Sparrasis crispa</i> , <i>Penicillium</i>)	95
3.2. Enzymy ostre jak nóż do papieru (<i>Trichoderma reesei</i>)	100
3.3. Smaczne i przydatne w kuchni grzyby spożywcze – twardnik jadalny (<i>Lentinula edodes</i>) i drożdże (<i>Saccharomyces</i>)	105
3.4. Lata winne, lata nie winne – gronowiec szary (<i>Botrytis cinerea</i>)	110
3.5. Cętkowane jak pantera – muchomor plamisty (<i>Amanita pantherina</i>) i czubajka kania (<i>Macrolepiota procera</i>)	115

3.6.	Kiedyś podgrzybek, teraz borowik (<i>Boletus badius</i>) i wcale nie szatan, ale goryczak (<i>Tylopilus felleus</i>)	123
3.7.	Kurka (<i>Cantharellus</i>) i lisówka (<i>Hygrophoropsis</i>), czyli o grzybowej menażerii leśnej	129
3.8.	Tajemnicze grzyby podziemne. Czy to trufla (<i>Tuber</i>), czy piestrówka (<i>Rhizopogon</i>)?	133
3.9.	Dobry jak gołąbek (<i>Russula</i>) i wojowniczy jak rycerzyk (<i>Tricholomopsis</i>), czyli ile prawdy kryje się w nazwach	139
4.	Bez grzybów nie ma życia	145
	Słowniczek wyrazów trudnych, zaznaczonych w tekście (*)	153
	Literatura dla zainteresowanych	159

OD AUTORÓW

Grzyby, jakich nie znamy. Nie jest to ani podręcznik akademicki, ani atlas do rozróżniania gatunków. To efekt poznawania lasu i jego ukrytych tajemnic związanych z niepozornymi grzybami, które są ważnym elementem Natury, a przy tym tak ogromnym ilościowo, niezbadanym i fascynującym światem, że nauka utworzyła dla nich osobne królestwo. Spacerując po lesie dostrzegamy niewielki wycinek tego świata – grzyby zbierane do koszyka, huby nadrzewne czy owocniki na pniakach. Niektóre z nich znamy doskonale, inne znamy mniej, ale przyciągają naszą uwagę kolorem, kształtem lub zapachem. Jeszcze inne są nam zupełnie nieznane lub w ogóle niedostrzegane. Najważniejsze, że chcemy przedstawić je z innej strony niż zazwyczaj. Wydobyć ciekawostki, fakty naukowe od dawna znane, ale dostępne tylko w specjalistycznych opracowaniach i najnowsze odkrycia.

Książka jest podzielona umownie na kilka części i prezentuje grzyby mniej znane, ale ważne dla lasu jako ekosystemu, istotne dla gospodarki leśnej, mające znaczenie w przemyśle, a także w życiu człowieka. Czytelnik odnajdzie tu wytłumaczenie kilku zjawisk, spośród wielu zachodzących w przyrodzie z udziałem grzybów, a także liczne szczegóły życia grzybów i interesujące zdjęcia fotograficzne. Omówienie tych zagadnień nie ma charakteru wykładu czy lekcji biologii, ale z konieczności zawiera wiele nieużywanych powszechnie pojęć, naukowych nazw i symboli związanych z grzybami. Będą one stopniowo przybliżane Czytelnikowi.

Autorzy mają nadzieję, że styl narracji tej książki zyska zrozumienie i akceptację, wyraża bowiem zarówno ukryte pragnienie wytłumaczenia w nieskomplikowany sposób wielu trudnych procesów zachodzących w życiu lasu, jak i epickiego przedstawienia jego magii.

Marta Wrzosek i Zbigniew Sierota



Kołpaczek (*Panaeolus* sp.). Kapelusze niektórych grzybów, wysychając, mają tendencję do pęknięcia na płatki i wyginania się ku górze (fot. Z.S.)

1.

GRZYB, CZY NIE GRZYB?

Wprowadzenie do opowieści o leśnym bogactwie

I znowu, jak co roku, wybieramy się jesienią na grzybobranie. Liście w wielu miejscach unoszą się, jakby popychane od dołu, potem osuwają się powoli, odsłaniając jakieś dziwne kształty... Tak, to owocniki grzybów kapeluszowych, które zazwyczaj z prawdziwym impetem i nierzadko dużą szybkością wyłaniają się ze ściółki. To one, najczęściej pod koniec lata i jesienią, tworzą setki, tysiące, miliony grzybówisk. Rosną i rosną. Czasem tylko jeden dzień, czasem tydzień. Ale są też takie, które utrzymują się znacznie dłużej, by potem zwiędnąć, spleśnieć i opaść, a nawet dać się zjeść owadom, ślimakom lub ludziom. Chcemy opowiedzieć o ich egzystencji, ich partnerach, konkurentach i przeciwnikach.

Jesteśmy w lesie i gdziekolwiek spojrzymy – wszędzie je dostrzegamy. Rosną masowo. Niektóre są jaskrawe – ich kolorowe kapelusze dają się zauważyć z daleka. Aby zobaczyć inne, musimy spokojnie przysiąść na ściółce i wolno wodzić wzrokiem po igłach, pniakach, gałązkach. Niektóre z grzybów nie mają kapeluszy – przypo-



Od lewej: smardz stożkowaty (*Morchella conica*), koralówka sztywna (*Ramaria stricta*) i łuskiwiak nastroszony (*Pholiota squarrosa*), (fot. Z.S.)

minają raczej pióra strusie, a czasem małe maczugi. Inne przynoszą skojarzenia ze świecznikami, jeszcze inne – z mokrą i szarą ścierką. Grzybów zawsze jest w bród. Są nie tylko powszechne, ale też niezwykle zróżnicowane pod względem barw, kształtów, a nawet zapachów!

Aby zobaczyć niektóre z grzybów, potrzebujemy lupy. Kładziemy się na ściółce lub siadamy przy powalonym pniu sosny i powoli oglądamy pojedyncze igły, liście, fragmenty odstającej kory, wciśnięte w błoto patyczki, a nawet odchody sarny. Jaki piękny i niespodziewany świat ukazuje się naszym oczom! Tu na drewnie widzimy coś, co przypomina czarne wulkany z zastygłą złotą lawą na szczycie, tam filigranowe miseczki otulone białymi kołnierzami. Znajdziemy też czerwone czeluści osłonięte brązową osłoną rzęsek lub fioletowe i żółte różki wyrastające z najtwardszych części drewna. Po pomarańczowej, półprzejrzystej fałdce małego owocnika przebiegnie jakiś mały żuczek albo mrówka, do rozchylającego się, cierpko pachnącego kapelusza przyleci chmara muszek. Unieruchomiony na pędzie trawy pająk zakwitnie bładoróżowym nalotem pleśni. Gdy zaczniemy wdychać zapachy, możemy ulec złudzeniu – pocujemy czosnek, a nieco dalej paskudny odór zgnilizny. Jeśli odetchniemy zapachem innych butwiejących szczątków, do naszego nosa dojdzie wyraźny zapach owoców tropikalnych – tak silny, że pocujemy się zdobywcami wysp dziewiczych.



Od lewej: chropiatka pospolita (*Thelephora terrestris*), (fot. Z.S.), grzybówka szafranowa (*Mycena crocata*), (fot. K.K.) i dziezka pomarańczowa (*Aleuria aurantia*), (fot. M.W.)

Słowa, które tu zapisaliśmy, wydają się przesadne, ale nie są. Znamy te zjawiska, zapachy, smaki z własnego doświadczenia. Każdy z Czytelników jest zaproszony do tego, by dotykać, wąchać, a czasem nawet słuchać tego, co się dzieje na dnie lasu wczesną jesienią – w najbardziej oczekiwanej przez miłośników grzybobrania porze roku. Wtedy, gdy grzybnia ujawnia się, ukazując swoje skarby naszym oczom. Uważnym oczom.

Owocnik grzyba, który pojawia się nagle po deszczu, najczęściej o świcie, nie jest jednak tym samym organizmem, co mysz, która właśnie zaczyna się nim pożywiać. Gryzoń jest osobnikiem, a grzyb owocnikiem. Owocnik to jakby odpowiednik owocu

„drzewa”, które rozrasta się w glebie, ściółce, zasiedla korzenie i całe rośliny – nazywamy je grzybnią, czyli *mycelium**¹. Wielkość grzybni i jej charakter też są różne. Czasem jest ogromna, o czym można przeczytać w rozdziale 2.3., a czasem możemy ją zamknąć w dłoni. Niektóre grzybnie, przechodząc w stan spoczynku zimowego, otaczają się czarną skorupką skleroty, którą możemy zaobserwować, odrywając fragment drewna ze starego pniaka. Inne, rozrastając się regularnie w ściółce, owocują mnóstwem owocników, występujących w tzw. czarcich kręgach. Może dlatego, że tworzą się niejako na obwodzie niewidzialnego koła? Ten okrąg to w rzeczywistości granica powierzchni gleby przerośniętej przez ściśle splecione strzępki, które na skraju są jeszcze żywe, jędrne, witalne i owocnikujące, ale w środku już zaschnięte. Gęsta warstwa strzępek broni w tym miejscu dostępu kroplom deszczu do niżej leżących pokładów gleby. Trawa tam zatem zamiera i wygląda na wydeptaną. Dawniej uważano, że to miejsca sabatów czarownic i dlatego nazwano je czarcimi kręgami. Gdy z uwagą prześledzimy układ wyrastających owocników w lesie, łatwo odkryjemy te niewidoczne kręgi grzybni. Grzyby, zwane koralówkami, które przypominają



Fragment kręgu muchomora czerwonego (*Amanita muscaria*), (fot. Z.S.)

¹ Trudniejsze nazwy oznaczone gwiazdką wytłumaczono w słowniczku na końcu książki.

drobne, sztywne krzaczki, oraz smukłe lejkówki czy masywne, blade gąsówki najczęściej widywane są właśnie w takich okęgach lub łukach.

Czasem jednak na próżno oczekivalibyśmy tak wzorcowego rozmieszczenia owocników. Niektóre grzybnie rozrastają się nieregularnie i zawsze będą podążać za swoim substratem. Najlepszym przykładem są grzyby drewnolubne. Gdybyśmy mogli przenikać wzrokiem warstwę ściółki i widzieć w powiększeniu, zobaczylibyśmy w glebie całe sznury grzybni łączące jedno martwe drzewo lub pniak z drugim, czasem nawet żywym drzewem. Drzewa, a właściwie ich korzenie, wydzielają do gleby pewne substancje, które przez grzyby odbierane są jako sygnał obecności pokarmu gotowego do pobrania. Po otrzymaniu takiego sygnału strzępki kierują się w ściśle określone rejony. Nie tracą czasu na „ślepe szukanie” substratu odżywczego – swojego gospodarza. Przemieszczając się w glebie, zupełnie jak dżdżownica, i jednocześnie rosnąc, tworzą sznury grzybniowe – struktury rozgałęziające się i trwałe. Gdy tylko początek każdego takiego sznura grzybniowego dotrze do swego celu, jego szczyt staje się miękki, obejmuje substrat, do którego podążał, tworzy ze strzępek grzybni mufkę (zwaną infekcyjną) i wnika do środka. Zaczyna go pochłaniać, rozpuszczać i trawić. Tak jest najczęściej, choć zdarza się, że owo „wzięcie w posiadanie” nowego gospodarza ma charakter pokojowy, ale o tym można przeczytać w rozdziale 2.2.

Grzyby najczęściej kojarzymy tylko z jednym ich elementem – z owocnikiem. Zapominamy o grzybni, o przetrwalnikach, o sznurach czy strzępkach w zasiedlonym substracie. Ale przecież owocniki czasem w ogóle nie przypominają znanych nam kapeluszy borowika, maślaków czy gąsek, ani lejków pieprznika, czyli pospolitych kurek. Owocnikiem jest także pomarańczowy nalot na liściach jarzębu, czarne kropczki na pokrytym białym nalotem liściu małego dębu czy zdrewniałym „kopytem” przyczepionym wysoko na pniu starej brzozy. Niektóre grzyby skrywają swoje owocniki pod ziemią. Niełatwo jest je człowiekowi namierzyć. Czasem pomagają nam w tym zwierzęta – potargane pozostałości po grzybach zdarza się odkrywać w buchtowiskach dzików, a niektórzy grzybiarze poszukują podziemnych rarytasów ze specjalnie wytresowanymi psami. O takich grzybach przypominających kształtem ziemniaki, będzie można przeczytać w rozdziale 3.8. Również porosty, podobne do potarganej brody starca i zwieszające się z gałęzi brzozy, należą do królestwa grzybów (rozdział 2.11.).

Owocniki grzybów mogą się diametralnie różnić również pod względem kształtów i konsystencji. Młody owocnik żylaka (rozdział 2.4.) jest gęsty jak kisiel, a przepiękny trzęsak pomarańczowy przypomina podeschniętą galaretkę. Sromotnik bezwstydnny, budzący łatwe do przewidzenia skojarzenia, w rzeczywistości ma trzon kruchy i gąbczasty, a w dodatku w środku całkowicie pusty (rozdział 2.3.). Jego pochodzący z antypodów kuzyni, których od czasu do czasu i u nas spotykamy,



Od lewej: pięknoróg szydłowaty (*Calocera cornea*), (fot. Z.S.), gmatwek dębowy (*Daedalea guercina*), (fot. K.K.), trzęsak pomarańczowy (*Tremella mesenterica*), (fot. M.W.) i brodaczką kępkową (*Usnea hirta*), (fot. M.W.)

np. okratek australijski lub czerwony (*Clathrus archeri* i *C. ruber*), przyjmują formy barwnych gwiazd lub klatek. Ciekawą grupą grzybów są także gniazdnicowce (*Nidulariales*). Ich drobne owocniki, które znajdujemy na butwiejącym drewnie, słomie lub bezpośrednio na ubitej glebie, wyglądem upodobiły się do koszyczków lub kubeczków wypełnionych drobnymi „bułeczkami” – *perrydiolami**. Są też i takie organizmy, które prowadzą życie bardziej skryte. Aby je poznać, musimy pędy i korzenie

roślin poddać szczególnym procedurom i wybarwieniu. Po tych zabiegach okazuje się, że i tam rozwijają się grzyby, które wypełniają komórki roślin, tworząc w nich pęcherzyki lub rozpościerając się krzaczkowato (rozdziały 2.2. i 2.7.).



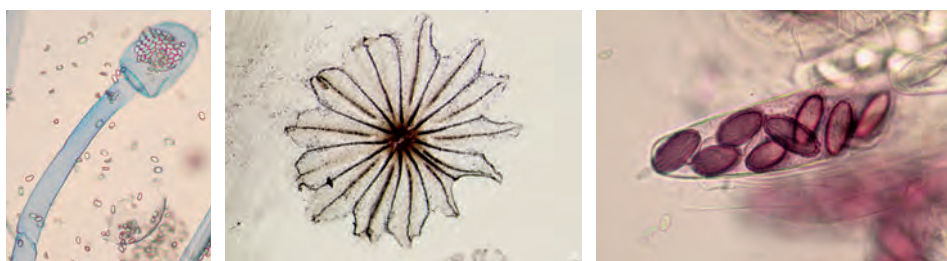
Grzyby o nietypowych kształtach: okratek australijski (*Clathrus archeri*), (fot. Z.S.) i kubek prążkowany (*Cyathus striatus*), (fot. M.W.)

Grzyby (*Fungi*) to wielka grupa organizmów, liczebnie – jak się wydaje – nawet przewyższająca rośliny (*Plantae*), choć przedstawiciele tego drugiego królestwa rozpoznawani są znacznie lepiej. Obecnie, według szacunków Ministerstwa Środowiska Rządu Australii z 2009 roku, znamy z imienia i opisu około 290 800 gatunków roślin i tylko około 100 000 gatunków grzybów. Australijczycy obliczyli jednak, że opisano dotychczas aż prawie 70% wszystkich roślin lądowych i tylko niewiele ponad 7% gatunków grzybów. Co prawda liczba nazw grzybów jest znacznie wyższa, ale różni badacze opisywali te same gatunki wielokrotnie. Badania przeprowadzone w Wielkiej Brytanii, która przoduje w poznaniu grzybów, dowodzą, że gatunków grzybów jest w tym kraju sześciokrotnie więcej niż gatunków roślin. Najbardziej ostrożne szacowania (pismo *Plos Biology*, rok 2011) wskazują na przynajmniej dwukrotnie wyższą liczbę grzybów niż wszystkich roślin opisanych i nieopisanych, co daje przynajmniej 610 000 gatunków. Nic więc dziwnego, że nowe dla nauki gatunki opisywane są w literaturze mykologicznej bardzo często. Nawet w Polsce odnaleźć można grzyby, których nikt nigdy nie nazwał, a w puszcach tropikalnych jest ich wręcz bez liku.

Przez wiele lat grzyby utożsamiano z roślinami – wielki szwedzki systematyk Karol Linneusz uznał za rośliny wszystkie organizmy, które choć żyją, to się nie ruszają i „nie czują”. Dziś wiemy, że jego decyzja o przyłączeniu grzybów do królestwa roślin była błędna. Po pierwsze, przynajmniej niektóre grzyby mogą się poruszać,

a i „odczuwać” dotkliwie, nie dając jednak znać o tym kurczeniem się lub odruchem ucieczki. Znacznie więcej elementów łączy grzyby ze zwierzętami niż z roślinami. Są to choćby materiały zapasowe – tłuszcz i glikogen, a także rodzaj wici. Zwierzęta i grzyby są cudzożywne (*heterotroficzne**). Oznacza to, że nie mogą tak jak rośliny wykorzystywać energii świetlnej, by z dostępnej w środowisku wody i dwutlenku węgla komponować cząsteczki cukru, co cechuje organizmy samożytne (*autotroficzne**). Muszą ten cukier pobierać z otoczenia. Nie ma grzybów zawierających chlorofil, choć są grzyby wchodzące w przymierze z roślinami lub glonami, które go mają. Chlorofil jest substancją pośredniczącą w przemianie energii światła w energię chemiczną. Współżycie z tymi, którzy są w posiadaniu takich cząsteczek, daje szansę na duże korzyści – pobieranie energii chemicznej z pierwszej ręki.

Grzyby grupowane są przez badaczy w rodzaje, rodziny, rzędy, klasy. Kategorie te wyrażają naszą wiedzę o pokrewieństwie organizmów, opierającą się na rozpoznaniu ich cech – morfologicznych, rozwojowych, fizjologicznych oraz biochemicznych. Są grzyby, które tworzą owocniki i mają w swym cyklu życiowym unikalną fazę, w której dwa różne, ale sprzężone ze sobą jądra komórkowe wędrują przez strzępki, równocześnie się powielając. Zostały one zakwalifikowane do podkrólestwa *Dikarya*. Nazywamy je workowcami lub podstawczakami, zależnie od tego, gdzie formują swoje zarodniki. Pozostałe, znacznie mniej liczne, dawniej nieco pogardliwie nazywano „grzybami niższymi”. Te z kolei są bardzo zróżnicowane, gdyż dzielą je budowa, biologia, tryb życia i preferencje pokarmowe. Są wśród nich pleśniakowce (*Mucorales*) i owadomorkowce (*Entomophthorales*), o których opowiemy w dalszych rozdziałach.



Od lewej: sporangiofor z kolumellą i zarodnikami pleśniaka białego (*Mucor mucedo*), przyklejone do podłoża pozostałości kapelusza czernidełka delikatnego (*Parasola miser*) i worek z zarodnikami *Ascobolus sacchariferus* (fot. M.W.)

Najstarsze ewolucyjnie grzyby mają postać pływkową i w gruncie rzeczy bardzo przypominają wyglądem zwinne, maleńkie pierwotniaki. Ich przedstawiciele możemy spotkać w czerwcu w każdej leśnej kałuży lub na torfowisku, wszędzie tam, gdzie gromadzi się pyłek sosny. A jednak jest cecha, która je od zwierząt odróżnia. To

obecność ściany komórkowej, zbudowanej z trwałego i dość sztywnego biopolimeru o nazwie chityna. Obecność ściany sprawia, że grzyby nie mogą pobierać na sposób zwierzęcy pokarmu poprzez *fagocytozę*, *myzocytozę* czy *pinocytozę**. Wszystkie te terminy oznaczają różnego typu „połykanie” cząstek poprzez struktury błony komórkowej. W komórkach zwierzęcych enzymy zamknięte w drobnych lizosomach dołączają do cząstek pokarmowych w pęcherzykach wędrujących przez wnętrze komórki i je trawią.

Chityna nie jest związkiem występującym wyłącznie u grzybów. Niektóre zwierzęta też mają chitynowe pancerze, ale struktura ta pełni funkcje ochronnej, zewnętrznej tarczy dla delikatnych, obłonionych komórek ciała. U grzybów każda strzępka jest otoczona sztywną, choć porowatą, chitynową ścianą. Nie stanowi ona zapory dla drobnych związków chemicznych rozpuszczonych w wodzie. Grzyby zatem wyprowadziły swoje „żołądki” na zewnątrz. Wydzielają poza strzępki, poprzez błony i ściany komórkowe, rozliczne enzymy, a następnie na drodze wchłaniania czynnego lub osmozy, opartej na różnicy stężeń, wsysają tą samą drogą roztwór bogaty w cukry, kwasy tłuszczowe i aminokwasy. Czasem pobieranie wspomagają aktywne kompleksy błonowe, które wybiórczo przekazują do środka strzępek te związki, które wymagają pośrednictwa. Na przykład żelazo wymaga aktywnego transportu. Zapewniają to *chelatujące** ten pierwiastek peptydowe *siderofory**.



Od lewej: purchawka miękka (*Lycoperdon molle*), (fot. Z.S.), kołpaczek (*Panaeolus antillarum*), (fot. M.W.) i łuszczak zmienny (*Kuehneromyces mutabilis*), (fot. Z.S.)

Enzymy na ogół są wydzielane wówczas, gdy strzępka otrzyma z zewnątrz sygnał o dostępności pokarmu. Taki sposób pobierania pokarmu cechuje wszystkie grzyby – te poruszające się w wodzie stawu i te, które pływają w żołądkach roślinożerców. W taki sam sposób pokarm pobierają pleśniakowce i owadomorkowce. Również przedstawiciele *Dikarya* nie różnią się od swoich dalekich grzybowych kuzynów. Wykształcenie w toku ewolucji chitynowej przeszkody, a jednocześnie szkieletu strzępki, na zawsze skierowało grzyby na drogę absorpcji związków odżywczych ze środowiska.

Grzyby także rozmnażają się inaczej niż rośliny i zwierzęta. Najczęściej tworzą trudne do policzenia zarodniki, które wielkimi chmurami są przenoszone przez prądy powietrza, a czasem przez wodę. Ktoś obliczył, że gdyby z każdego zarodnika jednej purchawicy olbrzymiej (*Calvatia gigantea* = *Langermannia gigantea*) mógł wyrosnąć jeden owocnik tej samej objętości, to objętość owocników potomnych byłaby większa od objętości Ziemi. Purchawica należy rzeczywiście do najbardziej okazałych i najbardziej płodnych grzybów. Na szczęście nie każdy zarodnik ma szansę na wykiełkowanie. Strach pomyśleć, co by się stało, gdyby grzyby zaczęły się rozwijać bez przeszkód. Otoczenie jednak na to nie pozwala. Pojemność środowiska jest ograniczona i tylko niektóre zarodniki – najlepiej genetycznie przystosowane do danych warunków, a dodatkowo kiełkujące w odpowiednim substracie – mogą odnieść sukces i rozpocząć kolejny cykl życia.



Chrząstkoskórnik purpurowy (*Chondrostereum purpureum*), (fot. Z.S.)

O tych wszystkich zjawiskach, o których nie myślimy na co dzień – o strategiach grzybów na przetrwanie w środowisku, o ich przemieszczaniu się, a także o różnych formach współżycia z roślinami, zwierzętami i ludźmi – opowiemy w naszej wędrówce po lesie. Będziemy się skupiać szczególnie na tych mniej znanych organizmach, które możemy zobaczyć w naszych lasach, jeśli tylko zaczniemy się bacznie przyglądać.



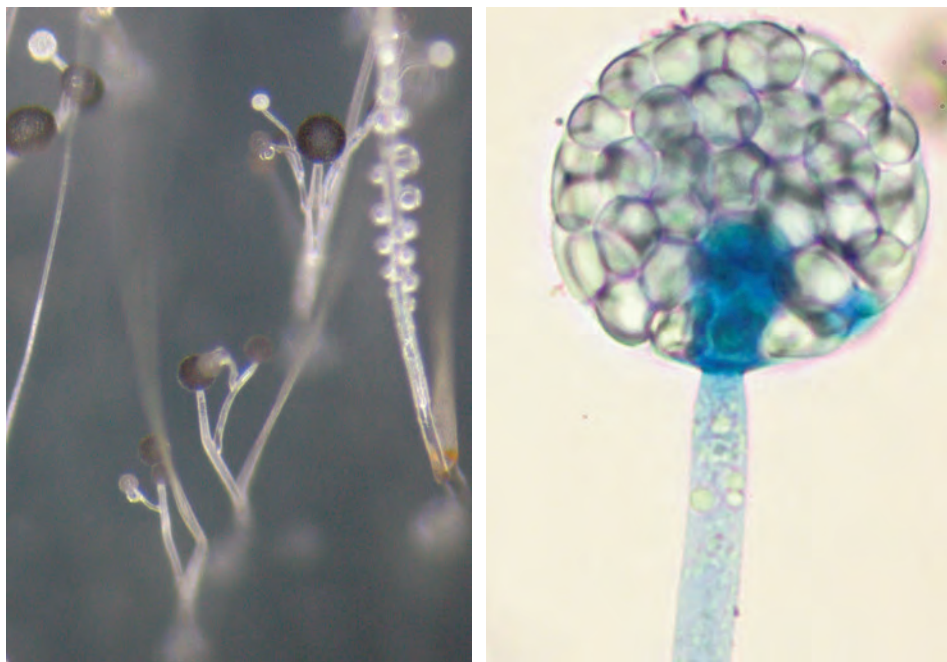
Borowik ceglastopory (*Boletus luridiformis*), (fot. K.K.)

2. GRZYBY WAŻNE W EKOSYSTEMIE I GOSPODARCE LEŚNEJ

2.1. Rozkład, który daje życie – pleśniak (*Mucor*), rozłóżek (*Rhizopus*) i czernidłak (*Coprinus*)

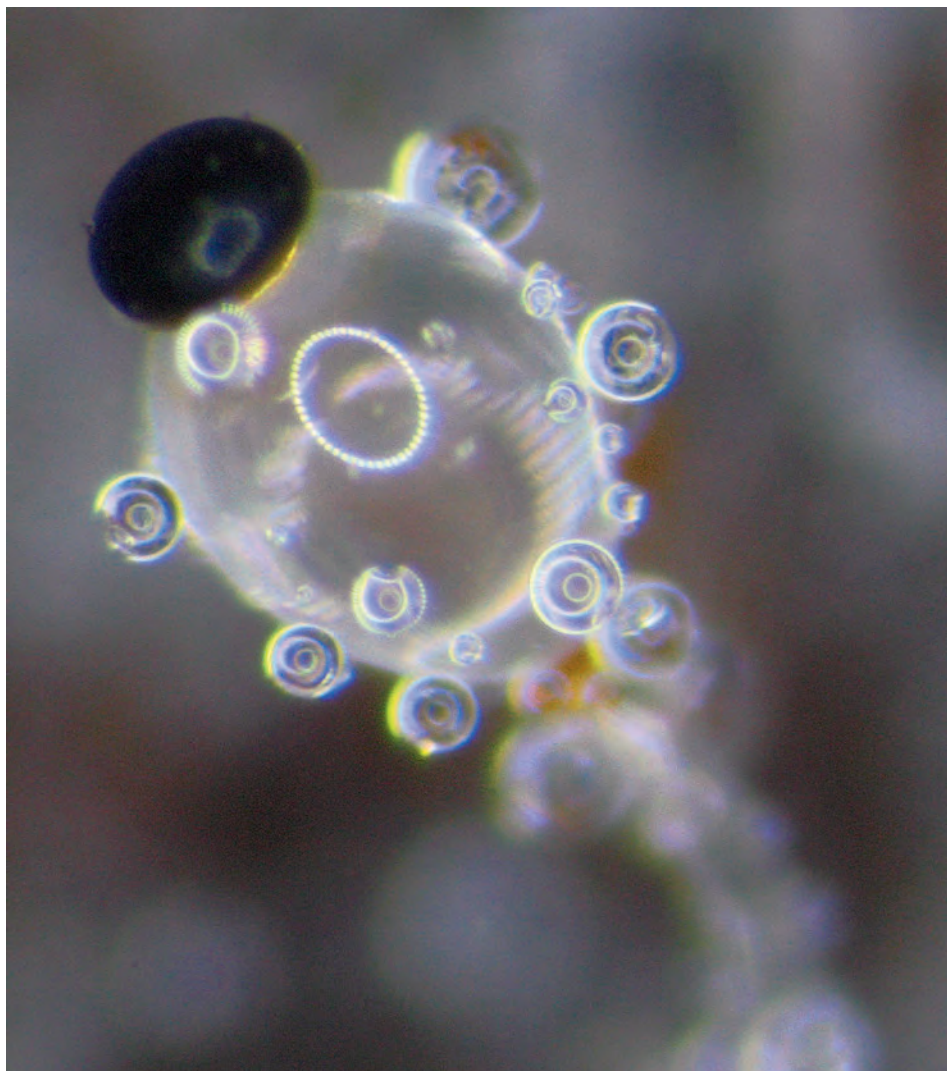
Wiatr. Wiosenny zefir niesie płatki kwiatów i pyłek. Podmuchy porywają z drzew liście. Gną się konary, a na dno lasu opadają całe gałązki z zielonymi igłami... Jesienią dno lasu pokrywają opadające liście, na nich leżą owoce jarzębiny i czerechmy. Orzeszek bukowy obok żołędzia. Nasiona brzozy zasypują ścieżki. Z każdym dniem przybywa liści. Tworzy się warstwa ściółki... Brodzimy w liściach, potykamy się o gałęzie. Co się stanie z nimi dalej? Pozostaną tu długo? Gdyby tak miało być, wówczas objętość Ziemi w sposób widoczny zwiększałaby się z roku na rok. Nasza planeta musiałaby puchnąć, gdyż przybywałoby materii organicznej, rośliny zaś toczyłyby zażarty bój o każdą cząsteczkę mineralną, którą są w stanie wchłonąć. I rzeczywiście toczą, ale nie na śmierć i życie. Rozjemcami są grzyby – organizmy, które sukcesywnie zajmują się degradowaniem bardzo skomplikowanych struktur do struktur prostych, łatwych do wchłonięcia, pożywnych. Przyczyniają się do wzrostu, kwitnienia, plonowania nowych roślin. Organizmy, które specjalizują się w rozkładzie martwej materii organicznej, nazywamy *saprotrofami**. O podobnych procesach, ale związanych z pasożytnictwem, przeczytamy w rozdziałach 2.4. i 2.5. Różnica między tymi organizmami jest taka, że pasożyty muszą mieć oręż do zwalczania obrony gospodarza, a saprotrofy są specjalistami w szybkości i precyzji rozkładu enzymatycznego. Wyobraźmy sobie włamywaczy – jeden z łomem do rozbicia drzwi, a drugi od rozszyfrowania zamka w sejfie. Saprotrofy są specjalistami od zamków.

Możemy podać długą listę saprotrofów. Są wśród nich i duże huby, i maleńkie drożdżki, widoczne dopiero pod mikroskopem. Listę rozpoczynają grzyby z rzędu pleśnia-



Od lewej: sporangiofory zwieńczone zarodnikami pleśniaka saturnowego (*Mucor saturninus*) i *Mucor* sp. z przeświecającą kolumellą podtrzymującą zarodnię z zarodnikami (fot. M.W.)

kowców (*Mucorales*). Nazywamy je „cukrowymi grzybami”, bo pojawiają się tam, gdzie dostępna jest częściowo już rozłożona materia organiczna wraz z dużą ilością cukrów prostych w podłożu. Na suchych nasionach ich nie zobaczymy, ale wystarczy, gdy nasiona silnie się zagrzeją od słońca (zaparzą) lub przemrożą (zmacerują), albo przejdą przez układ pokarmowy zwierzęcia, a „cukrowe grzyby” natychmiast pojawiają się jak za dotknięciem różdżki. W wyniku tych zjawisk dochodzi do hydrolizy skrobi. Pojawiają się cukry proste – substancje bardzo atrakcyjne dla pleśniaków, których zarodniki krążą w powietrzu. Te, którym uda się opaść na bogate w cukry podłoże, rozrosną się w grzybnie i już następnego dnia wydadzą z siebie setki nowych zarodników. Pleśniaki nie są jednak tak nieuzbrojone, jak nam się zdaje. Proste doświadczenie sprawdzające ich zdolności do rozkładania skrobi czy laktozy dowodzi, że radzą sobie naprawdę dobrze, bo wytwarzają enzymy degradujące pożywkę. Zawsze jednak wybiorą lenistwo i zamiast wydatkować energię na tworzenie tych enzymów, będą chłonać to, co jest dostępne natychmiast i o co nie trzeba specjalnie zabiegać. Takim bogatym w różne cukry proste i minerały podłożem są odchody zwierzęce. Gdy pojawiają się na glebie leśnej, zostają natychmiast zarośnięte „futrem” przedstawicieli rzędu *Mucorales*, na przykład grzybami z rodzaju *Pilobolus*, wystrzeliwującymi zarodnie nawet na dwa metry w górę! Są dość trwałe i lepkie, łatwo więc przylepiają się do trawy i są pożerane przez zwierzęta.



Sporangiofor *Pilobolus* zakończony czarnym sporangium, gotowy do strzału; widoczne krople wydzielającego się przesączu (fot. M.W.)

Grzybnia pleśniakowców, na przykład pleśniaka (*Mucor*), nie ma ścian poprzecznych, często snuje się jak pajęczyna po powierzchni substratu, wnikając w głąb jedynie drobniejszymi strzępkami. Jej wzrost potrafi być zaskakująco sprawny. Ale jeszcze szybsze są rozłóżek (*Rhizopus*) lub łukówka (*Absidia*) – te jakby „kroczą” nad powierzchnią, formują rozłogi i drobne ryzoidy, zahaczające o podłoże. Po tygodniu jednak pleśniakowce znikną, a ich miejsce zajmą grzyby bardziej zróżnicowane pod względem koloru, kształtu i wielkości. Będą wśród nich takie, które posiadały umie-



Młode owocniki gnojanki (*Bolbitius*) wyrastające z grzybni obficie przerastającej i rozkładającej podłoże (fot. M.W.)

jętności rozkładania lipidów, skrobi, chityny, celulozy i ligniny. I znowu znajdzie się jeden szybszy od innych – to *Aureobasidium pullulans*, specjalizujący się w wykorzystaniu pektyn, obecnych np. w formie spoiwa ścian komórek roślinnych. W końcu powoli zaczną rosnać trzony i kapelusze grzybów obecnie klasyfikowanych w rodzajach: czernidłaczka (*Coprinopsis*), czernidłaczek (*Coprinellus*), czernidełko (*Parasola*) i czernidlak (*Coprinus*). Może pojawiać się też gnojanka (*Bolbitius*), kołpaczek (*Panaeolus*) lub łysiczka (*Psilocybe*). Zaczną rosnać powoli – oczywiście w porównaniu z pleśniakowcami, które są wyjątkowo szybkie i mogą pokryć podłoże w ciągu kilku godzin. A jednak i podstawczaki często nie potrzebują więcej niż 24 godzin, by wyrosnąć i rozsiać zarodniki. Czernidlak (*Coprinus*) i jego kuzyni już w kilka godzin po tym, jak osiągną swoje ostateczne rozmiary, zaczynają ulegać autolizie. Początkowo ich blaszki ciemnieją, robią się wilgotne, aż w końcu kapelusze się rozpuszczają, opadają jak mokra szmatka, a z ich krawędzi zaczynają spadać czarne krople. W każdej kroplicy znajdują się miliony zarodników. Taki właśnie sposób rozprzestrzeniania zarodników poprzez samozniszczenie owocnika okazał się dla niektórych grzybów najkorzystniejszy. Czasem zdarza się nam zobaczyć tylko mokrą plamę, a czasem



Od lewej: czernidłaczka atramentowa (*Coprinopsis atramentaria*), (fot. K.K.) oraz rozpływający się kapelusz czernidłaczka żółtołuseczkowego (*Coprinellus xanthotrix*), (fot. M.W.)

czarny cień po owocniku, czyli równą warstwę zarodników ścielącą się po podłożu, warstwę spor, które przylepią się do licznych nóg bezkręgowców wędrujących to tu, to tam w poszukiwaniu pożywienia. Owady, roztocza oraz nicienie zadbają mimo woli o to, by przenieść je w nowe miejsca.

Czy wszystkie grzyby rosną z taką samą prędkością? Z pewnością nie! Na pewno sami coś potrafimy powiedzieć na ten temat. Spoista, twarda kurka (pieprznik – patrz rozdział 3.7.) rośnie powoli, podczas gdy maślak – niemal na naszych oczach. Sromotnik (*Phallus*), którego spotykamy na siedliskach bogatych w azot, bardzo szybko unosi swoją wąską główkę. Początkowo zagrzebane w ziemi „jajo” rośnie stopniowo i niezbyt szybko, aż osiągnie średnicę około 5 cm. Gdy powłoka „jaja” pęknie, ze środka zacznie wysuwać się w górę trzon, unoszący na szczycie twór przypominający plaster miodu wypełniony zielonkawą, smrodliwą cieczą. Jego wzrost możemy sami obserwować i nie zajmie nam to więcej niż kilka godzin. W zasadzie wzrost sromotnika to bardziej rozprężanie się gąbczastej tkanki niż przyrastanie strzępek. Jeszcze w formie „jaja” grzyb rozbudowuje trzon, który ma postać porowatej, delikatnej i pustej w środku struktury, utrzymywanej w maksymalnym ściśnięciu tylko do momentu pęknięcia osłony „jaja”. A jednak taki trzon nie służy zbyt długo. Muchy, zwabione zapachem skatolu, zlatują się gromadnie, roznosząc zarodniki, a cały grzyb z reguły się przewraca. Obliczono, że ciśnienie, które wywierają rosnący owocnik, wynosi do $1,33 \text{ kN/m}^2$, co wystarcza, by pokonać nawet opór asfaltu lub płyty chodnikowej. Sromotnik, jak powiedzieliśmy, jest organizmem pojawiającym się w miejscach bogatych w azot. Zawartość tego pierwiastka w materii, która ma być rozkładana przez mikroorganizmy, jest bardzo istotna dla tempa rozkładu. Jeśli zawartość azotu względem węgla jest wysoka, możemy się spodziewać,

że substrat zostanie rozłożony szybko, jeśli zaś dominuje węgiel – rozkład potrwa latami. Dla porównania warto posłużyć się kilkoma przykładami: stosunek węgla do azotu w drewnie wynosi około 400 : 1, w liściach 60 : 1, a w miękkich owocach i warzywach 30 : 1. Nie dziwny się zatem, że z dna lasu znikną w pierwszej kolejności owoce, liście, a drewno pozostanie najdłużej.



Od lewej: sromotnik bezwstydy (Phallus impudicus), (fot. M.W.) i łysak wspaniały (Gymnopilus junonius), w tle pomarańczowe miseczki grzybów z rodziny Pezizaceae (fot. K.K.)

Nie każdy grzyb jest jednakowo sprawny w rozkładzie podłoża. Doświadczenia porównujące rozkład ściółki liściastej przez grzyby ujawniły, że wszędobylska, ale maleńka pleśń *Cladosporium* w ciągu 6 miesięcy jest w stanie rozłożyć 4% liści dębowych, a drobna grzybowka (*Mycena galopus*) – aż 20%. Nie powinno nas to dziwić. *Cladosporium* jest konidialną formą workowca *Davidiella*, którego delikatne kolonie nie przekraczają 3 mm średnicy. Z kolei porozgałęziane mycelium grzybowki przeraasta całą powierzchnię liści, wnika w ubytki, rozpycha szpary. Grzybowka jest wszędobylska, czyli – jak można przeczytać w podręcznikach ekologii – ubikwistyczna.

Niewątpliwie o szybkości rozkładu i szybkości pojawiania się owocników decydują warunki środowiskowe. Jednym z najbardziej sprawnych „rozkładaczy” jest niestety przedstawiciel grzybów domowych *Serpula lacrymans*, nazywany stoczkiem domowym lub łzawym, który w ciągu roku może spowodować aż 80-procentowy ubytek masy drewna, którym się żywi. Wydaje się, że w procesach rozkładu niezwykle ważna dla grzybów jest woda. Doświadczenia z podlewaniem ściółki dają rezultaty przekraczające oczekiwania, ale kto by podlewał ściółkę w lesie? Owocniki naprawdę rosną jak grzyby po deszczu. Nawodnione ściółka i gleba mają ogrom-

ny wpływ na szybkość i typ rozkładu. Wilgotność zbyt duża może powodować dominację procesów beztlenowych, zabójczych dla większości grzybów. Susza z kolei hamuje wzrost i rozkład tlenowy. Dlatego właśnie różne grzyby zasiedlają różne, odpowiadające im podłoża. Niektóre grzyby w czasie procesów metabolicznych produkują wodę, którą później z powrotem użytkują, co się wiąże z zachodzącymi w nich procesami chemicznymi. Te mikroskopowe grzyby znajdziemy nawet wtedy, gdy w lesie nie będzie już widać kolorowych kapeluszy. Pamiętajmy przy tym, że wilgotność drewna często jest większa niż wilgotność ściółki, najwięcej zatem owocników znajdziemy w słoneczne, gorące dni właśnie w okolicach pniaków i kłód.

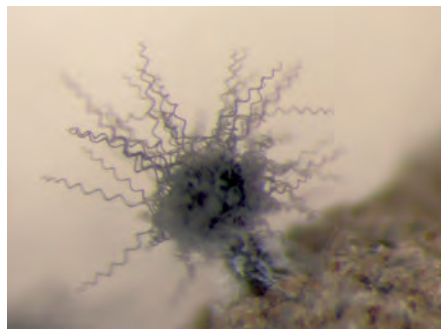


Od lewej: grzybówka dyskowata (*Mycena stylobates*) rozkładająca liście na dnie lasu oraz żylak trzęsakowaty (*Phlebia tremellosa*), sprawca intensywnego rozkładu starych pniaków (fot. K.K.)

Gdy nadchodzi zima, wielu z typowych, wczesnych kolonizatorów ściółki znika. Zastępowane są przez kolejne zastępy *destruentów**, czyli specjalistów od rozkładu (*saprotrofów**). Grzyby drugiego rzędu sukcesyjnego nawet w czasie zimy, pod śniegiem, będą prowadzić swoją działalność. Znajdą się wśród nich pleśnie podobne do maleńkich drzewek i krzaczków, amforowate, zagłębione w substracie otocznie i łatwy do identyfikacji, trąbkowaty *Hymenoscyphus caudatus*. Pojawią się też maleńka biała miseczka podstawczaka *Lachnella villosa* i maczużki *Pistillaria pusilla*. Mimo że grzyby zasadniczo egzystują w ciemności, zazwyczaj potrzebują światła, aby owocować. Wiele z nich cechuje fototropizm. Kierują swoje owocniki ku słońcu. Kolonie niektórych gatunków pleśniaków wyglądają jak uczesane grzebieniem. Wszystkie trzonki zarodnikotwórcze, jak kłosa na polu, skłaniają się zarodnikami w tę samą stronę.

Co do oddziaływania temperatury, to pewne jest jedno: grzyby potrafią się bardzo różnić, jeśli chodzi o swoje preferencje. Rozłożek (*Rhizopus*) pojawi się, jak tylko temperatura wzrośnie powyżej 3°C, czernidłaczka szara (*Coprinopsis cinerea*) nie

wyrośnie, jeśli temperatura nie przekroczy 10°C, a *celulolityczna** czuprynka (*Chaetomium thermophile*) zjawi się na wybranym podłożu, gdy słupek termometru osiągnie 26°C. Natomiast porosty bardzo dobrze rozwijają się zimą, gdy powietrze jest chłodne (a nawet mroźne) i wilgotne. Przyczyną tego jest szczególnie wysoka zawartość polialkoholi w ich ciałach, które obniżają temperaturę zamarzania i chronią delikatne struktury wewnątrzkomórkowe.



Od lewej: wzniesione, zwieńczone zarodnikami sporangiofiory rozłóżka pospolitego (*Rhizopus stolonifer*) oraz owocnik czuprynki (*Chaetomium* sp.), (fot. M.W.)

Porosty antarktyczne prowadzą fotosyntezę nawet przy -20°C! Te niezwykle organizmy są mistrzami w znoszeniu niskich temperatur. Wiele doświadczeń wykazało, że nawet zamrażanie ich do temperatury -196°C nie zabija komórek, lecz wyłącznie przenosi w stan anabiozy (życia utajonego). Po podwyższeniu temperatury podejmują na nowo przerwany okresowo metabolizm. Zauważono też, że listkowata *Umbilicaria* dzięki ciemno zabarwionej powierzchni absorbuje światło, co podnosi jej temperaturę, i topi kryształki lodu, które stają się tym samym źródłem wody umożliwiającym procesy życiowe.

Mówiąc o rozkładzie podłoża organicznego, nie można pominąć partnerów naszych grzybów. Są to roztocza, skoczogonki i inne drobne bezkręgowce. Wiele z nich rozdrabnia elementy ściółki, czyniąc je bardziej dostępnymi dla grzybów. Niektóre grzyby wyrastają wyłącznie na odchodach skulicy (*Glomeris*) lub innych przedstawicieli mezofauny glebowej. Bardzo często grzyby sprzymierzają się w bakteriami. Ciekawym przykładem synergizmu (działania wspólnego) jest związek między polówką (*Agrocybe*) a *Mycobacterium*. Sprawdzano, jak obydwie organizmy radzą sobie z rozkładem szkodliwego pirenu. Gdy podchodziły do tego zadania samodzielnie, ich efektywność w ciągu 60 dni nie przekraczała 4%. Kiedy jednak pozwolono im rozwijać się wspólnie, w tym samym czasie uporały się aż z 38% masy rozkładanej substancji.

Gdy po deszczu wchodzimy do lasu, nie sposób zawracać sobie głowę dziesiątkami drobnych twardzioszków, grzybówek, pieniążków, tym bardziej że z reguły

rozglądamy się za okazałymi owocnikami, które znamy z przepisów kulinarnych. Sieci strzępek rozpostarte w ściółce czynią ją z tygodnia na tydzień coraz cieńszą, bardziej łamliwą, aż w końcu pozostaje z niej tylko urodzajny pył. Jest on mieszany z częścią mineralną gleby przez skoczogonki, drobne owady, dżdżownice, a nawet krety, dzięki czemu tworzy bardziej lub mniej żyzne dla lasu siedlisko.

Warto więc zdawać sobie sprawę, jak fantastyczną robotę wykonuje ten grzybowy drobiazg.

2.2. Janusowe oblicze lakówek (*Laccaria*)

Na pewno każdy z nas wielokrotnie widział lakówki, ale prawdopodobnie niewielu zwróciło na nie uwagę. Występują powszechnie, bo są niemal wszędzie, wystarczy się tylko uważnie rozejrzeć. Lakówkę pospolitą (*Laccaria laccata*), jak polska nazwa wskazuje, znaleźć można niemal w każdym lesie, zwłaszcza przy najmłodszych sosnach, unika ona jednak uwilgoconych siedlisk borowych. Tam z kolei króluje lakówka wyniosła (*L. proxima*) o lekko łuskowatym kapeluszu, który widać, gdy wychyla się spomiędzy mchów w lasach iglastych i na torfowiskach. Z kolei lakówka dwubarwna (*L. bicolor*), w Polsce rzadka lub niedostatecznie poznana, wyrasta gromadnie tam, gdzie las sosnowy powoli zajmuje nieużytki, a lakówka ametystowa (*L. ametistina*) szczególnie dobrze czuje się w lasach liściastych – pod bukami i grabami. Uważajmy na lakówkę drobną (*L. tortilis*), bo łatwo ją podeptać, snując się po wilgotnych olsach.

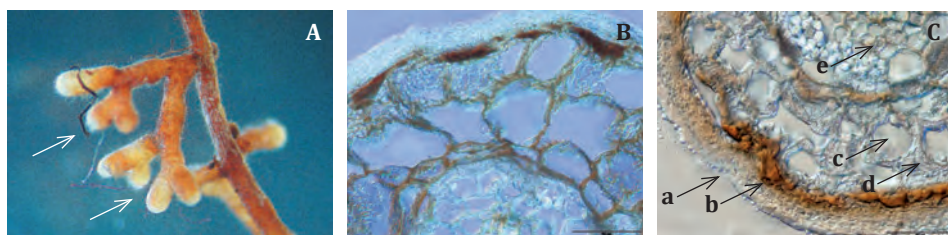
Lakówki są charakterystyczne i trudno je pomylić z innymi grzybami. Na ogół mają wysokie i elastyczne nóżki, na których wykształcają się słabo wypukłe, niewielkie kapelusze. Zarówno kapelusze, blaszki, jak i trzony są niemal w jednym odcieniu – pomarańczowe, rude lub fioletowe. Mimo że szerokie i dość rzadkie blaszki



Od lewej: lakówka drobna (*Laccaria tortilis*), (fot. K.K.) i lakówka zwyczajna (*Laccaria laccata*), (fot. M.W.)

mogłyby budzić skojarzenia z grzybami wodnichowatymi, na przykład z wodnicą późną (*Hygrophorus hypothejus*), to jednak ich kapelusze nigdy nie pokrywają się śliskim śluzem. Gdybyśmy mogli zerknąć na ich mikroskopowe cechy, zwrócilibyśmy uwagę na białe, kulistawe zarodniki podstawkowe, pokryte zazwyczaj dość długimi kolcami. Jeśli chcemy rozpoznać poszczególne gatunki, to pomogą nam w tym przede wszystkim obserwacje otoczenia, w którym grzyby rosną, ale czasem warto także przyjrzeć się odcieniowi grzybni pokrywającej nasadę trzonu. No i oczywiście odszukać to w kluczu do rozpoznawania grzybów!

Lakówki jednak rzadko trafiają do atlasów i poradników przeznaczonych dla amatorów grzybobrania. Mimo że są jadalne, to nie przedstawiają kulinarnej wartości. Jeśli jednak zajrzemy na karty mykologicznych czasopism, okaże się, jak wiele artykułów jest na ich temat i ile od nich samych możemy się dowiedzieć o funkcjonowaniu lasu. Wszystkie lakówki to grzyby *mykoryzowe**. Jeśli delikatnie odgarniemy ściółkę i glebę w najbliższym sąsiedztwie owocników, to zobaczymy, że najcieńsze korzenie drzew mają zgrubiałe i skrócone odgałęzienia, pokryte czymś w kształcie mufki lub grubej skarpety. Może być ona gładka lub puszysta – w zależności od gatunku drzewa, którego korzeń odsłaniamy, i gatunku grzyba, który ją tworzy. Gdybyśmy spróbowali delikatnie ściągnąć tę mufkę i zajrzeć do wnętrza korzenia, to ukaże się nam obraz charakterystyczny dla ektomykoryzy. Ściągając mufkę, w rzeczywistości zerwalibyśmy połączenie grzybni z jej strzępkami wewnątrz rośliny. Otaczają one, jakby palcami, komórki miększu korowego i tworzą tzw. sieć Hartiga. Końcówki tej sieci są czułym przekątnikiem wielu różnych substancji przemieszczających się dzięki osmozie (dyfuzji) z korzenia i do korzenia. Z korzenia do strzępek grzyba sący się roztwór cukru pochodzący z procesu asymilacji w liściach, natomiast ze strzępek do korzenia przemieszczają się roztwory minerałów i czysta woda, pobrane z gleby otaczającej grzybnię, oraz witaminy wytworzone w komórkach grzybni. Oszacowano, że mykoryza, właśnie dzięki strzępkom grzybni znajdującej się w glebie (nosi ona



Mykoryza sosny zwyczajnej z grzybem *Laccaria laccata*: A) dichotomiczne, wielokrotnie rozgałęzione mykoryzy jasne o skąpej mufce grzybniowej – strzałki, B) przekrój przez mykoryzę, C) fragment mykoryzy: a – mufka grzybni, b – komórki epidermy wysyczone suberyną, c – miększ kory pierwotnej, d – strzępki grzybni wokół komórek miększowych, tzw. sieć Hartiga, e – walec osiowy, zawsze bez grzybni ektomykoryzowej (fot. D.H., D.B.W. i M.T.)

nazwę grzybni *ekstramatrykalnej**), może zwiększyć powierzchnię chłonną korzenia aż tysiąckrotnie! A to dopiero początek listy wzajemnych korzyści...

W 2008 roku opublikowany został w prestiżowym czasopiśmie „Nature” raport z pierwszego na świecie pełnego sekwencjonowania genomu grzyba mykoryzowego. Oznacza to, że poznano jego pełną *sekwencję DNA**. Do badań wybrano właśnie niepozorną lakówkę dwubarwną (*L. bicolor*). Jest to ważny grzyb, występujący powszechnie w lasach borealnych Ameryki Północnej i Europy Zachodniej, zwłaszcza wśród siewek sosnowych, brzoźowych i dagleźjowych, i – co najważniejsze – wspomagający ich wzrost. Choćby z powodu „wspomagania” stał się ciekawym okazem do badań o charakterze aplikacyjnym. Wiadomo było już wcześniej, że jego grzybnia, wyhodowana z pojedynczego zarodnika (*haploidalna**), jest łatwa do utrzymania w warunkach sztucznych, na płytce z podłożem, czyli bez naturalnego partnera roślinnego. Dodatkowym atutem było to, że ma on charakterystyczny kolor fioletowy, co ułatwia ocenę obecności ewentualnych zakażeń.

W 2004 roku wyselekcjonowano szczep, który posłużył za matrycę do badań. Dziesiątki *termocyklerów* i *sekwencjatorów** pracowało od rana do nocy, spisując literka po literce kolejność nukleotydów w DNA lakówki. Przypomnieć należy, że w łańcuchu kwasu nukleinowego występują cztery zasady azotowe (adenina, cytozyna, guanina i tymina), łączące dwie splecione nici, zbudowane z naprzemiennie ułożonych deoksyrybozy i reszty kwasu fosforowego. Zasady te oznacza się dużymi literami alfabetu: A, C, G, T. Ich specyficzna kolejność jest uniwersalnym kodem życia i decyduje o cechach każdego organizmu. Kolejny etap pracy wiązał się z komputerowym łączeniem wielkich zbiorów danych molekularnych w taki sposób, by uzyskać obraz całości. Zadanie to okazało się nad wyraz trudne ze względu na wielką liczbę elementów powtarzalnych – *transpozonów**, które sprawiły, że *genom** lakówki „spęczniał” aż do 65 milionów par zasad (21% całości), podczas gdy zazwyczaj genomy poznanych wcześniej grzybów składały się z nie więcej niż 30 milionów par zasad. Od uzyskania sekwencji aż do opublikowania artykułu upłynęły kolejne dwa lata, w czasie których kilkadziesiąt osób zajmowało się zrozumieniem tego niezwykle długiego zapisu o tym, „co to znaczy być lakówką”. Cóż ciekawego doszukano się wśród tych dziesiątków, setek, tysięcy różnych „słów”? Stwierdzono na przykład, że w genomie znajduje się około 20 000 genów kodujących białka. Teraz trzeba się było zorientować, coż to za związki chemiczne i za co odpowiadają w komórce. Badając *sekretomy**, czyli prawdziwe, realizowane w tkankach białka, i porównując z zapisem DNA, okazało się, że aż 80% informacji to informacja żywa, przekazywana, która znajduje odzwierciedlenie w prawdziwej „maszynierii” komórki. Większość genów ulegała ekspresji, czyli była podstawą tworzenia białek w grzybni niezależnie od miejsca – czy to w owocniku, czy w sznurach grzybnionych, a nawet w płatach grzybni substratowej. Część białek okazała się jednak specyficzna – te ulegały akty-

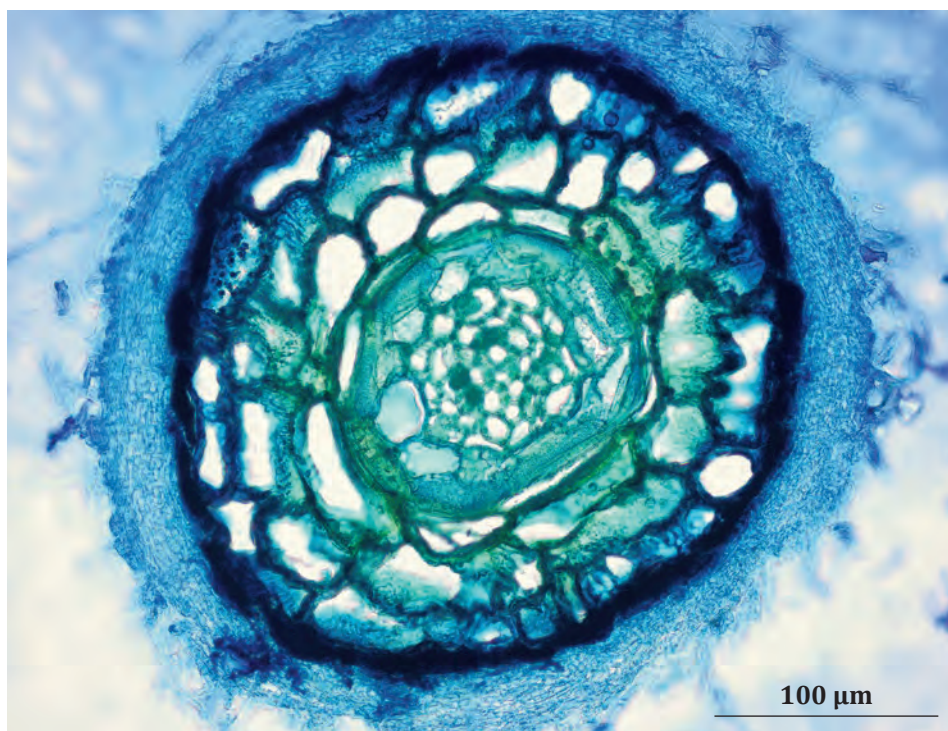


Duży, powyginany kapelusz lakówki wyniosłej (*Laccaria proxima*), (fot. M.W.)

wacji tylko na powierzchni mykoryzy lub tylko przy tworzeniu kolorowych kapeluszy. Pozostałe geny pozostawały niejako w uśpieniu.

Z 20 tysięcy genów zidentyfikowanych w genomie *Laccaria* około 14,5 tysiąca znalazło swoje odpowiedniki także u innych grzybów. Najbardziej podobne do lakówki okazały się grzyby podstawczaki, ale o zupełnie innych upodobaniach eko-

logicznych: korownica (*Phanerochaete chrysosporium*) – mistrz w rozkładzie ligniny, *Cryptococcus neoformans* – znany jako sprawca poważnych drożdżyc, również groźnych dla człowieka, głównie kukurydzy (*Ustilago maydis*) oraz saprotroficzna czernidłaczka szara (*Coprinopsis cinerea*), o której pisaliśmy w rozdziale 2. Wiele innych białek ulegało ekspresji wyłącznie w zakończeniach strzępek stykających się z rośliną. Niektóre z nich, niewielkie i znane pod nazwą SSPs (*small secreted proteins*), są podobne do siebie, a jednak nie takie same, łączą się zazwyczaj w tzw. rodziny i są prawdopodobnie białkami sygnałowymi. Działają niczym zwiadowcy badający teren, rozpoznają partnera i nawiązują z nim kontakt. Aż 12 białek tego typu wykazało wyraźne podobieństwo do genów znanych u grzybów patogenicznych dla roślin i odpowiedzialnych za proces infekcji. Tak więc wydaje się, że mykoryzacja i patogenеза mają wiele cech wspólnych. Przynajmniej 2 tysiące genów odnalezionych w genomie lakówki i na pewno aktywnych to nieznane białka specyficzne dla tego grzyba lub dla grzybów mykoryzowych. Są one zapewne wciągnięte w ten przedziwny wir wzajemnych „pytań i odpowiedzi” między drzewem i grzybem. Okazało się także, że lakówka jest znacznie bogatsza od innych grzybów w białka transportowe i ma zróżnicowane geny związane z pobieraniem azotu. To



Przekrój przez bardzo młody korzeń, zmykoryzowany przez lakówkę (fot. D.B.W. i M.T.)

właśnie azot jest pierwiastkiem, który dla współpracujących z grzybami drzew jest pierwszą potrzebą. Odkryto szczególnie dużą grupę transporterów amonu, co zdaje się świadczyć o tym, że podstawowym źródłem azotu dla grzybów mykoryzowych jest właśnie amoniak. Czy lakówka jest w czymś gorsza od innych grzybów? Rzeczywiście, odnaleziono jej słabą stronę, która zapewne jest jednak „słabością, która daje siłę”. Mimo że grzyb wytwarza różne enzymy hydrolizujące białka i lipidy, to zauważono bardzo wyraźną redukcję liczby enzymów zdolnych do degradacji roślinnej ściany komórkowej.

Skąd metafora o „janusowym obliczu” lakówki? Porównanie nie jest nasze, autorów książki, ale profesora Francisa Martina, kierującego zespołem badaczy mykoryz z Nancy we Francji. *Ianus* to starorzymskie bóstwo bram i przejść, przedstawiane w postaci dwóch twarzy skierowanych w odwrotne strony. Janusowe oblicze to oblicze zagadkowe, dwustronne, zmienne i dwuznaczne. Liczne, współistniejące obok siebie podobieństwa w genomie grzyba mykoryzowego do genomów organizmów saprotroficzných i pasożytniczych wydają się wskazywać na ukryty potencjał, z którego lakówka nie korzysta dopóki wokół niej szumi las, ale ku któremu mogłaby się obrócić, gdyby tylko środowisko życia przymusiło ją do tego. Uczony amerykański Dan Cullen stwierdził nawet, że „tworzenie mykoryz można porównać do małżeństwa z rozsądku”. Małżeństwa te nie są tak stałe, jakbyśmy skłonni byli przypuszczać. Okazuje się, że grzyby zasiedlają korzenie drzew w pewnej sekwencji. Według polskich badań, z najmłodszymi drzewami związane są rodzaje włośnianka (*Hebeloma*), chropiatka (*Thelephora*) czy strzępiak (*Inocybe*). Pod kilkuletnimi drzewami częściej spotkamy lakówkę (*Laccaria*), maślaki (*Suillus*), krowiaka (*Paxillus*) czy mleczaja (*Lactarius*). Borowików, gąsek, pieprzników czy podgrzybków na próżno by szukać w młodnikach. Nawijają one kontakt już z dojrzałym drzewem, którego wiek przekracza 10 lat. Co więcej, grzyby na ogół nie są nawet „wierne”. Rzadko zdarzają się nierozzerwalne pary. Jednym z takich rzadkich przykładów pełnej lojalności jest układ modrzewia z maślakiem żółtym (*Suillus graillei*). Wierny jest tu jednak tylko grzyb. Modrzew ma wielu innych partnerów mykoryzowych. Według szacun-



Ektomykoryzy sosny zwyczajnej utworzone przez grzyby: a) *Hebeloma crustuliniforme*, b) *Tomeniella* sp., c) *Rhizopogon* sp. (fot. D.H.)

ków niemieckich uczonych, grzybów ektomykoryzowych wchodzących w kontakt z drzewami jest około 1400 gatunków. Pozostaje więc jeszcze wiele do zbadania!

Wiemy już od dawna, że siewki z mykoryzą są odporniejsze na choroby, a przy tym bardziej witalne od siewek, które wszystkie potrzebne substancje muszą zdobywać bez pomocy grzyba, czyli *via* własne włosniki – nitkowato wydłużone komórki skórki korzenia. Zwraca się więc baczna uwaga na stan korzeni młodych drzew, nawet już w wieku siewki, aby w razie potrzeby przyjść im z pomocą, sztucznie wprowadzając odpowiedniego partnera mykoryzowego. W szkółkach leśnych leżących w obrębie lub nieopodal kompleksów leśnych znajduje się zazwyczaj w glebie naturalne źródło propagul (*inoculum**) grzyba. Docierają tu zarodniki, a w glebie pozostają strzępki i struktury przetrwalne pochodzące z grzybni mającej kontakt z korzeniami drzew otaczających szkółkę. Okazało się jednak, że wysoki stopień nawożenia gleby drastycznie pogarsza relacje między partnerami. Z kolei na glebach ubogich w składniki pokarmowe, w biogeny, ich niedostatek, a także brak dostępnej wody glebowej czynią grzyba i drzewo potrzebnymi sobie nawzajem. Na ograniczenie stopnia mykoryzacji naturalnej wpływa też fakt, że lata grzybne są często poprzedzane latami suchymi, bezgrzybnymi, co oznacza spadek stężenia zarodni-



W tym młodniku sosnowym dominuje mleczaj rudy (*Lactarius rufus*), (fot. M.W.)

ków krążących w powietrzu. Takie właśnie niekorzystne sytuacje, a także brak grzybów mykoryzowych w glebach zalesianych gruntów porolnych, eliminuje inokulacja sztuczna, gdy „kojarzymy” parę drzewo-grzyb.

Początkowo podejmowano różne próby wzbogacenia zbiorowiska – stosowano na przykład glebę leśną zawierającą strzępki i fragmenty korzeni, ale niestety glebę tę pobierano z lasu dojrzałego, gdzie – jak zaznaczyliśmy wcześniej – panują już inne grzyby i inne stosunki ekologiczne. Nierzadko wprowadzano przy tym do szkółki niechciane patogeny roślin, np. z rodzajów *Pythium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp. czy *Phytophthora* spp. Inną metodą było dosadzenie do szkółki roślin ze zróżnicowaną i aktywną mykoryzą, licząc na to, że tak wprowadzone grzyby szybko się rozprzestrzenia i obejmą nowych partnerów. Kolejne próby polegały na inokulacji roztworem zarodników, ale stosowanie tej metody ograniczał fakt, że nie wszystkie efektywne grzyby mykoryzowe tworzą owocniki, a inne tworzą je rzadko, lub produkcja zarodników jest skąpa. Na świecie największy zakres miała metoda inokulacji zarodnikowej z wykorzystaniem dość w Polsce rzadkiej purchatnicy *Pisolithus tinctorius*. Badania polskie dowiodły skuteczności mykoryzacji przez tęgoskóra cytrynowego (*Scleroderma citrinum*), o którym jest mowa w rozdziale 3.8., jako potencjalnie najlepiej nadającego się do zarodnikowej, sztucznej inokulacji sosny i dębu, z przeznaczeniem do zalesień porolnych.



Włośnianka (*Hebeloma*) – grzyb pierwszego kontaktu w uprawach leśnych (fot. M.W.)

Kolejną, skutecznie wprowadzoną w Europie, a także w Polsce metodą poprawy mykotrofizmu roślin, zwłaszcza w długo użytkowanych szkółkach leśnych, a także z przeznaczeniem na gleby zdegradowane, jest stosowanie szczepionki wegetatywnej. Zawiera ona aktywne strzępki grzybów gotowych do wejścia w natychmiastową interakcję (syntezę) z korzeniem, gdy tylko zaistnieją odpowiednie warunki, szczególnie w obecności wydzielin korzeniowych, czyli tzw. eksudatów. Wśród najlepszych „zawodników” w tej kategorii są też nasze lakówki. Pospolita, niezauważana, lekceważona i często niestety deptana *Laccaria laccata* jest na szczęście pod baczną obserwacją badaczy mykoryz. To właśnie ona, wraz z innym niepozornym grzybem mykoryzowym – włośnianką rosistą (*Hebeloma crustuliniforme*) – posłużyła za podstawę do wytworzenia najbardziej efektywnych szczepionek w sterowanej mykoryzacji. Dzięki temu możliwe było odtworzenie lasu na terenach porolnych, odebranych puszczy setki lat temu, na hałdach pokopalnianych czy jałowych żwirowiskach.

2.3. Opieńka (*Armillaria*) – miodowa, czy złośliwa?

Mało kto wie, że kupując w sklepie słoiczek marynowanych opieniek, przyczyniamy się do poprawy stanu zdrowotnego naszych lasów. Jak to możliwe? Aby odpowiedzieć na to pytanie, musimy przypomnieć sobie cykl życiowy tego grzyba. A jest on bardzo tajemniczy i do tego skomplikowany.

Należy zacząć od tego, że opieńka jest największym żyjącym organizmem na Ziemi. Nie jest oczywiście wielka pod względem grubości czy wysokości owocników, ale rozpierzchłości, czyli zasięgu występowania grzybni. Wykonane w 2007 r. zdjęcia satelitarne i lotnicze pewnego uroczego zakątka w Blue Mountains w Oregonie (Stany Zjednoczone AP) ujawniły dziwne zjawisko. Drzewa na tym terenie zamierały w coraz to większych kręgach, a nowe egzemplarze nie chciały wyrastać. Dokładne badania wykazały, że zamieranie drzew zanotowano na powierzchni 900 hektarów (to obszar około 1220 boisk piłkarskich!), a sprawcą tego zjawiska był grzyb chorobotwórczy – opieńka ciemna (*Armillaria ostoyae*). Okazało się także, że „ciało” tejże opieńki jest znacznie większe niż opieńki odkrytej w 1992 r. w stanie Washington, w okolicach Mt. Adams, uważane dotąd za rekordowego giganta. Opieńki są znane z występowania we wszystkich niemal lasach iglastych i liściastych, a także w sadach owocowych i winnicach, gdzie dziesiątkują uprawy. Ale nigdy jeszcze nie stwierdzono, aby osiągały aż takie rozmiary. Umożliwiły to dopiero analizy genetyczne grzybni, wykonane na całym zaatakowanym obszarze, które jednoznacznie wykazały tożsamość molekularną każdego badanego fragmentu, co należy interpretować jako dowód na to, że mamy do czynienia z jednym gigantycznym osobnikiem. Stwierdzono także, że grzyb ten ma ponad 2400 lat!



Owocniki opieńki (*Armillaria*) wysypują ogromne ilości białych zarodników, które mączystym nalotem pokrywają ściółkę i niżej rozmieszczone kapelusze (fot. Z.S.)

W naszych lasach występuje aż pięć gatunków opieniek, które uczeni łączą w zbiorową grupę biologiczną o nazwie opieńka miodowa (*Armillaria mellea* complex). Są to: o. północna (*A. borealis*), o. maczugowata (*A. cepistipes*), o. żółtotrzonowa (*A. gallica*), o. miodowa (*A. mellea*), o. ciemna (*A. ostoyae*). W zasadzie wszystkie charakteryzuje ta sama baza pokarmowa, którą jest drewno pniaków i korzeni drzew, oraz wyróżnia specyficzny, błonkowy pierścień na trzonie owocnika. W Europie jest znacznie więcej gatunków tego rodzaju, a w świecie ponad 40.

Dojrzała grzybnia wytwarza owocniki wyrastające w grupach, niemal z jednego miejsca, co zauważył nawet A. Mickiewicz w „Panu Tadeuszu” („...panny w jednym ręku niosły, jako wachlarz zwiniony, borowik rozrosły, w drugim związane razem, jakby polne kwiatki, opieńki i rozlicznej barwy surojadki” – księga III „Umizgi”). Łatwo zauważyć, że polskie nazwy gatunkowe odzwierciedlają w dużym stopniu kształt lub barwę owocnika, co znacznie ułatwia jego rozpoznanie w terenie. W wypadku opieniek nie jest to jednak tak oczywiste, jako że „przy pieńkach” występują też inne grzyby o podobnych kształtach, takie jak np.: łuskwiaki (*Pholiota*) – ł. nastroszony, ł. topolowy; łuszczak zmienny (*Kuehneromyces mutabilis*); hełmówka obrzeżona (*Galerina marginata*) czy różne maślanki (*Hypholoma*). Niektóre z nich,



Od lewej: hełmówka jednobarwna (*Galerina marginata*), (fot. M.W.) i łuskiak topolowy (*Pholiota destruens*), (fot. K.K.), mogą być pomyłone z opieńką, bo zajmują podobne siedliska i mają zbliżone zabarwienie

rosnąć w kępkach podobnie jak opieńki, także mają łuseczki na kapeluszu, pierścień, a barwę brązową lub złotawą. Niestety, zarówno niektóre maślanki, jak i hełmówki są bardzo trujące, poznanie więc cech diagnostycznych jadalnych grzybów kępkowych jest naprawdę ważne.

Opieńki mają bardzo złożony cykl życiowy. Jesienią z dojrzałych owocników, a właściwie spod ich kapeluszy, wysypują się zarodniki podstawkowe. Spod kapeluszy, tam bowiem powstaje blaszkowy *hymenofor**, pokryty aksamitną warstwą zarodnikotwórczą, zwaną *hymenium**. Na każdej z milionów maczugowatych podstawek tworzących to hymenium wytwarzane są cztery zarodniki. Unoszą się w niezliczonej liczbie w powietrzu, a po opadnięciu na odpowiednio wilgotne i żyzne podłoże glebowe, ściółkę czy drewno zaczynają kiełkować. Rozwijające się z nich strzępki tworzą luźną grzybnię, przy czym grzybnia wyrastająca z zarodników ma jądra pojedyncze (strzępki haploidalne), tak jak ludzkie plemniki lub niezapłodnione jaja ptasie. Strzępki jednak się zrastają, powstają więc takie, w których obok siebie znajdują się dwa różne jądra (strzępki *dikariotyczne**). Ale są też strzępki grzybni, w któ-



Śnieżnobiała grzybnia *A. ostoyae* pod korą pniaka po świeżo ściętym drzewie, zamarłym z powodu choroby opieńkowej (fot. Z.S.)

rych te dwa jądra zlewają się w jedno, niczym przy zapłodnieniu (są *diploidalne**). Zdarza się też często, że grzybnia diploidalna łączy się z haploidalną, co dodatkowo komplikuje cykl życiowy, ale przy tym nadaje opieńce zupełnie wyjątkowe cechy. To najczęściej właśnie grzybnia dikariotyczna tworzy owocniki. Grzybnie diploidalne dają formy *sklerocjów**, np. trwałych i wieloletnich sznurów – *ryzomorf**. Opieńki, posiadając tę niezwykłą cechę, czyli zonglowanie stanem jąder komórkowych, zajmują – i to w różny sposób – atakują drzewa w lasach zagospodarowanych!

Grzybnia po zasiedleniu drewna, korzystając z zawartych w nim związków odżywczych, zaleźnie od przebiegu wyżej opisanego procesu różnicowania może wytworzyć różne formy. Może to być grzybnia rozwijająca się w drewnie i pod korą w formie białych, grubych płatów o kształcie dłoni, albo też mogą to być rurkowate, czarne ryzomorfy, aktywnie zmierzające pod ściółkę i do gleby, a potem w kierunku swojej ofiary – drzewa. Grzybnia wzrastająca pod korą żywych drzew zabija dzięki wytwarzanym enzymom miazgę i łyko (infekcja pasożytnicza) i powoduje śmierć całego drzewa. Strzępki wnikają następnie do jego części wewnętrznej, zwanej twardełową, i wywołują enzymatyczny rozkład celulozy i ligniny. Ta część rozwoju opieniek wewnątrz cewek i naczyń zabijanych drzew i zamarłego drewna ma już charakter saprotroficzny.



Ryzomorfy podkorowe sięgające wiele metrów w górę pnia (fot. M.W.)

Ale najciekawsze są ryzomorfy. Z jednej strony są to organy przetrwalnikowe grzyba, gdyż mogą pozostawać w glebie jakby uśpione przez wiele lat, a uszkodzone, np. przez buchtujące w ściółce dziki, rozpocząć proces wzrostu. Z drugiej zaś stanowią śmiercionośną broń opieńki w drzewostanie. Dlaczego tak się dzieje? Ryzomorfy opieńki mają zdolność wzrostu wierzchołkowego – najmłodsze strzępki są bardzo aktywne, szybko rosną na długość. Przesuwają się w glebie jak korzenie roślin albo larwy owadów. Co prawda nie są tak szybkie, ale potrafią pokonywać długie, wielometrowe odległości. Ryzomorfy wyrastające z korzeni pniaka złamanego drzewa (dębu) mogą osiągnąć korzeni drzewa zdrowego, odległego nawet o 25 metrów. Rosnąc w glebie rozgałęziają się, tworząc przy tym szeroko rozpostartą sieć. Każdy ich aktywnie przemieszczający się odcinek przerasta i rozkłada napotkane po drodze gałązki czy fragmenty drewna. Ciało opieńki, dzięki swym ryzomorfom, nabiera mocy, czyli tzw. potencjału infekcyjnego.

W wypadku kontaktu z korzeniami osłabionego, a nawet zdrowego drzewa, z wierzchołka ryzomorf wyrastają strzępki infekcyjne, wytwarzające enzymy rozpuszczające ściany komórkowe. Rozpoczyna się proces chorobowy. Strzępki rozrastają się w szerokie i płaskie płyty grzybni wegetatywnej, atakują miazgę, łyko, wnikają w drewno. Pewien fragment cyklu życiowego opieńki się zamyka. Ale rozpoczyna się kolejny, niekiedy nawet równoległy.

Grzybnia opieńki, nie czekając na „deser”, czyli ostatnią saprotroficzną fazę wykorzystywania martwego już drewna, jesienią zaczyna wykształcać owocniki. Jej obfita, biała grzybnia wykazuje wówczas zdolność do bioluminescencji. Jeśli wybierzemy się nocą do lasu zaatakowanego przez tego pasożyta, możemy tu i ówdzie zobaczyć zielonkawą poświatę przenikającą spod kory. Po usunięciu kory ukaże się naszym oczom coś, co w bajkach zwie się „świecącym próchnem”. W rzeczywistości blask idzie od cieniutkich i niewidocznych dla nieuzbrojonego oka nitek grzybni. Im jaśniejsze wydają światło, tym gęściej rozrasta się w drewnie niszczytel. Tę cechę, znacznie częściej występującą wśród grzybów puszcz tropikalnych, miewają czasem również owocniki rosnącego na południu Europy, również żyjącego na drewnie, grzyba kielichowca pomarańczowego (*Omphalotus olearius*). Jego blaszki po zmroku urzekają delikatnym, rozproszonym blaskiem, jaki zwykliśmy widywać w czerwcu dzięki robaczkom świętojańskim.

Na pewno nie raz widzieliśmy pniaki oraz stojące lub powalone drzewa obsypane setkami kapeluszy opieńki. Niekiedy owocniki wyrastają spod kory zasiedlonego drzewa na wysokości nawet 2–3 metrów, inne zaś powstają na końcach ryzomorf – czy to uformowanych pod korą drzewa lub pniaka, czy też znajdujących się w glebie. Nie dziwny się zatem, gdy mała grupka opieniek, jakby uwolniona od drewna, wychyla się spośród liści pokrywających glebę lub wprost z ziemi. W rzeczywistości, podobnie jak u innych grzybów, owocniki muszą mieć kontakt z grzybnią macierzystą. U opieniek ów kontakt zapewniają najczęściej właśnie ryzomorfy.



Owocniki opieńki licznie wyrastające w szyi korzeniowej dębu (fot. Z.S.)



Z takich czarnych ryzomorf opieńki (po lewej) wyrosną piękne owocniki – są utworzone nad korzeniami drzew, a wydaje się jakby wyrastały bezpośrednio z gleby (po prawej), (fot. Z.S.)

Wiemy już, że nazwa „miodowa” ma u opieńki związek z barwą jej kapelusza. Inni twierdzą też, że zawarte w grzybach składniki nadają zupie z młodych owocników lub marynacie octowej słodkawą, miodowy smak. Ale dlaczego nazwaliśmy opieńkę „złośliwą”? Właśnie dlatego, że mimo tak ładnie rosnących girland owocników, które za młodu są jadalne, jest to obecnie najbardziej szkodliwy dla drzew patogen. Szczególnie niebezpieczny w lasach zagospodarowanych przez człowieka, i to już od najmłodszego wieku drzewostanów.

Opieńka ciemna jest powszechnie uważana za najbardziej groźnego grzyba chorobotwórczego, ponieważ w ciągu jednego roku, ba – nawet po 6 miesiącach od infekcji korzeni, potrafi zabić. Ofiarą może stać się drzewko, które wyrosło z wyselekcjonowanego nasionka z szyszki zebranej przez leśnika, czyli takie, które potem wzrastało zadbane w szkółce, było podlewane w okresie suszy, często sprawdzane, czy nie choruje, a później zostało starannie posadzone na zaniedbanym polu lub w środku lasu. Ale równie szybko opieńka może zabić także drzewko, które wyrosło z nasionka pod koroną matczynego drzewa w sposób naturalny, bez udziału człowieka. Przy ataku opieńki mechanizmy odpornościowe i rozpaczliwe próby obrony stają się bezskuteczne. W korzeniach, z infekowanych przez opieńkowe strzępki promieni rdzeniowych i przewodów żywicznych wylewa się obficie żywica. Z pomocą zawartych w niej związków chemicznych próbuje powstrzymać napastnika, choćby go osłabić, otoczyć strefą trudno przepuszczalną dla grzybnia. Na próżno jednak. Grzyb, a właściwie jego enzymy są silniejsze. Są tak skuteczne, że w krótkim czasie obezwładniają komórki i całe tkanki korzeni. Nie pozwalają wodzie i związkom odżywczym zawartym w korzeniach wędrować ku górze pędu, aby zasilić liście czy igły. Zamykają równocześnie możliwość dokarmienia korzeni przez cukry wytwarzane dzięki fotosyntezie w liściach lub igłach. Zamiera tylko przewodzący węglowodany, zamiera miazga twórcza, zamiera całe drzewo.



Dojrzałe owocniki opieńki wyrastające ze szczytów grzybni podkorowej pniaka; wysypujące się z nich zarodniki podstawkowe zapoczątkują kolejne pokolenie grzyba (fot. Z.S.)

A opieńka rośnie w siłę. Tworzy pod korą coraz więcej płatów grzybni, sznurów, znowu wytwarza owocniki... Umacnia swój potencjał infekcyjny, a z tak powstałego „magazynu” czerpie pokarm dla kolejnych ryzomorf rozwijających się we wszystkich kierunkach, szukających ofiary w bliższym i dalszym sąsiedztwie. I tak oto zamierają całe grupy drzew, powstają luki w drzewostanie, które z okna samolotu wyglądają jak dziury w serze. A jednak jest jeden organizm, a właściwie cała rodzina, która potrafi przechytrzyć i wykorzystać grzybnię opieńki. To storczyki. Rośliny o niebywałych zdolnościach do oszukiwania partnerów żyjących w najbliższym otoczeniu. Nasiona storczyków są bardzo drobne i pozbawione odżywczego bielma pozwalającego na wzrost siewki. Kiełkujący storczyk zostaje więc „zainfekowany” grzybnią opieńki i zamiast się poddać, zaczyna trawić wrastające i skręcające się w jego komórkach strzępki. Co prawda wielka i rozłożysta grzybnia nie zostanie zniszczona przez roślinę, ale dla nas jest to choć małe pocieszenie, że wzrost storczyków, których kwiaty tak nas zachwycają, zawdzięczamy czasem temu właśnie grzybowi.

Drzewa jednak nierzadko wcale nie są całkiem bezbronne, a przynajmniej potrafią – lub starają się – powstrzymać grzybową ofensywę. Zdarza się, że drzewo skutecznie się broni – zamyka grzybnię patogenu wewnątrz korzeni, odcina ją dzięki wytworze-

niu warstwy wtórnego korka lub nawet nie dopuszcza do zapoczątkowania infekcji. Mówimy wtedy, że jest to egzemplarz „odporny”, który należałoby namnożyć, aby zachować zdrowy las w miejscu występowania tej groźnej choroby. Często bywa jednak tak, że zamknięty w pułapce sprawca nadal żyje, chociaż w niewoli, i czeka na dogodny moment do rozwoju. Taka chwila „uwolnienia groźnego przestępcy” zdarza się na przykład wtedy, gdy porażone drzewo zostanie pocięte na drobne fragmenty (ze-zrębkowane) z przeznaczeniem na kompost albo nawet gdy powoli zacznie próchnieć, pozostając na miejscu w glebie. W pewnym momencie grzybnia uwolni się i „ożywi”, a nowo wytworzone ryzomorfy będą szukać kolejnej ofiary.

W lasach zagospodarowanych opieńka powoduje istotne straty surowcowe, a więc finansowe, na powierzchni niemal 200 tysięcy hektarów. Nosi wówczas nazwę „choroby opieńkowej”. Występuje i na niżu, i w górach, sięga na wysokość do około 800–900 m n.p.m. Atakuje i sosny, i świerk, niezależnie od wieku. W drzewostanach świerkowych bardzo często występuje równocześnie z kornikiem drukarzem – małym owadem rozwijającym się pod korą drzew. Całe połacie lasu są wówczas skazane na zagładę. Nie ma dla nich ratunku. Dlatego tak ważne jest, aby przeciwdziałać chorobie opieńkowej. Dbać o stan zdrowotny lasu, odpowiednio hodować, aby nie doprowadzić do osłabienia drzew i narastania potencjału infekcyjnego opieńki.



Drzewostan świerkowy z „chorobą opieńkową” atakowany przez korniki i wiatr (fot. Z.S.)

Takim prostym sposobem, a do tego dla nas przyjemnym, jest choćby grzybobra-
nie. Wycinanie owocników przed wysypaniem się z nich zarodników zmniejsza tzw.
inokulum, czyli źródło zakażenia kolejnych drzew. Przecina pewien cykl życiowy pa-
togenu. Żywi nas i broni las.

Opieńka jest zatem i miodowa, i naprawdę złośliwa.

2.4. Grzyb przeciw grzybowi, czyli o pożytecznej konkurencji.

Korzeniowiec (*Heterobasidion*) i żylak (*Phlebiopsis*)

Czy spacerując po lesie zagospodarowanym (poznamy go bez trudu po ciągną-
cych się rzędami drzewach i pewnej monotonii widoków) zwróciliśmy uwagę, że jest
on czasami silnie przerzedzony? Drzewa w niektórych miejscach są suche, zamarte,
często złamane lub powalone na ziemię. Odpoczywając na jednej z malowniczych
polanek w takim lesie, nie zdajemy sobie sprawy, że pod naszymi stopami – w ko-
rzeniach – rozgrywa się śmiertelna walka. To bój o przetrwanie między drzewem
a grzybem korzeniowcem o łacińskiej nazwie *Heterobasidion*. Powoduje on groźną
chorobę korzeni, przede wszystkim drzew iglastych, takich jak sosna, świerk, mo-
drzew i jodła, ale także liściastych – brzozy czy olszy. W drzewostanach sosnowych
występuje najczęściej korzeniowiec wieloletni (*H. annosum*), ale na innych gatun-
kach spotykane są mniej znane patogeny: na świerku – najczęściej k. drobnopory
(*H. parviporum*), a na jodle – k. jodłowy (*H. abietinum*). Sprawcy huby korzeni to
patogeny, które bezlitośnie wykorzystują osłabienie drzewa, i mimo rozpaczliwej
obrony, trwającej czasem krótko, a czasem wiele lat, doprowadzają do jego śmierci.
Ale nawet wtedy nie rozstają się ze swą ofiarą – dzień po dniu rozkładają swoimi en-
zymami tkanki drzewa, produkują strzępki grzybni, wreszcie wytwarzają owocniki,
aby z jeszcze większą siłą zaatakować kolejne drzewa.



Wewnętrzny rozkład drewna wewnątrz świerka, sięgający 15 m w górę strzały (fot. Z.S.)

Zarodniki grzyba znajdują się niemal wszędzie – w powietrzu, nawet w górnej części atmosfery, w wodzie i w piaskach Sahary. Są unoszone przez wiatr i wmywane do gleby. W sprzyjających warunkach kiełkują na korzeniach drzew i na pniakach, tworząc strzępki grzybni infekcyjnej. W drzewostanie gospodarczym najczęściej osiadają na pniakach, które powstają podczas okresowo prowadzonych prac pielęgnacyjnych, tzw. czyszczeń i trzebieży, prowadzących do przerzedzania drzewostanu. Jest oczywiste, że drzewa nie mogą rosnąć zbyt gęsto, gdyż wraz z wiekiem muszą mieć odpowiednie warunki wzrostu – inaczej byłyby bardzo wiotkie i łamane np. przez śnieg. A ponadto ich celem jest dostarczenie odpowiedniego surowca. Jeśli las nie jest na czas przerzedzany, to z chwilą wykonania takiego zabiegu powstaje w jednym czasie nadmiernie duża liczba ściętych pniaków. Sprzyja to masowemu zasiedlaniu ich przez krążące w powietrzu zarodniki patogenu.



Owocniki mniej znanego korzeniowca drobnoporego (*H. parviporum*) przy pniaku świerka (fot. Z.S.)

Wiemy już, że grzyby to organizmy, które wydzielają i wchłaniają. Poprzez ściany ich strzępek ciągle wędrują związki chemiczne – w jedną i w drugą stronę. Na zewnątrz wydzielane są enzymy, które rozpuszczają tkanki drzewa, ich ściany komórkowe i bogatą zawartość komórek, a te, już rozłożone do prostych składników, wędrują do strzępek i przyczyniają się do ich dalszego rozwoju. Patogeny korzeni odżywiają się drewnem pniaków i korzeni, a właściwie zawartymi w nim składnikami – pektynami, ligniną, celulozą (wzrost grzyba w tkankach nosi nazwę inkubacji). Ale nie przebiega to w tak prosty sposób. Zaatakowane korzenie drzewa bronią się – wytwarzają z kolei inne enzymy, uruchamiają związki fenolowe i żywice, aby przezwyciężyć atak sprawcy. Najczęściej jednak patogen bywa silniejszy i przełamuje tzw. bariery odpornościowe drzewa. Rozwijając się wewnątrz tkanek, wytwarza toksyny paraliżujące kolejne, żywe jeszcze komórki (proces ten nazywa się generalizacją). Rozpoczyna się faza rozkładu zaatakowanych tkanek i organów drzewa – drzewo zamiera, gdyż jego korzenie już nie funkcjonują, nie są w stanie pobierać wody i związków odżywczych. A toksyny grzyba wędrują w górę korony, wciągane siłami transpiracji igieł czy liści.



Luka spowodowana przez korzeniowca wieloletniego w młodniku sosnowym rosnącym na gruncie porolnym (fot. Z.S.)

Największe szkody korzeniowiec wieloletni powoduje w drzewostanach na gruntach porolnych. Lasy te powstały po wojnie na najuboższych glebach i nieużytkach, na których żadna roślina uprawna nie chciała wzrastać lub jej hodowla była nieopłacalna. Leśnicy, ochotnicy z własnej i nie własnej woli, młodzież ściągana do „czynu społecznego”, z wielkim mozołem zalesili w ciągu 40 lat ponad 1,5 miliona hektarów! Czy jesteśmy w stanie wyobrazić sobie, jak znojna była to praca i na jak wielkich powierzchniach sadzono młode drzewka? Od początku rosły w niekorzystnych warunkach – nie osłaniały ich starsze drzewostany, nie miały odpowiednich związków odżywczych w glebie, atakowały je owady i choroby. Najgroźniejszą z nich jest właśnie huba korzeni, powodowana przez korzeniowca wieloletniego.

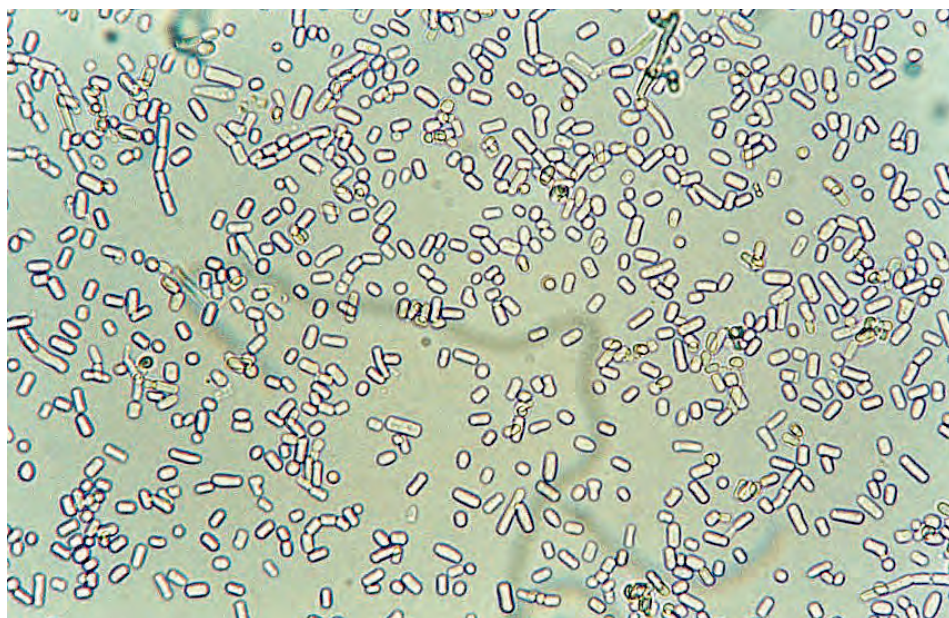
Ten dramatyczny scenariusz choroby nieuchronnie prowadzącej do śmierci drzew jest rzeczywiście czymś nękającym nasze lasy i gospodarujących w nich leśników, gdyż obecnie dotyczy drzewostanów na łącznej powierzchni ponad 300 tysięcy hektarów! Gdyby nie podejmowano działań profilaktycznych i ochronnych, za kilkadziesiąt lat większość naszych lasów na gruntach porolnych byłaby bardzo chora, za 100 zaś lat byłyby to już ekosystem zupełnie nieprzypominający pachnącego żywicą boru. Ale to zupełnie inna historia.

Nie wszystkie jednak drzewostany gospodarcze są zagrożone, nie wszędzie człowiek musi służyć pomocą drzewom w zwalczaniu ich grzybowego nieprzyjaciela. Jak wytłumaczyć fakt, że w lasach naturalnych, w puszczach i prastarych borach nie występują takie szkody, jakie obserwujemy w drzewostanach na gruntach porolnych? Otóż w lasach naturalnych wszystkie organizmy żyją w stanie dynamicznej równowagi, wzajemnej harmonii. Istniejące tam rośliny, owady, grzyby, zwierzęta, bakterie wzajemnie regulują swoje liczebności. Jedne produkują, inne są konsumentami, inne wreszcie przetwarzają związki organiczne na mineralne, przyswajalne przez rośliny. Tak zamyka się cykl przemian, zwany w ekologii obiegiem materii i przepływem energii w ekosystemie. Podstawowa funkcja ekologiczna grzybów zatem to rozkład organizmów. Ich ciała zmienione w próchnicę glebową będą żyznym podłożem, w którym wykiełkują nowe rośliny. W lasach na gruntach porolnych brak jest wielu elementów charakterystycznych dla ekosystemu leśnego, a zwłaszcza – co oczywiste – korzeni drzew i zamieszkujących je organizmów. Brak jest również wielu grzybów glebowych – konkurentów i antagonistów dla grzybów chorobotwórczych. Korzeniowiec wieloletni może bez przeszkód atakować korzenie i z drzew chorych – przez kontakty korzeni – przenosić się na drzewa zdrowe, bo jest najszybszym i często jedynym grzybem władającym osłabionymi drzewami i resztkami drewna.

Tytuł rozdziału – „Grzyb przeciw grzybowi” – sugeruje, że w walce z tak groźnym przeciwnikiem można z powodzeniem stosować metody biologiczne, wykorzystujące zjawiska zachodzące w przyrodzie od zawsze. Takim naturalnym zjawiskiem jest konkurencja między organizmami – o miejsce bytowania, o pokarm, a więc o korzenie drzew. W badaniach prowadzonych 60 lat temu podpatrzono przyrodę i stwierdzono, że istnieje kilka gatunków grzybów, które są antagonistami patogenów korzeni. Korzystają one z tej samej bazy pokarmowej, występują w środowisku leśnym i jeszcze szybciej od patogenów zasiedlają świeżo ścięte drewno. Są przy tym nieszkodliwe dla drzew, gdyż nie produkują groźnych enzymów i toksyn. Są to grzyby saprotroficzne, które mogą rozwijać się jedynie w martwym, choć świeżym, wilgotnym drewnie. Jediną trudnością jest to, że nie występują tak powszechnie we wszystkich lasach



Owocniki *P. gigantea* na powierzchni ścięcia oraz na powierzchni bocznej pniaków (fot. Z.S.)



Zarodniki oidialne *P. gigantea* powstające z podziału strzępek grzybní (fot. Z.S.)

i w takich ilościach, aby skutecznie rywalizować z podstępными patogenami. Takim pożytecznym grzybem, który został zaprzężony do bezpośredniej walki z hubą korzeni, jest *Phlebiopsis gigantea* o polskiej nazwie – żylak olbrzymi.

Najszybciej i najskuteczniej żylak olbrzymi kolonizuje pniaki sosny tuż po ich ścięciu. Przez powierzchnię ścięcia wnika do obwodowej części drewna, tzw. bielu, oraz do korzeni bocznych i szybko rozkłada drewno w całym systemie korzeniowym. W następnym roku wytwarza na powierzchni pniaka powłoczkowate owocniki, z których uwalniają się drobne, bezbarwne zarodniki podstawkowe. Zarodniki unoszą się w powietrzu, jednak w sposób naturalny niezbyt często infekują obecne w drzewostanie pniaki – w niektórych lasach mogą w ogóle nie występować. Było więc konieczne opracowanie sposobu sztucznego zakażenia wszystkich nowych pniaków, aby wprowadzony konkurent mógł wyprzedzić patogen, zająć jego bazę pokarmową i szybko skolonizować korzenie pniaka. Dzięki temu zabiegowi korzenie stają się nieatrakcyjne i niedostępne do zasiedlenia przez korzeniowca, który tylko czyha na możliwość przeniesienia się z zakażonych korzeni sąsiednich drzew. Zamyka się w ten sposób bardzo ważny sposób rozwoju patogenu – przez kontakt korzeni drzew porażonych ze zdrowymi (tzw. infekcja wtórna).

Za granicą i w kraju stosowano do niedawna różne preparaty biologiczne zawierające zarodniki lub grzybní *P. gigantea*. Najkorzystniejszy okres wykonywania zabiegu ochronnego to wczesna wiosna oraz jesień; wilgotna pogoda sprzyja rozwojo-

wi wprowadzanego grzyba. W badaniach naukowych potwierdzono wysoką skuteczność *P. gigantea* w ochronie pniaków przed hubą korzeni. Stwierdzano bardzo szybki rozkład drewna korzeni sosny, gdyż już po roku od zakażenia system korzeniowy był całkowicie rozłożony aż do głębokości jednego metra. Na powierzchni pniaków wytwarzają się owocniki grzyba, co z jednej strony zwiększa możliwość samorzutnej kolonizacji pniaków powstających w późniejszym okresie, a z drugiej stanowi mechaniczną i chemiczną barierę. Owocniki nie przypominają prawdziwych grzybów mających trzon i kapelusz. Wyglądają raczej jak wylana i ścięta serwatka. Mają postać jasnobezowych powłoczek, ściśle przylegających do powierzchni ścięcia, z wieloma guzkami i nieregularnie przebiegającymi fałdami. Po kilku latach od wykonania zabiegu ochronnego następuje w drzewostanie zahamowanie rozprzestrzeniania się huby korzeni, nie zamierają kolejne drzewa, nie powstają nowe luki.

Wyprzedzające chorobę wprowadzenie grzyba konkurencyjnego jest gwarancją skutecznego ograniczenia rozwoju patogenu, a przez to rozprzestrzeniania się choroby w drzewostanie. Wykonanie zabiegu stwarza aktywną biologiczną barierę w systemach korzeniowych. Obecna tam grzybnia żylaka olbrzymiego blokuje i niszczy patogen, nawet jeśli zasiedlił on korzenie wcześniej. Ogranicza to również możliwość wykształcenia przez pasożyta owocników – źródła spor, które tylko czekają, by zainfekować na nowo korzenie lub pniaki. Rozkładając korzenie, żylak olbrzymi nie tylko chroni las przed zniszczeniem przez grzyb *Heterobasidion*. Dostarcza równocześnie do gleby porolnej związki odżywcze, przyspiesza sukcesję innych grzybów, wzbogaca ubogie pod względem obecności grzybów saprotroficznych środowisko leśne na gruncie porolnym. Dzięki temu zabiegowi zwiększa się różnorodność grzybów, a różny sposób ich rozwoju w środowisku może być gwarancją większej trwałości lasów. Dobrze jest zatem okazywać grzybom większy szacunek i zainteresowanie, nawet tym, które swym wyglądem przypominają nam raczej wilgotne szmatki niż dumne prawdziwki. Nawet te niepozorne, a czasem odstręczające w swej konsystencji i wyglądzie organizmy grzybowe nieoczekiwanie okazać się mogą naszymi sprzymierzeńcami.

2.5. Hubiak jak najbardziej pospolity – *Fomes fomentarius*

W dawnych czasach, kiedy na wojnach używano karabinów na krzesiwo i skałkę, a lontów do zapłonu armat, do podtrzymania płomienia stosowano tzw. hubkę. Taka sama hubka służyła do podtrzymywania żaru paleniska. Funkcjonowała jak dzisiejsza podpałka do grilla. Hubka to wewnętrzna, brązowa i miękka warstwa owocnika grzyba, która roztarta między kamieniami (lub zmielona w młynku do kawy) staje się watowata i żarzy się długo i spokojnie, jeśli tylko będziemy ją lekko rozdmuchi-



Na starych i osłabionych drzewach często wyrasta hubiak pospolity (fot. Z.S., M.W.)

wać. Jej źródłem były niegdyś owocniki hubiaka pospolitego (*Fomes fomentarius*). Już same nazwy – i łacińska, i polska – wskazują, że była to podpałka łatwo dostępna, owocniki bowiem wyrastają dość powszechnie na pniach drzew pospolitych: brzozie, buku, wierzbie, dębie, a także na dzikiej gruszy na skraju lasu. Dlaczego tak pospolicie? Oczywiście sprawcą tak wszędobylskiego występowania grzyba są jego zarodniki. Hubiak oraz wiele innych grzybów wytwarzających wieloletnie, twarde owocniki, zwane pospolicie „hubami”, należy do podstawczaków (Basidiomycotina), a więc do tej grupy grzybów, która w strefie hymenialnej wytwarza podstawki z czterema zarodnikami. *Hymenofor* hubiaka stanowi warstwa zrosniętych, wąskich i długich rurek, które wewnątrz wyścielone są podstawkami. Każdą wiosną rozpoczyna formowanie nowej warstwy i nowego hymenium, tak więc owocnik robi się z każdym sezonem coraz bardziej masywny. Już bardzo wczesnym latem możemy obserwować białe obłoczki formujące się pod kopytowymi owocnikami, wolno przemieszczające się z wiatrem. To zarodniki, miliardy zarodników, które czasem, opadając, sprawiają wrażenie rozsypanej mąki. Zarodniki wędrują wraz z prądami powietrza, ale także mogą być roznoszone przez owady.

Jeśli dane nam jest obserwować dzień po dniu jakiś owocnik, ze zdumieniem zapewne zauważymy dziesiątki różnych bezkręgowców uwijających się właśnie na hymenoforze. W wilgotne dni powierzchnia owocnika może być pokryta drobnymi, białymi lub pomarańczowymi kropeczkami – to tysiące roztoczy, które żerują na grzybie jak owce na pastwisku. Czasem w kąciku, tuż przy korze, pojawiają się kokony oraz błyszczące larwy z brązowymi główkami, wygryzające płaskie bruzdy. Jak nam się poszczęści, zobaczymy być może moment, w którym z kokonu wydobywać się będzie jego mieszkaniak. To ruda, podobna do komara, nieco zgarbiona muchówka z długimi czułkami – grzybiarka (*Mycetophila*). W ciepłe dni na niektórych du-

żych owocnikach niczym na scenie tańczą kontrastowo ubarwione muchy (*Myennis octopunctata*), nazywane też muchami semaforowymi, a to ze względu na niezwykle zwyczaj tańca z wymachiwaniem skrzydłami. Muszki zbijają się na owocniku w grupy, a pojedyncze osobniki, machając to jednym, to drugim skrzydłem, obiegają pożywając się spokojnie resztę. To oczywiście nie wszyscy mieszkańcy grzyba – gdy nocą zaświecimy latarką, zaczną uciekać przed nami małe chrząszcze, skorki, wije i zaleszczotki.



Owocniki hubiaka pospolitego na drzewie stojącym i na leżącym (fot. Z.S., M.W.)

Organizmy, które spotykamy na hubiaku, mają też swój udział w jego rozprzestrzenianiu. Muszki, czyszcząc swoje osypane zarodnikami skrzydełka, pozostawiają liczne zarodniki w szczelinach kory, podobnie jak chrząszcze, wygryzające w drewnie chodniki lub ukrywające się pod korą. Ocierając się pancerzem o drewno, pozostawiają zarodniki w warunkach jak najlepszych do kiełkowania. W takich miejscach lądują też zarodniki wywiewane spod owocnika i kiedy napotkają świeżą rankę na drzewie, spękanie tkanki okrywającej, bliznę po odłamanej gałęzce, miejsce skałeczone przez ptaki lub wygryzione przez owady – natychmiast kiełkują. Powstająca strzępka rośnie, rozgałęzia się i rozwija, napotyka inną strzępkę, z którą się zrasta, cały czas wytwarzając enzymy rozpuszczające struktury drewna. Rozpoczyna się faza infekcji, a potem choroby drzewa.

Choroba drzewa to bardzo skomplikowany proces. Napisano setki uczonych książek na ten temat i do końca nikt nie wie, jak ów proces naprawdę wygląda. Opiszemy go więc w uproszczony sposób.

Grzyby rozkładające drewno wytworzyły w procesie ewolucji różne mechanizmy infekcji. Mają rozmaite strategie zakażenia i przewycięzania sił obronnych gospodarza. Zanim uczynią go swoim niewolnikiem, a potem oddadzą innym w posiadanie (co naukowo nazywa się sukcesją wtórną), musi nastąpić wiele skomplikowa-



Grupy much *Myennis octopunctata* tańczące na hymenoforze hubiaka (fot. M.W.)

nych reakcji chemicznych. To walka na śmierć i życie pomiędzy enzymami patogenu a enzymami gospodarza, ich metabolitami, wtórnymi metabolitami, naprędcie indukowanymi *fitoaleksynami** i biopestycydami. Choroba drzewa jest zatem procesem równoczesnego i wzajemnego przewycięzania autonomicznych mechanizmów ataku i obrony obydwu uczestników tej gry o życie, uruchamiania odpowiednich genów, indukowania enzymów i produktów przemiany materii. Tak rozumiane chore drzewo staje się nowym jakościowo organizmem, mobilizującym cały swój potencjał obronny wobec agresji patogenu. Gdy drzewo tę walkę przegra – zamiera jako organizm. Ale zaczyna swoje drugie życie jako substrat.

Skomplikowana maszyneria komórkowa, zazębiające się kółka różnych cykli biochemicznych indukowanych przez grzyby i organizmy towarzyszące powodują, że spójne strukturalnie drewno traci masę, robi się miękkie, kruche, a czasem pełne wody, lub innym razem bardzo suche. Materia organiczna jest stopniowo degradowana. Złożone polimery, którymi są celuloza, lignina i hemicelulozy, pękają, materia drewna wręcz drze się na strzępy. I tak powoli, wraz z wieloma jeszcze innymi związkami wchodzącymi w różne cykle i fazy rozkładu, masa drzewna doprowadzana jest aż do postaci glukozy. Ta zaś, użytkowana przez grzyby i inne mikroorganizmy towarzyszące rozkładowi, w ostateczności jest hydrolizowana na cząsteczki dwutlenku węgla i wody, które mogą po raz kolejny zostać pobrane przez liście w procesie asymilacji i wrócić do obiegu.

To Natura uczyniła jeden gatunek patogenem, a inny saprotrofem. Na chromosomach w każdym z wielu jąder komórkowych grzyba tkwią zapisane kodem DNA przepisy na enzymy i inne białka, które wytworzone w strzępkach wykonują swoją robotę. Dla grzyba użyteczną, bo podtrzymującą życie, dla rośliny zaś śmiertelnością. Informacje zawarte w DNA, a zapisane jakże prostym językiem, generują odpowiednie reakcje pasożytnicze grzyba. Z kolei informacje zakodowane na chromosomach rośliny i zapisane dokładnie tymi samymi „literami” będą zawierać przepisy na biał-



Efekt oddziaływania enzymów grzybowych na celulozę i ligninę (fot. Z.S.)

ka, które wezmą udział w obronie. Takie geny są zazwyczaj odczytywane w momencie zagrożenia. Są jak rozkazy, natychmiast wykonywane w momencie, gdy na granicy królestwa pojawia się wróg. Zależnie od gatunku grzyba, a więc od charakteru jego bytowania w środowisku, wykształca on różne enzymy niezbędne do rozkładu celulozy, ligniny, hemiceluloz, pektyn, skrobi i innych jeszcze elementów tworzących „ciało” rośliny. Wśród grzybów rozkładających drewno są takie, które w pierwszej kolejności lub wyłącznie rozkładają celulozę, inne ligninę, a jeszcze inne obydwie składniki struktur drewna równocześnie. W ten prosty sposób wyróżniono trzy podstawowe typy rozkładu drewna oraz uszeregowano gatunki grzybów zdolnych do specyficznych reakcji enzymatycznych względem substratu.

W białym typie rozkładu drewna (korozyjno-destrukcyjnym) uczestniczą enzymy rozkładające przede wszystkim ligninę. Pozostają zatem liczne reszty utlenionych łańcuchów celulozy, które nadają substratowi (bo to już trudno nazwać drewnem) barwę białą. Rozłożone drewno ma konsystencję miękką i jest wilgotne. Za taki rozkład odpowiadają enzymy z grupy oksydoreduktaz, czyli peroksydaza i lakaza, a także oksydazy – glukozowa i glioksalanowa. Ten zestaw enzymów mają znane nam wszystkim patogeny, np. opieńki (*Armillaria*), saprotrofy, m.in. maślaniki (*Hypholoma*), bocznik ostrygowaty (*Pleurotus ostreatus*), żylak olbrzymi (*Phlebiopsis gigantea*), wrośniak różnobarwny (*Trametes [Coriolus] versicolor*) czy huba



Różne typy rozkładu drewna: a) brunatna zgnilizna drewna iglastego, b) brunatna zgnilizna drewna liściastego, c) biała zgnilizna, d) rozkład pstry z czasowym opóźnieniem destrukcji promieni rdzeniowych drewna (fot. Z.S., M.W.)

pospolita (*Fomes fomentarius*), ale także te, które mniej znamy, takie jak stroczek trzęsakowaty (*Merulius tremellosus* = *Phlebia tremellosa*).

Niektóre grzyby, np. *Chaetomium* czy *Ceratocystis*, penetrują strefę ligninową wtórnej ściany komórkowej, ale wydzielają głównie enzym celulazę, rozkładającą celulozę. Powodują one rozkład typu szarego (miękkiego) i to tylko w martwym drewnie. W tym procesie niezbędne jest źródło azotu – albo atmosferycznego, albo zawartego w drewnie czy np. w glebie (drewno wkopane w grunt). We wtórnej ścianie komórkowej powstają w ten sposób romboidalne, jamkowate przestrzenie, widoczne nawet po zamarcu grzybni.

Grzyby powodujące brunatny rozkład drewna martwego lub drewna żyjących drzew w pierwszej kolejności wywołują degradację hemicelulozy (ksylanu) i celulozy, przez co następuje całkowita destrukcja wtórnych ścian komórkowych. Łańcuchy celulozy są rozrywane i niszczone przez kwas szczawiowy i peroksydazy, powstające w trakcie rozkładu hemicelulozy oraz przez ksylanazy. Wskutek tej reakcji (utlenowanie ligniny, upłynnianie węglowodanów, adsorbowanych następnie przez strzępki grzyba) rozkładane drewno, a właściwie pozostająca lignina, nabiera kolo-

ru brązowego i rozpada się na suche, luźne kostki lub płytki. Pojawienie się charakterystycznych, pryzmatycznych spękań związane jest z budową drewna. Od obwodu ku środkowi biegną przez drewno rzędy żywych komórek miękiszowych o celulozowych ścianach. To one pierwsze podlegają destrukcji. Typowi przedstawiciele tego typu rozkładu to tzw. grzyby domowe *Serpula lacrymans*, *Fibroporia vaillantii* (*Poria vaporaria*) czy *Coniophora puteana* – szkodniki podłóg i stropów w naszych domach. Taki typ rozkładu powoduje także pniarek obrzeżony (*Fomitopsis pinicola*) na świerku czy żółciak siarkowy (*Laetiporus sulphureus*) na dębie.

Gdy sprawca rozkładu drewna dysponuje aparatem enzymatycznym zdolnym do równoczesnego rozkładu celulozy i ligniny, wówczas mówimy o pstrym, korozyjnym lub białym jamkowatym typie rozkładu. Powodują go takie rodzaje grzybów, jak korzeniowiec wieloletni (*Heterobasidion annosum*) czy czyreń sosnowy (*Phellinus pini*).

Nasz tytułowy hubiak należy do grzybów białego typu rozkładu.

Jedno jest pewne – w pierwszej kolejności zniszczeniu ulegają błony komórkowe łyka, a potem drewna. Strzępki wnikają do naczyń i miękiszu, trawiać najpierw to, co łatwo rozkładalne – treść komórek, a potem ich sztywne ściany i jeszcze sztywniejsze elementy wzmacniające. Grzyby pasożytnicze korzystają zarówno z glukozy powstającej w wyniku rozkładu drewna, jak i glukozy pochodzącej z fotosyntezy, transportowanej do korzeni i kumulowanej w drewnie. Po pewnym czasie grzybnia formuje owocnik na zewnątrz pnia. Jest on wieloletni – co roku przyrasta nowa



Geotropizm owocnika hubiaka po powaleniu drzewa (fot. W.J.)

warstwa mięszu oraz od spodu kolejna strefa zarodnikotwórczego hymenoforu. A grzybnia wewnątrz drewna rozwija się nieustannie i zmniejsza strefę życia drzewa. Wreszcie, pod wpływem ciężaru korony, silnego wiatru, a może i ciężaru motyla, spróchniałe od wewnątrz drzewo łamie się, zwala na ziemię. Już wcześniej wspomnieliśmy, że to już nie jest drzewo, lecz drewniana kłoda, ale tętniąca niewidocznym dla nas życiem. Nie jest martwa, bo prowadzi drugie życie, na dnie lasu. Jest drzewem „żywym inaczej”.

Owocnik naszego hubiaka tuż po katastrofie związanej z upadkiem drzewa dalej sterczy z kory – ponownie zaczyna się w nim intensywne przyrastanie nowych strzępek.

Hymenofor, z którego już żaden zarodnik nie wypadnie grawitacyjnie, przewrócony razem z grzybem, zaczyna zarastać. Grzyb musi więc obrócić swą najmłodszą warstwę o 90°. Czyni to bardzo sprawnie dzięki efektowi geotropizmu. Rureczki hymenoforu muszą mieć idealnie pionowe ścianki, bo w przeciwnym razie zarodniki zbijająby się w grudki, zlepiały i zatykały pory. W kolejnym sezonie możemy obserwować precyzję, z jaką grzyb przyjmuje nową pozycję. Znowu spod przekształconego kapelusza wydostają się obłoczki zarodników. Pień tymczasem zarasta mchami i porostami, jego drewno ciągle ulega dekompozycji. Jesienią pojawiają się na nim liczne grzyby: grzybówki (*Mycena*), łuskwiaki (*Pholiota*), droбноłuszczaki (*Pluteus*) i wiele, wiele innych. Grzyby te staną się źródłem pokarmu ślimaków i skoczogonków. Ich trzony będą toczyć czerwie – muchówki i larwy drutowców. Na wilgotnej powierzchni rozkładanego drewna wolno będzie się przesuwiał śluzowiec i pożerał dziesiątki zarodników grzybów. Dookoła pnia na wiosnę zakwitną bujnie siewki drzew, zawilce i kokorycze, korzystające ze słońca docierającego do dna lasu i z minerałów uwolnionych do gleby przez bogaty świat destruentów, wśród których pierwsze miejsce należy się grzybom.

W ten sposób nasz pospolity bohater udostępnia przebogate źródła substancji odżywczych innym organizmom. Oddajmy mu szacunek.

2.6. Bezwzględny niszczyciel dębu, sprawca mączniaka – drobnokulkowiec (*Microsphaera alphitoides*)

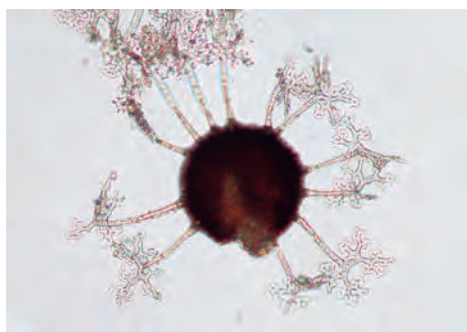
Bezwzględny, a jednak ginie razem z gospodarzem. Jak to możliwe, by tak dziwna strategia pojawiła się w przyrodzie? Czy to dobra strategia? *Microsphaera* nie ma wyboru. Tak to już jest, gdy w grę wchodzi ewolucyjne naciski skutkujące genetycznym przymusem. Zasadniczo gatunki wymagające żywego żywiciela, czyli *biotrofy**, uważane są za bardziej „łaskawe” niż patogeny słabości, atakujące roślinę w złej kondycji zdrowotnej i spokojnie kontynuujące wzrost po jej śmierci. Jeśli jednak biotrof znaj-



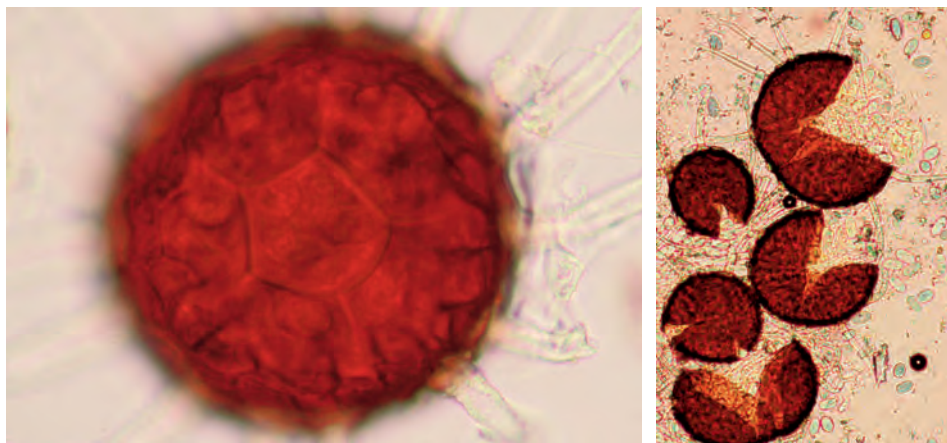
Młode drzewko dębu porażone przez *M. alphitoides* (fot. Z.S.)

duje się w środowisku leśnym, gdzie potencjalnych żywicieli jest w bród, a on sam ma sposoby na przetrwanie gorszych sezonów, to jego niszczycielski potencjał rośnie.

Mączniak dębu to choroba, której sprawca – grzyb *Microsphaera alphitoides* o polskiej nazwie drobnokulkowiec – żyje na „swoim” drzewku tylko jeden sezon. Ale za to jakże urozmaicone ma życie. Zimuje w pączkach, by wiosną rozwijające się strzępki grzybni przerosły pęd i umiejscowiły się w liściach. Nie mając wiele przestrzeni wśród przylegających do siebie komórek skórki, grzyb jak pijawka przywiera do liścia i wpuszcza do najbliższej komórki ssawkę zwaną *haustorium**. Mączniaki, w odróżnieniu od innych pospolitych grzybów fitopatogenicznych zwanych rdzami, nie muszą szukać aparatu szparkowego – naturalnych drzwi do środka rośliny. Wystarczy im nawet zwykła ściana, do której trzeba dotrzeć. One po prostu kielkują bezpośrednio. Najpierw strzępka rośnie wzdłuż liścia, by wkrótce skrócić w kierunku skórki i uformować przylgę. Grzybnia bez większych przeszkód zagłębia się w tłuste warstwy wosku, a potem już enzymatycznie „wwierca się” poprzez ochronne warstwy do środka komórki. Nie są dlań straszne grube ściany komórkowe, wysyczone sprężystymi *mikrofibrilami** celulozy. Roślina od początku walczy z grzybem, tworząc kolejne warstwy ściany i próbując powstrzymać drążącą w dół strzępkę. Zazwyczaj jednak *Microsphaera* pokonuje opór i wyprzedza roślinną zaporę. Jak tylko dotrze do błony komórkowej, tworzy balonikowate rozszerzenie i wysysa treść pokarmową komórek skórki. Mimo że błona komórkowa nie zostaje rozerwana, to jej powierzchnia przylegająca do tej ssawki (*haustorium*) staje się bardziej przepuszczalna. Stanowi wówczas sito, przez które cukry płyną w kierunku powierzchniowych strzępek grzyba. W ten sposób haustoria i enzymy zapewniają wszystko, co grzybni do życia jest potrzebne. Najpierw torują drogę, a potem ułatwiają szybkie wchłanianie związków produkowanych na szlaku fotosyntezy oraz powstających w procesie rozkładu celulozy. Wszak strzępki mają żołądki na zewnątrz!



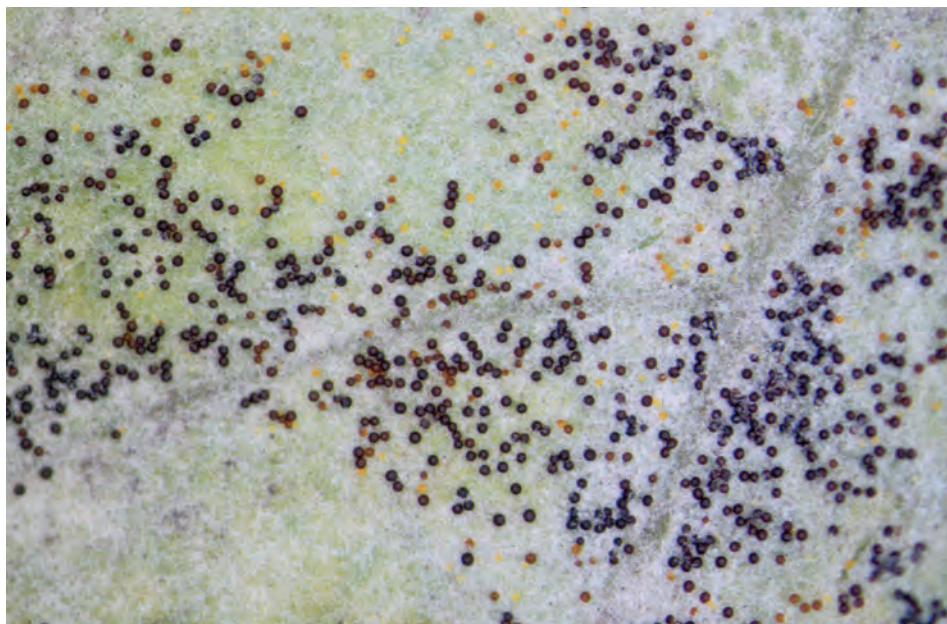
Od lewej: grzybnia i owocniki przedstawiciela mączniakowców prawdziwych (*Erisiphales*) na liściu klonu, obok owocnik *Microsphaera alphitoides* (typ klejstotecjum) z liścia dębu wraz z przyczepkami (fot. M.W.)



Drobnokulkowiec *Microsphaera alphidoides* z klejstotecjum i widocznymi wewnątrz workami oraz pęknięte klejstotecja i wysypujące się z nich zarodniki workowe (fot. M.W.)

Kiedy grzyb już się zadomowi, wytwarza zarodniki konidialne – porażające kolejne liście następnych, zdrowych drzew. I tak przez cały sezon wegetacyjny. Z konidiów wyrastają kolejne strzępki, dzielące się jak ogniwa w łańcuszku na fragmenty (oidia), widoczne dla nas na powierzchni liścia dębu jako biały, mączysty nalot. Stąd i nazwa tej choroby. Mączniak dębu jest bezwzględny dla młodych pędów dębów. Zaatakowane liście i pędy, pozbawiane turgoru i własnych soków komórkowych, więdną, a ich funkcje fizjologiczne – asymilacja, oddychanie, przewodzenie – są skutecznie blokowane przez enzymy i toksyny grzyba. A do tego ma on jeszcze nieświadomych sprzymierzeńców. To warunki pogodowe. Ciepłe noce i poranna rosa sprzyjają masowemu wytwarzaniu zarodników, a następnie ich kiełkowaniu.

Gdy roślina zaczyna chorować, wysokie temperatury powietrza w wiosenne i letnie dni czy susza dodatkowo zmniejszają szanse jej przeżycia. Liście zamierają, stają się brunatne, szernieją i opadają. Pomiędzy strzępkami i pylistym nalotem konidiów pojawiają się czarne, kuliste twory, groźne klejstotecja (*cleistothecia**). Groźne, bo zawierają kolejne źródło rozprzestrzeniania się grzyba i atakowania bezbronnych drzewek. Są to kuliste twory stanowiące skupiska worków, mieszczących w sobie zwykle po osiem zarodników, ale czasem tylko cztery lub dwa. Worki są grube, a zarodniki bezbarwne. Możemy je ujrzyć pod mikroskopem, jeśli tylko zgnieciemy lekko owocnik. Rozewrze się niczym paszcza, a z niej wyskoczy kilka worków. Niedużo – bo i owocnik jest mały. Jak ziarnko piasku. Grzyb, po zabiciu liścia, pędów, a czasem całego młodego drzewka, ginie bezwzględnie. To taka mała zemsta przyrody. Zamierają ssawki grzyba, obumierają łańcuszki zarodników konidialnych, schną i kruszą się strzępki przylegające do skórki. Ale *Microsphaera* ginie nie do końca. Jej zarodniki workowe czekają tylko na moment, gdy ściana



Drobnokulkowiec w całej okazałości (fot. M.W.)

owocnika i worka pęknie, a one poszybują, aby znaleźć kolejnego gospodarza – następne liście dębu.

W Polsce na mączniaka dębu chorują przede wszystkim sadzonki w szkółkach i młode egzemplarze drzewek w lesie. W tzw. lata mączniakowe choroba może występować na łącznej powierzchni niemal 60 tys. hektarów. Obszar zagrożenia ciągle rośnie, tak jak rośnie powierzchnia drzewostanów dębowych w Polsce. W przeszłości już się tak zdarzało, na przykład w latach 2004–2005, zwłaszcza na terenie Dolnego Śląska (13 tys. ha) czy Poznania (10 tys. ha). Okazuje się, że to, czy dęby są z naturalnych podrostów, czy też pochodzą ze szkółki, jest bez znaczenia. Mączniak zaatakuję je tak czy owak, zarówno bowiem pokolenie dębów wyhodowane przez leśniczego w rządkach, na kwaterkach w szkółce, a potem sztucznie wysadzone do lasu, jak i sadzonki wyrosłe w przypadkowych miejscach dzięki siłom przyrody – z obsiewu starych drzew lub z nasion pochowanych w ściółce przez sójki – wszystkie są równie nieodporne na atak grzyba. Jeżeli w sąsiedztwie młodych dębów znajdują się egzemplarze drzew porażonych przez *Microsphaera* – kolejne dęby będą chorować.

W szkółkach hodowane są w jednym miejscu tysiące młodych sadzonek przeznaczone do podsadzeń. Służą one temu, aby wzbogacić różnorodność gatunkową lub wypełnić luki powstające w monokulturze drzew iglastych. To już jest niemal fabryka sadzonek. Nic więc dziwnego, że dba się o nie nad wyraz starannie. Już żołędzie

są starannie sortowane, chronione przez szkodliwymi grzybami glebowymi. Siewki podlewa się, czasem nawozi, zabezpiecza przed niskimi temperaturami, zwłaszcza że obecność mączniaka powoduje opóźnienie procesów drewnienia pędów, przez co stają się bardzo wrażliwe na jesienne przymrozki. A gdy nadchodzi okres wiosennego zagrożenia lub pojawiają się pierwsze oznaki choroby, wszystkie sadzonki w szkółce opryskuje się różnymi preparatami posiadającymi atesty bezpieczeństwa i certyfikaty jakości. Zazwyczaj to pomaga i rozwój patogenu jest ograniczony lub zlikwidowany. Takie sadzonki są zdrowe i mogą być przesadzone do lasu.

Aby nie stosować chemicznych preparatów ochronnych, skutecznych, ale jednak niewskazanych dla środowiska, podejmowane są próby wykorzystania zjawisk naturalnych. W podręcznikach fitopatologii leśnej, czyli nauki o chorobach drzew,



Rządki siewne w szkółce z nasionami dębu chronionymi chemicznie przed patogenami grzybowymi (fot. T.S.)



Grzybnia drobnokulkowca na liściu dębu (fot. Z.S.)

opisywane są próby wykorzystywania przeciw mączniakowi dębu zjawiska konkurencji między grzybami i stosowania grzybów hiperpasożytniczych – *Ampelomyces quisqualis* lub *Lecanicillium lecani*. W laboratoriach testuje się także skuteczność bakterii (*Bacillus subtilis* czy *Pseudomonas chloroaphis*).

Mączniaki to duża grupa organizmów, podzielona na 13 rodzin z około pół tysiącem gatunków. Grzyby często są specyficzne względem żywicieli, ich identyfikacja jest więc łatwiejsza, gdy znamy gospodarza. Inną, równie groźną i dużą grupą biotrofów są rdze *Pucciniomycetes*, które jednak na roślinie żywicielskiej nigdy nie tworzą nalotów, ale występują lokalnie. Porażenie rośliny objawia się pojawianiem się żółtych, pomarańczowych, brązowych lub czarnych plamek na liściach i pędach. Na pewno widzieliśmy takie na dolnej stronie liści brzozy, berberysu lub kruszyny. Równie dotkliwymi zarazami roślin są też inne podstawczaki – głównie i śniecie.

Czy mamy się zamartwiać, że w naszych lasach młode dęby czasami chorują i zamierają z powodu mączniaka? Nie, bo jest to wyraz naturalnych zjawisk ekologicznych – plastyczności gatunkowej, selekcji i adaptacji. W lasach naturalnych takie zjawiska to normalność, natura pozostaje wszak ciągle w dynamicznej równowadze. Choroba, śmierć, walka towarzyszą naturze i towarzyszyć będą dopóty, dopóki przyroda będzie podlegać ewolucji. W lasach zagospodarowanych, które nastawione są na realizację wielu funkcji, w tym także na produkcję drewna, to naturalne zjawisko nazywamy chorobą. Człowiek wchodzi pomiędzy ścierające się w walce dwa byty biologiczne i rozstrzyga ich walkę według swoich oczekiwań. W tym wypadku opowiada się za rośliną. Niszczy patogen, ale może warto byłoby najpierw lepiej go poznać?

Kto wie, ile jeszcze tajemnic kryje ten bezwzględny i doskonały w swojej klasie organizm?

2.7. Grzyby, których w ogóle nie widać – endofity

Czasem, gdy chodzimy po lesie, zdarza nam się bezradnie rozglądać dookoła i narzekać, że nie ma grzybów. Jakże zawodne są nasze zmysły i jak ograniczone oczekiwania! Grzyby są, ale ukryte przed naszym wzrokiem. Niektóre z nich nie są jednak tak zamaskowane, by nie rozszyfrował ich zmysł smaku roślinożerców. Nawet nie zdajemy sobie sprawy, że w komórkach części nadziemnej niemal każdej rośliny rozwijają się grzyby endofitowe (*endo + fit* = wewnątrz rośliny). Mówimy tu o grzybach, które zamieszkują tkanki roślin, nie wywołują objawów choroby, a jednak często modyfikują cechy swoich żywicieli. Wiele potrafią. Na przykład jedne zmieniają rośliny bezbronne wobec konsumentów na niestrawne dla nich, inne z kolei u roślin podatnych na stres suszy wyrabiają zdolność przetrwania nawet długich okresów bez deszczu. Ich wspólną cechą jest to, że stymulują wzrost roślin, słowem – często



Trąbkowate owocniki *Hymenoscyphus* gromadnie wyrastające jesienią na nawłoci (fot. M.W.)

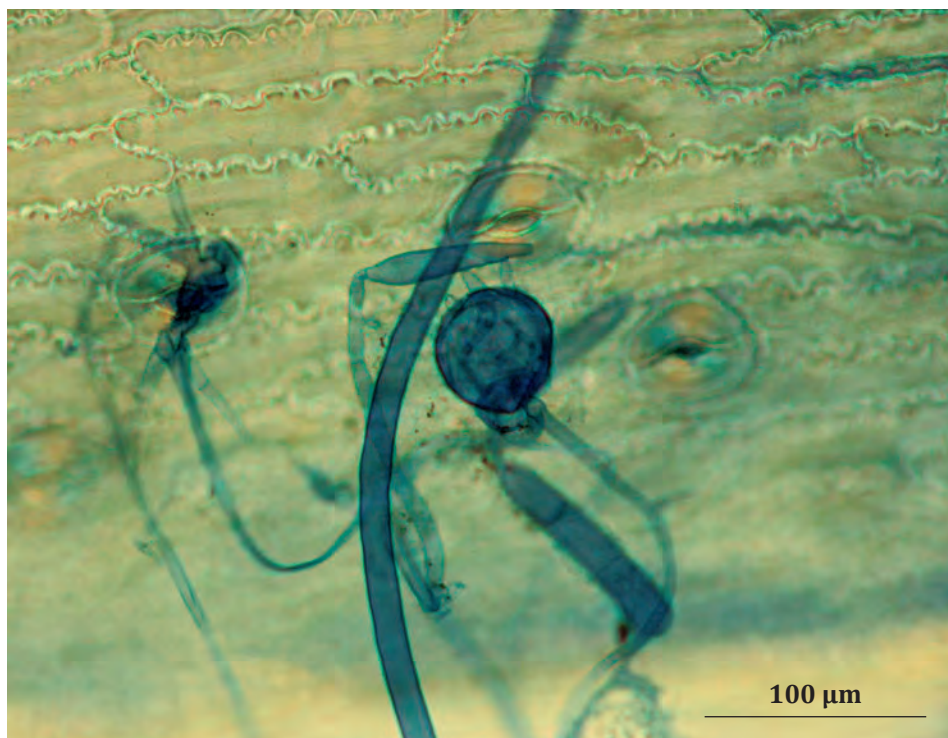
poprawiają ich dobrostan. Są tak ukryte, że o ich roli w życiu roślin nie wiadomo zbyt wiele. Najbardziej wnikiwe badania prowadzono na pospolitych trawach, także obecnych w naszych lasach. W życicy (*Lolium*) czy kostrzewie (*Festuca*) powszechnie występuje grzyb pleśniowy o nazwie *Neotyphodium*, który po odpowiednim wybarwieniu tkanek roślinnych jest zauważalny w postaci cienkich niteczek ciągnących się przez kolejne warstwy komórek. Wiadomo na pewno, że rośliny zaopatrzone w *Neotyphodium* charakteryzują się znacznie większą odpornością zarówno na atak owadów, jak i zjadanie przez kopytnych roślinożerców, takich jak jelenie, sarny czy łosie. Orężem rośliny stają się związki czynne produkowane przez grzyba, czyli ich metabolity. Wykazano, że *Neotyphodium* produkuje przynajmniej cztery różne klasy związków, które roślina potrafi wykorzystać. Najważniejsze z nich to ergotoksyny, działające antagonistycznie wobec dużych roślinożerców, a także hamujące rozwój patogenów, oraz indolowe diterpenoidy, odstraszaające zarówno owady, jak i kręgowce zwierzęta roślinożerne.

Niekiedy zdarza się, że tego typu związki mogą okazać się błogosławieństwem dla ludzi. Czołowymi przykładami endofitów wykorzystanych przez człowieka są zasiedlające tkanki cisa (*Taxus*) bakterie *Streptomyces* oraz rezydujące w igłach i korze cisa krótkoigłowego (*T. brevifolia*) grzyby: *Nodulisporium sylviforme*, *Pleurocytospora taxi*, *Alternaria taxi*, *Botrytis* czy *Aspergillus niger* var. *taxi*. Obecny w gałązkach, liściach i nasionach cisa związek taksyna jest szkodliwym alkaloidem (flakonem). Ale

cis zawiera także inną cząsteczkę chemiczną, i to wykazującą własności lecznicze (paklitaksel – taxol). Wiele lat sądzono, że jest on także wytworem rośliny. Okazało się jednak, że za produkcję tego specyfiku odpowiadają grzyby endofityczne. Po raz pierwszy substancja czynna została wyizolowana z cisu w 1966 r., opisana pod względem chemicznym w roku 1971 i po syntezie święci dziś triumfy w medycynie. Jest remedium na wiele chorób, przede wszystkim na różne odmiany nowotworów i choroby neurodegradacyjne. Tego jedyne grzyba odpowiedzialnego za produkcję paklitakselu poszukiwano wśród różnych gatunków. Wybór padł na endofit o na-



Zamieranie jesionu. Dwa pierwsze zdjęcia: symptomy choroby; kolejne: sprawca *Chalara fraxinea* (anamorfa) i *Hymenoscyphus pseudoalbidus* (teleomorfa), (fot. T.K.)



Strzępki przedstawiciela rodzaju pleśniak (*Mucor*) w tkankach widłaka przeciskające się przez aparaty szparkowe (fot. M.W.)

zwie *Taxomyces andreanae*. Wykorzystywano go do produkcji leczniczych związków chemicznych na skalę przemysłową i ogłoszono grzybem o wielkiej przyszłości. Ostatnie dane wskazują jednak raczej na złożony proces produkcji metabolitów. Niewykluczone, że dopiero współdziałanie różnych organizmów daje naprawdę dobry efekt, wyizolowanie bowiem jednego grzyba ze złożonej mozaiki zasiedlającej tkanki cisa, z nadzieją na eksploatację jego właściwości, może w rzeczywistości nie przynieść takich rezultatów, jakich się spodziewamy.

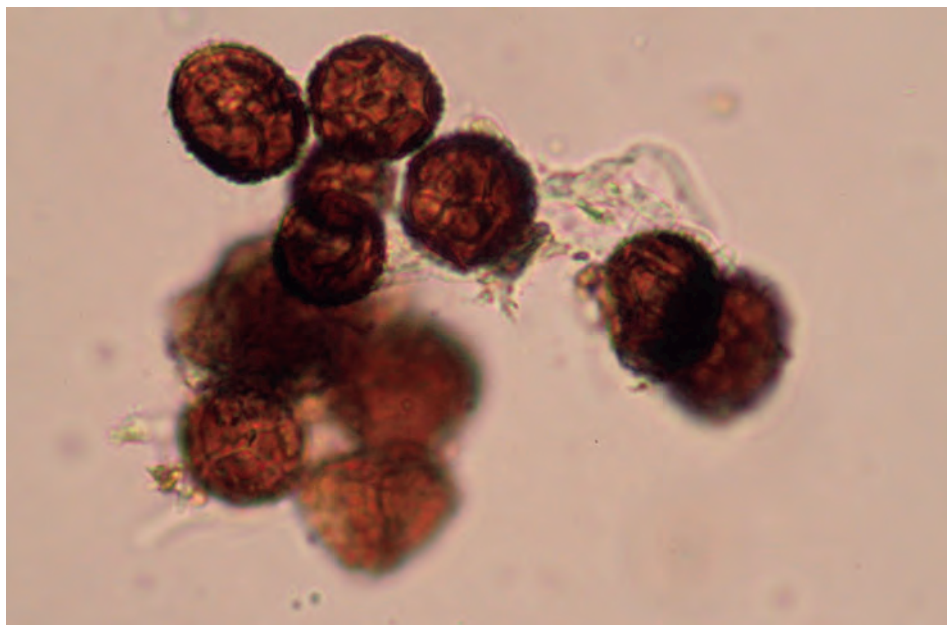
Warto też wspomnieć o tym, że grzyby w roślinach często konkurują ze sobą. Jeśli roślina jest zasiedlona przez grzyba, który nie jest patogenny, to jej mieszkańiec stanowi skuteczną barierę przeciwko grzybom, które są naprawdę szkodliwe dla swoich żywicieli. Takie grzyby endofitowe żyją na ogół w stanie wegetatywnym. Ich strzępki przenoszą się z rośliny na roślinę wertykalnie, czyli z rodzica na potomka. W wypadku roślin oznacza to, że z tkanek osobnika dojrzałego grzyb przemieszcza się przez kwiat, potem zalążnię, aż dociera do nasiona. Czasem jednak na roślinie pojawia się faza płciowa. W wypadku grzyba o nazwie *Epichloë* ujawnia się ona na trawach w postaci żółtej mufki na pędzie lub rozdętego „kwiatu”. Zarodniki powstają na skutek procesu

płciowego, który ułatwiają nierzadko muszki z rodziny *Antomyidae*, a potem roznoszą się horyzontalnie, czyli z osobnika zakażonego na rośliny z najbliższego sąsiedztwa.

Niektóre z endofitów zadziwiają nas. Niedawno opisany nowy dla nauki gatunek *Paraconiothyrium babiogorense* został zidentyfikowany z rozmnózek widłaka wronca (*Huperzia selago*), rosnącego szerokimi płatami w lasach na stokach Babiej Góry. Grzyb ten był odnajdowany tylko w tych częściach rośliny, które służą do bezpłciowego rozmnażania i nigdzie indziej. Wydaje się, że jego obecność stymuluje pojawianie się rozmnózek na końcach liści tej rośliny. Co więcej, nie został jak dotychczas znaleziony poza masywem Babiej Góry. Jest zatem endofitem-endemitem.

Pospolitym endofitem jest również przywoływany już wcześniej grzyb o nazwie *Hymenoscyphus*. Jego trąbkowate owocniki zaczynają wyrastać z pędów roślin zielnych późną jesienią. Czasem jest ich tak wiele, że pędy zdają się pokryte jasnymi tarczkami. Ich wielość wskazuje, jak dużo strzępek chroniło się wewnątrz rośliny podczas sezonu wegetacyjnego. Znajdziemy je zawsze, chodząc jesienią wśród zasychających pędów nawłoci (*Solidago*).

Bardzo często z wnętrza roślin izoluje się pospolite grzyby strzępkowe z rodzajów *Alternaria*, *Fusarium* czy też *Epicoccum* lub grzyby drożdżoidalne (np. *Cryptococcus* i *Sporobolomyces*). *Epicoccum* to grzyb wszędobyłski – znajdujemy go niemal na każdej roślinie i nawet izolujemy zarodniki z powietrza. A jednak jeśli próbujemy



Grupy zarodników grzyba *Epicoccum purpurascens* tworzące się na powierzchni pędu karbieńca (fot. M.W.)



Miseczki *Cenangium ferruginosum* i worki z zarodnikami oraz poduszki z zarodnikami *Scoleconectria cucurbitula* (fot. T.K.)

określić grzyby znajdujące się wewnątrz rośliny metodami molekularnymi, z wykorzystaniem klonowania materiału genetycznego, grzyb ten znika z pola naszego widzenia. Można się spodziewać, że jest to organizm, który podszywa się pod endofity. Towarzyszy im, ale naprawdę nie prowadzi życia skrytego w tkankach roślinnych. Zuchwale wciska się w szparki, pozostaje pomiędzy wystającymi żebrami wzmacniającymi łodygi, a ponieważ ma strzępki ciemno zabarwione, odporne na temperaturę i związki chemiczne, to nawet długotrwałe upały lub sterylizacja powierzchniowa pędów nie są wystarczające, by go usunąć.

Grzyby, o których mówimy, zazwyczaj są dobroczynne, jednak czasem potrafią przejść do ataku. Ich pozytywny wpływ zanika, gdy drastycznie pogarszają się warunki życiowe. Dopiero wtedy o wielu z nich przypadkowo się dowiadujemy, że są obecne w roślinie. Taką formę bytowania w pędach i igłach sosny wykazują grzyby *Scoleconectria cucurbitula* i *Cenangium ferruginosum*, które uważane są za patogeny słabości, co oznacza, że symptomy ich obecności występują z chwilą osłabienia drzewa. Na masową skalę (na powierzchni niemal 2 mln hektarów) grzyby ujawniły się wiosną 1996 r. oraz w roku 1997 w lasach sosnowych znacznej części Polski. Było to konsekwencją tzw. suszy mrozowej w lutym i marcu – w wyniku nagłego ocieplenia nastąpiła silna transpiracja w igłach, a równocześnie systemy korzeniowe w zamrożonej glebie były nieaktywne.

Igły zrudziały, zamierały pędy, na których pojawiły się miseczki obydwu grzybów. Zielone dotychczas igły okazały się rezerwuarem zakaźnym, a łagodny endofit pokazał swą moc. Równocześnie osłabione drzewa atakowały muchówkowate owady z rodziny przyszczarkowatych (*Cecidomyiidae*). W wyniku tak silnego osłabienia drzew w ciągu kilku tygodni objawy zamierania sosny pojawiły się na powierzchni prawie jednej czwartej wszystkich lasów w naszym kraju. To była już epifitoza. Podobny endofitowy charakter bytowania cechuje grzyby z rodzaju *Phomopsis*, a także patogeniczną *Chalara fraxinea* (teleomorfa *Hymenoscyphus pseudoalbidus*). Pospolicie zasiedlają one pędy jesionów, a ich owocowanie i powodowane nekrozy można zobaczyć z chwilą osłabienia fizjologicznego drzew lub nawet na starych gałęziach.

Grzyby te są wówczas śmiertelnym zagrożeniem dla jesionów, gdyż bardzo szybko zasiedlają pędy innych, dotychczas zdrowych drzew.

Endofity znajdujemy w liściach, pędach, pączkach, w kwiatach i nasionach. Choć ich strzępki ciągną się poprzez pędy, nie trafiają jednak do korzeni. Nie znaczy to jednak, że ta część rośliny obywa się bez grzyba. Tam jednak królują już grzyby mykoryzowe, o których pisaliśmy w rozdziale 2.2.

2.8. Grzyby służące owadom – owady służące grzybom (*Ambrosiella*, *Ophiostoma*, *Leptographium*)

Niemal każde dziecko wie, co to jest kornik. I że nie jest to kołatek, co stuka w starym zegarze. Wiedza o tych owadach i ich zagrożeniach dla świerczyn – czy to na niżu, czy w górach – jest ugruntowana od lat. Wystarczy przejść się po lasach, popatrzeć na rudziejące korony drzew i na słupki, na których wywieszone są pułapki feromonowe. Ciekawskie dziecko zawsze zapyta: „A co to?”, a dorosły, nawet jeśli nie wie, ale się przyjrzy i pomyśli, to odpowie poprawnie. To sposób na ochronę drzew, które mogą być zabite przez miliony owadów. To pułapki, w które wpadają samce kornika drukarza (*Ips typographus*) zwabione syntetycznym zapachem samicy. Ale dlaczego trzeba je łąpać? Bo są śmiertelnie groźne dla lasu, gdy jest ich dużo. Bardzo, bardzo dużo. Jeśli jednak przyrzeć się biologii tych owadów, pojawiają się zupełnie nieoczekiwane fakty, których ani dziecko, ani dorosły nie są świadomi.

Rodzina kornikowate *Scolytidae* to duża grupa chrząszczy obejmująca więcej niż 6000 gatunków z ponad 220 rodzajów. Znane są przede wszystkim jako owady pod-



Chodniki larwalne korników wypełnione odchodami, trocinami i grzybnia ambrozjową oraz kolebki poczwarkowe wtórnie przerośnięte grzybnia *Trichoderma* (fot. W.G.)



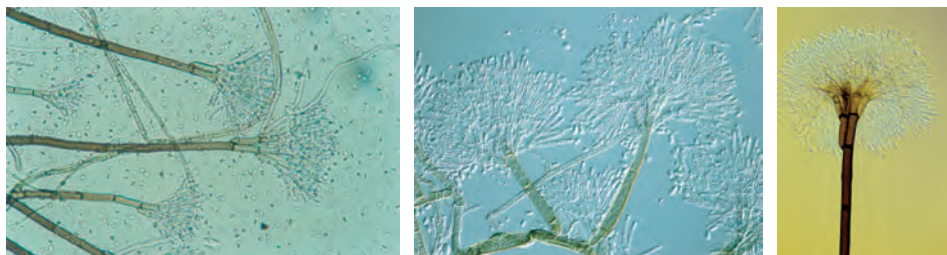
Zarówno formy płciowe, jak i bezpłciowe grzybów ophiostomatoidalnych tworzą zarodniki w kroplach płynu, co ułatwia przenoszenie ich przez owady (fot. T.K. i M.W.)

korowe – *kambiofagi**. Ich kształt ciała jest ściśle dopasowany do miejsca, w którym żyją, ich siedliskiem są bowiem chodniki wygrzane w łyku drzew. Owady mają więc małe rozmiary, dopasowane do miąższości warstwy łyka, walcowate ciało, głowę ukrytą pod przedpleczem i krótkie nogi. Ich pancerze są zazwyczaj pokryte niezbyt gęstymi włoskami. Może warto przypomnieć, że łyko wraz z miazgą to część drzewa, która tworzy corocznie jego przyrost na grubość (miazga) oraz przewodzi asymilaty i odżywia całe drzewo (łyko). To jakby układ krwionośny drzewa. Utrata łyka na obwodzie pnia, na przykład w wyniku żerowania owadów podkorowych, opalenia przez pożar czy złośliwego odarcia kory, to praktycznie śmierć drzewa.

Korniki mają szczęki zaopatrzone w mocne żuwaczki. Są to narzędzia umożliwiające drążenie chodników w łyku. Drewno nie jest przez te owady naruszane, ale może być zasiedlane przez grzyby. Paradoksalne jest to, że owad w zasadzie nie je tkanek roślinnych w sensie trawienia, tylko je wygrza, żywi się bowiem grzybem, którego zarodniki lub grzybnię w pewnym momencie wprowadza do swoich chodników. Relacja między owadem i grzybem ma charakter *mutualistyczny**, co oznacza, że każdy z partnerów czerpie zysk ze współpracy. Niektóre takie grzyby, należące do rzędu *Ophiostomatales*, zwane są grzybami ambrozjowymi. Nazwa „ambrozjowe” wzięła się z pomyłki entomologa J. Schmidbergera jeszcze w 1838 r., gdy obserwował chrząszcze żerujące w białej, błyszczącej materii pokrywającej żerowiska. Nazwał ją ambrozją, bo spodziewał się, że to nadzwyczaj pożywny sok roślinny. Później dopiero stwierdzono, że substancja stanowiąca pożywienie owadów to w rzeczywistości forma drożdżoidalna lub strzępkowa grzybów.

Środowisko podkorowe jest dla grzybów niełatwe do zasiedlenia z powodu niskiej zawartości azotu w drewnie. Obecność owada, a zwłaszcza jego pozostałości – odchodów czy wylinek – jest wówczas dla grzyba stałym gwarantem dostępności azotu. Grzyb z kolei rozkłada celulozę i produkuje (syntetyzuje) ważne związki chemiczne – sterole, niezbędne do tworzenia hormonów owadzych – i ostatecznie przyczynia się do zamknięcia ich cyklu życiowego. Wydaje się przy tym, że drożdżoidalne ambrozje nie są czasem tak zabójcze dla drzew, jak mogą być ich strzępkowi kuzyni.

Wśród grzybów ambrozjowych są grzyby o pięknych nazwach łacińskich: *Ambrosiella*, *Rafaellea* oraz *Dryadomyces*. Prawdopodobnie wiele gatunków z tej grupy do tej pory nie doczekało się odkrycia. Ich biologia pozostaje niejasna. Grzyby te są całkowicie zależne od chrząszczy, jeśli chodzi o kwestie transportu, rozmnażania, „przygotowania” niszy ekologicznej, czyli formowania środowiska życia. Są wyłącznie towarzyszami korników (*Ips*), ogłodków (*Scolytus*) lub rozwiertków (*Xyleborus*). Poza chodnikami owadów nie uda nam się ich odnaleźć. Wydaje się, że większość z nich rozmnaża się klonalnie, bezpłciowo. Są zatem zależne od owadów, które nie tylko je „pielą” z „obcych” grzybów i bakterii pasożytniczych, ale również przenoszą



Trzonki konidialne *Leptographium* (formy bezpłciowej grzybów ophiostomatalnych)
(fot. Z.S., T.K.)

w specjalnych kieszonkach umieszczonych za przedpleczem, zwanych *mycetangiami** lub krócej – mycangiami. W mycangium spotykamy zazwyczaj postać drożdżoidalną grzyba. Warto wspomnieć, że swoje ogrody grzybowe, jako zabezpieczenie pokarmu dla potomstwa, uprawiają także mrówki z rodzajów *Atta*, *Acromyrex* czy *Lasius*. Mrówki ogrodniczeki, które nigdy nie opuszczają gniazda, wydzielają substancje hamujące wzrost niepożądanych grzybów, bo na swoich pancerzach noszą oręż w postaci bakterii *Streptomyces*. Jest to kolejny przykład pośredniego lub bezpośredniego, wspólnego działania grzybów i bakterii, których rola na różnych poziomach troficznych ekosystemu jest wciąż niedoceniana.

Jednym ze znanych przykładów chrząszcza ambrozjowego jest pospolity w Polsce rozwiertek większy (*Xyleborus monographus*), który wręcz uprawia grzybowe ogrody. Dowiedzono, że jeśli samiec chrząszcza usunie się z korytarza, pozostawiając larwy, grzybnia *Leptographium*, wypełniająca szczelnie chodniki, zostaje zakażona. Porastają ją pleśnie i przestaje pełnić funkcję spiżarni larw, a te z czasem obumierają. Okazuje się zresztą, że dzięki obecności grzyba owady mogą zasiedlać więcej gatunków drzew niż ich spokrewnieni, ale nie wchodzący w układ z grzybem kuzyni, którzy muszą na własne barki brać przełamywanie oporu drzewa. W wypadku chrząszczy ambrozjowych to grzyb bierze na siebie ewentualne problemy z odpowiedzią gospodarza na inwazję. Ciekawe jest również to, że grzyb uczestniczy w *feromonowej** orientacji owadów, wpływając chemicznie na lotne cząsteczki emitowane przez insekty. Niektóre hormony owadzie są przez grzyba utleniane, co zmienia ich znaczenie i zasięg.

Kornikowate (*Ipidae*) dla rozróżnienia dzielimy na ogłódki (*Scolytinae*) i korniki właściwe (*Ipinae*). Ich larwy mają brunatne głowy i wyraźnie szerszą część przednią. Mają też wilczy apetyt. Korniki często związane są z konkretnymi gatunkami roślin drzewiastych, a czasem nawet z określonymi częściami drzew. Najgorszą sławę w tej rodzinie miał do niedawna owad o nazwie *Scolytus multistriatus*, znany jako sprawca holenderskiej choroby wiązów. Choroba ta, zazwyczaj śmiertelna dla drzew, nie jest bezpośrednio wywoływana przez owada, ale przez grzyb, który żyje



Wiąz z objawami holenderskiej choroby wiązów (fot. Z.S.)



Symptomy sinizny drewna sosny (fot. Z.S.)

z nim w przymierzu (w rzeczywistości są to dwa gatunki: *Ophiostoma ulmi* lub *O. novo-ulmi*). Jak wspomnieliśmy, wiele korników nie żywi się tkankami roślinnymi, lecz jedynie strzępkami grzyba, które przenoszą i hodują. Czasem ten sztucznie uprawiany przez owada grzyb jest dla drzewa niegroźny, a czasem niesie śmiertelne niebezpieczeństwo. Tak jest w wypadku *Ophiostoma ulmi*. Ogłodek wprowadza grzyba pod korę, a ten rozwija się potem w przewodzących wodę naczyniach drzewa i je całkowicie czopuje swoimi wydzielinami. Powoduje to oczywiście wysychanie części lub całych koron drzew.

Liczni reprezentanci rzędu *Ophiostomatales* mają na domiar złego szybko rozmnażające się formy bezpłciowe, pleśniowe, wśród nich z rodzajów: *Sporotrix*, *Pestalotia*, *Ceratocystis*, *Grosmannia* czy *Leptographium*. Organizmy te zasiedlają zwykle promienie rdzeniowe drewna iglastego, powodując jego przebarwienie. Na przekroju zainfekowanego drzewa, niestety już po przecięciu, uwidoczniają się granatowe, czarne lub sine smugi powodowane przez melaniny – pigmenty wydzielane przez grzyby, biegnące od obwodu ku części twardzielowej pnia (wada zwana sinizną drewna).

Owadami z czarnej listy zabójców drzew, na szczęście nie w Polsce, są też chrząszcze *Dendroctonus ponderosae* i *D. frontalis* – postrach amerykańskich plantacji sosnowych. Oba współżyją z wymienionymi wyżej grzybami, ale również z niektórymi podstawczakami, np. z *Entomocorticium*. O fatalnej reputacji europejskich korników – drukarza (*Ips typographus*) oraz zrosłozębnego (*Ips duplicatus*), zamieszkujących strefę podkorową świerków, już wspominaliśmy. Czy to oznacza, że wszystkie korniki są szkodnikami? Oczywiście nie. Większość owadów z tej grupy w normalnych warunkach wspomaga naturalne procesy odnowienia lasu poprzez przyspieszanie śmierci starych, chorych drzew. Inne biorą udział w procesach rozkładu drewna. Zła sława kilku gatunków (2% wszystkich gatunków należących do rodziny) w lasach gospodarczych, a zwłaszcza pojawiających się w formie gradacji, przyćmiewa

jednak ekologiczną rolę większości przedstawicieli tej rodziny, chrząszczy zdecydowanie nie tak groźnych. Rzeczywiście ofiarą chrząszczy i grzybów – bo działają one na zasadzie współnictwa – padają drzewa słabsze, poddane stresom cieplnym, wilgotnościowym czy chemicznym (zanieczyszczeniom powietrza). Zdrowe drzewa potrafią na ogół skutecznie obronić się przed atakiem poprzez tworzenie i wydzielanie żywic, które zawierają insektycydy i związki chemiczne o działaniu *fungistatycznym** oraz indukowanie biochemicznych reakcji odpornościowych.

Czasem dochodzi do poważnych sporów naukowych dotyczących tego, co robić z parą owad-grzyb, przynoszącą realne szkody gospodarce. Osoby o nastawieniu konserwatorskim do ochrony przyrody radzą pozostawić problem sam sobie, a właściwie prawom ekologicznym, które kiedyś lub jeszcze później doprowadzą do ustalenia nowej równowagi w ekosystemie leśnym. Inni naukowcy opowiadają się za ochroną czynną i przeciwstawieniem się szkodnikom w krótszym czasie. W czeskiej Szumawie, w Czarnym Lesie i Bawarskim Lesie w Niemczech, a także i w Polsce, w latach 70. i 80. ubiegłego wieku z powodu łącznego osłabienia drzew na skutek mrozów i huraganów, emisji przemysłowych, opieniek i gradacji korników nastąpiło masowe zamieranie drzew na wielkich powierzchniach lasu. Zjawisko to,



Grzybnia *Trichoderma* w kolebkach poczwarkowych kornika (fot. W.G.)



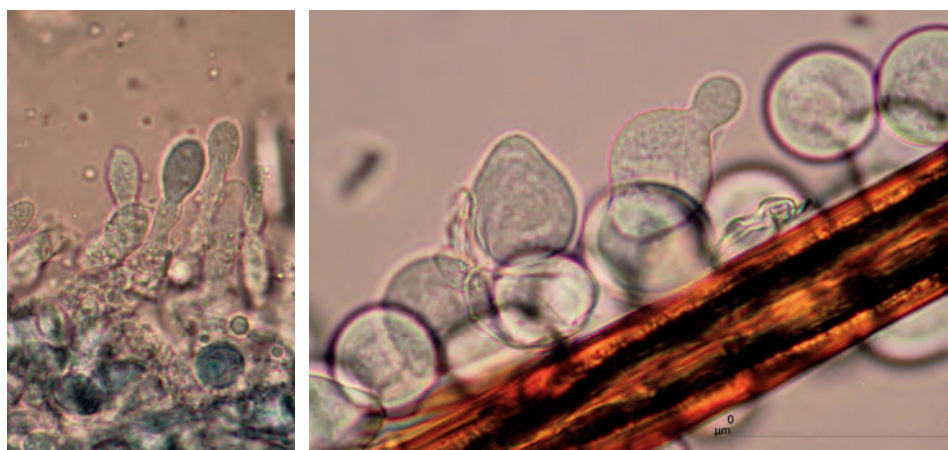
Zamarłe świerki w Górach Izerskich (fot. T.P.)

a także próby jego zwalczania oraz wycinania zamarłych drzew wywołały wiele zaćiętych dyskusji. Na szczęście nie doszło do usuwania drzew, co uruchomiłoby wiele niekorzystnych zjawisk, także erozyjnych. Uwierzono, że natura upora się sama z problemem. Za sto czy trzysta lat – dla przyrody czas nie ma znaczenia. Drzewa do dziś stoją „martwe” z naszego, ludzkiego punktu widzenia i społeczeństwo to zaakceptowało. Pocieszające jest, że wśród tych zamarłych drzew i pod nimi przyroda budzi się do życia.

Na czym więc naprawdę polega dylemat dotyczący problematyki gradacji korników w świerczynach? I jakiej jest on natury?

2.9. Niewolnicy owadomorki muszej (*Entomophthora muscae*)

Las jest bardzo bogatym środowiskiem. Oferuje wiele różnych nisz ekologicznych. Roi się od drobnych bezkręgowców przeczesujących ściółkę, fruwających w koronach drzew i wędrujących po pniach. Stawonogi, które są najbogatszą grupą organizmów na świecie, są w lesie reprezentowane przez tysiące gatunków. Jest ich taka mnogość, że nie ma jednego specjalisty, który mógłby je wszystkie poznać i nazwać. Najwięcej jest chrząszczy, ale znajdziemy również muchówki, motyle nocne i dzienne, pluskwiaki, mszyce, mrówki, osy i wiele innych. Wśród nich są także bezskrzydłe skoczogonki i widłogonki. Warto też wspomnieć o roztoczach, które należą do gromady pajęczaków, a często są tak drobne, że aby je zobaczyć, trzeba być zaopatrzonym w lupę. Niektóre roztocza żerują na martwej materii organicznej, ale



Od lewej: formowanie konidiów pierwotnych na konidioforach *Pandora*; zarodniki pierwotne owadożerki (*Entomophaga*) leżące na szczecinie gąsienicy niedźwiedziówki. Zarodnik centralny zaczyna tworzyć konidium wtórne (fot. M.W.)

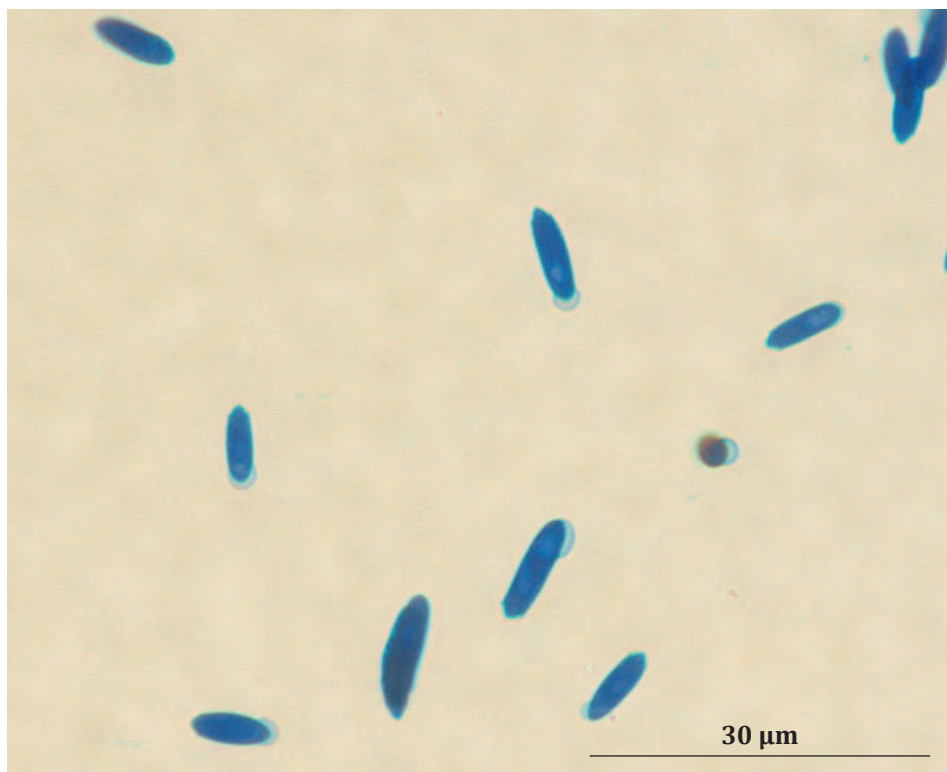
jest również szeroka gama takich, które należą do fitofagów – odżywiają się roślinami i mogą wywoływać poważne osłabienie swoich gospodarzy.

Idziemy do lasu w piękny, jesienny dzień. Niedawno padało. Na krawędziach liści błyszczą jeszcze krople deszczu, w których przegląda się poranne słońce. Będzie ciepło, szykuje się przyjemny dzień. Na liściu dębu przysiada mucha rączyca (*Tachina*). Przez moment bada swoim aparatem pokarmowym blaszkę liścia. Coś ją tu przygnało. Ale co? Jej mózg jest malutki. Nie wie. Może to lepka spadź pozostawiona niedawno przez mszyce miodunki? Tymczasem na jej chitynowy, pokryty rzadkimi włoskami pancerzyk pada dość duży i lepki zarodnik grzyba. Wygląda jak przejrzysty balonik, który wiatr przygnał przypadkiem w te rejony, ale to nie jest prawda. Jego celem było właśnie to miejsce. Wkrótce z tej balonikowatej formy wyłania się kiełek strzępki, który kieruje się ku oskórkowi owada.

Nie musi się przebijać do środka, nie musi się wysilać. Chitynowy oskórek ustępuje, sam się rozchyła, wpuszcza intruza do środka. Dlaczego? Czy to czary? Nie, to tylko niewidoczne dla naszych oczu enzymy chitynolityczne grzyba rozpuszczają miejscowo pancerzyk, tworzą tunel, którym podąży strzępka. Zawartość zarodnika jest już w środku. W ciele tłuszczowym. W białej i tłustej masie. Tam strzępka rośnie



Entomophthora muscae na ciele zabitej muchy. Białe pasy widoczne pomiędzy płytami chitynowymi na odwłoku to ściśle przylegające do siebie konidiofory grzyba. Na skrzydłach i włoskach wystrzelone z konidioforów zarodniki (fot. C.B.)



Zarodniki *Zoophthora* z widoczną papillą (miejscem oderwania od konidioforu), (fot. M.W.)

i dzieli się na niewielkie fragmenty. Ciała strzępkowe są tak małe i śliskie, że z łatwością zostaną zabrane przez prąd płynącej w naczyniach *hemolimfy**. Składające się z 13 komórek serce muchy, które leży tuż pod pancerzem, unosi ciała strzępkowe, wprowadzając je w ruch. Wraz z hemolimfą strzępki porywane są do wszystkich miejsc w ciele, zaczepiają się w skrętach naczyń, docierają do tchawek, osiadają niedaleko serca. Kilka z nich przykleiło się przy cewkach Malpighiego, które pełnią funkcję wydalniczą, przesyłając produkty przemiany materii do jelita. Mucha lata.

Mucha ma mały mózg, właściwie nie jest to jeszcze mózg, lecz zwoje nadprzetykowe, i nie wie, że w jej ciele już rozsiadł się „obcy”. W pewnym momencie ciała strzępkowe owadomorki przystępują do ataku. Są rozłokowane właściwie już wszędzie. Ich atak będzie nie do przezwyciężenia, kuliste bowiem i wydłużone ciała grzybnicy zaczynają wydylać z siebie związki chemiczne: proteiny i lipazy. Te groźne enzymy płyną gęstą rzeką z przejrzystych, mikroskopijnych ciał strzępkowych. Płyną i niszczą. Niszczą błony komórek, rozkładają ściany tkanek, rozpuszczają narządy. Mucha nieruchomieje. Nie wie dlaczego. Jej powłoki zewnątrz się zapadają. W niej, w środku, jędrne do niedawna struktury narządów wypełnia białawe mleczko – za-

wiesina dawnych komórek strawionych enzymami. Bogata w kwasy tłuszczowe, aminokwasy i cukry. Gdybyśmy mieli możliwość przeprowadzenia sekcji, ze środka ciała muchy wylałaby się budyniowata substancja. Ale mimo tak przedziwnej treści, mucha nadal żyje. Porusza czułkami, powoli się wspina. Jak to możliwe? Pozostawać przy życiu bez narządów...

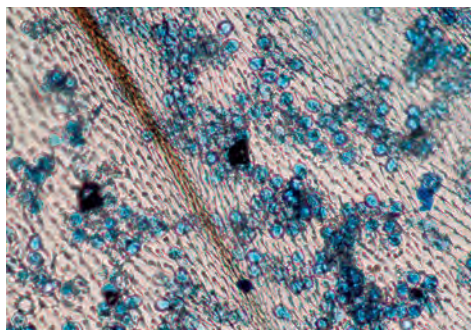
Mucha porażona przez owadomorkę nie została całkiem pozbawiona życia przez najeźdźcę. Stała się jego niewolnikiem. Nie strawione zostały mięśnie, które jeszcze mogą okazać się potrzebne grzybowi, ani „okablowanie” układu nerwowego. Mucha powolutku, porwana niezrozumiałym porywem, kieruje się ku górze. Wspina się niezdarnie po liściach i gałązkach. Grzyb, który zaczął pożerać jej strawione wnętrze, w tej chwili obejmuje władanie nad przestrzenią, gdzie znajdowały się kolejne narządy. Wypełnia odwłok i tułów.

Mucha ciągle się wspina. Wciąż wyżej, wzdłuż pędów i pnia, aż do momentu, gdy zamiera bez siły. Tam właśnie grzyb ją przytrzyma już na zawsze. Spomiędzy członów odwłoka, z licznych połączeń stawowych zaczną rosnąć strzępki i przyczepiać muchę do podłoża. Pojawia się rozgałęzione *ryzoidy**, gdy więc jej mięśnie zamrą w ostatnim skurczu, ciało muchy już nie odpadnie od miejsca, do którego udało się dojść. Tymczasem wszędzie tam, gdzie pokrywa oskórka jest cieńsza wydobędą się szerokie i sztywne strzępki przypominające karabiny gotowe do strzału. To na nich będą się formować duże i lepkie zarodniki wyglądające jak karnawałowe balony. Nie będą jednak opadać powoli, podobnie jak liście spadające jesienią z drzew. Będą wystrzeliwane wprost przed siebie, daleko i szybko.

Można sobie wyobrazić, jak trudno jest zarodnikowi tego grzyba osiągnąć ciało innego owada, wcelować w niego lub przypadkowo natrafić! Nie do końca jednak to trudna sztuka, jakby się wydawało, jeśli grzyb posłuży się fortelem. Mucha, umierając, rozkłada skrzydełka na boki, a czasem wystawia ku górze swój odwłok i w tak nietypowej pozie kończy żywot. Ta postawa właśnie, wymuszona przez rozwijające



Przerastająca ciało much grzybnia przedstawiciela *Entomophthorales* ujawnia się we wszystkich miejscach o cieńszym chitynowym oskórku (fot. C.T.)



Od lewej: *Entomophthora muscae* – zarodniki osiadające na skrzydełkach muchy, *Zoophthora* – grzybnia na ciele chrząszcza naliściaka (fot. M.W.)

się strzępki owadomorki, przyciąga samce much znajdujące się w pobliżu. Zlatują się gromadnie, zainteresowane „atrakcyjną” samicą. Zanim się zorientują, że widzą tylko opuchnięty i wypełniony grzybem pancerz, zostają natychmiast zbombardowane dużymi i lepкими zarodnikami. Przysiadają na chwilę na liściu, badają jego powierzchnię swoimi narządami pokarmowymi i ulatują, zabierając ze sobą duży i lepki zarodek. Owadomorka rozpoczyna kolejny cykl życiowy wraz ze swoim niewolnikiem.

Owadomorki są grzybami, które pojawiają się efemerycznie najczęściej wraz z występującą gradacją owadów. Czasem na dolnej stronie liścia możemy dostrzec kilkanaście much przyczepionych do rośliny ryzoidami grzyba. Podobnie masowym zakażeniom ulegają mszyce lub szarańczaki. Opanowanie żywiciela zawsze jest prostsze, gdy dookoła jest wiele potencjalnych ofiar. Inaczej sytuacja wygląda, gdy owady są terytorialistami. Do takich należą wielbłądki (*Raphidioptera*), których drapieżne larwy żerują na korze. Grzyb nie infekuje tułowia ani głowy, ale całkowicie wypełnia odwłok owada. Doprowadza do tego, że ostatnie segmenty odpadają, a z jamy odwłoka wysypują się lepkie zarodniki znaczące drogę, którą przeszła larwa, gotowe przylepić się do owada przechodzącego tą samą trasą. Owad z kolei, pod wpływem nieznanych jeszcze związków tworzonych przez strzępki, zmienia swoje zachowanie. Nabiera kanibalistycznych skłonności i aktywnie szuka osobników swojego gatunku. Mimo że wycieńczony toczącą go chorobą nie zdoła zwyciężyć zdrowej larwy, to efektem walki jest oblepienie rywala przylegającymi zarodnikami, które niezwłocznie zaczynają kiełkować. Prowadzone są intensywne badania, które mają wyjaśnić mechanizmy infekcji owadomorkowców. Organizmem modelowym brany pod lupę, również w aspekcie badań molekularnych, jest para: mrówka rudnica (*Formica rufa*) i grzyb *Pandora formicae*. Dookoła gniazda mrówek dość często możemy zidentyfikować chore lub nieżywe mrówki przyczepione do źdźbeł trawy, ale przecież grzyb nie dziesiątkuje mrowisk. Mrówki zatem wytworzyły skuteczną ochronę.

Owadomorkowce atakują bardzo różne owady. Niektóre z nich, takie jak biedronki lub chrząszcze biegaczowate, ludzie traktują jako pożyteczne i wówczas pojaw grzybów nas martwi. Na szczęście naszymi sprzymierzeńcami owadziimi są przede wszystkim drapieżniki, a te z racji swojego trybu życia nigdy nie występują masowo i są mniej skutecznie zwalczane przez patogen. Owadomorki są zatem na ogół sojusznikami człowieka, atakują bowiem masowo pojawiających się roślinożerców. Owadożerkę (*Entomophaga*) spotkamy także na groźnych szkodnikach drzew w lasach gospodarczych – na strzygoni choinówce, kuprówce rudnicy czy innych niedźwiedziówkowatych.

To dobra wiadomość dla leśnika, który nierzadko zmuszony jest walczyć z owadziimi szkodnikami lasu, o czym opowiada kolejny rozdział. Na szczęście istnieje naturalny sojusznik, wystawiający do strzału swoje „karabiny” nabite pękatymi zarodnikami.

2.10. Naturalni selekcyonerzy na czas nienaturalnych zdarzeń (*Metarhizium anisopliae*, *Beauveria*, *Paecilomyces*)

Liczne owady zyskały miano szkodników, szkodzą bowiem wówczas, gdy pojawiają się w nadmiernych ilościach. Na przykład wtedy, kiedy na jednym drzewie występuje kilkadziesiąt tysięcy żarłocznych larw, pożerających jak szarańcza wszystko, co napotka. Igły i liście, łyko pod korą, a jak i tego zabraknie, to nawet krzewy i trawę. Takie nienaturalne w życiu lasu zdarzenie masowego pojawu owadów jednego gatunku nazywa się gradacją. Na przykład owady z rodziny pilarzowatych – boreczniki sosnowe (*Diprion pini*) – w stanie larwalnym żywią się igłami sosen. Gdy jest ich bardzo dużo, pozbawiają drzewa ich „zielonych płuc”, bardzo je osłabiają i często skazują na śmierć głodową. Niewielkie, szare motyle miernikowce (*Geometridae*) też potrafią zburzyć spokój lasu. Mają charakterystyczny wygląd i z pewnością każdy z nas przynajmniej raz widział ich wędrujące larwy. Przemieszczając się, przyciągają tył ciała ku przodowi i przybierają łukowaty kształt greckiej litery Ω (omega). Larwy (gąsienice) innego owada – zimówka ogołotniaka (*Hibernia defoliaria*) potrafią, jak zresztą nazwa wskazuje, dosłownie ogołacać drzewa z liści. Czasem widuje się drzewostany, w których zamiast liści sterczą upstrzone odchodami owadów ogonki i resztki grubszych wiązek przewodzących, pominięte przez maszerującą armię gąsienic. Z kolei poproch cetyniak (*Bupalus piniarius*) żywi się wyłącznie sosną. Samice składają jaja na igłach, które stanowią pożywienie żarłocznych larw. Podobny do szarej gałązki boratek brzożowy (*Amphidasis betularia*) objada liście brzoż i buków. Wielkie szkody wyrządzają lasom korniki (*Scolytidae*), o których pisaliśmy w rozdziale 2.8.



Korony sosen objedzone z igieł przez gąsienice *Diprion pini* (fot. C.B.)

Teraz nadszedł czas, aby opowiedzieć o tym, jak grzyby stają się mieczem naturalnej selekcji i jak przyczyniają się do ograniczania liczebności populacji szkodników. Ale zanim opiszemy mechanizmy spontanicznej lub celowej, kierowanej i stymulowanej przez człowieka eliminacji niektórych najgroźniejszych sprawców uszkodzeń drzew, czyli tzw. walki biologicznej, należy wspomnieć o głównym obiekcie akcji odwetowej. Jest nim miły, wydawałoby się, a jednak co pewien czas śmiertelnie groźny dla lasu chrabąszcz majowy (*Melolontha melolontha*). Owad ten potrafi uszkadzać rośliny zarówno w stanie larwalnym (pędrak), jak i w postaci dojrzałej (*imago**). Dorosłe chrabąszcze najchętniej żywią się liśćmi dębów, ale nie gardzą innymi drzewami liściastymi. Spotyka się je też na kwiatostanach roślin iglastych lub na modrzewiu, którego delikatne igły również stanowią pokarm tego żarłoka. Szczególnie groźna jest postać niedojrzała, larwa zwana pędrakiem, zgryzająca korzonki traw, siewek, a nawet kilkuletnich drzew. Nawet pojedynczy pędrak jest w stanie poważnie uszkodzić, osłabić lub zabić całą roślinę. Ostatnio trwa gradacja tego szkodnika. Jego naturalni wrogowie – nietoperze, ryjówki, krety, jeże, a nawet większe zwierzęta, takie jak borsuk – nie są w stanie powstrzymać gwałtownego rozrodu populacji. Są dziś w Polsce miejsca, gdzie liczba larw chrząszcza na jeden metr kwa-



Pędrak chrabąszcza zaatakowany przez grzyb *Beauveria* (fot. W.J.)

dratowy dziesięciokrotnie przewyższa niegroźną dla lasu normę. Jest to zagęszczenie katastrofalne. Na ile sytuacja jest poważna, orientujemy się dopiero wtedy, gdy chrabąszcze zaczynają się roić. W majowe wieczory dookoła naszych głów słyszymy wszędzie ciężkie brzęczenie owadów i uświadamiamy sobie, że przynajmniej 3–4 razy więcej larw w tym czasie rusza swoimi żuwaczkami w warstwach gleby, niszcząc podziemne części roślin.

Zalesiając odłogujące gleby porolne, leśnicy od dawna stosowali różne metody naturalne, zwykle częstą orkę gleby przed sadzeniem, aby ptaki wyjadały wyorywane przez pług pędraki. Albo rok wcześniej wysiewali grykę, której zapachu wydzielanego przez korzenie pędraki nie lubią. W rozpaczy stosowano też środki chemiczne, które są tak szkodliwe dla edafonu i całego środowiska naturalnego. Na pomoc mogą przyjść nam grzyby, ale nie myślimy tu o muchomorach, które – jak niektórzy twierdzą – wyłącznie narkotyzują muchy. Chcemy opowiedzieć o grzybach zabijających owady, rozprzestrzeniających się intensywnie i efektywnych szczególnie wtedy, gdy zagęszczenie nieprzyjaciół lasu przekracza normy.

Takim skutecznym grzybem, który daje się odnaleźć bez większego trudu w lesie, jest *Isaria farinosa*. Wystarczy czasem przysiąść na chwilę i porozglądać się do-

okoła. *Isaria* (*Paecilomyces*) rozwija się na larwach i poczwarkach owadów żyjących w glebie i ściółce. Wyrasta w górę w postaci białych pędzelków. Nie są to jednak tak delikatne, nitkowate struktury jak u pędzlaka (*Penicillium*) czy *Trichoderma* (patrz rozdziały 3.1. i 3.2.), ale o wiele większe. Są zbudowane ze skręconych, zlepionych strzępek zwanych *synnemami**, które dopiero na szczycie się rozdziela, tworząc sypiący zarodnikami pędzel. Wystają ponad glebę aż na dwa centymetry, a ponieważ kontrastują z barwą podłoża, to dają się łatwo zauważyć.

Inne, dobrze widoczne grzyby atakujące owady i pajęczaki, to gatunki z rodzaju *Hirsutella*. Te mają zazwyczaj barwy stonowane – szare i beżowe, ale z owadów potrafią wyrastać w postaci długich, a czasem nawet bardzo długich, sztywnych sznurczków.

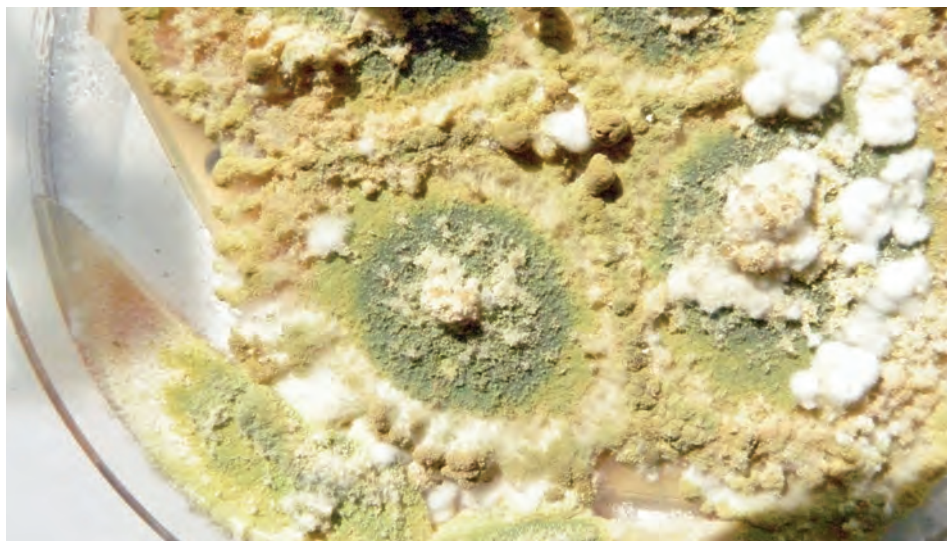
Gdybyśmy mogli zobaczyć ich powierzchnię pod dużym powiększeniem, naszym oczom ukazałyby się sterzące na boki cieniutkie komórki konidiotwórcze z lepkimi zarodnikami na szczycie.

Inne grzyby owadobójcze, ale niestety również zabijające pająki, mają barwę różową lub cielistą. Na pająkach możemy zobaczyć piękny w formie grzyb o nazwie *Gibellula*, budzący skojarzenia z różową fontanną. Owady z różnych grup, np. pluskwiaki, motyle i chrząszcze, często padają ofiarą *Beauveria bassiana*, *Beauveria brongniartii* lub *Lecanicillium lecani*.

Te ostatnie gatunki, a również zielona pleśń *Metarhizium*, wydają się najbardziej poszukiwanym ratunkiem na atak szkodników. *Metarhizium* to grzyb o wyrafinowanym, enzymatycznym wnętrzu, mimo że zewnętrznie nie jest zbyt atrakcyjny. Jego skuteczność jest jednak na tyle duża, że wykorzystuje się go do tworzenia specjal-



Od lewej: synnemy (grupy konidioforów) *Isaria farinosa* wyrastające z owada zagrzebanego w ziemi (fot. M.W.) oraz forma płciowa grzyba owadobójczego *Cordyceps militaris* na poczwarcie motyla (fot. K.K.)



Kolonia *Metarhizium anisopliae* wyizolowana z owada na pożywkę (fot. M.W.)

nych biopreparatów, wykorzystywanych w walce biologicznej przeciw szkodnikom owadzi. Jakie są jego zalety? Po pierwsze, daje się łatwo hodować, a po drugie – można wyselekcjonować takie jego szczepy, które są wielokrotnie bardziej wirulentne wobec konkretnych owadów. Opatentowane zostały liczne szczepy *Metarhizium*, a to aktywne wobec komarów przenoszących świdrowca malarycznego, a to wobec szarańczaków czy przeciw chrząszczom. Poszukiwanie bardzo wirulentnych szczepów jest kwestią niezwykle istotną. W Turcji zbadano próbki ziemi na plantacjach orzechów laskowych, które są poważnie zagrożone przez populacje chrabąszcza majowego. Okazało się, że szczepy grzybów entomopatogenicznych znajdowały się w co piątej próbce. Były to grzyby zdolne do zakażenia owadów, ale nie wszystkie miały jednakową skuteczność. W wypadku grzybów często okazuje się, że geny odpowiedzialne za patogenizację nie są włączane do zwykłych chromosomów, ale znajdują się na „chromosomie nadliczbowym”. Jest on rzadko obecny, nie niesie żadnych genów warunkujących przeżycie grzyba, jest rzeczywiście czymś „extra”. Nadliczbowe chromosomy zostały odkryte niedawno dzięki zastosowaniu szczególnej metody zwanej elektroforezą pulsacyjną.

Jak dotąd wykorzystuje się na świecie szczepy około 30 gatunków grzybów i produkuje się z nich biopreparaty. Niestety skuteczność preparatów grzybowych nie jest jeszcze taka, na jaką oczekujemy. Jakie są zatem ograniczenia stosowania grzyba przeciw owadowi? Pierwszą barierą jest właśnie zmienność szczepów grzyba. Nie wystarczy wyizolować z gleby czy kokonów owadzych szczep potencjalnie entomopatogeny. Trzeba jeszcze przetestować jego wirulentność. A i ta może być w czasie

hodowli coraz słabsza, tracona. Aby zastosować preparat na wielką skalę – skalę zagrożenia liczoną w hektarach – trzeba nauczyć się sztucznie hodować grzyb i pozyskiwać wiele zarodników. Nie zawsze się to udaje. Niektóre szczepy w hodowli przestają się rozmnażać przez zarodniki lub zarodnikują bardzo słabo. Kolejnym problemem do pokonania jest sposób aplikacji zarodników na owady oraz ograniczona czasowo zdolność zarodników do kiełkowania. Wypróbowywano wiele różnych metod. Dość liczne europejskie badania wykonane w 2000 r. wykazały na przykład, że groźny szkodnik drzew liściastych, brudnica nieparka (*Lymantria dispar*), jest bardzo odporna na grzyby entomopatogeniczne. Znalaziono tylko jeden szczep *Beauveria bassiana*, który był zdolny do skutecznej infekcji, ale wyłącznie podawany w postaci suchych zarodników. Stosowanie opryskiwania zarodników zawieszoną nie dało rezultatu. Co więcej, grzyb ten rozwijał się powoli (od 11 do 20 dni w zależności od stadium rozwoju larwy), ale ostateczna śmiertelność wynosiła około 80%. Jak się wydaje, przyczyną odporności gąsienic brudnicy są ich naturalni sprzymierzeńcy – bakterie bytujące na pokrywach ciała. Okazuje się też, że także w wypadku korników brak naturalnej pokrywy lipidowej na pancerzu czyni je stosunkowo wrażliwymi na atak *Beauveria bassiana*.



Namnażana kolonia grzyba *Isaria farinosa* na pożywce (fot. M.W.)

Warto się zastanowić, czy grzyby podstawczaki, silniej rozrastające się i łatwiejsze w hodowlach, nie mogą przyjść w sukurs leśnikom. Rzeczywiście zauważono, że zastosowanie *Phlebiopsis gigantea*, opisanego w rozdziale 2.4., ogranicza również populacje szeliniaka sosnowca (*Hylobius abietis*), owada niezwykle groźnego dla młodych upraw. Grzyb ten niestety może być wykorzystany wyłącznie wobec owadów podkorowych i to w ograniczonym stopniu, a przecież las roi się od chrząszczy.

Jakie jeszcze problemy napotykają badacze i leśnicy, a także podpatrujący przyrodę, by wykorzystać grzyba przeciw owadowi? Przede wszystkim są to kosztowne i długotrwałe procedury rejestracyjne. Wydaje się jednak, że ostatnio pojawiają się nowe nadzieje na rozwój badań nad grzybami entomopatogennymi. Unia Europejska wycofuje się z produkcji licznych preparatów chemicznych i zapala zielone światło dla badań nad biopreparatami, które nie wykazują szkodliwości względem zwierząt i których metabolity są niegroźne. W ostatnich latach dwa międzynarodowe zespoły ukryte pod akronimami BIPESCO (Biological Pest Control) i RAFBCA (Risk Assessment of Fungal Biological Control Agents) badały metody produkcji, oceniały ewentualne szkody, wpływ metabolitów wtórnych na organizmy inne niż owady, przygotowywały plany uproszczenia procedur rejestracyjnych.

Wydaje się zatem, że przed grzybami z rodzajów *Metarhizium*, *Beauveria*, a zwłaszcza *B. brongniartii* i *Lecanicillium*, drzwi do kariery dopiero się uchylają.

2.11. O porostach, czyli grzyboglonach – złotorosty (*Xanthoria*)

Tym razem wychodzimy z lasu. Zostawiamy za sobą wilgotne, pachnące ściółką powietrze. Stajemy w promieniach słońca. Jesteśmy na okraju puszczy lub zwykłego lasu gospodarczego, czasem nawet w obrębie miasta! Przed nami ukwiecona łąka, pole orne lub nieużytki zarośnięte lebindą czy dziewanną. W tym miejscu, zwanym strefą ekotonową, pojawiają się nieco inne drzewa niż w zwartym drzewostanie. Tu wierzba iwa zagradza nam drogę, tam tarnina kole cierniami, szeleszczą liście osik. Na pniach i gałęziach drzew dostrzegamy pomarańczowe, zielone i sine plamy, układające się w kolorowe wzory i strzępiaste kosmki. Gdy jesteśmy już całkiem blisko, naszym oczom ukazuje się piękny, barwny mikroświat, zasiedlony przez różne drobne organizmy. To porosty.

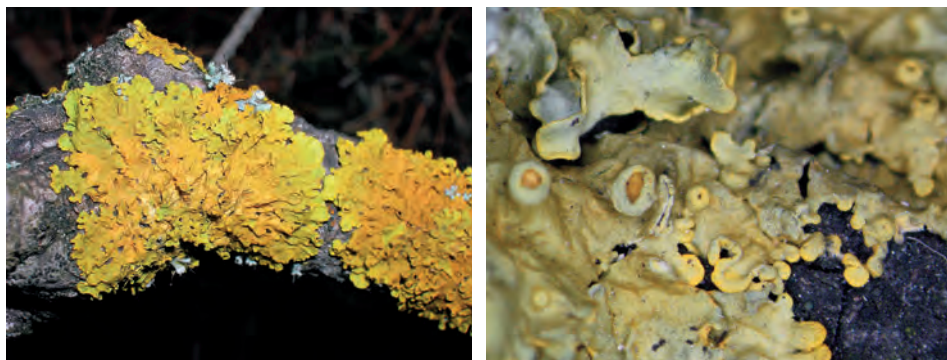
Pomarańczowe lub złote plamki to w rzeczywistości plechy grzybów, jakże jednak niezwykle! Na pierwszy rzut oka przypominają rozpostarte, kilkucentymetrowe, jaskrawe listki o pofałdowanych krawędziach. To porosty zwane złotorostami (*Xanthoria*). W centralnej części każdego z nich gromadzą się drobne miseczki o żółtawych brzegach i bardzo intensywnie pomarańczowo zabarwionym środku.



Porosty obrastające gałązkę drzewa: H – pustułka pęcherzykowata (*Hypogymnia physodes*), U – brodaczka kępkowa (*Usnea hirta*), P – mąklik otrębiasty (*Pseudevernia furfuracea*), (fot. M.W.)

Gdybyśmy mieli możliwość zajrzeć do ich wnętrza, ze zdziwieniem zobaczylibyśmy tuż pod powierzchnią liczne koliste komórki glonów, układające się w dobrze zorganizowaną warstwę. Ciała glonów, z góry chronione przez półprzejrystą osłonę ze ściśle połączonych strzępek, leżą na miękkim, wilgotnym, watowatym podłożu. Te miseczki stłoczone w centrum są w rzeczywistości owocnikami, które w swej funkcji nie różnią się od smacznego smardza lub trufl. Wszystkie te grzyby wytwarzają wydłużone komórki zwane workami, a w nich zarodniki. Tu jednak grzyb z glonem tworzą nierozdzielalną całość, którą nazywamy właśnie porostem.

Pod względem systematycznym porosty należą do królestwa grzybów. Gdybyśmy jednak chcieli wyhodować z zarodnika porostu nowe pokolenie, rezultat by nas bardzo rozczarował. Otrzymalibyśmy bezkształtną, beżową masę grzybni w niczym nie przypominającą tej wyrafinowanej struktury. Skąd więc biorą się te powłoczki, krzaczk i skorupki, które na korze rozpychają się i wchodzą na siebie? To kolejna tajemnica Natury, porost bowiem rozmnaża się razem z glonem. Zarodniki najczęściej pozostają w workach, jakby niepotrzebne, a za to z pęknięć kory porostu wysypują się komórki glonów otulone strzępkami grzyba. Wywiewane są z podmuchami wiatru, zlizywane przez ślimaki, nadgryzane przez gąsienice. Wiele



Plechy złotorostu (*Xanthoria*), po prawej widoczne miseczki – zdegenerowane formy rozmnażania płciowego komponenta grzybowego (fot. M.W.)

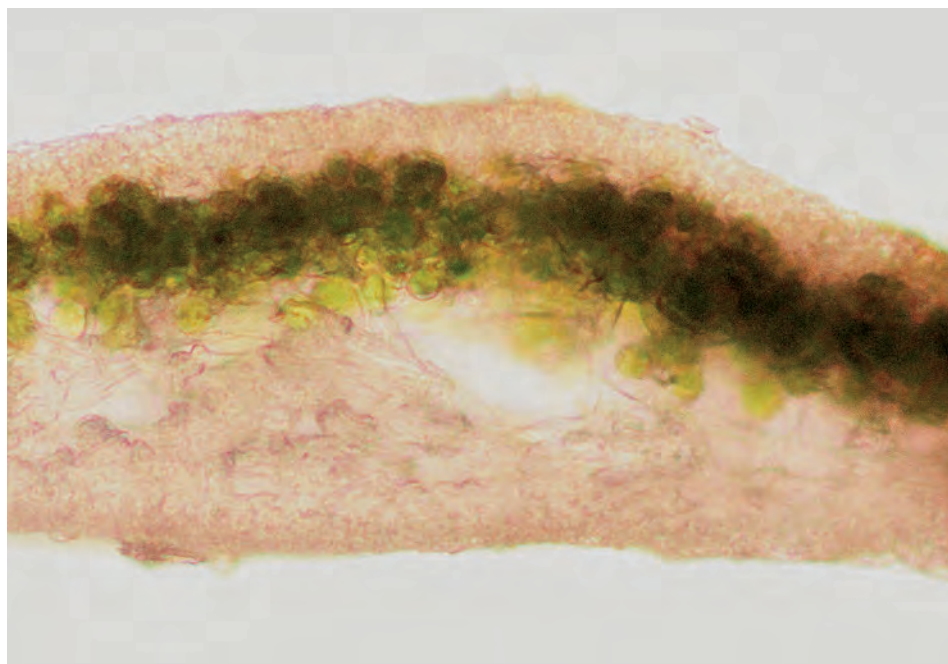
z nich przeżyje. Jeśli tylko na korze nieopodal pojawi się choćby jedna komórka glonu otoczona mufką grzyba, za rok znajdziemy tam drobną tarczkę lub łuseczkę porostu.

Stoimy na skraju lasu i patrzymy na złotorosty. Nagle przychodzi ulewa. Złotorosty się odmieniają. Ich zabarwienie słabnie – żółkną, a w końcu niemal zielenieją! Krople wody, które dostały się do wnętrza, wsiąkają w watową warstwę miąższową porostu. Zielone glony odzyskały turgor. Napęczniały i zaczynają intensywnie prowadzić fotosyntezę. Korzystając z energii słonecznej, wytworzą w swoich komórkach cukry, które wydzielą do roztworu przestrzeni międzysrzepkowej. Grzyb za pomocą swoich enzymów dokona chemicznego przekształcenia „cukru glonowego” na taki, który będzie dla niego dostępny. Glon podzieli się z grzybem rezultatem swojej pracy. Czy w tej relacji glony nie są niewolnikami grzybów? Czy oddają „podatki cukrowe” dobrowolnie? Glony nie mają oczywiście woli, a związek, który obserwujemy na przykładzie dwóch składających się w nową jakość elementów, nazywamy *symbiozą** mutualistyczną. Zjawiska ewolucji przypieczętowały ten związek sukcesem. Złotorosty mają się dobrze. A jeśli złotorosty, to i glony, które w nich zamieszkują. Grzyb jest dla partnera nie tylko ochroną przed wysychaniem, zjedzeniem czy rezerwuarem wody. Wydziela substancje, które w połączeniu z tym, co wyprodukuje glon, składają się w związki zapewniające przetrwanie obojgu partnerom. Badania wykazały, że metabolity odkładane w przestrzeni pod warstwą glonów odstraszały bądź przyciągały owady, np. żarłoczne larwy ciem fałdówek (*Eilema*). Jeśli ze złotorostu wypłuczemy te związki, to gąsienice, np. fałdówki płaszczynki i fałdówki porostówki, stracą nim zainteresowanie, mimo że wiadomo, iż inne porosty mogą stanowić dla nich pokarm jedynie po wypłukaniu! Być może oznacza to, że ćmy *Eilema*, podobnie jak ślimaki, mogą być roznosicielami porostowych diaspor złotorostu?

Jeśli tylko zaczniemy z uwagą rozglądać się dokoła, zobaczymy wiele innych porostów. Na drobnych gałązkach sosnowych leżących w ściółce dojrzymy szare, głęboko powcinane płatki pustułki pęcherzykowatej (*Hypogymnia physodes*). Na większych konarach dostrzeżemy regularne płatki tarczownic (*Parmelia* spp.). Chodząc po suchych borach sosnowych rzucą się nam w oczy poduchowate, krzaczkowate struktury chrobotków (*Cladonia*) i płucnicy (*Cetraria*). Po deszczu zzielenieje nagle szara pawężnica (*Peltigera*), a jeśli odwiedzimy leśne ostępy, możemy stanąć nawet przed zwisającą z brzozowych gałęzi, seledynową brodawką (*Usnea*).

Czy porosty mogą dla człowieka przedstawiać jakąkolwiek wartość? Oczywiście, niektóre z nich są dobrze znane jako substrat kosmetyczny – działają leczniczo i w przeszłości były masowo pozyskiwane. Na szczęście porosty w naszym kraju najczęściej są chronione i niszczenie ich jest niezgodne z prawem. Wiedza o porostach może być jednak wskaźnikiem, jakich mało. Patrzmy uważnie na pnie i gałązki drzew. Skład porostów, ich wielkość i stan to wskaźniki warunków, w jakich wra- stają bioindykatory czystości środowiska leśnego, a w szczególności jakości powietrza w naszym lesie.

Organizmy, o których mówimy, żyją często w skrajnych warunkach, cierpiąc na chroniczny niedobór minerałów. Rzadko mają bezpośrednią łączność z glebą, w któ-



Przekrój przez plechę porostu. U góry: warstwa korowa grzyba, niżej: intensywnie zielona warstwa glonów leżących na luźnej strukturze strzępkowej (fot. M.W.)



Porosty. Od lewej: *Xanthoria* sp. 1, *Parmelia* sp., *Usnea* sp., *Xanthoria* sp. 2, *Evernia* sp.
(fot. Z.S., M.W.)

rej znajdują się rozpuszczone związki azotu i fosforu, muszą więc być wyczulone na najdrobniejsze cząsteczki mineralne krążące w powietrzu. Porosty pojawiły się na świecie miliony lat temu. Ewolucyjnie przystosowały się do powietrza wolnego od zanieczyszczeń przemysłowych. Jeśli takie występują, wielka czułość porostów na związki krążące w powietrzu i zdolność do ich wchłaniania powodują, że nadmiar związków siarki, azotu i innych substancji znajduje się nagle wewnątrz ich plechy.

Zbyt mało czasu dzieli nas od tzw. rewolucji przemysłowej, byśmy mogli zaobserwować zmianę i nowe przystosowania porostów. Jak na razie wiadomo, że porosty w zetknięciu z zanieczyszczeniami powietrza bledną, słabo rosną i wreszcie giną. Im bardziej fantazyjne są kształty porostu i bardziej rozbudowana powierzchnia chłonna, tym szybciej porost obumrze – o ile dojdzie do zanieczyszczenia powietrza. W miastach, wokół stref intensywnego przemysłu zetkniemy się z pustynią porostową, w nieco dalszej odległości zaobserwujemy pojedyncze tarczki, wyglądające na podłożu jak drobne krostki. Jeśli jednak po wejściu do lasu napotkamy drzewa o gałęziach pokrytych zwisającymi sinymi „brodami”, zielone, liściaste „kapustki” wy-

rastające z pni i szare „kolce” oraz „trąbki” na pniakach – możemy odetchnąć pełną piersią. Tu z pewnością powietrze jest czyste, a my dokonamy licznych wspaniałych odkryć wielu rzadkich gatunków porostów. Dlaczego jednak w zwartym, cienistym drzewostanie nie znajdujemy złotorostu, który nasze oczy cieszy na okrajkach czy na skraju polan? Bo porosty, podobnie jak inne organizmy na świecie, mają swoje preferencje. *Xanthoria* lubi ciepło i wystawia swoje złote tarcze na słońce, na wiatr. Czeka na pierwsze krople deszczu, które sprawią, że ze zdwojoną mocą przystąpi do tworzenia cukrowej słodyczy – dla siebie „w dwóch osobach”.



Dwa gatunki chrobotków (*Cladonia*), (fot. M.W.)



Koźlarz sosnowy (*Leccinum vulpinum*), (fot. Z.S.)

3.

GRZYBY WAŻNE W ŻYCIU KAŻDEGO Z NAS

3.1. Antybioza, antybiotyki, czyli o lekach z grzybów i przeciw grzybom – *Sparassis crispa*, *Penicillium*

Od czasów sir Aleksandra Fleminga ludzie nabrali szacunku do grzybów. Dawniej jawiły się one w najprostszej postaci jako kolorowe owocniki wychylające się z mchu i spomiędzy traw. Nie wiadano wówczas, jakie właściwości mają enzymy i metabolity grzybów. Ba, niektórych grzybów w ogóle nie znano, bo nie widać ich było gołym okiem. Co prawda w medycynie ludowej znana była skuteczność pajęczyny wymieszanej z chlebem na kształt plastra i przykładanej na rany, ale nie znano mechanizmu działania tego „plastra”. Prawdziwe grzyby były utożsamiane raczej z owocnikami zbieranymi do konsumpcji lub w innych celach użytkowych. Stosowano miąższ hubiaka jako gazę opatrunkową, szanowano owocniki chronionego obecnie modrzewnika lekarskiego (*Fomitopsis officinalis*) jako skuteczny lek

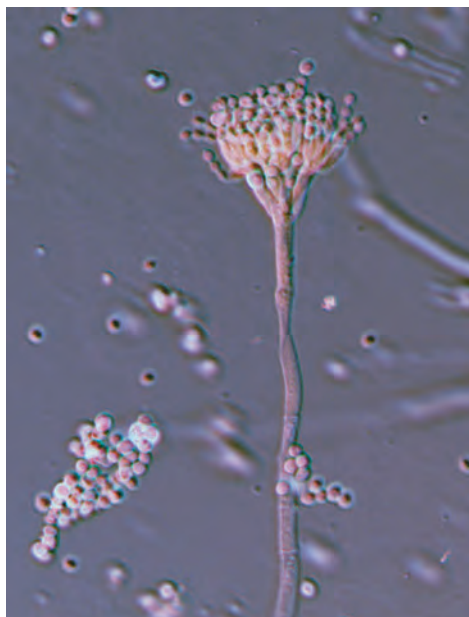


Różne gatunki pędzłaka (*Penicillium*) w hodowlach płytkowych. Z prawej: fragment kolonii *Penicillium chrysogenum* (*notatum*) z charakterystycznymi, żółtymi kropkami przesączu zawierającymi penicylinę i inne metabolity (fot. M.W.)

przeciw rakowi płuc, a także na przeczyszczenie. Nie gardzono naparem z płucnicy islandzkiej (*Cetraria islandica*), wspomagającej leczenie kaszlu, ale stosowanej też na nieżyty układu pokarmowego i biegunki. Jak pamiętamy z naszego narodowego eposu „Pan Tadeusz”, Wojski zbierał muchomory. Zapewne po to, by przygotowywać z nich popularną niegdyś trutkę na muchy w postaci namoczonego w mleku kapelusza. Dlaczego jednak grzyby pomagały? Nie dociekano, bo traktowano je dość długo jako „diabelskie pomioty” i nie było jasne, jakie siły kryją się za ich właściwościami.

W gruncie rzeczy grzybów jak na lekarstwo było niewiele. Dopiero przypadek sprawił, że Fleming zainteresował się dziwnym zjawiskiem braku wzrostu kolonii mikroorganizmów w obecności kolonii grzybowej w prowadzonych hodowlach pożywkowych. Tym tajemniczym gatunkiem okazał się pędzlak *Penicillium notatum*, a zjawisko ograniczania lub hamowania rozwoju organizmu przez metabolity organizmu innego gatunku nazwano antybiozą. Tak odkryto cudowne właściwości tego grzyba – wytwarzanie naturalnej penicyliny. Działo się to w 1928 r., ale dopiero działania wojenne sprawiły, że poszukując skutecznych środków na zakażenia ran, przypominano sobie o wynikach sprzed 15 lat.

Kolejne badania innych grzybów pleśniowych, a także niektórych bakterii, zwłaszcza promieniowców, zostały zwieńczone wyprodukowaniem wielu związków o charakterze bakteriobójczym. Pochodziły one zarówno z podłoży naturalnych, jak i z syntez chemicznych. Najbardziej aktywny szczep *Penicillium* wyizolowano w latach 40. ubie-



Trzonki konidialne *Penicillium* sp. (fot. M.W.)

głego wieku z nadgniętego melona! Dziś takie nazwy jak penicylina czy cefalosporyna są powszechnie znane. To dostępne dla każdego antybiotyki ratujące nasze życie, zwierząt hodowlanych i ulubionych zwierzątek domowych. Również steroidy o działaniu przeciwalergicznym, immunosupresyjnym i przeciwzapalnym człowiek nauczył się pozyskiwać z grzybów. Nie zapominajmy jednak przy tym o pożytecznych dla nas bakteriach, produkujących streptomycynę, tetracyklinę, neomycynę czy chloramfenikol.

W lesie rosną także inne grzyby, mniej znane niż słynne *Penicillium notatum* (obecnie synonim *P. chrysogenum*), których dobroczynne produkty przemiany materii stają się lekiem. Opowiemy o kilku z nich, nie wymienionych w poprzednich rozdziałach, a o zaletach goryczaka żółciowego (*Tylopilus felleus*), wspomnimy w rozdziale 3.6.

Na pewno wielu z nas widziało w lesie (bo jeść nie wolno – pod ochroną), rosnące przy starych pniakach lub korzeniach owocniki siedzunia sosnowego, zwanego też szmaciakiem gałęzistym lub kozią brodą (*Sparassis crispa*). Ten podstawczak tworzy duże owocniki, wielkości głowy kalafiora, a nawet większe, jasne, żółtawe lub beżowe, o poskręcanych, listkowatych rozgałęzieniach. Jak wynika z analiz wykonanych jeszcze w latach 20. ubiegłego wieku, owocniki zawierają związek działający antybiotycznie, nazwany sparassolem. To dzięki niemu owocniki siedzunia w zasadzie nie podlegają gniciu. Obecne badania wskazują, że podczas metabolizowania celulozy i ligniny w drewnie atakowanych drzew wytwarzane są dodatkowo dwa silne środki antygrzybowe, potencjalnie do wykorzystania przeciw wielu patogenom roślin uprawnych.

Z kolei grzyby mikroskopowe, np. *Rhizopus arrhizus*, a także *Cunninghamella* oraz *Curvularia*, wykorzystywane są przy produkcji steroidów (m.in. kortykosterydów, hormonów). A przecież są to bardzo pospolite organizmy, które występując w ściółce leśnej i uczestnicząc w przetwarzaniu cukrów prostych, nadają żyzność glebie (opisałyśmy to w rozdziale 2.1.). Strzępki tych grzybów w prosty i naturalny dla nich sposób wykonują zadanie bardzo trudne do osiągnięcia w warunkach sztucznej syntezy, mają bowiem zdolność wprowadzenia grupy hydroksylowej do lipidowego szkieletu węglowego, przez co stanowią skuteczne narzędzie farmaceutyczne! Podobnie inne grzyby mikroskopowe – należące do pleśniakowców *Mucorales*, a za to o przyrastających szybko grzybniach, takie jak: łukówka *Absidia*, pleśniak *Mucor* czy wspomniany przed chwilą rozłóżek *Rhizopus* – zawierają w swych ścianach komórkowych duże ilości chitozanu (polimer chityny). Znajduje on coraz powszechniejsze zastosowanie w żywieniu człowieka, bo ogranicza wchłanianie tłuszczu i zmniejsza zawartość szkodliwego cholesterolu w układzie krwionośnym.

Interesującym, choć kontrowersyjnym przykładem „dawcy” metabolitów, ponoć skutecznych, i to nie tylko z punktu widzenia autopsychoterapii, są owocniki dwu hub rozwijających się na chorych lub zmarłych brzożach. Pierwsza to tzw. biały grzyb brzoży, czyli pocziwy białoporek brzożowy (*Piptoporus betulinus*), druga zaś to „czar-



Owocnik siedzunia, czyli szmaciaka gałęzistego (*Sparassis crispa*), (fot. Z.S.)

ny grzyb brzozy”, czyli błyskoporek podkorowy, zwany też włóknouszkiem ukośnym (*Inonotus obliquus*). Owocniki obu grzybów mają odmienny i charakterystyczny kształt. U porka są nerkowate, mają podwinięte krawędzie i nieco się opuszczają (geotropizm) jak krótka i szeroka warg nosorożca. Są barwy beżowej, z jaśniejszym, rurkowatym hymenoforem. Mięsz owocnika jest biały, miękki i watowaty, stąd bywa używany do wyrobu szałwików wędkarskich. Grzybnia powoduje dość intensywny, brunatny rozkład pni. Czarny błyskoporek z kolei wywołuje białą zgniliznę drewna. Takie przeciwstawne barwy owocnika i typu rozkładu wydają się nam łatwe do zapamiętania.

Owocniki białoporka rozwijają się tylko rok, podczas gdy rzadziej spotykany w lesie błyskoporek rozwijać się może wiele lat. W rzeczywistości czarne bulwy błyskoporka wyrastające z kory nie są regularnymi owocnikami, ale bezpłciową formą grzyba, w której brązowe strzępki mieszają się z przypominającą węgiel warstwą zewnętrzną i zmienioną morfologicznie korą drzewa. Widujemy je stosunkowo rzadko, bo również w Polsce grzyb ten według tzw. medycyny ludowej jest uważany za skuteczny środek przeciwnowotworowy (czaga) i zwykle odłamywany z pni drzew. A przecież znajduje się pod ochroną częściową, co oznacza, że należy się zwrócić do dyrekcji ochrony środowiska, aby otrzymać pozwolenie na jego pozyskiwanie!



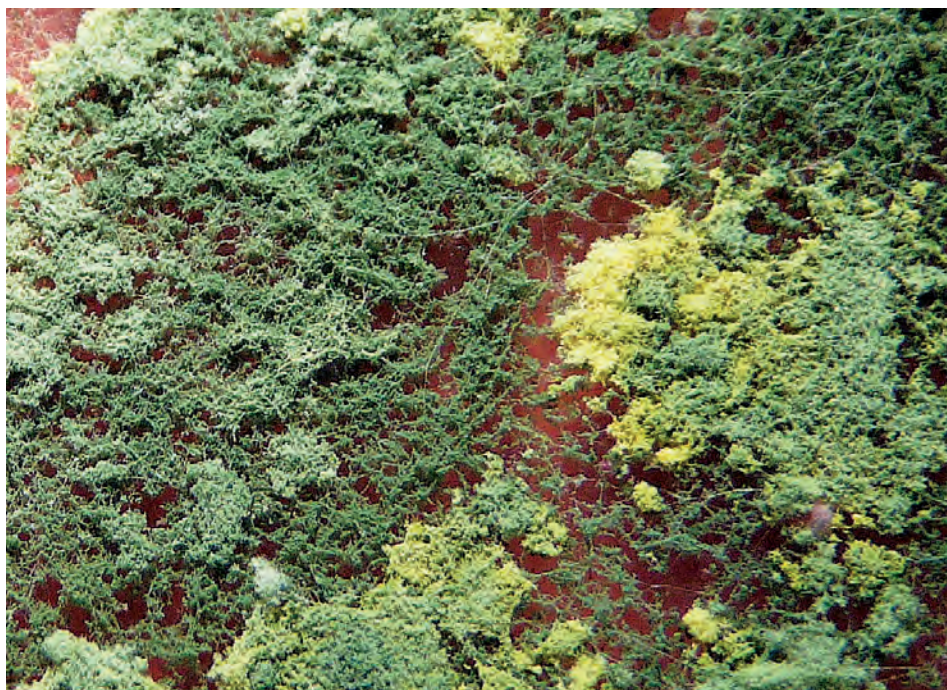
Owocniki białoporka brzoźowego (*Piptoporus betulinus*) i błyskoporka podkorowego, zwane go też włóknouszkiem ukośnym (*Inonotus obliquus*), (fot. M.W.)

Coraz częściej pojawiają się doniesienia o skuteczności stosowania w terapii medycznej wyciągów oraz naparów ze sproszkowanych owocników tych grzybów. Badania laboratoryjne wskazują na obecność w nich antyoksydantów oraz czynników blokujących podziały mitotyczne komórek, co sugeruje potencjalne wykorzystanie w terapiach przeciwrakowych. Nie należy też zapominać o efekcie autosugestii, która nieraz wspomaga leczenie farmakologiczne. Wiele z przytoczonych tu gatunków, takich jak *Fomitopsis officinalis*, *Sparassis crispa*, *Inonotus obliquus*, znajduje się pod ochroną gatunkową. Coraz rzadziej można je spotkać w lesie. Zamierają wraz z powaleniem przez wiatr swojego gospodarza, są zasiedlane i zjadane przez owady leśne, a także niefrasobliwie zrywane przez człowieka. Przede wszystkim jednak dla niektórych zaczyna brakować odpowiednich siedlisk. Bardzo urodziwy grzyb, monetka kleista (*Oudemansiella mucida*), która zawiera mucedynę – skuteczny środek przeciwgrzybiczy – staje się coraz radsza wraz ze zmniejszaniem się arealu najstarszych lasów bukowych. Na szczęście powierzchnia buczyn młodszych klas wieku wzrasta i niebawem grzyb ten znowu będzie częściej notowany. Podobnie jest z *Fomitopsis officinalis*, który zasiedla stare modrzewie, a tych jest coraz mniej w naszych lasach. Nic więc dziwnego, że podejmowane są próby zachowania tego gatunku przez sztuczne namnażanie. Celowe infekowanie drzew, hodowla i ochrona tak zakażonych egzemplarzy, *in situ* i *ex situ*, jest bardzo trudnym procesem, gdyż nieudolnie naśladuje Naturę. Działania takie powinny być jednak podejmowane, aby zachować dla przyszłych pokoleń całą różnorodność biologiczną przyrody. Także te gatunki, które są pasożytami drzew – o ile ich siedliska zanikają – wymagają troskliwej ochrony, nawet jeśli to oznacza „poświęcenie” pewnej liczby zdrowych drzew.

3.2. Enzymy ostre jak nóż do papieru – *Trichoderma reesei*

Kiedy podniesiemy ze ściółki fragment grubszej gałęzi, odegniemy z pniaka wystający kawałek kory lub odwrócimy leżący wycinek drewna, bardzo często dostrzeżemy w jego nawilgoconej części drobne, zielone skupiska jakby mchu lub opilśni. Mają barwę żywozieloną, czasem z białym lub żółtym obrzeżem. Drewno pachnie octem, żywicą i stęchlizną. To niezbyt przyjemna woń. Kojarzy się ze starą, zapleśniałą piwnicą, pełną pajęczyny, starych ubrań i butwiejących desek. A kiedy lekko dmuchniemy na tę zieloną poduszeczkę, to zobaczymy pylistą smużkę unoszących się zarodników. Jest to najczęściej skupiskowa kolonia grzyba należącego do rodzaju *Trichoderma*, a właściwie forma bezpłciowa (*anamorfa**) grzyba workowego z rodzaju *Hypocrea*. Bo to jest taki tajemniczy gatunek – jeden z wielu, których formy płciowa i bezpłciowa (konidialna) są zupełnie odmienne w formie i barwie. Jest przy tym pełen niezwykłych właściwości.

Grzyby strzępkowe *Trichoderma*, tzw. mikroskopijne, bo ich budowa jest widoczna w zasadzie dopiero w dużym powiększeniu, od dawna budziły zainteresowanie badaczy i praktyków. Ich rozwój cechuje niezwykła wręcz zdolność wytwarzania bardzo aktywnych biologicznie, lotnych i nielotnych związków chemicznych. Są to nie raz już tu

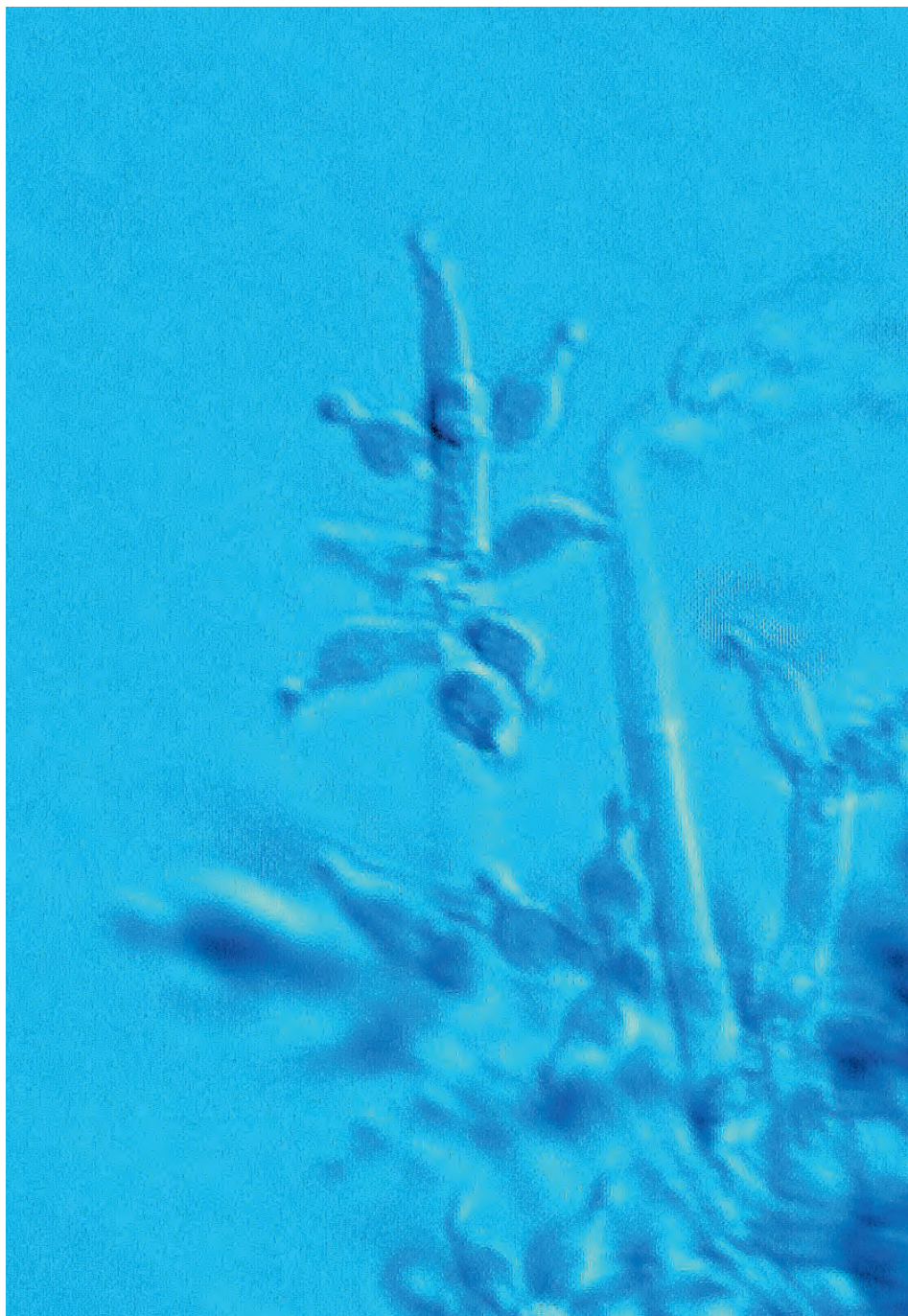


Kolonia grzyba z rodzaju *Trichoderma* (fot. M.W.)

opisywane enzymy, zwłaszcza celulolityczne, i produkty metabolizmu – antybiotyczne seskwiterpeny. Nadawano im nawet specjalne nazwy chemiczne – trichodermina czy wirydyna. Te antygrzybowe właściwości *Trichoderma* wykorzystywano w ochronie lasu przed pasożytami drzew – w metodzie biologicznej przeciw grzybom pasożytniczym powodującym zgorzel siewek w szkółkach, do ograniczania rozwoju ryzomorfopieniek, a także do zwalczania korzeniowca wieloletniego, sprawcy huby korzeni.

Dziś jednak opowiemy o innym wykorzystaniu jednego z grzybów rodzaju *Trichoderma*, a właściwie o zastosowaniu potężnych enzymów *T. reesei* (stadium konidialne workowca *Hypocrea jecorina*), w przemyśle papierniczym. Grzyb ten produkuje bardzo dużo aktywnych enzymów pozakomórkowych. Nie wchodząc w szczegóły ich budowy chemicznej, na podstawie licznej literatury naukowej na ten temat można wyróżnić wśród tych enzymów przynajmniej cztery różne ksylanazy, dwie ksylozydazy, dwie cellobiohydrolazy glukanowe, pięć glukanohydrolaz oraz dwie glukozydazy. Uff, strasznie dużo tych nazw chemicznych. Ale to jeszcze nie wszystko. *Trichoderma reesei* produkuje także mannazę, mannozydazę, arabinofuranozydazę, galaktozydazę, esterazę acetyloksylanową oraz lakazę (oksydoreduktazę). Teraz staje się jasne, dlaczego ten właśnie grzyb tak interesował uczonych, zwłaszcza że okazał się bardzo wydajny pod względem produkcji enzymów powodujących destrukcję ścian komórkowych drewna.

Mechanizm procesu destrukcji drewna i typy rozkładu zostały opisane w rozdziale 2.1., stąd tylko dla przypomnienia: enzymy w tym procesie uczestniczące to białka katalizujące wielostopniowe reakcje hydrolizy – polisacharydu celulozy, polimeru ligniny i ksylanu – do formy najprostszej, czyli glukozy. Grzybnia *T. reesei* najlepiej rośnie w temperaturze około 30–37°C, stąd nosi on nazwę grzyba *mezofilnego**. W takich warunkach najbardziej wydajne szczepy grzyba (Rut-C30, RL-P37, MCG-80), mając odpowiedni substrat z dodatkiem laktozy i L-arabinozy, przy lekko zakwaszonym odczynie podłoża (6 pH), wytwarzają olbrzymie ilości ksylanaz. Są to te enzymy, które w pulpie papierniczej rozczepiają cząsteczkę ligniny, a potem ksylanu, na prostsze elementy. Ksylan jest jednym z najważniejszych składników hemiceluloz, które razem z ligniną i celulozą wchodzi w skład kompleksu ligninocelulozowego w ścianach komórkowych roślin. W hydrolizie ksylanu podczas uwalniania poszczególnych elementów struktury drewna zasadniczą rolę odgrywają enzymy endo-l,4-ksylanaza i egzo-l,4-D-ksylozydaza. Te ksylanazy, łącząc się z odpowiednimi fragmentami cząsteczek ksylanu, rozcinają je na poszczególne fragmenty, doprowadzając do postaci ksylooligosacharydów. Współdziałanie wielu enzymów – ksylanaz, glukanaz, proteinaz i amylaz – zmniejsza spoistość drewna i produktów jego rozkładu, co ułatwia uwalnianie elementów trudno rozkładalnych włókien drzewnych. Enzymy grzyba skutecznie zastępują związki chloru, używane w starszych technologiach papierniczych do wybielania, są zatem bezpieczne dla środowiska.



Trzonek konidialny *Trichoderma*. U góry widoczne butelkowate fialidy wytwarzające pojedyncze, zielonkawe zarodniki (fot. M.W.)

Wyobraźmy teraz sobie, jak przebiega ten proces technologiczny. W potężnych komorach, w optymalnych dla nich pożywkach zawierających celulozę i ksylan, oraz w odpowiedniej temperaturze namnażane są kolonie wybranych, najbardziej aktywnych (tzw. mutanty przemysłowe) izolatów grzyba. Pozyskiwane są pozakomórkowo enzymy – celulazy, przede wszystkim jednak ksylanazy – w ilości nawet 100 g w litrze podłoża. Służą one potem w reaktorach do uwalniania poszczególnych elementów struktury drewna. Łącząc się z odpowiednimi fragmentami cząsteczek ksylanu, rozcinają je jak ostry skalpel na poszczególne fragmenty. Współdziałanie wielu enzymów – ksylanaz, glukanaz, proteinaz i amylaz – zmniejsza lepkość surowca i zwiększa adsorpcję składników odżywczych. Enzymy uwalniają je przez odblokowanie (odcięcie) i hydrolizę trudno rozkładalnych włókien drzewnych.

Już od dawna wiadomo, że produkcja ksylanaz przez grzyby strzępkowe, a zwłaszcza *T. reesei*, jest bardziej wydajna niż ten sam proces w wykonaniu bakterii czy drożdży. Warto w tym momencie wspomnieć, że ksylanazy produkowane przez grzyby są także stosowane w przemyśle piekarniczym do uszlachetniania chleba i poprawiania jakości wypieków cukierniczych przez rozkład polisacharydów w cieście, a także wraz z pektynazami do klarowania soków pitnych, ekstrakcji kawy, ole-

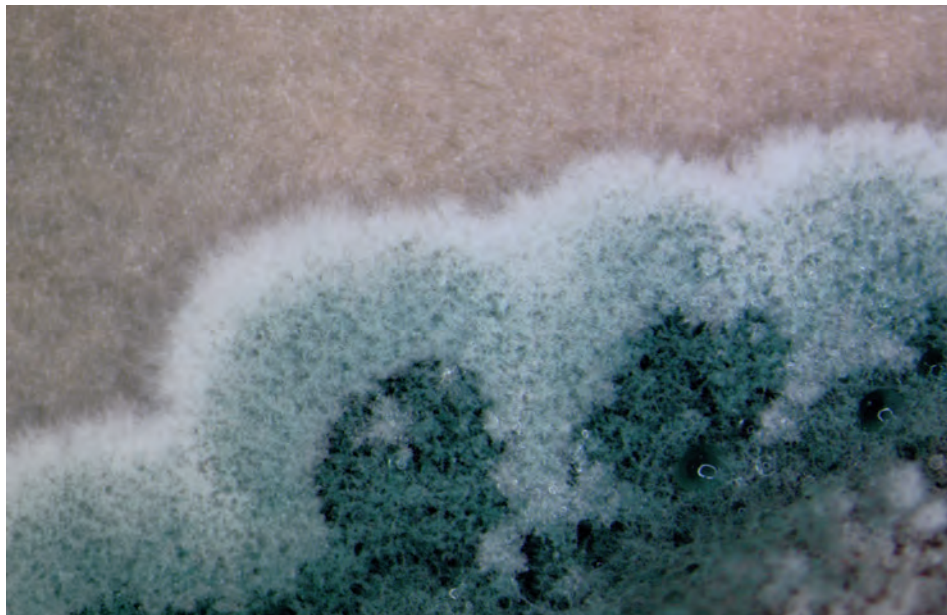


Kolonia *Trichoderma* na rozkładanym drewnie (fot. M.W.)

jów roślinnych i skrobi. Nie wyklucza się także możliwości wykorzystania ksylanaz w kompostowaniu odpadów rolniczych, a nawet do produkcji etanolu jako paliwa.

Genom tego grzyba, czyli pełny zapis sekwencji DNA wchodzącego w skład chromosomów, został szczegółowo opisany niedawno, bo w 2008 r., co pozwala na poznanie szczegółów nieznanych jeszcze procesów metabolicznych, a także odkrycie nowych białek. Rysuje się przed nami również coraz dokładniejsza wizja systemów krzyżowania grzyba i przechodzenia w fazę rozmnażania bezpłciowego. Wykazano, że pomimo wybitnych własności enzymatycznych zestaw genów kodujących celulazy i hemicelulazy jest skromny, a sam genom niewielki, znacznie mniejszy niż innych gatunków z tego rodzaju. Ma to pewne znaczenie przy wykorzystaniu aktywności enzymatycznej wybranych szczepów *T. reesei* w przemyśle. Szczep Rut C-30 charakteryzuje się tym, że ekspresja enzymu celulazy nie ulega represji, czyli nie jest powstrzymywana przez gromadzącą się glukozę, jak u innych klonów. Dzięki temu jego efektywność jest szczególnie wysoka, a aktywność procesu nie zamiera aż do pełnego wykorzystania substratu.

Jest oczywiste, że w nowoczesnym przemyśle wybrane izolaty są genetycznie modyfikowane. Pozwala to na zwiększenie produkcji pożądaných enzymów, na przykład ksylanaz, i usunięcie ekspresji genów kodujących produkcję enzymów niechcianych, np. celulaz. Człowiek dzięki inżynierii genetycznej nauczył się skutecznie zwiększać i zmniejszać wydajność biotechnologiczną grzyba, operując bezpośrednio



Trichoderma sp. na substracie celulozowym (fot. M.W.)

na DNA. Ale to już są tajemnice produkcji. Najważniejsze, że nasz czysty jak świeży śnieg papier powstał dzięki zastosowaniu naturalnych, choć stymulowanych przez człowieka, biologicznych metod wybielania, a nie toksycznego i reaktywnego chloru, działającego drażniaco na układ oddechowy i błony śluzowe.

Wypadałoby wspomnieć, że omówiona wyżej *T. reesei* to jeden z przedstawicieli liczego rodzaju *Trichoderma*, liczącego co najmniej kilkadziesiąt taksonów, do którego należą także niezwykle użyteczne dla środowiska leśnego gatunki: *T. harzianum*, *T. viridescens*, *T. atroviridae*, *T. viride* oraz *T. virens*. Grzyby te wykorzystywane są z powodzeniem w walce biologicznej. Produkują bardzo wiele związków o działaniu antybiotycznym lub fungistatycznym. Ich charakter chemiczny jest różny. Są wśród nich peptydy, terpeny, poliketydy, peptaibole i pyrony. Cały ten oręż służy grzybom w walkach konkurencyjnych, które toczą się nierzadko w ryzosferze roślin. Czasem *Trichoderma* nie tylko powstrzymuje rozwój innych grzybów lub organizmów grzybobopodobnych, takich jak groźne pasożyty *Pythium* i *Phytophthora*, ale i przechodzi do otwartego ataku, praktykując mykopasożytnictwo. Niektóre gatunki działają z kolei antagonistycznie względem nicieni. Okazuje się również, że ta walka przekłada się na korzyść dla roślin – stymuluje ich odporność. Rośliny produkują więc fenole, fitoaleksyny, flawonoidy i terpenoidy, które nie szkodzą gatunkom z rodzaju *Trichoderma*, a powstrzymują rozwój innych grzybów. To jeszcze nie koniec zalet tych niezwykle zielonych pleśni. Niektóre stymulują kiełkowanie i wzrost roślin lub sprzyjają ukorzenianiu się siewek.

Nic dziwnego, że całe instytuty badawcze zajmują się tymi grzybami.

3.3. Smaczne i przydatne w kuchni grzyby spożywcze – twardnik jadalny (*Lentinula edodes*) i drożdże (*Saccharomyces*)

O niektórych leśnych grzybach i ich metabolitach, które są przyprawami stosowanymi w kuchni domowej i przemyśle spożywczym, wspomnimy w kolejnych podrozdziałach (*Tuber*, *Cantharellus*). Być może Czytelnik będzie zawiedziony, bo nie chodzi teraz wcale o suszone borowiki (*Boletus*), marynowane podgrzybki (*Xerocomus*), duszone maślaki (*Suillus*), solone rydze (*Lactarius*) czy nawet o czarne grzyby Mun (*Auricularia*), dodawane do tak lubianej „chińszczyzny”. Tym razem będzie o zupełnie innych gatunkach. Wydawałoby się mało zaskakujących, bo jednak spotykanych w handlu i już znanych smakowo. Mamy nadzieję, że zaciekawimy sposobem ich hodowli.

Jak to się stało, że leśne gatunki zaczęły być masowo uprawiane jak pospolite pieczarki? Zaczniemy zatem od shiitake – twardnika jadalnego, zwanego też japońskim (*Lentinula edodes*). Już sama egzotyczna nazwa handlowa wskazuje, że nie jest to nasz rodzimy gatunek, ale jednak grzyb leśny. W języku japońskim „take” znaczy



Owocniki twardnika jadalnego (*Lentinula edodes*), (fot. Z.S.)

grzyb, a „shii” to nazwa drzewa z rodzaju *Castanopsis*, na którym twardnik najchętniej rośnie. W krajach pochodzenia, to znaczy w Azji Południowo-Wschodniej, występuje jako typowy saprotrof. Zasiedla kłody martwych drzew liściastych, a tamtejsze warunki pogodowe – ciepłe i dżdżyste okresy – stymulują obfite owocowanie. Jest pozyskiwany od ponad tysiąca lat, a przez bardzo długi okres zarówno okazy grzyba, jak i przerośnięte jego grzybnią drewno były w Chinach i Japonii chronione.

Nie wolno było wywozić za granicę inokulum grzyba. Podobnie jak kokony jedwabnika czy zielona herbata, był traktowany niczym skarb narodowy. A jednak tak się stało, że jego sława zawędrowała dalej, rozeszła się po świecie, a w ślad za sławą podążył również sam grzyb i informacje o warunkach, jakich potrzebuje do życia. Twardnik zaczął być hodowany w sztucznych warunkach na kłodach dębu, buka lub grabu, wkopanych lub leżących na ziemi. Przynosił obfite plony. Spopularyzowano go jako smaczną i zdrową potrawę.

Produkcja owocników nie jest skomplikowana, zwłaszcza w „wersji domowej”. W kłodach drewna liściastego boruje się otwory lub wykonuje nacięcia, umieszcza w nich inokulum grzyba i przykrywa. I to wszystko. Resztę wykona Natura. Twardnik jest saprotrofem, powodującym biały rozkład drewna. Jego grzybnia wydziela liczne enzymy trawiące celulozę i ligninę. Polewanie kłody wodą (większa wilgotność), a także umieszczanie w szklarni lub przykrywanie folią zwiększa plon. Po pewnym czasie cała kłoda jest pokryta owocnikami twardnika. Nie są zbyt okazałe, zwykle wielkości spodeczka, ale liczne. Kapelusz barwy brązowej, z wieloma ciemnymi łuseczkami, osadzony jest na dość grubym, jasnobrązowym, bardzo elastycznym trzonie. Spodnia część kapelusza, czyli hymenofor, jest zwykle jasny, niemal biały, jednak z wiekiem staje się czerwonawy. Blaszki mają charakterystycznie piłkowaną krawędź. To, co nas najbardziej interesuje, to miąższ – jest biały, delikatny w smaku,

aczkolwiek smakosz znajduje w nim lekką nutę kwasku. Doskonały do zupy i jako duszony – wtedy dopiero nabiera właściwego zapachu i smaku grzybów. A krokiety lub pierożki z twardnika, podane z pikantnym barszczem czerwonym – palce lizać!

Z ostatnich badań medycznych wynika, że owocniki twardnika wykazują wiele korzystnych właściwości – obniżają poziom groźnego cholesterolu, mają właściwości przeciwnowotworowe, zmniejszają sztywność naczyń krwionośnych. Nawet jeśli smażymy owocniki tego grzyba (na maśle), to po ich spożyciu zawartość złego cholesterolu (LDL) we krwi się obniża, co jest dobrą wiadomością dla smakoszy ceniących grzyby w tłustym sosie.

Najbardziej znanym i cenionym związkiem pochodzącym z twardnika jest β -glukan o nazwie lentinan. To właśnie jemu przypisuje się właściwości przeciwnowotworowe. W medycynie wschodniej shiitake ma o wiele więcej zastosowań, jeszcze nie potwierdzonych klinicznie. Największe nadzieje wiąże się ze zdolnościami wzmacniania odporności organizmu w wypadku chemicznego leczenia nowotworów.

Ale wróćmy do naszych grzybów spożywczych. Chodząc po lesie, często mijamy owocniki, które wyśmienicie nadają się do spożycia, ale są w Polsce zupełnie nie zbierane. Niektóre z nich mają dobrą prasę w innych krajach. To na przykład zimówka aksamitnotrzonowa, zwana też płomiennicą (*Flammulina velutipes*), która nawet zimą może zaspokoić nasz apetyt na grzyby. W krajach azjatyckich jest uprawiana na drewnie i nosi nazwę handlową „enoki”. Innym grzybem, który warto znać i umieć go rozpoznać, jest rosnący w kępkach, podobnie jak zimowka, łuszczak zmienny (*Kuehneromyces mutabilis*) o dwubarwnym kapeluszu, którego gromady porastające pniaki drzew liściastych ucieszą każdego smakosza. Ciekawostką jest, że grzybnia tego gatunku stosowana była kiedyś do zmiękczenia drewna używanego do produkcji ołówków.

Równie smaczne są potrawy z owocników bocznika ostrygowatego (*Pleurotus ostreatus*). Znany jest on od dawna jako grzyb leśny porastający martwe pnie brzozy,



Fragment hymenoforu twardnika jadalnego (*Lentinula edodes*) z piłkowanymi krawędziami blaszek (z lewej) oraz przekrój poprzeczny przez blaszki z wyraźnie wyodrębnioną warstwą zarodnikotwórczą (z prawej), (fot. Z.S., M.W.)



Owocniki *Kuehneromyces mutabilis* gotowe do spożycia (fot. K.K.)

topoli czy buka niemal przez cały rok. Owocniki są zwykle jasne, beżowe, szare. Wyrastają spod kory swojego gospodarza kępowo, jeden nad drugim. Grzybnia szybko rozkłada substrat, dzięki czemu bocznik bywa stosowany w leśnictwie do ochrony pniaków liściastych przed infekcją i rozwojem opieńkowej zgnilizny korzeni (rozdział 2.3.). Dla celów konsumpcyjnych owocniki są produkowane w ofoliowanych balotach wypełnionych substratem, uprzednio sterylizowanym, a potem zaszczipionym kulturą mateczną naszego grzyba. Właściwie to pojawiają się na ścianach balotów – po tym, jak wykona się w nich w odpowiednim momencie małe otwory, równomiernie rozmieszczone na każdej ze ścian. Tworzenie się owocników stymuluje obecność w powietrzu odpowiednich rozcieńczeń dwutlenku węgla oraz



Grupy owocników *Pleurotus ostreatus* – widok od strony hymenoforu (fot. K. K., M.W.)

etylenu. Baloty (np. w formie sześciątów o boku 1 m) po niedługim czasie są całe obrośnięte owocnikami, które maczetą ścina się do pojemników, segreguje według wielkości i paczkuje. Plon można zbierać nawet trzy razy w ciągu roku.

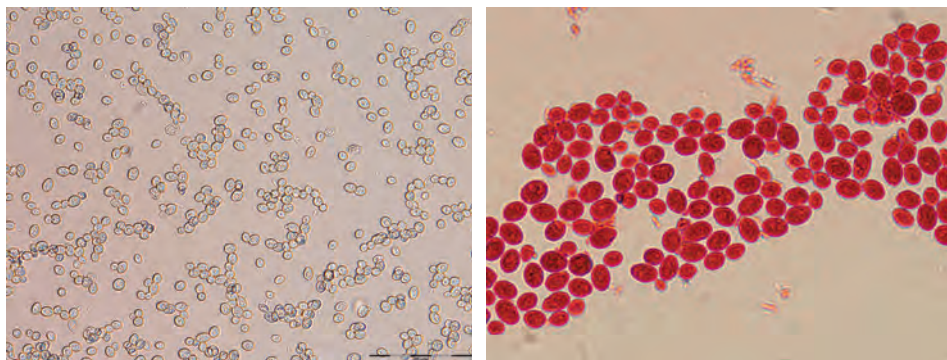
Hodowlę bocznika można założyć również na własne potrzeby. Można zaszczyć tym grzybem klocki drewna – podobnie jak twardnikiem – lub użyć jutowych worków, wypełnionych wysterylizowaną sieczką słomianą, otrębami albo innymi substratami. Wzrost grzybni stymuluje już temperatura 10°C, dobrze rośnie w temperaturze do 25°C, a im cieplej, tym chętniej tworzy owocniki. Hodując w ten sposób grzyba, można pozyskiwać owocniki przez trzy – cztery miesiące. Słoma jest dla grzyba pożywną strawą, jeśli jednak żyje on w drewnie, wówczas odczuwa niedobór azotu. Ma na to swój sposób, o którym zapewne mało kto wie. Grzybnia „poluje” na nicienie i z ich ciał pozyskuje brakujące substancje. Wydaje się, że nicieniobójcza aktywność bocznika jest związana z produkcją nadtlenku kwasu linolowego, choć wiele szczegółów mechanizmu polowania pozostaje niejasnych. W grzybni powietrznej bocznika hodowanego w warunkach sztucznych dają się zauważyć kropelki przesącza, które dotknięte przez nicienia powodują jego paraliż. Nieruchome zwierzę zostaje wkrótce przerośnięte strzępkami i strawione. Znika bez śladu.

W rozdziałach 2.1. oraz 3.1. wspomnieliśmy o ważnym grzybie należącym do rzędu pleśniakowców, a mianowicie o rozłożku (*Rhizopus*). Warto zdawać sobie sprawę, że jest on powszechnie wykorzystywany przez kucharzy azjatyckich i afrykańskich do różnych procesów fermentacyjnych. Tempeh to potrawa przygotowywana z nasion soi, które lekko zmiażdżone lub zmielone zostają zalane wodą i zaszczone grzybnią. Po kilku dniach masa sojowa umieszczona w beczkach i lekko podgrzewana przerasta strzępkami, a następnie przekładana jest do plastikowych woreczków, gdzie dojrzewa. Ostateczny produkt gotowy do sprzedaży przypomina tofu, znane na polskim rynku i cenione przez smakoszy i wegetarian.

Możemy wymienić znacznie więcej fermentowanych przez grzyby napojów i potraw. Sos sojowy uzyskuje się dzięki fermentacji nasion przez kilka gatunków kropidlaków *Aspergillus*, a ciastka ryżowe „Ragi” przygotowują dla nas *Mucor* (syn. *Amylomyces*) *rouxii* oraz drożdże *Endomycopsis burtonii*.

Nieocenione zasługi dla ludzkości mają drożdże *Saccharomyces cerevisiae*. Te drobne i wszędobylskie komórki żyjące w naturze na skórkach owoców, liściach i soku roślinnym są specjalistami od fermentacji. Nigdy nie tworzą strzępek. Rozmnażają się głównie przez pączkowanie. Jedna balonikowata komórka może wytworzyć aż 16 nowych komórek, które czasem jeszcze nie oddzielone od komórki-matki same zaczynają tworzyć kolejne pączki.

Drożdżom zawdzięczamy tak wiele! Wino, piwo, drożdżowe bułeczki – to ich domena. Nie są typowymi grzybami. Należą do klasy workowców *Ascomycetes*, ale nie tworzą grzybni. Cechuje je bardzo niewielki genom – ich przepis na to, jak być „droż-



Komórki drożdży (*Saccharomyces cerevisiae*) na różnych podłożach (fot. A.B.)

dżem”, jest uproszczony. Dobrze znoszą warunki beztlenowe, w których zaczynają fermentować cukry proste i przekształcać je w alkohol etylowy. Drożdży pospolitych jest co najmniej 30 gatunków, ale nie wszystkie służą człowiekowi. Niektóre z nich, szkodliwe dla producentów, mogą powodować zubażanie produktu w alkohol lub nadawać mu nieprzyjemny smak bądź śluzowatą konsystencję. Drożdże są również źródłem witamin z grupy B i czasem wykorzystywane są jako osłona żołądka przy kuracjach antybiotykowych. Co więcej, przemysł farmaceutyczny i chemiczny wspomagają się nimi przy produkcji prostaglandyn – hormonów o krótkim i miejscowym działaniu. To wszystko dzięki wybitnym zdolnościom hydrolitycznym drożdży. Są w stanie metabolizować estry, fosfolipidy, lipidy i wiele innych związków.

Tak, drożdże mają chyba jeszcze większą liczbę wielbicieli niż borowiki! I zapewne niejedną jeszcze swoją tajemnicę mogą nam ujawnić.

3.4. Lata winne, lata nie winne – gronowiec szary (*Botrytis cinerea*)

Jest takie porzekadło francuskich producentów win: „Dobre lata dla wina – dobre i dla owadów, złe lata dla wina – dobre dla grzybów”. Jest niestety trafne i nie wróżące nic dobrego. Nie tylko dla winorośli i koneserów wina, ale także dla lasu. Szara pleśń, bo ją mamy na myśli, to nazwa choroby powodowanej przez grzyb o nazwie *Botrytis cinerea*. Ten niepozorny gatunek o ciemnych, dość wysokich strzępkach i jasnych zarodnikach należy do klasy workowców *Ascomycota*, a jego płciowy odpowiednik znany jest jako *Botryotinia fuckeliana*. Jego głównym czynnikiem infekcyjnym są zarodniki konidialne. To je przede wszystkim dostrzegamy w postaci mącznego, szarego nalotu na pleśniejących truskawkach i starych winogronach. Grzyb znany był już w starożytnych czasach, kiedy dziesiątkował winnice Rzymian i Gallów, pozbawiając ich lokalnego napoju.

Zanim omówimy cykl rozwojowy szarej pleśni na sadzonkach w szkółce, w namiocie foliowym czy na pędach modrzewia w uprawie, warto przypomnieć rolę groźnowca szarego, a także innych grzybów, w winnicach i przy produkcji wina. Wszak *In vino veritas*, ale pamiętajmy, że *In aqua sanitas* – w winie prawda, ale w wodzie zdrowie. Chorobie kwiatów i liści winorośli, a także dojrzewających owoców, sprzyja wilgotna i ciepła pogoda. Taka sama, która jest niezbędna do dobrego wzrostu upraw. Woda pobierana z gleby przez korzenie wędruje do pędów, liści i owoców, jest rozpuszczalnikiem dla produkowanych ciągle węglowodanów, nasycza dojrzące grona winorośli. Jeśli na takie cieplarniane warunki natrafi zarodnik *Botrytis*, oczywiście kiełkuje, rozrasta się, wydziela aktywne związki do podłoża, powoduje zmiany enzymatyczne substratu i wreszcie tworzy strzępki, a na nich zarodniki konidialne. Zimą, lub po prostu przy braku dostępnego pożywienia, formuje sklerocja, z których wiosną rozwijają się kolejne strzępki z trzonkami konidialnymi.

Niekiedy jednak wpływ grzyba *Botrytis cinerea* może zyskać uznanie człowieka, w niektórych bowiem okolicznościach dodaje winu tajemniczego aromatu. To właśnie dzięki tej pleśni tokaj aszú zyskuje szczególną nutę smakową. Ten szlachetny, słodki trunek produkowany jest w rejonie Tokaj na Węgrzech. Rosnące na południowych stokach wzgórz Hegyalja białe szczepy winogron w sposób naturalny stają się żywicielami grzyba *Botrytis*, który powoduje odwadnianie, wędnięcie i kurczenie się gron. Jednocześnie wzrasta w nich stężenie cukru i kumulują się olejki eteryczne.



Grzybnia i konidiofory *Botrytis cinerea* – sprawcy szarej pleśni (fot. T.K.)



Zarodniki *B. cinerea* w dużym powiększeniu (fot. T.K.)

Grzyb wytwarza kwas glukonowy i glicerol, wpływające na smak wina i jego konsystencję. Z takich właśnie gron, lekko podfermentowanych, otrzymuje się później esencję smakową dodawaną do moszczu winnego, który tymczasem jest już poddany działaniu innych grzybowych specjalistów – drożdży, o których była mowa w rozdziale 3.3. Drożdże, jak wiemy, dzięki swym enzymom pracowicie fermentują

cukry zawarte w soku i miąższu winogron. To one są współtwórcami smaku, bukietu i... ceny wina. *Botrytis* potrafi jednak całkowicie zmarnować zbiór winogron, jeśli pojawi się zbyt wcześnie, i smak wina – gdy żywe strzępki dostaną się do moszczu. Enzymy grzyba degradują związki smakowe, a botrytycyna wydzielana przez gronowca działa antagonistycznie w stosunku do drożdży, spowalniając lub zatrzymując fermentację. Co więcej, glukany grzyba utrudniają kolejny etap produkcji wina, czyli jego klarowanie.

W naszych warunkach grzyb *Botrytis cinerea* ma jednoznacznie złą sławę. Atakuje kwiaty i liście, pędy i korzenie. No i oczywiście owoce. Pod wpływem wydzielanych przez rosnące strzępki enzymów gospodarz lub przetworzony z niego substrat zaczyna zupełnie zmieniać swój charakter. Roślina więdnie, pędy brunatnieją, na liściach pojawiają się ciemne, suche plamy, a na ich spodniej stronie wyrastają licznie trzonki z gronami zarodników konidialnych. Gdyby taki trzonek konidialny odwrócić i spojrzeć przez szkło powiększające, to bardzo przypominałby kiść winogron, którą zwykle kupujemy w sklepie.

Na szczęście istnieje wiele preparatów skutecznych na tę chorobę winorośli. Chemię trzeba właściwie stosować cały czas – od kwitnienia po owocowanie, i to co dwa tygodnie. A to na pewno wpływa na smak wina. Należy dla porządku wspomnieć i o innych chorobach winorośli – mączniaku rzekomym i mączniaku prawdziwym na liściach oraz o opieńkach w korzeniach. We Francji to prawdziwe utrapienie właścicieli winnic.

A jak zakażenie *Botrytis* wygląda w lesie? Podobnie, tylko gospodarz jest inny. Cykl życiowy tego grzyba, który najpierw jest patogenem na żywych tkankach, a potem saprotrofem w martwych, jest dość prosty. Zarodniki konidialne infekują tkanki okrywające pędu czy liścia, wnikają doń z dużą siłą tzw. strzępką kielkową, która przekształca się w strzępkę infekcyjną. Poprzez swe enzymy i metabolity grzybni, coraz bardziej rozrastająca się w miękiszu liścia czy pędu, powoduje ich zamarcie. W porażonych miejscach następuje rozkład tkanek, na zewnątrz zaś pojawiają się trzonki konidialne z pylącymi zarodnikami gronowca. Pod jesień w tych miejscach tworzą się niewielkie, czarne skleroty.

Wiosną, podobnie jak na winorośli, skleroty pękają i kielkują. Pobudzają je ciepło wiosennego dnia i poranna rosa dająca wilgoć. Strzępki kielkowe dadzą początek kolejnej grzybni z wytwarzanymi, zwłaszcza po deszczach, konidioforami. Zazwyczaj niepełny, bo bez owocników, cykl życiowy sprawcy szarej pleśni się zamknie. Niektóre grzyby całkowicie lub niemal zupełnie rezygnują z rozmnażania płciowego. Tak jest też w wypadku *Botrytis*. Wiemy, że choć rzadko, to jednak w sprzyjających warunkach owocniki o kształcie trąbki na dość długim trzonku mogą się wytworzyć. Są wówczas podobne do innych miseczkowatych grzybów z rodziny twardnicowatych (*Sclerotiniaceae*). Forma płciowa, która uznawana jest za skojarzoną z *Botrytis*, nosi nazwę *Botryotinia fuckeliana*. Warto tę nazwę zapamiętać, bo zgodnie z pra-



Szara pleśń na przekwitłej róży rabatowej (fot. M.W.)

wem taksonomicznym, które nakazuje stosowanie tylko jednej nazwy łacińskiej dla każdego gatunku, nazwa *Botrytis* będzie coraz rzadziej stosowana.

Okazuje się, że wytworzenie przetrwalników, dające dobrą ochronę w czasie zimy lub suszy, i intensywne zarodnikowanie bezpłciowe stanowią wystarczający oręż do efektywnego rozwoju – zarówno saprotroficznego, jak i pasożytniczego. Porażone siewki modrzewia, którego szara pleśń szczególnie sobie upodobała, a także młode pędy wielu gatunków drzew liściastych, nawet starszych, potrafią w szybkim tempie zwiędnąć i zamrzeć. Szkody, jakie *Botrytis* powoduje w leśnictwie, może nie są porażające w skali kraju, bo łącznie stanowią tylko kilka hektarów, ale lokalnie mogą zniszczyć cały wysiew modrzewia na szkółce czy w szklarni – tysiące młodych drzewek, którym nie dane było wyrosnąć.

Chorobie, oprócz cieplej i wilgotnej pogody, sprzyja także uszkodzenie pędów przez przymrozki późne, kiedy wiosną pojawiają się niskie temperatury powietrza. W uwilgoconych tkankach mogą wtedy zamarznąć cząsteczki wody, a wówczas zniszczeniu ulegają błony komórkowe, następuje denaturacja białek, uwalniają się cukry. Powstaje gotowa pożywka dla *Botrytis*. Należy zatem unikać przegęszczenia zasiewów modrzewia czy jodły w szkółkach, przewietrzać szklarnie oraz wysadzać sadzonki tych gatunków dość luźno na uprawie. Wiatr zwykle nie dopuszcza do tworzenia się zastoisk mrozowych, a wiosną zmniejsza wilgotność powietrza.

Szara pleśń nie jest zatem tak niewinna, jak by się nam wydawało.

3.5. Cętkowane jak pantera – muchomor plamisty (*Amanita pantherina*) i czubajka kania (*Macrolepiota procera*)

Muchomora czerwonego zna dziś chyba każdy. Dorośli wspominają Żwirka i Muchomorka z bajki na dobranoc, dzieci już w przedszkolu uczą się o grzybach leśnych na przykładzie dobrego borowika i złego muchomora. Panuje ogólny pogląd o szkodliwości muchomora czerwonego dla ludzi – i dobrze, bo przynajmniej nie jest zrywany. Co prawda grzyb ten nie jest aż tak trujący, jak inne muchomory, ale dzięki swej barwie i okazałym rozmiarom stał się symbolem grzyba zdradliwego i sprowadzającego śmierć. Dla lasu jest to bardzo pożyteczny grzyb ektomykoryzowy, jeden z pionierów symbiozy z sosną czy brzozą, wysadzanych na grunty porolne, o prawdziwym lesie nie wspominając. Rzeczywistym trucicielem jest natomiast ciągle zbyt mało znany muchomor zielonawy, zwany też sromotnikowym (*Amanita phalloides*), sprawca 95% śmiertelnych zatruc w naszym kraju, corocznie zbierający swoje żniwo. Z uwagi na jasną, żółtozieloną, a nawet niemal białą barwę jest często mylony z podobną do niego smaczną, młodą pieczarką leśną (*Agaricus silvaticus*), z gąską zielonką (*Tricholoma equestre*), a także ze spotykanym tylko pod brzozami



Rosnący owocnik *Amanita phalloides* (fot. K.K., Z.S.)

gołąbkim białozielonawym, czyli grynszpanowym (*Russula aeruginea*) czy ze smakowitym gołąbkim zielonawym, zwanym też zielonym (*Russula virescens*). Warto zwrócić uwagę, że gąska zielonka jest grzybem, który powinniśmy traktować z pewnym dystansem. Jeśli stanowi podstawę posiłków w ciągu kilku dni pod rząd może spowodować bardzo poważne objawy chorobowe związane z rozkładem mięśni poprzecznie prążkowanych. Bądźmy zatem zawsze czujni, zbierając zielono zabarwione owocniki. W mykologii „zielony” traktowany jest jako kolor ostrzegawczy.

Muchomor zielonawy ma zresztą takie cechy, które pozwalają odróżnić go od podobnie ubarwionych grzybów. Podczas porannej rosy jego kapelusz jest nieco kleisty, ale po wyschnięciu staje się błyszczący. Blaszki hymenoforu są zawsze białe, nie przyrośnięte do trzonu, podczas gdy u pieczarki przybierają barwę od różowej do brązowej, a u gąski są żółtozielone. Dobrze jest zapamiętać te różnice! Trzon kapelusza w części środkowej ma nieco zwisający pierścień, natomiast na dole jest wyraźnie bulwiasty i wyrasta z otwartej pochwy. Ważne – cechy tej nie wykazują ani pieczarka, ani gąska zielonka. Na górnej powierzchni kapelusza muchomora sromotnikowego nie ma zazwyczaj plamek ani cętek, jak u muchomora czerwonego, toteż wielu, nawet wykształconych zbieraczy grzybów z wielkich miast, nie kojarzy go z muchomorami. Niestety jest stosunkowo często spotykany w naszych drzewostanach, nawet w lasach miejskich i parkach. Mimo że w prasie oraz telewizji wielokrotnie przypomniane jest ostrzeżenie i prezentowany jego wygląd, to zatruć wynikających z nieświadomej konsumpcji tego muchomora ubywa powoli. Tylko w 2007 r. zatruto się w Polsce i było hospitalizowanych 14 osób, z czego trzy osoby zmarły.

Do muchomora sromotnikowego bardzo podobne są inne muchomory – m. wiosenny (*A. phalloides* ss. *verna*), m. jadowity (*A. virosa*) czy m. cytrynowy (*A. citrina*). Wszystkie mają zazwyczaj kapelusze gładkie i jasne, czasem śnieżnobiałe, trzon z pierścieniem oraz bulwiastą pochwą, łatwo widoczną po ostrożnym wyjęciu owoc-

nika z gleby (robimy to oczywiście wyłącznie po to, aby poznać jego wygląd i zidentyfikować gatunek). Muchomor cytrynowy, który możemy odróżnić od pozostałych po zapachu surowych ziemniaków, jest słabo trujący, natomiast dwa pozostałe zawierają te same toksyny, które czynią muchomora sromotnikowego niebezpiecznym zabójcą. Są to fallotoksyny i amatoksyny. Wśród nich najstraszniejsza w działaniu jest alfa-amanityna – polipeptyd zawierający nietypowe aminokwasy. Jego stężenie letalne LD_{50} wynosi 0,2 mg/kg masy ciała. Liczba ta oznacza tyle, że małe dziecko, ważące 10 kg, ma tylko 50% szans na przeżycie, jeśli zjadło kawałeczek grzyba, zawierający 2 mg toksyny. Dlaczego tak mała dawka wystarczy, aby zabić? Otóż toksyna łączy się z enzymem polimerazą II i III RNA, blokując proces przepisywania informacji genetycznej w komórkach i, co za tym idzie, produkcję wszystkich białek. Można to porównać z rozpedzoną maszyną, której ktoś powtykał patyki między zębate kółka. Maszyna staje. Komórki zamierają. Szczególnie wrażliwe na tę toksynę są komórki wątroby. Ulegają rozkładowi błony cytoplazmatyczne komórek wątroby,



Podobne do muchomora zielonawego (sromotnikowego): muchomor jadowity (*Amanita virosa*), gołąbki zielonawy i białozielonawy (*Russula virescens* i *R. aeruginea*) oraz gąska zielonka (*Tricholoma equestre*), (fot. M.W., Z.S.)

zwłaszcza rybosomy syntetyzujące białka, uszkodzone zostają jądra komórek nerek. Zazwyczaj kilka dni po niefortunnym spożyciu pacjent umiera, zapadając na śpiączkę wątrobową.

Mniej osób zna gatunek muchomora, który spełnia swe ważne ekologiczne funkcje w lesie jako mykoryzowy partner drzew, ale dla człowieka jest również prawdziwym złoczyńcą. Jego jad znajdujący się w owocniku, czyli mieszanina muskaryny, kwasu ibotenowego oraz muscymolu, w wypadku spożycia potrafi bardzo szybko (już po 30 minutach) zamrozić nawet dorosłego mężczyznę. To muchomor plamisty, zwany też panterowym (*A. pantherina*). Jego jasnobrązowy lub brudnoczerwony kapelusz pokrywają regularne, drobne, białe plamki, będące pozostałością osłony częściowej, rozrywającej się na kawałeczki, gdy owocnik kończy stadium jaja i wychyla się z pochwy. Poznać go możemy po tym, że na trzonie powyżej pochwy zaznaczają się nieliczne, ale wyraźne wałeczki i zgrubienia. Bywa mylony z jadalnymi muchomorami, które przyjmują podobne zabarwienie – czerwonym (*A. rubescens*), a także z mniej smacznym i jadalnym tylko po przegotowaniu, m. twardawym (*A. spissa*). Ale i tych jednak lepiej nie zbierać!

Muchomory jako grupa są zdradliwe. Niektóre mogą sprawić konsumentom wiele satysfakcji, inne spowodować śmierć, a jeszcze inne wywołują niezwykle silne pobudzenie układu nerwowego. Wśród związków, których lista rośnie, wymienić należy cykliczne peptydy, etylo- i izoetyloaminy, toksyny falloidowe (falloidyna i jej pochodne), amanityny, pochodne 3-hydroxyisoksanoli – kwas ibotenowy, muscymol, muskazon, muskaryna, bufotenina i zapewne wiele innych. Obecnie łączy się je w trzy grupy: amatoksyny, fallotoksyny i wirotoksyny. Niektórzy twierdzą, że najbardziej trujący jest niepozorny pierścień na trzonie muchomora, my jednak odkładamy tę informację między bajki.



Owocnik trującego muchomora plamistego (*Amanita pantherina*) – z lewej, kapelusz jadalnego muchomora czerwieniejącego (*A. rubescens*) – w środku oraz muchomora cytrynowego (*A. citrina*) – z prawej. Łatki na kapeluszu muchomora plamistego są śnieżnobiałe i regularnie rozmieszczone, podczas gdy łatwo zdzierające się łatki na kapeluszu muchomora czerwieniejącego są brudnoróżowe. Nietrwałe brązowiejące łatki na kapeluszu muchomora cytrynowego szybko ulegają spłukaniu przez deszcz. Lepiej jednak nie zbierać żadnego z nich! (fot. K.K.)



Podobne do muchomora plamistego: czubajka kania (*Macrolepiota procera*) – A, czubajka czerwieniejąca (*Macrolepiota rachodes*) – B oraz czubajeczka szorstka (*Lepiota aspera*) – C (fot. M.W., K.K.). Jedynym z pewnością bezpiecznym grzybem z tej trójki jest czubajka kania

Opisaliśmy już działanie amanityny. Falloidyna z kolei niszczy czerwone ciała, przez co powoduje gwałtowne niedotlenienie organizmu. Na szczęście rozkłada się w wysokiej temperaturze. Co innego amanityna – ta pozostaje aktywna i trwała niezależnie od długości gotowania. Kwas ibotenowy jest agonistą receptorów glutaminowych, a muscymol, który jest produktem dekarboksylacji kwasu ibotenowego, odpowiada za większość objawów pochodzących ze strony układu nerwowego. Łącząc się z receptorami GABA A, wpływa na działanie kory mózgowej, mózdzku i *hipokampu**. Kwas γ -aminomasłowy oraz muscymol zwiększają stężenie jonów chlorkowych w komórkach nerwowych, co z kolei hamuje czynność neuronalną. Pobudzenie receptorów w mózdzku przejawia się chwiejnym chodem, przypominającym zataczanie się osób pod wpływem alkoholu, a działanie na hipokamp wpływa na pamięć. I tutaj działalność *agonistyczna** (nie mylmy z antagonistyczną) wobec receptorów kwasu γ -aminomasłowego wywołuje okresową amnezję. Jednocześnie muscymol zwiększa stężenie serotoniny i acetylocholino w mózgu, a obniża stężenie noradrenaliny.

Specjalnie używamy nazw medycznych, aby wyrazić grozę sytuacji. Spożywajmy tylko takie grzyby, które znamy. A najlepiej grzyby o hymenoforze rurkowym, a nie blaszkowym. Na wszelki wypadek. Może poza jednym wyjątkiem... Jest taki grzyb blaszkowy o owocniku podobnym do dużego muchomora, który nie dość, że jest jadalny, to dodatkowo jest wyśmienity w smaku i ma rozkoszny zapach. Namoczony w ciepłym mleku, potem posypany bułką tartą lub otoczony roztrzepanym jajkiem i usmażony na maśle... Albo grillowany... Albo ususzony w ciepłym powietrzu i wydający najpiękniejszy aromat grzybowy na świecie... Nie warto z niego rezygnować, kierując się strachem przed muchomorami. Po prostu warto go poznać. Zapewne już się domyślamy, że chodzi o czubajkę kanię (*Macrolepiota procera*).

Już sam wygląd owocnika – gdy rośnie w trawie na wyprostowanym, cienkim trzonie, dumny jak paw lub sowa, jak go nazywają niektórzy – wskazuje, że jest czymś wyjątkowym. A jednak zawsze powinniśmy się zawahać, dokładnie obejrzeć



Owocniki czubajki kani (*Macrolepiota procera*) w całej okazałości (fot. M.W.)

jego sylwetkę, wierzch i barwę kapelusza, pierścień na trzonie, poczuć zapach. To wszystko są elementy porównawcze, które powinny nas upewnić, że mamy do czynienia z kanią, a nie z muchomore. A zatem zapamiętajmy: owocnik czubajki kani jest wyższy, osiąga nawet 40 cm, trzon cieńszy i pusty w środku, z przesuwającym się pierścieniem o podwójnej obwodce, kapelusz większy, płaski z wystającym środ-

kiem, wierzch kapelusza pokryty dachówkowatymi łatkami, środek górnej części kapelusza jednolicie brunatny, nie popękany, hymenofor blaszkowy, beżowy. Owocnik przyjemnie pachnie.

Teraz już na pewno unikniemy pomyłki. No, najwyżej pomylimy z innymi, mniejszymi czubajkami – czerwieniejącą (*M. rhacodes*) lub cz. ogrodową (*M. hortensis*), przed którymi jednak też należy się mieć na baczności. Najwięcej problemów z rozpoznawaniem stwarzają młode owocniki o nie w pełni wykształconych cechach porównawczych. Wtedy nawet czubajkę kanię można pomylić z młodym czernidłakiem kołpakowatym (*Coprinus comatus*). To jednak nie zaszkodzi, oba grzyby w stanie młodym i jędrnym są wyśmienite. Czernidłak niestety tylko bardzo krótko ujawnia szczyt swej formy. Czasem już po przyniesieniu do kuchni zaczyna czernieć i rozpływać się, tracąc wszelkie walory. Wtedy lepiej go nawet nie dotykać, bo usmarujemy się na czarno.

Zwierzęta na ogół nie mają problemów z grzybami. Kieruje nimi nieomylny instynkt, z którego ludzie niejako wyrosli, stając się osobnikami racjonalnymi i myślącymi. Dla wielu gatunków zwierząt – mykofagów – owocniki są codziennym pożywieniem lub okazjonalnym przysmakiem. Grzyby, jak wiadomo, zawierają od 70 do 94% wody, stąd do pokrycia zapotrzebowania na białka i związki fosforu zwierzęta muszą spożywać ich duże ilości. Co prawda grzyby są mniej kaloryczne niż na przykład orzechy czy owoce leśne, ale dla larw wielu owadów, a także wielu większych zwierząt, owocniki grzybów kapeluszowych stanowią pożywny i często jedyny z wyboru pokarm. Nawet opisywana dalej (rozdział 3.8.) tak rzadka trufla jest smakowitym, a przez to zapalczywie poszukiwanym pożywieniem dzików. A może dlatego zwierzęta spożywają owocniki grzybów, że zawierają cenne dla nich związki chemiczne, niezbędne do prawidłowego rozwoju? Strzępki, na przykład, mają w sobie stosunkowo duże ilości ergosterolu, prekursora hormonów, który jest niezbędny dla ssaków oraz owadów, a także triterpeny, aminy, indole. Są bogate w różne związki fenolowe, biotyinę, niacynę, kwas pantotenowy i ryboflawinę. Wiadomo też, że kumulują znaczne ilości makroelementów oraz metali ciężkich, przez co są dobrym źródłem zaopatrzenia zwierząt w te pierwiastki w wypadku ich niedoboru w środowisku. Z drugiej strony człowiek wykorzystuje tę cechę w *bioremediacji** terenów skażonych.

„Inne pospólstwo grzybów pogardzone w braku, dla szkodliwości albo niedobrego smaku; lecz nie są bez użytku, **one zwierza pasą. I gniazdem są owadów i gajów okrasą**” (podkreślenie Autorów – przyp. red.). Tak Wieszczył słusznie wskazywał w „Panu Tadeuszu”, że zwierzęta nie tylko nie mają problemów z grzybami, lecz czerpią nawet konkretne zyski z ich obecności w środowisku. Umiejętność rozpoznawania grzybów przez zwierzęta została dawno już przez biologów opisana, ale nadal nie do końca wiadomo, jakie są mechanizmy odróżniania przez nie owocników jadalnych od trujących. Czy służy temu tylko wyrafinowany węch zwierzęcia i subtelny, oryginalny zapach grzyba? Czy pośredniczy w odbieraniu sygnałów zwie-



Podobny do młodej kani, ale jakże odmienny – czernidłak kołpakowaty (*Coprinus comatus*), (fot. K.K.)



„...one zwierza pasą i gniazdem są owadów i gajów okraszą” – największy z krajowych skoczogonków (*Tetrantonophora bielensis*) posilający się na owocniku włośnianki (*Hebeloma*) oraz gołąbek wymiotny (*Russula emetica*) – jeden z najbardziej jaskrawych gołąbków na tle zielonego dna lasu (fot. M.W.)

rzęcy „smakowęch”, czyli narząd Jacobsona, czuły na cząsteczki feromonów krążące w powietrzu?

A może i czułki niektórych owadów reagują na subtelne sygnały płynące z pulsujującej grzybni? Z pewnością działają tu bodźce – i zapachowe, i wzrokowe – na które wrażliwość jest cechą nabytą w procesie ewolucji. Niektóre owady składają jaja w wybranych w tym celu młodych owocnikach po to przecież, aby zapewnić potomstwu dostatnie pożywienie przez cały okres ich wzrostu (rosną wraz ze swoim obiadem). A potem mają czas na przepoczwarczenie się i podjęcie dorosłego życia.

Ale to już jest zagadnienie z zakresu etologii zwierząt.

3.6. Kiedyś podgrzybek, teraz borowik (*Boletus badius*) i wcale nie szatan, ale goryczak (*Tylopilus felleus*)

Postęp genetyki czyni tak szybkie i duże zmiany w taksonomii i systematyce, że nawet mykolodzy nie nadążają. A co ma mówić zwykły grzybiarz? Dla niego ważne jest, by dobrze rozpoznać napotkany owocnik grzyba – czy jest on jadalny i go wyciąć, czy niejadalny albo trujący, a więc pozostawić. Dylematy przynależności gatunkowej czy nawet rodzajowej są rozstrzygane w laboratoriach i pracowniach uczonych. A są one fascynujące i czasem zaskakujące. O wyłączeniu grzybów z królestwa roślin i powołaniu odrębnego już pisaliśmy w rozdziale 1. Mówiąc zatem o florze i faunie regionów, powinniśmy wspominać również o fundze (*Fungia*). Sformułowanie to, lansowane przez niektórych mykologów i ekologów, zasługuje na naszą akceptację i podnosi pozycję grzybów, stawiając na równi ze zwierzętami i szatą roślinną.

Teraz kilka słów o stałym elemencie naszej borowej fungii – podgrzybku, który niedawno został nazwany borowikiem oraz o podobnym do niego goryczaku żółciowym, zwanym często i niewłaściwie szatanem. Oba grzyby właściwie trudno nazwać mniej znanymi, ale zdecydowanie mniej znane są ich właściwe, prawidłowe nazwy, więc niewątpliwie możemy o nich wspomnieć w naszej opowieści.

Podgrzybek brunatny zaliczany jest do borowikowatych, ale do niedawna był klasyfikowany do odrębnego rodzaju *Xerocomus*. Teraz, jak czytamy w najnowszym wykazie mykologicznym Index Fungorum lub na stronie internetowej Mycobank, większość gatunków podgrzybka (brunatny, brzoskwiniowy, czerwony, morawski, obciętozarodnikowy, pasożytniczy, złotawy czy żeberkowy) otrzymała nazwę *Boletus*. W rodzaju *Xerocomus* pozostało zaledwie dziewięć gatunków, w naszym kraju w ogóle nie notowanych. Podgrzybek brunatny, czyli obecnie borowik kasztanowy (*Boletus badius*), to chyba najbardziej rozpowszechniony jesienią grzyb jadalny z żółtym i żółtozielonym hymenoforem rurkowym, ciemniejącym po uszkodzeniu. Jest niezbyt wysoki, zaopatrzony w brązowokasztanowy, a czasem ciemno-brązowy kapelusz, osadzony na dość grubym, bulwiastym, ale też niekiedy cienkim trzonie z charakterystycznym brązowym nalotem. Preferuje lasy iglaste i mieszane. Świetnie się prezentuje na tle zielonej kępki mchu, na krawędziach zbuchtowanej przez dziki gleby czy w pobliżu pnia starej sosny. Jako borowik należy do grzybów ektomykoryzowych, ale często wyrasta spod kory pniaka czy pod zwalonym przez wiatr drzewem.

Na pewno jego enzymy potrafią rozkładać tkanki drzewne, ale nie jest typowym saprotrofem. Interesujące jest, że grzybnię tego borowika, w porównaniu z innymi



Młody oraz dorosły owocnik borowika kasztanowego (*Boletus badius*), do niedawna zwanego podgrzybkiem brunatnym (*Xerocomus badius*), (fot. T.L., Z.S.)



Podsuszzone owocniki *B. badius* – na górze – swoją barwą przypominają owocniki mleczajka rudego (*Lactarius rufus*) – na dole. Ale gdy zajrzemy pod spód kapelusza... (fot. M.W.)

rodzajami grzybów ektomykoryzowych, cechuje większa częstość występowania aktywnych strzępek na mufkach mykoryzy. Metodami fluorescencyjnymi sprawdzono, że mufka *Boletus radius*, owinięta na korzonkach świerka, wykazuje wielki potencjał w przechwytywaniu związków azotu, fosforu, potasu, magnezu, żelaza i cynku. Związki azotu i fosforu uwidocznione zostały w wodniczkach gęsto rozlokowanych w strzępkach mufki. Może to oznaczać, że borowik kasztanowy jest dobrze przystosowanym grzybem do środowisk gleb kwaśnych, a jego mykoryzy są bardzo skuteczne w pobieraniu i przechowywaniu makroelementów.

W okresie wysypu grzybów, w ciągu jednej nocy pojawiają się w lesie setki, tysiące młodych owocników. Są błyszczące od porannej rosy, której drobinki utrzymują się na kasztanowych kapeluszach. Stare przysłowie łacińskie głosi: „Grzyb wyrasta w ciągu jednej nocy” (*Fungus una nocte nascitur*). Jak to się dzieje? Otóż wyrastają równocześnie, bo wiele z owocników to *de facto* klony; połączone pod ziemią plechą grzybniaową tworzą jeden wielki osobnik. Niewykluczone, że niektóre grzybnie łączą się w glebie w całym lesie jak wielka sieć telekomunikacyjna (lub Internet) czy wspomniana w rozdziale 2.3. opieńka. Ale co jest impulsem do wytworzenia na

splocie strzępek grzybni specjalnych tworów, zwanych *primordium**, a z nich dojrzających owocników zamiast grzybni wegetatywnej? Czy wynika to z odpowiedniego stężenia azotu i cukrów lub auksyn w rosnącej grzybni? A może to wpływ specyficznego rozcieńczenia etylenu, który jako hormon powstaje w wyniku syntezy przez ważny aminokwas – metioninę – i działa bodźcowo na niektóre strzępki? Ale dlaczego metionina ulega przemianie w strzępkach równocześnie i to w różnych miejscach w lesie? Co ją do tego skłania? A może powodują to poranny wzrost stężenia dwutlenku węgla albo zmiany ciśnienia powietrza lub wilgotność nocnej rosy? Zapewne wszystko razem. Tyle jest jeszcze niewiadomych.

Oddziaływaniu czynników środowiska na wzrost grzybni czy owocników grzybów poświęcono wiele prac naukowych, ale niewiele jest takich, które wyjaśniają istotę tego mechanizmu bodźcującego. Nie wyklucza się, że może być to efekt sytuacji stresowej. Badania na modelowych drożdżach wykazały, że gdy w określonej fazie podziału komórkowego dojdzie do spadku stężenia azotu obecnego w powietrzu, grzyb wchodzi na szlak procesu płciowego. Czy podobny proces steruje owocnikowaniem grzybów kapeluszowych? Nie wiadomo. Na razie więc możemy to literacko nazwać „impulsem Natury”.



Dorodny plon młodych owocników borowika kasztanowego (fot. T.L.)



Liczne owocniki korkozębu kieliszkowatego (*Phellodon tomentosus*), często spotykane w ubogich borach sosnowych (fot. M.W.)

Czas wytworzyć owocniki i wysiać zarodniki. Bo zbliża się zima. Bo nadchodzą grzybiarze. Borowiki, które w porę wyspały drobniutkie, brązowe zarodniki przypominające mikroskopijne pestki daktylowe, będą miały w przyszłości potomstwo. Te zaś, które „przegapiły” moment szczególnie korzystny, przemarzną lub zostaną zjedzone. Selekcja naturalna i sztuczna nieubłaganie redukują liczbę owocników. Tylko pewna część wyprodukowanych spor ma szansę utworzyć nową grzybnię w niezajętym dotychczas środowisku i konkurować o pokarm. Przetrwają tylko niektóre z nich. Najdoskonalsze osobniki, współgrające z otoczeniem, precyzyjnie odpowiadające na sygnały płynące ze środowiska, przeniosą cechy gatunkowe dalej – w czas przyszłych grzybobrań i nowych drzew.

A owocniki borowika kasztanowego (nazywajmy go nadal podgrzybkiem) są równie smaczne jak prawdziwka, maślaka czy koźlarzy. Nadają odpowiednią konsystencję zupie grzybowej, sosom, a także marynacie. Zawierają przy tym wiele cennych substancji, takich jak antyoksydanty (anizole, toluen BHT, czy tokoferol), a także rzadkich, ale potrzebnych w niewielkich ilościach metali, np. manganu, cynku czy selenu. Jednocześnie mają zdolność gromadzenia metali ciężkich. Ta cecha

już nas nie zachwyca. Jak wykazały badania monitoringowe, owocniki podgrzybka mogą kumulować ołów, miedź i kadm nawet w dużych ilościach. Należy zatem jeść je z umiarem, a przy tym pamiętać, że zjedzenie podgrzybka surowego lub półsurowego może sprawić nam przykrą niespodziankę. Zawarty w jego strzępkach trójpierścieniowy alkohol – boletol – działa drażniąco na układ pokarmowy, wywołując kolikę jelitową, wymioty i biegunkę, czasem tak intensywne, że niezbędna staje się hospitalizacja tych smakoszy, którzy nie potrafili doczekać aż do pełnego, termicznego przygotowania potrawy.

Bardzo podobny do podgrzybka brunatnego, zwłaszcza o jaśniejszym kapeluszu, a także do młodego kozłarza babki (*Leccinum scabrum*) lub do piaskowca kasztanowatego (*Gyroporus castaneus*), jest owocnik grzyba o pięknej ucho i gardło nazwie – goryczak żółciowy (*Tylopilus felleus*). Jeżeli nauczymy się zauważać kilka cech charakterystycznych dla tego niejadalnego z uwagi na smak, ale nie trującego owocnika, to z pewnością rozpoznamy go z daleka.

Nie trzeba go zrywać i dotykać końcem języka, aby sprawdzić, czy jest gorzki, czy nie. Bo jest, i to bardzo. Inne cechy charakterystyczne to zamszowata, cielistobrązowa barwa kapelusza i wyraźny, biały, nieco wywinięty brzeżek kapelusza. Spod kapelusza zazwyczaj wystaje poduchowaty hymenofor barwy jasnowrzosowej, przy czym rurki nie są okrągłe, ale mają kształt rombu. Wyraźnie bulwiasty u nasady trzon owocnika przybiera barwę kapelusza, jaśniejszą u góry, tuż pod kapeluszem. Zazwyczaj na trzonie daje się zauważyć brązowy, siatkowaty wzór. Jest to grzyb ekotomkoryzowy, bardzo użyteczny dla drzew iglastych, nie tylko z uwagi na jego kooperację z korzeniami drzew, ale także ze względu na znaczący udział w dekompozycji substancji organicznych na dnie lasu, zwłaszcza ściółki.



Owocniki goryczaka żółciowego (*Tylopilus felleus*), (fot. K.K.)

Ale goryczak może być także użyteczny dla nas. Z pewnością nie w kuchni, lecz w apteczce w formie leku. Jego owocniki zawierają duże ilości rozpuszczalnego w wodzie glukanu, redukującego cholesterol. Cholesterol, a zwłaszcza jego nadmiar jest, jak wiemy, niepożądany w tętnicach, ale pewna jego ilość jest niezbędna do budowy błon komórkowych. Równowaga cholesterolowa w organizmie jest niezwykle istotna dla naszego zdrowia. I tu, u osób mających problemy z produkcją steroli, w sukurs może przyjść goryczak jako regulator produkcji kwasów żółciowych, a także niektórych hormonów. Może dlatego nadano mu nazwę gatunkową „żółciowy”, bo jest gorzki jak żółć, ale może się też okazać potrzebny organizmowi człowieka jak żółć.

Okazuje się po raz kolejny, że grzyby uznawane za „niepotrzebne” (bo niejadalne) mają ogromne znaczenie nie tylko dla zasobów przyrodniczych, dla lasu, ale także dla człowieka, korzystającego pośrednio z dóbr leśnych.

3.7. Kurka (*Cantharellus*) i lisówka (*Hygrophoropsis*), czyli o grzybowej menażerii leśnej

Żółte jak kurczaczki owocniki pieprznika, zwanego pospolicie kurką (*Cantharellus cibarius*), zna z pewnością każdy z nas. Obok muchomora to chyba najbardziej rozpoznawalny grzyb w lesie. I nie tylko u nas, ale w całej Paleoarktyce, a nawet w odległej Afryce. Jest zdrowy i smaczny. Z jajeczną, w zupie czy w sosie wraz z maślaczkami. Nieco pieprzny smak owocnika doskonale oddaje jego polska nazwa – pieprznik. No i jest jadalny, bezpieczny. Owocniki pieprznika jadalnego, podobnie jak jego bracia i siostry z rodziny pieprznikowatych, są bogate w naturalną witaminę C. Według encyklopedii jest jej nawet 0,4 mg/g świeżej masy, czyli 250 g owocników kurki jest równoważne z zawartością sztucznie wytworzonego kwasu askorbinowego w jednej drażetce z apteki. Tyle że drażetka jest tylko kwaśna, a kurki smażone na maselku... palce lizać! A do tego zawierają także dużo potasu i witaminy D2 (prohormon ergokalcysterol), ważnego związku oddziałującego na symbiozę mykoryzową z drzewem, a dla nas substancji regulującej gospodarkę wapniową. Ciekawe jest również to, że zawierają taką formę ergosterolu, która w badaniach wykazuje właściwości grzybobójcze i owadobójcze. Może dlatego owocniki kurki w naszych zbiorach podczas grzybobrania okazują się zawsze „zdrowe”, to znaczy są bez larw owadów.

Czy to latem, czy nawet późną jesienią, owocniki pieprznika masowo pojawiają się w lasach. Lubią zarówno gleby piaszczyste, pokryte tylko opadłymi igłami sosny lub świerka, jak i mszyste siedliska lasów mieszanych. Bo dla grzyba nie ma to większego znaczenia. On musi mieć kontakt z korzeniami drzewa, utworzyć mykoryzę i w ciepłe wilgotne dni po obfitych deszczach wykształcić całe rodziny młodych owocników. To wydaje się takie proste, ale w rzeczywistości proces tworzenia mykoryzy, a właściwie



Owocniki pieprznika, znanego jako kurka „zawsze jadalna” (fot. K.K.)

ektomykoryzy, a następnie fazy owocowania, jest bardziej skomplikowany. Analizy DNA wykazały, że istnieje aż 17 odmian i form pieprznika, charakteryzujących różne siedliska, roślinę gospodarza czy lokalizację geograficzną. Ta zmienność wyraża się zarówno barwą kapeluszy, szybkością wzrostu, jak i obfitością tworzenia owocników, a także zróżnicowaną aktywnością produkcji niektórych enzymów, cytokinin i auksyn. Na przykład stwierdzono, że grzybnia występująca w borach iglastych cechuje się większą niż grzybnia w lasach liściastych produkcją aktywnej endoglukanazy (β -glukanazy). Jest to o tyle ważne, że enzym ten hydrolizuje wiązania celulozowe, a zatem ma udział w nawiązywaniu kontaktów symbiotycznych z korzeniem. Ale to nie wszystko. Grzybnia pieprznika musi mieć jeszcze swojego partnera, towarzyszącego jej w najważniejszych momentach życia. To są bakterie. Bardzo specjalne i jakby tylko do towarzystwa. Nazywają się *Pseudomonas fluorescens*.

W środowisku są dość powszechne i co prawda należą do tego samego rodzaju, co budząca grozę szpitalna pałeczka ropy błękitnej (*P. aeruginosa*), ale dla nas są przyjazne. Ich nazwa wywodzi się od zdolności luminescencyjnych w promieniach światła ultrafioletowego. Są urzęsione, mają możliwość ruchu w roztworze glebowym, co nie jest bez znaczenia. Szczepy bakterii izolowane ze szpitali, od chorych na mukowiscydozę, oraz z gleby leśnej, choć pod względem genetycznym (region 16S rDNA) są tak podobne, że określane jako jeden rodzaj, jednak wykazują dużą odmienność aktywności fizjologicznej, zależnie od miejsca ich występowania. W warunkach leśnych ta aktywność jest inna w glebie bez owocników pieprznika, inna tam, gdzie one występują, a jeszcze inna w samej grzybni i owocnikach.

Mechanizm współpracy jest następujący. Wraz ze wzrostem drzewa korzenie „napotykają” w glebie zarodniki czy grzybnie *Cantharellus*, jak i bakterie *P. fluorescens*. Dochodzi do nawiązania syntezy mykoryzowej. Bakterie z początku żyją w śluzowatej wydzielinie w przestrzeni międzysząpkowej na powierzchni mufki mykoryzowej. Sprzyja temu słabo kwaśny (około 6 pH) odczyn środowiska



Mufki ektomycoryzowe pieprznika utworzone na korzeniach jodły (fot. R.W.)

wegetatywnych strzępek grzybniovych (bakterie zamierają, gdy odczyn jest niższy niż 4 pH). W miarę rozwoju grzybni w glebie i tworzenia owocnika – wzrastają wraz z nim. Po pewnym czasie udział bakterii w strzępkach grzybni może być nawet kilkakrotnie większy niż w otaczającej glebie. Może dlatego tak doskonale sobie tam radzą, gdyż grzyb dostarcza im swoje wydzieliny, które są związkami niezbędnymi bakteriom do życia: mannitol oraz dwucukier trehalozę. A bakteria, odwzajemniając się za możliwość wzrostu i reprodukcji, zachowuje się jako tzw. *helper*, czyli wspomagacz w formowaniu syntezy mykoryzowej. Nie wpływa bezpośrednio na wzrost owocnika, ale działa jak katalizator. Znaczenie tej współpracy może wyjaśnić poznanie genomu *Cantharellus*, wiadomo jednak, że bakterie ułatwiają tworzenie się symbiozy przez uruchamianie związków odżywczych z roztworu glebowego mają zarówno zdolność denitryfikacji, jak i wiązania azotu z powietrza atmosferycznego oraz uczestniczą w ochronie korzeni przed patogenami.

Podobne zjawiska symbiozy z bakteriami zaobserwowano u niejadalnych bądź nawet szkodliwych grzybów, takich jak włośnianka *Hebeloma* oraz krowiak *Paxillus*. Coraz częściej udowadnia się, że bakterie i grzyby żyją zgodnie i mimo silnych enzymów i metabolitów, które są w ich posiadaniu, nie wyrządzają sobie nawzajem szkody. A pożytek przynoszą nierzadko także i człowiekowi.



Owocniki lisówki pomarańczowej (*Hygrophoropsis aurantiaca*), łudząco podobnej do kurki, zawsze są znacznie bardziej giętkie niż owocniki pieprznika (fot. Z.S., K.K.)

Niestety, o pożytku kulinarnym nie można powiedzieć w stosunku do bardzo podobnej do pieprznika lisówki pomarańczowej (*Hygrophoropsis aurantiaca*), należącej do rodziny lisówkowatych. Występuje na tych samych stanowiskach, co i kurka, ale częściej przy pniakach lub nawet na bardzo starym, zmurszałym drewnie niż na ściółce. Rzeczywiście, lisówka jest jak lis – chytrze i zwodniczo do niej podobna. Jest tylko... taka jakaś „chudsza” i soczyście pomarańczowa. Hymenofor owocnika zamiast listewek, jak u pieprznika, ma cienkie blaszki wyraźnie zbiegające po trzonie. Nie raz nawet wytrawny zbieracz grzybów schylił się po owocnik, ale tuż, tuż przed jego wycięciem się zawahał. Zresztą wystarczy dotknąć owocnika, by przekonać się, że nie mamy do czynienia z pieprznikiem. Lisówka jest znacznie mniej zbita, nie ma sztywności typowej dla kurki, jest elastyczna i miękka. Co więcej, nie jest jadalna, bywa nawet uważana przez wielu za trującą, zawiera bowiem liczne metabolity, powodujące u człowieka zaburzenia jelitowe, a u osób wrażliwych – nawet silne odwodnienie. No i nie jest to grzyb mykoryzowy, tylko saprotroficzny. Powoduje tzw. brunatny rozkład drewna, gdyż w pierwszej kolejności rozkłada celulozę i hemicelulozy (ksylan) drewna korzeni i pni. Uczestniczy zatem aktywnie w tworzeniu próchnicy – urodzajnej warstwy w glebie leśnej. A czyni to dzięki bardzo aktywnym enzymom, które uwalniają w trakcie różnych procesów metabolicznych grzybni duże ilości kwasu szczawiowego. Ten kwas wykazuje zdolności wietrzenia (rozdzielania) minerałów glebowych, a dzięki temu wzrost rozpuszczalności próchnicy. Tak zatem szczawiany produkowane przez tego niepozornego grzyba zwiększają dostępność fosforu i innych biogenów (składników odżywczych) dla roślin. Ich pobieranie odbywa się za pomocą strzępek grzybów mykoryzowych, także pieprznika. Lisówka jest więc również bardzo pożyteczna w środowisku leśnym i nie stanowi dla kurki konkurencji, wręcz przeciwnie, wspomaga jej rozwój.

Jeżeli choć raz ktoś nam pokaże, że ten żółty owocnik to jadalny pieprznik, a tamten pomarańczowy to lisówka, to z pewnością już nigdy się nie pomylimy. Będziemy także rozumieć, dlaczego tak trudno jest prowadzić sztuczne uprawy pieprznika i dlaczego wzgardzona lisówka jest dla środowiska glebowego w lesie bardzo ważna.

3.8. Tajemnicze grzyby podziemne. Czy to trufla (*Tuber*), czy piestrówka (*Rhizopogon*)?

Trufle – grzyby o przedziwnym zapachu, budzące wiele medialnych emocji, owiane mgłą tajemnicy... Banalne pożywienie dzika, czy rarytas smakosza? Afrodyzjak, czy cuchnący kartofel? Mało kto jadł prawdziwą białą truflę (*Tuber magnatum*), więc i opinie są raczej zasłyszane. My jedliśmy i poczuliśmy się nieco zawiedzeni. A to dlatego, że w pamięci tkwiły nam dwa zdania Jeana Anthelma Brillat-Savarina, francuskiego salomowca i znawcy kulinariów z przełomu XVIII i XIX wieku, który mawiał: „Pokaż mi co jesz, a powiem ci, kim jesteś”, a trufle nazywał „brylantami kuchni”. Mimo że nie poczuliśmy się po królewsku, to jednak odczuliśmy ich niesamowity, przenikający zapach.

Również w naszych lasach owocniki truflి są czasem spotykane, a ich grzybnia jest wręcz bardzo często identyfikowana przez badaczy mykoryz. Wydaje się, że znikomość doniesień o owocnikach może wynikać albo z niedostatecznej znajomości tych ukrytych skarbów, albo z naturalnego ograniczenia owocowania przez te organizmy.

Wiadomo już, że warunki klimatyczne Polski nie sprzyjają wzrostowi białej truflి piemonckiej (*T. magnatum*), ani truflิ czarnozarodnikowej, zwanej perigordzką

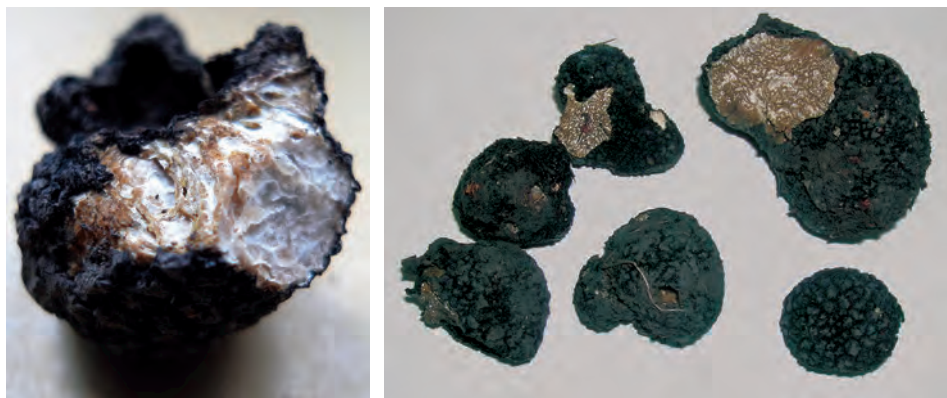


Nawet po odgarnięciu ściółki znad owocnika trudno go dostrzec na tle gleby (fot. Z.S.)

(*T. melanosporum*), najbardziej poszukiwanych we Francji czy Włoszech. Umożliwiają natomiast występowanie owocników wielu drobnych i średniej wielkości gatunków należących do rodzaju *Tuber*, przy czym trzy z nich zostały niedawno w naszym kraju po raz pierwszy odkryte. Dla porządku należy je wymienić: obok znanej już truflii letniej (*T. aestivum*) rozpoznano truflę rudą (*T. rufum*), wgłębną (*T. excavatum*) i prawdopodobnie *T. fulgens*. Trufle odnaleziono z pomocą psa rasy lagotto romagnolo całkiem niedawno, bo pięć lat temu, ale owocniki *T. aestivum* odnotowywano już w latach 50. ubiegłego stulecia (brak okazów porównawczych). Z przekazów historycznych oraz z jałospisów ksiąg kucharskich z XVII wieku wiadomo, że trufle stanowiły przysmak arystokracji. Niestety brak jest wzmianki, czy były to okazy przywożone z południa Europy, czy też rodzime z naszych lasów. Ale skoro dawniejsi magnaci jeszcze w XVIII wieku hodowali psy tresowane do szukania truflii, to kto wie...? I co ciekawe, działo się to blisko Warszawy, w pradolinie Wisły, kiedy szumiały tam jeszcze prastare dąbrowy. Nawet Maria Dąbrowska w swoich „Dziennikach Powojennych” wspomina prof. Stefana Bryłę (twórcę pierwszego na świecie spawanego mostu drogowego), który w ogródku pod Warszawą hodował trufle. W Polsce, w wielu specyficznych miejscach znajdowano już owocniki truflii letniej nawet w pokaźnych ilościach, a także, choć dość rzadko, notowano owocniki kontrastowo ubarwionej na przekroju *T. mesentericum* oraz *T. bellonae*.



Owocniki dwu gatunków truflii stwierdzone w Polsce – czarnej truflii letniej (*Tuber aestivum*) oraz truflii rudej (*T. rufum*), (fot. Z.S.)



Owocniki *T. aestivum* z widoczną marmurkową strefą zarodnikotwórczą (tzw. gleba), (fot. D.H, Z.S.)

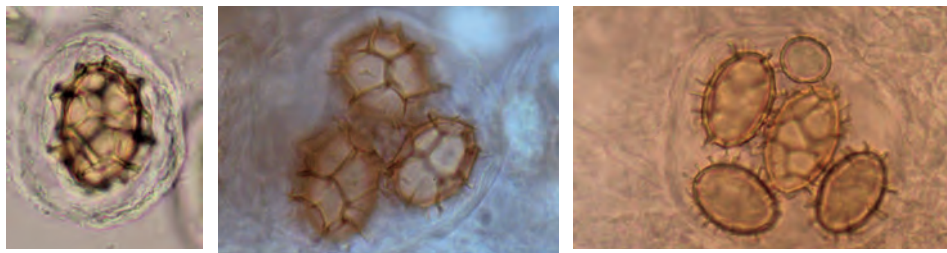
Dlaczego trufle są tak cennym okazem? Bo są rzadko spotykanym grzybem. „Spotykanym” – to niewłaściwe słowo dla grzyba podziemnego, który całe swoje życie spędza bez dostępu światła. Trufle trzeba wykryć, odszukać i wykopać. A nie jest to prosta sprawa. Preferuje gleby wapienne o dużym udziale węgla wapnia i o odczynie około 7 pH. A nasze gleby leśne na ogół są kwaśne. Jeśli już odszukamy takie lasy, na rędzinach czy na innych glebach wapiennych, to musimy wiedzieć, że trufle – grzyby tworzące mykoryzę – nie współdziałają ze wszystkimi gatunkami drzew. Musimy wypatrzeć, gdzie rosną buki, dęby, leszczyna. To będzie najlepsze miejsce. Najszlachetniejsze trufle hodowane na południu Europy współżyją z dębem omszonym, którego w Polsce nie znajdziemy poza jedną enklawą położoną na naszych zachodnich rubieżach nad Odrą. Jeśli chcemy je sfotografować w naturalnych biotopach, musimy udać się na południe Europy. Ale czy warto szukać właśnie tylko tych dwóch gatunków? Skoro i w naszym kraju trufle bywają znajdowane, to spróbujmy je wytropić. Ba, ale jak znaleźć miejsce z owocnikiem? Przecież znajduje się 10 cm, a czasem nawet 30 cm pod ziemią. Ponieważ grzyb ten cechuje się bardzo specyficzną wonią, której źródłem jest ponad 300 różnych związków zapachowych, także siarkowych, jedynie wytrawny nos grzybiarza, nozdrza dzika lub wąż specjalnie wytresowanego psa jest w stanie owocnik wyczuć. Pies pomoże nam dodatkowo owocnik wykopać i nienaruszony odda właścicielowi. Ale skąd w ogóle wziął się tam owocnik?

Trufle należą do workowców. A z poprzednich rozdziałów wiemy, że zarodnik workowy po skiełkowaniu w odpowiednim dla niego substracie wytwarza grzybnie i szuka miejsca do kolonizacji. Grzybnia trufli szuka najmłodszych, dopiero co tworzących się korzonków, włosowatych wypustek skórki (*epidermy**). Strzępki wnikają do wnętrza korzenia, przerastają wolne przestrzenie między jego komórkami miękkimi, tworząc sieć Hartiga, o której pisaliśmy w rozdziale 2.2. Powstaje twór symbiotyczny,

zwany ektomykoryzą lub bardziej swojsko – grzybokorzeniem. Z niego po pewnym czasie wyrastają strzępki grzybni, która rozrasta się w glebie we wszystkich kierunkach. W odpowiednim czasie, jak się wzmocni i uzyska z korzenia odpowiednie związki odżywcze (w zamian oddając wodę, sole i witaminy) – tworzy owocnik. Zależnie od gatunku trufli może być on biały, rudy, szary lub czarny. Gładki lub popękany, mały jak fasolka lub duży jak gruszką. Taki owocnik może pojawić się już w kwietniu, ale znaleźć go możemy nawet późną jesienią. Po pewnym czasie traci kontakt z macierzystą grzybnią i o dziwo – rośnie samodzielnie. Wydziela przy tym do gleby różne związki, które przywabiają niektóre owady, takie jak mucha olbrzymia (*Suilla gigantea*), a także nęci dziki. Wszystko po to, aby zarodniki rozprzestrzenić na jak największe odległości. To walka o przetrwanie, dająca w efekcie zachowanie gatunku.

Niezwykły zapach trufli jest wyrazem jej przystosowania do *endozoochorii**. Termin ten oznacza rozprzestrzenianie się poprzez zwierzęta, a właściwie poprzez jelita zwierząt. Trufła zamykająca zarodniki wewnątrz swojego owocnika nie ma innej możliwości, by je uwolnić, jak dać się zjeść. Jej intensywny aromat jest sygnałem, który działa bezpośrednio na instynkt dzika i zmusza go, popędza, by zaczął ryć i znajdować smaczne kąski. Trufła sama „się prosi”, by ją pożreć. Jej niestrawione zarodniki zostaną przez zwierzęta rozniesione tam, gdzie zwierzę żyje i wydala. Zazwyczaj miejsce to nie będzie się drastycznie różniło od miejsca, gdzie trufła wyrosła, zarodniki więc powoli zaczną kiełkować.

Niekiedy można w glebie natrafić na inne bulwiaste owocniki grzybów świata podziemnego. Ale nie są to trufle – mogą to być jeleniak (*Elaphomyces*), piestrak (*Choiromyces*) lub piestrowka (*Rhizopogon*). Co więcej, piestrak, podobnie jak trufła i jeleniak, jest workowcem, ale piestrowki to podstawczaki, a do tego należące do rzędu borowikowców (*Boletales*). Oznacza to, że są całkiem blisko spokrewnione z borowikiem i podgrzybkim. Piestrak kształtem i kolorem przypomina trufkę białą, może być więc podrzucany i sprzedawany jako prawdziwa trufła – mało kto jest w stanie rozpoznać fałszerstwo. W Polsce jest spotykany, co więcej, owocniki tworzone są na tyle płytko, że grzyb czasem wystaje z gleby. Nie ma jednak aż takich walorów smakowych i zapachowych jak szlachetne trufle. Za trufkę białą można błędnie przyjąć piestraka, ich



Pojedyncze i wielokrotne zarodniki *T. aestivum* wewnątrz worka (fot. M.W.)

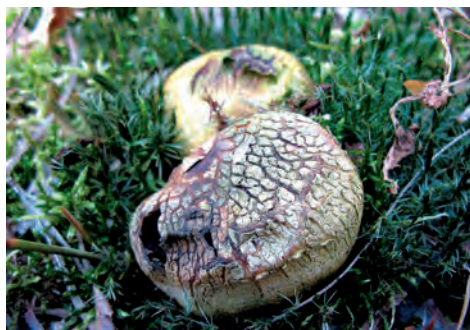


Owocniki piestrówki różowawej (*Rhizopogon roseolus*) – A, B oraz piestrówki żółtawej (*Rh. luteolus*) – C. Piestrówki zawsze wyrastają w glebie i jedynie część owocnika wychyla się ponad powierzchnię (fot. D.H., M.W.)

bowiem wygląd zewnętrzny jest tak podobny, że aż mylący. Oba grzyby mają gładkie, jasne powierzchnie. Aby uniknąć pomyłki, należałoby im się przyjrzeć po przekrojeniu. Wyglądają nieco inaczej. Owocnik prawdziwej trufla, który znamy ze zdjęć, ma na przekroju wygląd marmurkowaty. W jej wnętrzu dostrzegamy gęste fałdy układające się w fantazyjne wzory. Barwa fałd jest na przemian biała i czerwonawa i budzi skojarzenia z grubymi zwojami mózgu lub miąższem orzecha włoskiego. Krawędzie zwojów są białe, przestrzeń pomiędzy nimi – oranżowa. *Choiromyces* jest podobny, ale barwa przerw między białymi „zwojami” jest beżowa lub najwyżej lekko różowawa. Jeśli nadal nie będziemy pewni, z czym mamy do czynienia, spytajmy się o miejsce zbioru. Jeśli okaz pochodzi z Polski, niemal na pewno jest to fałszywa trufla!

Najczęściej odnajdywana w Polsce trufla letnia ma zupełnie inną powierzchnię. Jest czarna, kulista, a jej gruba kora zewnętrzna pęka na drobne, symetryczne poletka. Wewnątrz odnajdujemy kontrastujące, gęste fałdki i fale układające się w nieregularne esy-floresy. Owocnik jeleniaka natomiast jest zwykle jasny, kulisty, także jego przekrój jest inny. Przede wszystkim od razu zwraca uwagę jego gruba warstwa korowa. Po przekrojeniu widać otaczającą czarny środek jasną aureolkę zbitych strzępek, przechodzącą w szorstką, ale niezbyt grubą skórę. Jeleniaki najłatwiej odnaleźć po wysłedzeniu na powierzchni gleby współbytujących z nimi grzybów pasożytniczych – maczuźników (*Elaphocordyceps ophioglossoides*). Są to grzyby nie rzucające się w oczy. Jeśli jednak jaskrawe sznury grzybniove zostaną przez dziki wyciągnięte na powierzchnię buchtowiska, dostrzeżemy oba grzyby bez trudu. Ze zrytej gleby lub ściółki będzie sterczał w górę cygarowaty, bury pasożyt, ale jego wyraźnie widoczna, cytrynowa grzybnia poprowadzi nas wprost do ukrytego pomiędzy grudkami gleby, również zlewającego się kolorystycznie z glebą jeleniaka.

Najczęstszym grzybem z naszej listy grzybów truflopodobnych, którego odnajdziemy w Polsce, pospolitym w borach sosnowych i na wydmach, jest piestrówka żółtawa (*Rhizopogon luteolus*). Rzadziej, i to zazwyczaj w górach, możemy napotkać piestrów-



Owocniki tęgoskóra cytrynowego (*Scleroderma citrinum*) potrafią być łudząco podobne do owocników piestrówki żółtawej (fot. Z.S.)

kę różowawą (*Rhizopogon roseolus*). Nazwy oddają wiernie ich typowe barwy okrywy. Trudno tutaj o pomyłkę. Po przekrojeniu zazwyczaj nie dostrzeżemy nic ciekawego – bardzo drobne jasne żyłki i jednostajnie matowe wnętrze, ciemniejące z wiekiem.

Jeżeli w liściastym lesie pełnym świetlistych promieni słońca, igrających na wystających tu i ówdzie bryłach białego węglanu wapnia, zobaczymy świeżo zbuchowaną przez dziki ściółkę – to znak, że mogą kryć się tu tajemnicze kule trufli. Ale pamiętajmy – trufle należy otaczać ochroną! Wyobraźmy je sobie drzemiące pod ziemią – i odejđmy. Jeśli uda się nam je wytropić i znaleźć prawdziwą, pachnącą trufkę, to wyślijmy informację i skrawek trufli do zielnika mykologicznego, którego adres odnajdziemy łatwo w Internecie. Nasze znalezisko na pewno będzie cenne dla wiedzy o rodzinie trufłowatych w Polsce.

Czasem jednak na powierzchni ściółki, a nawet na odsłoniętej glebie, widać jasne, kuliste owocniki. Czyżby to były trufle wykopane przez dziki? A może chociaż piestraki jadalne? Gdy jednak przyjrzymy się z bliska, od razu dostrzeżemy różnice w wyglądzie. Nawet nie znając zapachu prawdziwych trufli i tylko pamiętając, że jest on „niesamowity” i „do niczego nie podobny”, nie wyczujemy go przy znalezionym owocniku. Ten grzyb niemal nie pachnie. A jeszcze gdy przekroimy ostrym nożem jego „tęgą skórę” i zobaczymy czarną zawartość wnętrza, z białą obwódką na obrzeżu, to od razu poznamy, że to owocnik tęgoskóra pospolitego (*Scleroderma citrinum*). Jest to podstawczak, chociaż dość podobny do workowców z rodziny trufłowatych. Owocniki tęgoskóra są niejadalne, a nawet trujące, chociaż w dawnych czasach ludy Północy używały go jako przyprawy do potraw. Ale to było kiedyś. Teraz wiadomo, że owocniki tęgoskóra są dla człowieka szkodliwe, a to z uwagi na liczne toksyny. Spożyte wywołują wymioty, biegunkę i osłabienie organizmu. Natomiast dla rośliny grzybnia tęgoskóra jest bardzo pożądanym partnerem mykoryzowym. Związek symbiotyczny z tym grzybem chętnie zawiązują zwłaszcza korzenie dębu, po czym para organizmów świadczy sobie nawzajem usługi z zakresu fizjologii i biochemii.



Mykoryzy *Scleroderma citrinum* (fot. D.H.)

Znowu widzimy, jak pozory mylą. Niejadalny **dla nas** grzyb – ba, nawet trujący, wywołujący poczucie zawodu, gdy zostaje podniesiony z gleby przez człowieka marzącego o smaku trufli – dla drzewa, lasu bywa nieodzowny. Jak napisaliśmy w rozdziale 2.2., sztuczna mykoryzacja w szkołkach leśnych z wykorzystaniem tęgoskóra daje bardzo zachęcające rezultaty. Tęgoskór nie będzie żywicielem człowieka, ale sprawdzi się, wspomagając odżywianie młodych drzewek.

Czas skończyć z antropocentryzmem. Niech żyją tęgoskóry!

3.9. Dobry jak gołąbek (*Russula*) i wojowniczy jak rycerzyk (*Tricholomopsis*), czyli ile prawdy kryje się w nazwach

Mimo że tytuł sugeruje, iż z poważnego opracowania powoli przechodzimy w świat baśni, to jednak nie zaczniemy tego rozdziału od słów: „Dawno, dawno temu żył sobie rycerzyk, co był dobry jak gołąbek”. Chcemy podkreślić, że popularne nazwy leśnych grzybów, często oparte na ludowych porzekadłach czy opowieściach starych leśników, są wyrazem uważnego podglądania życia lasu i niosą pewne treści, których nie warto lekceważyć. Wiele nazw owadów, kwiatów czy właśnie grzybów, które mieszczuchowi wydają się zabawne lub „niewiadomo skąd”, odzwierciedla ich



Owocniki gołąbka błotnego (*Russula paludosa*) – z lewej, wymagającego wilgotnego podłoża, oraz wyblakłego gołąbka ciemnopurpurowego (*Russula atropurpurea*) – z prawej, typowego dla suchych borów sosnowych z domieszką dębu (fot. Z.S., M.W.)

prawdziwą naturę, rolę w ekosystemie. Ludzie dawno już nauczyli się, że „surojadkę” można jeść bez obawy, „miodówka” jest słodka i smaczna, „tęgoscór” ma grubą okrywę owocnika, a „muchomor” odstrasza muchy. Skoro tak, to może i gołąbek z rycerzykiem również swoimi nazwami od razu określają charakter ich bytowania w środowisku leśnym? Co prawda ich owocniki są dość podobne dla niewprawnego oka, ale tryb życia i budowa zupełnie różne. W celu łatwiejszego rozpoznawania tych grzybów w terenie, a także wskazania roli, jaką pełnią w ekosystemie, opowiemy o nich trochę więcej.

Zacniemy od gołąbków. Może dlatego, że jest ich ponad 750 gatunków – pewnie więcej niż prawdziwych gołębi na krakowskim rynku! I są całkiem jak gruchające gołębie – wszystkie bardzo podobne do siebie, choć każdy inny. Nauczyć się odróżniać gołąbki od innych grzybów jest banalnie proste. Wystarczy wiedzieć, że są to najkruchsze z grzybów, pękające, nigdy nie włókniste. Jedyną elastyczną częścią ich owocników jest skórka, na ogół barwna, lepka lub sucha, dająca się zazwyczaj ściągnąć, choćby z krawędzi, a czasem niemal z całej powierzchni kapelusza. Ta kruchość jest związana z obecnością balonikowatych komórek zwanych *sferocystami**, zamiast zwykłych, długich strzępek, które tworzą zazwyczaj ciało grzyba. Jest to cecha charakterystyczna również dla spokrewnionych z nimi mleczejów (*Lactarius*). Te jednak wydzielają po uszkodzeniu płyn (mleczko), co ułatwia rozpoznanie obu kuzynów. Wszystkie gołąbki to grzyby ektomykoryzowe. A co to oznacza dla życia lasu, wiemy doskonale z poprzednich rozdziałów. To chyba jeden z najbardziej rozpowszechnionych, najbardziej popularnych rodzajów grzyba. Białe, żółte, zielone, delikatnie różowe, krwiste, purpurowe lub intensywnie fioletowe, a nawet czarne kapelusze gołąbków czynią leśne poszycie podobnym do barwnych kobierców.



Gołąbki (*Russula*). Od góry: g. zielonawy (*R. virescens*), g. jasnożółty (*R. claroflava*), g. jadalny (*R. vesca*), g. ceglasty (*R. velenovsky*), (fot. M.W.)

Kapelusze początkowo wypukłe, szybko stają się niemal płaskie, ale w części środkowej są jakby zapadnięte i nieco ciemniejsze. Pod spodem mają wyraźne i promieniste, ale kruche, białe blaszki, z których jesienią sypią się białe zarodniki. Ran-kiem kapelusze są wilgotne i lepkie, niektóre po wyschnięciu stają się szorstkie, inne pozostają śliskie. Trzony owocnika są zwykle białe, lub nabiegłe czerwienią, są dość grube i mają nieco maczugowaty kształt.

Ale i tu trzeba uważać. Wśród gołąbków są i czarne owce, a właściwie amaranto-we – to silnie trujący gołąbek wymiotny (*R. emetica*), spotykany w lasach iglastych i mieszanych. Ładnie wygląda, ładnie pachnie, ale smak ma gorzki, na szczęście więc daje nam pierwsze ostrzeżenie.



Owocniki rycerzyka czerwonożłoto (*Tricholomopsis rutilans*), (fot. M.W.)

Wśród gołąbków są jeszcze inne niejadalne – występujący w lasach liściastych gołąbek piekący (*R. sororia*) czy dość częsty gołąbek śmierdzący (*Russula foetens*). Zazwyczaj niejadalne lub trujące gołąbki są gorzkie w smaku po dotknięciu do mięszu końcem języka (natychmiast wypłukać usta!). Ale niestety ciągle należy pamiętać, że smaczny gołąbek fioletowy (*R. cyanoxantha*) jest nieco podobny do gołąbka wymiotnego, a jadalne, choć lekko piekące w smaku zielone gołąbki (*R. virescens*, *R. aeruginea*) przypominają smacznego, lecz bardzo groźnego muchomora zielonawego, sromotnikowego (patrz rozdział 3.5.). Grzybiarz początkujący, weekendowy smakosz czy entuzjasta survivalu powinien się powstrzymać od zbierania gołąbków. Jest przecież tyle innych, łatwiejszych do pozyskania grzybów – kurek, maślaków, koźlarzy czy wymarzonych borowików, którymi możemy cieszyć swoje podniebienie. I to bez niepokoju, czy nie chwyci nas nagła kolka jelitowa – pierwszy symptom poważnych kłopotów.

A co z rycerzykiem? Czy wojowniczość, zadziorność, którą sugeruje nazwa rodzajowa, ma jakiś związek z jego trybem życia? Przydomek gatunkowy „czerwonożłoty” określa wspaniale jego barwy, rycerzyk bowiem (*Tricholomopsis rutilans*) nie jest ani złoty, ani pomarańczowy, ani czerwony – jest mieniącym się zestawieniem kolorów. Ma rzeczywiście czerwonożłoty wierzch kapelusza, a blaszki są barwy żółtej, podczas gdy u gołąbków zawsze są białe lub kremowe.

To bardzo ciekawy i chyba nieznan bliżej gatunek grzyba, choć pospolicie występuje w lesie niemal wyłącznie na pniakach lub obok nich. A skoro tak, to już wiemy, że jest saprotrofem i żywi się martwą materią organiczną. Rozkłada skutecznie drewno pni, powodując jego biały rozkład, czyli przecinając wiązania zarówno w celulozie, jak i ligninie. Grzybnia rycerzyka sięga głęboko w cały system korzeniowy. Nic więc dziwnego, że pojawia się nawet podczas suszy, gdy inne grzyby zasychają lub w ogóle nie wyrastają.

Owocniki rycerzyka, mimo że kolorem są zbliżone do surojadek, są jednak łykawate, elastyczne, a jednocześnie gorzkawe, nie zachwycą więc prawdziwych sma-

koszy. Są za to bogate w liczne enzymy, aminokwasy i witaminy. Całkiem niedawno poznano w nich nowe aminokwasy i sterole. Odkrycie *mykosteroli** pozwala na uzyskanie efektywnych w medycynie, syntetycznych preparatów jako źródła witaminy D₃ i składnika skutecznych leków przeciwnowotworowych czy też leków cytotoksycznych wobec komórek nowotworowych naszego organizmu. Związki izolowane z *T. rutilans* wykazują również działanie podobne do insektycydu, mogą zatem znaleźć zastosowanie w ochronie lasu przed szkodnikami owadzi.



Owocniki *Tricholomopsis rutilans* przy pniaku sosny są symbolem naturalnej profilaktyki i ochrony drzew przed patogenami korzeni. Na zdjęciach: młode i starzejące się owocniki saprotrofa (fot. Z.S., M.W.)

Niebagatelna jest też rola rycerzyka w ekosystemie leśnym. Intensywnie przyrastająca grzybnia rozkłada dzięki swoim enzymom drewno i zabiera patogenom korzeni ich bazę pokarmową – korzenie pniaków. Dlatego spokojnie możemy potwierdzić: rycerzyk walczy! Ta cecha została z powodzeniem wykorzystana w biologicznej ochronie drzew przed patogenami korzeni. Ale równocześnie rycerzyk oddziałuje inhibycyjnie na strzępki niektórych grzybów mykoryzowych (*Hebeloma*, *Laccaria*, *Paxillus*). Na szczęście przyroda doskonale sobie z tym radzi. Grzyby mykoryzowe tworzą udane syntezę z korzeniami drzew żywych, natomiast rycerzyk zasiedla korzenie drzew martwych. A że na starym pniaku zasiedlonym przez rycerzyka nie skiełkuje nasionko sosny i nie będzie tworzyć mykoryzy – trudno – skiełkuje nieco dalej.

Rycerzyk jest alternatywnym dla innych pożytecznych organizmów biopestycydem. Można z jego grzybni wytworzyć środek do ochrony pniaków w lasach gospodarczych, charakteryzujący się podobnym działaniem jak żylak olbrzymi (*Phlebiopsis gigantea*), bocznik ostrygowaty (*Pleurotus ostreatus*) czy maślanka wiązkowa (*Hypholoma fasciculare*). Taka ochrona jest czasem niezbędna, aby ograniczyć bardzo groźne dla lasu choroby – hubę korzeni i opieńkową zgniliznę korzeni. Wobec nich wcale nie jest rycerski. Z nimi toczy bój, który w suchym języku biologii nazwiemy po prostu wypieraniem konkurencyjnym. I dobrze! Miejmy nadzieję, że okaże się silniejszy.



Owocniki rozszczepki pospolitej (*Schizophyllum commune*) od strony hymenoforu (fot. K.K.)

4. BEZ GRZYBÓW NIE MA ŻYCIA

Zbliżamy się do końca naszej gawędy o leśnych skarbach – o grzybach, które mniej znaliśmy. Teraz są nam już bliższe. Poznaliśmy ich tajemnice, nieznane cykle życiowe, aktywność. Wiemy, jak wyglądają i czym się różnią od innych grzybów. Mamy nadzieję, że udało nam się wykazać, dlaczego grzyby są tak ważne, tak niezbędne, nieocenione, a i czasem niedocenione. Bo bez nich nie byłoby życia. To określenie brzmi jak banał – przecież i bez wody nie byłoby życia, bez powietrza i bez słońca. Rola grzybów jest o tyle szczególna, że wiąże się z destrukcją. Nasze zamiłowanie do porządkowania rzeczywistości każe nam czcić wszelkie procesy syntezy. Rozkład kojarzymy z klęską. Ale gdyby nie grzyby, bakterie, roztocza i inne mikroorganizmy, ziemia pokryta byłaby górami nierozłożonej materii organicznej. Po pewnym czasie nie byłoby skrawka urodzajnej gleby, która daje wzrost roślinom. To przecież im zawdzięczamy tzw. produkcję pierwotną – bazę pokarmową dla heterotrofów oraz substrat dla saprotrofów.

Grzyby są nieodgadnionym źródłem informacji o funkcjonowaniu naszego świata. Dotychczas znaliśmy je przede wszystkim jako źródło pożywienia. Już pradawny człowiek, łowca i zbieracz, korzystając z dóbr puszczy, żywił się grzybami. Niektóre z nich znamy ze złej strony. Są takie, które niszczą plon rolnika i ziarno na obsiew. Inne, powodując masowe epifitozy, zagrażają lasom na wielkich przestrzeniach. Jeszcze inne rozkładają belki stropowe naszych domów i deski płotów. Niektóre zagrażają naszemu zdrowiu, a nawet życiu. Mimo to nie wolno ich bezmyślnie tępić. Czas pokazuje, że z grzybów białej lub brunatnej zgnilizny można izolować bezcenne enzymy, a grzyby fitopatogeniczne i mykoryzowe ujawniają związki, które znajdują zastosowanie jako leki. Dlatego pod żadnym pozorem nie powinniśmy niszczyć grzybni w poszukiwaniu owocników w ściółce leśnej, ani deptać grzybów czy przewracać kapeluszy, nawet jeśli ich nie cenimy i nie zbieramy. Uczmy też takich zachowań nasze dzieci. Uczmy się „zbierać” grzyby wzrokiem, podglądać ich życie, obserwować wzrost.



Owocnik pochwiaka jedwabnikowego (*Volvariella bombycina*), (fot. K.K.)



Te niewielkie owocniki kubianki kotkowej (*Ciboria amentacea*) wyrastają z równie niepokąźnych męskich kwiatostanów olszy (fot. K.K.)

Czas podsumować naszą wyprawę w tajemniczy świat zagrzybionego lasu.

Współczesnemu człowiekowi zbieractwo już nie wystarcza. Pragnie wiedzieć więcej i korzystać ze zdobytej wiedzy. Skoro już wiemy, że grzyby są dla funkcjonowania lasu, a także dla życia człowieka tak ważne, to nic dziwnego, że badacze nie zawahali się, by zajrzeć w głąb strzępek, a nawet w strukturę cząsteczek. Przypomnijmy zatem, że pierwszym krokiem w tym kierunku było odkrycie zjawiska symbiozy między rośliną a grzybem, dokonane w 1881 r. przez polskiego badacza Franciszka Kamińskiego, a nazwane w 1885 r. przez niemieckiego mykologa Alberta Franka mykoryzą. Był to prawdziwy przewrót w botanice i fizjologii roślin. Upłynęło jednak wiele lat, zanim poznano i zrozumiano mechanizmy pobierania wody i substancji pokarmowych z gleby przez korzenie, rolę grzybów mykoryzowych w ochronie przed infekcją patogenów, interakcje między mikroorganizmami i innymi grzybami w zbiorowisku, cykle życiowe tych grzybów łącznie z tworzeniem owocników czy zjawiska sukcesji i przemiany pokoleń. Wyjaśniono przy tym tajemnice tworzenia



Owocniki mitrówki półwolnej (*Mitrophora semilibera*), (fot. K.K.)

się próchnicy glebowej, mechanizmy pobierania i przekazywania energii, a także zjawiska zachodzące wewnątrz jąder komórkowych grzybów, pozwalające na ich wegetatywne lub generatywne rozmnażanie i rozwój osobniczy.

Z kolei dawna medycyna chińska, wykorzystująca grzyby jako lekarstwo, otworzyła nam oczy na bogactwo leczniczych właściwości wielu z nich. Okazało się, że nawet niejadalne nie muszą być szkodliwe – odpowiednio wykorzystane stają się pożyteczne dla naszego zdrowia. Są źródłem ważnych związków chemicznych i inspirować uczonych do tworzenia syntez i nowych formułacji leków czy środków ochrony roślin – biologicznych i bezpiecznych.

Prawdziwy przełom w badaniach grzybów nastąpił z chwilą poznania roli i możliwości działania polimerazy DNA (Artur Kornberg, 1955 r.) – enzymu, który uczestniczy w procesie podziałów jądrowych. Wprowadzenie technik molekularnych do badań i wykorzystanie polimerazy DNA powielającej liczbę cząsteczek kwasu deoksyrybonukleinowego pozwoliło pozyskiwać duże ilości materiału genetycznego,

stosowanego w kolejnych, bardziej szczegółowych badaniach. Dzięki nim możemy poznawać strukturę cząsteczek, czyli ich sekwencje decydujące o cechach organizmów. O tym, jakie informacje możemy uzyskać z analizy sekwencji, mówiliśmy w rozdziale 2.2. Nie ograniczono się jednak do analizy poszczególnych genów. Uczni pokusili się o poznanie całych genomów – pełnych przepisów dotyczących cech grzybów. Wykorzystanie tej wiedzy umożliwi w przyszłości doskonalenie metod leczenia naszych chorób, a także naszego środowiska przyrodniczego.

Grzyby zajmują znaczące miejsce w cyklu obiegu energii i przepływie materii w ekosystemach lądowych. W poprzednich rozdziałach dowiedzieliśmy się, jak silnym aparatem enzymatycznym się posługują, jak potrafią zamienić twarde drewno w pojedyncze drobinki glukozy – najprostszego związku energetycznego wykorzystywanego we wszystkich niemal procesach życiowych organizmów. A potem, użytkując glukozę, zamienić ją w dwutlenek węgla i wodę, oddając przy tym sporo



Małeńkie owocniki grzybówki różowej (*Mycena rosea*) uczestniczącej w ogromnym cyklu przemian biochemicznych i tworzeniu próchnicy (fot. K.K.)



Owocniki świecznicy rozgałęzionej (*Arthromyces pyxidiatus* [*Clavicornona pyxidiata*]) na butwiejącej kłodzie (fot. K.K.)

energii. Zarówno fotosynteza, jak i oddychanie roślin, a także oddychanie zwierząt i rozkład powodowany przez grzyby, wymagają energii i dostarczają energii. Aby oddać, muszą otrzymać. Prawdziwe jest zatem stwierdzenie, że bez grzybów nie ma życia. Oznacza ono, że dzięki nim, a także innym współuczestniczącym organizmom, nieustanny proces rozpadu i syntezy powielany jest wszędzie i wielokrotnie. Ten niezmienny cykl jest sterowany mechanizmami, które wykształciły się w procesie ewolucji. Uczestniczymy w nim, podlegamy tym samym prawom co inne elementy biosfery, ale z drugiej strony sami stwarzamy nowe środowiska, do których przyroda musi się dopasować. Ważne jest, by nasze działania nie skazywały organizmów na zagładę. O zjawiskach tych uczymy się w szkole, są one szczegółowo omówione w podręcznikach biologii i ekologii.

Chcielibyśmy, by nasza książka, opisująca drobny wycinek rzeczywistości przyrodniczej, uzmysłowiła Czytelnikom złożoność mechanizmów funkcjonowania organizmów w ekosystemie leśnym. Jesteśmy przekonani, że grzyby przedstawione nieco z innej perspektywy okażą się nam wszystkim bliższe. Może nawet skłonią nas do zastanowienia się zarówno nad istotą funkcjonowania przyrody, jak i miejscem człowieka w ekosystemie. Chcieliśmy zachwiać poczuciem, że jako gatunek



Zapraszamy do podziwiania grzybów! (fot. Z.S.)

myślący możemy sobie przyrodę bezkarnie podporządkowywać. Okazuje się bowiem, że wiemy ciągle niewiele i nasza ograniczona perspektywa może ostatecznie okazać się fałszywa. Powinno nas cechować podejście do przyrody pełne szacunku, przy jednoczesnym dążeniu do zrozumienia mechanizmów, które zapewniają tę niezwykłą równowagę panującą i tam, gdzie człowiek nie ingeruje, i tam, gdzie realizuje potrzeby gospodarcze. Daje nam to dobry punkt wyjścia do tego, by z przyrodą rozumnie współpracować. A wtedy nie trzeba będzie umieszczać tabliczek z napisem: „Szczuj zieleń!” i apelować: „Nie niszczy grzybów!”. Bo mądrość będzie już w nas. Będziemy wiedzieć, rozumieć i pamiętać.

SŁOWNICZEK WYRAZÓW TRUDNYCH, ZAZNACZONYCH W TEKŚCIE (*)

Agonista – substancja łącząca się z receptorem błony komórkowej i wywołująca reakcję w komórce (w przeciwieństwie do antagonisty, który łączy się z receptorem, ale powoduje blokadę reakcji komórkowej).

Anamorfa – anamorph – stadium rozmnażania bezpłciowego (konidialnego) grzybów, nazywane zwykle pleśnią. Termin stosowany szczególnie często w stosunku do workowców *Ascomycota* dla odróżnienia od stadium rozmnażania płciowego, związanego z owocnikami.

Autotroficzny – samożywny. Autotroficzne są rośliny korzystające z energii słonecznej przy tworzeniu związków organicznych (podczas fotosyntezy) oraz niektóre bakterie wykorzystujące do tego celu energię chemiczną (chemosynteza).

Bioremediacja – wykorzystanie szczególnych cech organizmów żywych (roślin, grzybów, drobnoustrojów) do usuwania z gleb zanieczyszczeń (głównie ropopochodnych) poprzez ich kumulowanie wewnątrz własnego ciała (wewnątrz strzępek grzybni, owocników).

Biotrof – organizm wymagający do życia substratów pobranych od żywego dawcy. Biotrofy zazwyczaj nie są tak niebezpieczne dla żywicieli jak patogeny słabości, które dość szybko doprowadzają żywiciela do śmierci, mogąc się rozwijać na jego szczątkach. Biotrofy przeważnie osłabiają żywicieli, ale ich nie zabijają, byłoby to bowiem równoznaczne z ich własnym unicestwieniem.

Celulolityczny – organizm wyposażony w enzymy degradujące celulozę – główny polimer glukozowy wchodzący w skład ścian komórkowych roślin.

Chelat – cykliczny związek organiczny zawierający jon metalu w centralnej pozycji; formy chelatowe związków kompleksowych lub mikroelementów z łatwością są absorbowane przez błony półprzepuszczalne komórek.

Destruent – organizm, którego działanie na środowisko wyraża się w destrukcji, czyli rozmontowywaniu skomplikowanych cząstek na drobniejsze i prostsze, łatwiejsze do wykorzystania.

Dikariotyczne strzępki – strzępki niosące w każdym segmencie po dwa różne jądra komórkowe. Stan dikariofazy jest charakterystyczny dla większości grzybów podstawkowych.

Diploidalna grzybnia – grzybnia wypełniona jądrami komórkowymi zawierającymi dwa komplety chromosomów. Jest wynikiem połączenia dwóch grzybni → haploidalnych (o jednym komplecie chromosomów) i ich jąder.

Ekstramatrykalna grzybnia – grzybnia zewnętrzna, nie wchodząca w skład owocnika lub np. mykoryzy – grzybnia substratowa, płożąca się po powierzchni substratu bądź tkanki żywiciela lub grzybnia powietrzna.

Endofit – grzyb lub bakteria żyjąca wewnątrz tkanki roślinnej, zazwyczaj nie wykazująca negatywnego wpływu na żywiciela; zwyczajowo termin ten obejmuje tylko nadziemne części roślin.

Endozoochoria – rozprzestrzenianie nasion lub zarodników przez zwierzęta zjadające owoce lub owocniki.

Epiderma – tkanka okrywająca u roślin – w strefie korzeniowej ograniczona tylko do strefy wzrostu i strefy włośnikowej.

Fagocytoza, myzocytoza, pinocytoza – różne formy pobierania pokarmu przez komórki. Fagocytozę należy rozumieć jako „pożeranie” cząstek pokarmowych, zamykanie ich w pęcherzyku, który wędruje do środka komórki, gdzie cząstki są rozkładane enzymatycznie. Z kolei myzocytoza to „wciąganie” cząsteczek do środka komórki poprzez lokalne rozwarcie błony komórkowej. Pinocytoza jest procesem pochłaniania drobnych cząstek pokarmowych w wyniku wchodzenia do środka ich komórek na drodze przesuwania się w specjalnym kanalikule błony komórkowej.

Feromon – lotny związek chemiczny wysyłany przez organizm i odbierany przez receptory chemiczne drugiego organizmu tego samego gatunku jako sygnał populacyjny, czyli określona informacja o gotowości seksualnej, płci, dostępności żeru lub nadmiarze osobników tego samego gatunku.

Fitoaleksyna – specyficzny związek wydzielany przez roślinę w odpowiedzi na stresy zarówno biotyczne, jak i abiotyczne. Mogą to być: porażenie przez organizm patogenny, uszkodzenie przez zwierzęta, grad czy silny wiatr.

Fungistatyczne działanie – działanie powodujące zatrzymanie rozwoju, zmniejszenie potencjału wzrostu lub śmierć organizmów grzybowych.

Genom – zestaw wszystkich genów wchodzących w skład organizmu. Genom w typowej komórce dzieli się na genom jądrowy i mitochondrialny. W wypadku roślin spotyka się w komórce dodatkowy genom chloroplastowy.

Haploidalna grzybnia – grzybnia wypełniona jądrami komórkowymi zawierającymi tylko po jednym chromosomie jednego typu. Haploidalne grzybnie mają często zdolność do łączenia się w pary (parowania) z innymi haploidalnymi grzybniami, odmiennego typu płciowego, są więc potencjalnie seksualnie zdeterminowane (określone).

Haustorium – ssawka, struktura grzybni bezpośrednio wnikająca do komórki żywiciela, najczęściej o kształcie pęcherzykowatym lub drzewkowatym, służąca do pobierania nutrientów (związków odżywczych) od żywiciela.

Hemolimfa – płyn ustrojowy, odpowiednik krwi i limfy kręgowców, wypełniający ciało zwierząt o otwartym układzie krwionośnym, zawierający komórki żerne oraz barwniki oddechowe i liczne białka.

Heterotroficzny – organizm niezdolny do samoistnego budowania związków organicznych z nieorganicznych, wykorzystujący żywą lub martwą materię organiczną obecną w środowisku. Heterotrofami są wszystkie zwierzęta, grzyby, większość bakterii i liczne pierwotniaki.

Hipokamp – część mózgu odpowiadająca za pamięć i orientację przestrzenną.

Hymenium – warstwa zarodnikotwórcza, będąca częścią owocnika grzyba. Składa się zazwyczaj z komórek, w których (lub na których) formują się spory (zarodniki), oraz z elementów bezpłodnych (płonych). U workowców hymenium wypełniają worki oraz cienkie, nitkowate parafizy, u podstawczaków – podstawki dojrzałe z zarodnikami, niedojrzałe komórki podstawkowe oraz tzw. rozwierki o różnym charakterze i funkcjach.

Hymenofor – zazwyczaj trójwymiarowa struktura wyścielona od zewnątrz hymenium, mająca na celu zwiększenie powierzchni zajmowanej przez zarodniki przy niezwiększaniu powierzchni samego owocnika. Hymenofor workowców bywa płaski lub pofałdowany, a podstawczaków ma najczęściej postać żył, blaszek, rurek lub kolców.

Imago – forma dorosła owada, zdolna do rozmnażania płciowego.

Inoculum – stadium inicjalne kultury grzybów (propagula, jednostka tworząca grzybnię). Inoculum może być pojedynczy zarodnik, strzępka, struktura przetrwalna, cała zarodnia lub fragment grzybni.

Kambiofag – organizm żywiący się kambium, czyli komórkami miazgi roślin. Kambium, znajdujące się stosunkowo płytko pod korą drzewa, jest zbudowane z cienkościennych komórek, które zachowują zdolność do podziałów. Wytwarza komórki drewna (ksylem) do wewnątrz i komórki łyka (floem) na zewnątrz. Dla owadów komórki kambium są najłatwiejsze do uzyskania, najbardziej strawne i pożywne. Dla rośliny utrata kambium oznacza śmierć.

Klejtotecjum (*Cleistothecium*) – jeden z typów owocników charakterystyczny dla workowców *Ascomycetes*. Cechuje się niewielkimi rozmiarami, jest kulisty. Uwolnienie zarodników z owocnika następuje poprzez zniszczenie (pęknięcie) jego ściany, czyli perydium.

Mezofilny – organizm preferujący średnie wartości czynników środowiskowych. Termin ten zwyczajowo dotyczy czynnika temperaturowego. Grzyby mezofilne nie mają zdolności do wzrostu w wysokich temperaturach (przekraczających 35°C) oraz w niskich (zbliżonych do 0°C).

Mikrofibryla – nitkowata jednostka strukturalna wchodząca w skład ściany komórkowej roślin, zbudowana z łańcuchów celulozy. Mikrofibryle ułożone są równolegle oraz spletają się, tworząc mocną siatkę.

Mutualizm – interakcje międzygatunkowe przynoszące korzyść w dostosowaniu partnerów do środowiska życia. Mutualizm może być obligatoryjny, gdy organizmy są od siebie nawzajem uzależnione, lub przygodny, jeśli nie są niezbędne dla przeżycia.

Mycelium – grzybnia. Ma zazwyczaj formę luźnych, cienkich strzępek i sznurów rozwijających się w podłożu, czasem tworzy bardziej zbitą warstwę na powierzchni substratu/żywiciela. W okresie rozmnażania grzybnia wytwarza swoiste struktury rozmnażania bezpłciowego lub płciowego.

Mycetangium (mycangium) – specjalna kieszonka, zagłębienie, rowek lub komora na ciele owada, w której przenoszona jest grzybnia organizmu partnerskiego. Mycetangia wytwarzają się u owadów, które trwale, obligatoryjnie związane są → mutualistyczną relacją z grzybami.

Mykoryza – związek partnerski grzyba i rośliny. Mykoryzy grzybów owocnikowych z roślinami drzewiastymi przyjmują zazwyczaj charakter ektomykoryz, w których na powierzchni korzeni widoczna jest mufka grzyba, a mykoryzy grzybów z roślinami zielnymi – endomykoryz, w których rozwój grzybni następuje wewnątrz korzenia.

Mykosterol (ergosterol) – związek charakterystyczny dla grzybów, wchodzący w skład błon komórkowych; prowitamina D3.

Perydiola – struktura owocnika przypominająca kształtem sferę lub dysk, służąca do rozprzestrzeniania niektórych gatunków grzybów podstawkowych należących do rodziny gniazdnicowców *Nidulariales*. Usuwana jest z owocnika poprzez aktywny wyrzut lub jest wybijana z kubkowatego owocnika przez krople deszczu.

Primordium – stadium inicjalne owocnika. Ma postać kłębuszków, kuleczek lub maczug wyrastających z grzybni substratowej.

Ryzoidy – odpowiednik korzeni roślin, tworzony przez drobne grzyby (niektóre pleśniakowce, owadomorkowce oraz porosty). Ryzoidy zakotwiczą organizm w podłożu i czasem (u pleśniakowców) służą do pobierania składników odżywczych.

Ryzomorfa – sznur grzybniowy tworzony przez niektóre podstawczaki lub, znacznie rzadziej, również workowce. Dobrze wykształcone ryzomorfy mogą być strukturalnie zróżnicowane na część zewnętrzną o charakterze ochronnym i wewnętrzną o funkcjach transportowych; u niektórych gatunków są organami przetrwalnikowymi.

Saprotrof – organizm odżywiający się szczątkami organizmów (martwym substratem).

Sekretom – zestaw białek tworzonych przez organizm na skutek aktywności (ekspresji) genów. Sekretom może się zmieniać z dnia na dzień, ponieważ geny są przez organizm włączane i wyłączane. Szczególnie duże zmiany sekretomu grzybowego obserwuje się w czasie infekowania roślin.

Sekwenator – zaopatrzone w laser urządzenie służące do przeprowadzenia precyzyjnej elektroforezy próbki DNA poddanej wcześniej reakcji sekwencjonowania, czyli ustalenia kolejności zasad azotowych w łańcuchu DNA. W elektroforezie rozdzielane są cząsteczki DNA o wyznaczonej (za pomocą związku barwnego) ostatniej zasadzie azotowej. Laser rozpoznaje barwy związane z cząsteczkami wędrującymi przez żel. Wynikiem odczytu sekwenatora jest uzyskanie chromatogramu wyznaczającego ustawienie zasad azotowych w kwasie nukleinowym.

Sekwencja DNA – linearne, odczytywane na drodze reakcji sekwencjonowania, ułożenie zasad azotowych w cząsteczce kwasu deoksyrybonukleinowego. Do celów identyfikacji molekularnej grzybów wystarcza zazwyczaj odczytanie sekwencji około 600 par zasad z takiego rejonu, który jest stosunkowo zmienny u organizmów.

Siderofor – duży związek organiczny umieszczony często w błonie komórkowej grzybów, mający zdolność wiązania (→ chelatowania) żelaza, które nie wnika bezpośrednio do strzępek przez ściany komórkowe grzybów. Za pomocą transportu aktywnego siderofory wraz z jonami metalu dostają się do wnętrza strzępek grzybów, gdzie metale są uwalniane.

Sferocysta – okrągła lub owalna, cienkościenne komórka grzybów. Sferocysty wchodzi w skład owocników mleczajów i gołąbków, czyniąc je kruchymi i łamliwymi. Kontrastuje to z owocnikami zbudowanymi z wydłużonych strzępek, które są na ogół elastyczne i łukowate (np. u koźlarzy).

Sklerocja – wielokomórkowe struktury przetrwalne grzybów o ciemnych zazwyczaj ścianach komórkowych wysyconych melaniną, przynajmniej w części powierzchniowej. W odpowiednich warunkach środowiska zewnętrznego sklerocjum kiełkuje, tworząc typowe dla danego gatunku formy wzrostu.

Symbioza – wspólne życie różnych organizmów w jednym miejscu i czasie. Symbioza potocznie utożsamiana jest z → mutualizmem. W rzeczywistości Anton de Bary, twórca tego terminu, podzielił symbiozę na antagonistyczną (pasożytniczą) oraz nieantagonistyczną (mutualistyczną).

Synnema – struktura tworzona przez niektóre grzyby workowe żyjące w stadiach bezpłciowych, składająca się z licznych, splecionych i sklejonych strzępek, które wspólnie wzrastają, by w szczytowej części rozpleść się i utworzyć maczugowatą lub główkowatą formę złożoną z komórek konidiotwórczych. Obecność synnem umożliwia grzybom pleśniowym wyniesienie zarodników nawet na kilka centymetrów ponad podłoże. Synnemy czasem przypominają nitkowate owocniki.

Termocykler – urządzenie pozwalające precyzyjnie i szybko zmieniać temperaturę przetrzymywanych wewnątrz próbek. W termocyklerze prowadzone są reakcje amplifikacji (PCR), czyli powielania cząsteczek DNA, oraz przeprowadzana jest reakcja sekwencjonowania. W czasie procedury PCR, czyli *Polimerase Chain Reaction*, dochodzi do denaturacji dwuniciowej cząsteczki DNA (w temperaturze 94°C), przyłączenia starterów (35–45°C) i replikacji nowych nici na starych (71–72°C). Dzięki wielokrotnemu powtarzaniu tych cykli temperatur uzyskujemy wiele identycznych cząsteczek DNA.

Transpozon – fragment DNA mający tendencję do powielania się i przemieszczania w genomie. Transpozycja jest jednym ze źródeł zmienności organizmów. Może wpływać na aktywność niektórych genów oraz zwiększać ilość DNA. Znane są pod nazwą wędrujących lub skaczących genów. Zakłada się, że mogą mieć pochodzenie wirusowe.

LITERATURA DLA ZAINTERESOWANYCH

- Alexopoulos C.J., Mims C.W. & Blackwell M. 1996. *Introductory Mycology* (4th ed), Wiley, N.Y.
- Andrzejewski R., Weigle A. (red.). 2003. *Różnorodność biologiczna Polski*. Wydawnictwo NFOŚ, Warszawa.
- Bartnik E. 1998. *ABC genetyki*. Wydawnictwo Prószyński i S-ka, Warszawa.
- Capecki Z. 1989. *Rejony zdrowotności lasów sudeckich*. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa. A, 688.
- Carlile M.J. & Watkinson S.C. 2000. *The Fungi*. Academic Press, London.
- Chapin III F.S., Matson P.A., Mooney H.A. 2002. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer Verl., N.Y.
- Dix N.J. & Webster J. 1995. *Fungal Ecology*. Chapman & Hall, London.
- Encyklopedia Przyrody. Fauna i flora Europy. 2004. Wydawnictwo MUZA SA, Warszawa.
- Garms H. 1995. *Przewodnik. Rośliny i zwierzęta Europy*. Wydawnictwo Res Polona, Warszawa.
- Garnweidner E. 2006. *Encyklopedia kieszonkowa. Grzyby*. Wydawnictwo MUZA SA, Warszawa.
- Gerhard E. 2006. *Grzyby. Wielki ilustrowany przewodnik*. Wydawnictwo KDC, Warszawa.
- Grzywacz A., Staniszewski P. 2003. *Wiem, co zbieram w lesie*. Multico Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- Harborne J.B. 1997. *Ekologia biochemiczna*. PWN, Warszawa.
- Hawksworth D.L., Kirk P.M., Sutton B.C. & Pegler D.N. 1995. *Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi* (8th ed). CAB International, Wallingford, UK.
- Koehler W. 1981. *Zarys hylopatologii*. PWN, Warszawa.
- Kopcewicz J., Lewak S. 1998. *Podstawy fizjologii roślin*. PWN, Warszawa.
- Kosińska M. (red.). 2002. *Encyklopedia PWN. Biologia. Spojrzenie na życie i biosferę*. PWN, Warszawa.

- Krebs J.R., Davies N.B. 2001. Wprowadzenie do ekologii behawioralnej. PWN, Warszawa.
- Mańka K. 2005. Fitopatologia leśna. Wyd. 6. PWRiL, Warszawa.
- Manion P.D. 1981. Tree disease concept. Prentice Hall Inc. New Jersey.
- Moore D., Robson G.D., Trinci A.P.J. 2011. 21st Century Guidebook to Fungi. Cambridge University Press, Cambridge.
- Mułenko W. (red.). 2008. Mykologiczne badania terenowe. Przewodnik metodyczny. Wydawnictwo UMCS, Lublin.
- Rayner A.D.M., Boddy L. 1988. Fungal decomposition of wood. Its biology and ecology. J. Wiley & Sons, Chichester.
- Rykowski K. 2006. O leśnictwie trwałym i zrównoważonym. CILP, Warszawa.
- Sierota Z. 2001. Choroby lasu. CILP, Warszawa.
- Sierota Z. 2011. Gdy las choruje. CILP, Warszawa.
- Škubla P. 2007. Wielki atlas grzybów. Wydawnictwo Elipsa, Warszawa.
- Smith S.E. & Read D.J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis (3rd ed). Academic Press, London.
- Wójciak H. 2003. Porosty, mszaki, paprotniki. Multico Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- Wrzosek M. 2010. ABC ewolucji. Wydawnictwo Sorus, Poznań.