

ANNA MATWIEJUK

*Zakład Botaniki
Instytut Biologii
Uniwersytet w Białymstoku
Świerkowa 20B, 15-950 Białystok
e-mail: matwiej@uwb.edu.pl*

MATUZALEMOWY GATUNEK POROSTU WZORZEC GEOGRAFICZNY *RHIZOCARPON GEOGRAPHICUM* (L.) DC. – JEGO WŁAŚCIWOŚCI I WYKORZYSTANIE

POROSTY JAKO OBIEKT BADAŃ

Porosty (grzyby zlichenizowane) należą do królestwa grzybów Mycota. Są to organizmy symbiotyczne, powstałe w wyniku symbiozy zielenic z gromady Chlorophyta lub sinic z gromady Cyanophyta i grzybów, głównie z gromady workowców Ascomycota. Współżycie glonu (fotobionta) i grzyba (mykobionta) pod postacią porostu tworzy niepowtarzalny w przyrodzie typ symbiozy. Oba symbionty integrują się tworząc zupełnie nową jakość biologiczną, nowy organizm, który nie jest w ogóle podobny do wolno żyjących partnerów. Jest to wspólnota życiowa dwu organizmów o krańcowo różnym sposobie odżywiania (FAŁTYNOWICZ 1995).

Porosty są organizmami szeroko rozprzeczonymi na całej kuli ziemskiej. Znanych jest ok. 13500 gatunków, z czego w Polsce żyje 1554 (FAŁTYNOWICZ 2003). Porosty obecne są na każdym kontynencie i we wszystkich formacjach roślinnych. Pospolicie rosną zarówno na wystających spod śniegu skałach w obszarach polarnych, jak i wśród rozpalonych piasków pustyń, w lasach strefy międzyzwrotnikowej oraz w obszarach klimatu umiarkowanego (BYSTREK 1997). Jako organizmy pionierskie kolonizują siedliska bardzo ubogie, stanowiąc zazwyczaj znaczną część wszystkich występujących tam organizmów. Tak jest np. w wysokich górach. Rosną na pionowych skałach niedostępnych dla roślin naczyniowych. Tworzą one na powierzchni podłoża rodzaj powłoki ochronnej,

zabezpieczającej w pewnym stopniu przed erozją i wietrzeniem. Z drugiej zaś strony, uczestniczą w pierwszych stadiach tworzenia się gleby – wśród plech porostów i w szczelinach skał zatrzymuje się pył przenoszony przez wiatr i w tych miejscach gromadzi się humus, umożliwiając rozwój mchów i roślin naczyniowych (BYSTREK 1997).

Przez wiele lat uważano, że wtórne metabolity porostowe, tzw. kwasy porostowe, ze względu na niską rozpuszczalność w wodzie nie mogą być przyczyną chemicznej erozji podłoża skalnego. Okazało się jednak, że niektóre z nich są silnymi związkami chelatującymi, które posiadają zdolność do selektywnego usuwania z podłoża skalnego pewnych jonów metali, takich jak jony wapnia czy magnezu. Związki chelatowe są to połączenia metalu z dużą organiczną cząsteczką, zwaną chelatorem. Charakterystyczną ich cechą jest to, że chelator jest nie w jednym, lecz w kilku miejscach połączony z metalem. Duża organiczna cząsteczka chelatora (kwasu porostowego) otacza dookoła metal, łącząc się z nim wielokrotnie. Atom metalu, znajdujący się w centrum związku, stanowi jakby węzeł, wiążący organiczną cząsteczkę chelatora w pierścienie. Wytworzona w ten sposób struktura jedno- lub wielopierścieniowa wzmacnia oraz stabilizuje całą cząsteczkę i trzyma atom metalu niczym w kleszczach; stąd właśnie nazwa chelatu – chele, co oznacza po grecku kleszcze kraba. W wyniku chelatującego działania

kwasów porostowych zostaje naruszona struktura skały, dzięki czemu plecha porostu może

penetrować jej powierzchniowe warstwy (RUNDEL 1978, GEHRMANN i współaut. 1988).

ZDOLNOŚCI ADAPTACYJNE POROSTÓW DO SKRAJNYCH WARUNKÓW ŚRODOWISKA

Porosty znoszą surowe warunki klimatu podbiegunowego i wysokogórskiego. Pospolicie rosną na skałach wystawionych na działanie słońca, wiatru i mrozu oraz na blokach skalnych w miejscach odsłoniętych. Na dalekiej północy i dalekim południu, w obszarach wiecznych śniegów, na pustyniach lodowych i śnieżnych, na wystających spod śniegu nunakatach oraz w innych miejscach pozbawionych śniegu i zwartej pokrywy lodowej, a także w tundrze i w innych polarnych zbiorowiskach pionierskich porosty stanowią główny, a na siedliskach najbardziej skrajnych jedyny składnik roślinności (BYSTREK 1997).

Zawarte w plechach porostów kwasy porostowe chronią plechy, a w szczególności warstwę fotobionta (glonową), przed nadmiernym promieniowaniem słonecznym. Mają one zdolność absorbowania szkodliwego promieniowania UVA i UVB. Jest to istotne w przypadku gatunków porostów zasiedlających np. wysokie partie gór. Porosty zdolne są do przetrwania środowiskowych warunków niskiej temperatury oraz skrajnego wysuszenia. Niektóre z nich potrafią prowadzić aktywny proces fotosyntezy w temperaturach znacznie poniżej zera stopni Celsjusza oraz poniżej temperatury zamarzania swoich płynów ustrojowych. Wiele gatunków porostów antarktycznych podejmuje

strategię uniemożliwiającą powstanie lodu wewnątrzkomórkowego poprzez drastyczne odwodnienie organizmu (HARAŃCZYK 2006). Inne gatunki potrafią pokonać niskie temperatury poprzez stymulowanie powstawania kryształków lodu w przestrzeniach pozakomórkowych. Strategia ta nie tylko nie grozi śmiercią, ale i przynosi korzyści. W ubogich środowiskach, gdzie trudno o wodę opadową, woda z topniejącego kryształka lodu wewnątrz plechy daje przewagę umiastemu tak magazynować H_2O porostowi, który w poprawiających się warunkach pogodowych może już rozpocząć aktywność życiową, w przeciwieństwie do konkurentów oczekujących dopiero na deszcz. Niektóre porosty wykorzystują naprzemiennie obie te strategie. Kiedy poziom uwodnienia plechy jest zbyt wysoki, stymulują powstanie lodu w przestrzeniach międzykomórkowych, dla niższych zaś uwodnień zwiększają udział wody niezamarzniętej. Chcąc przetrwać mróz, porosty podejmują również strategię polegającą na zwiększeniu udziału wody niezamarzniętej, intensywnie wydzielając związki chemiczne noszące nazwę krioprotektantów. Rolę tych związków w plechach porostów grają wieloalkohole (rybitol, mannitol, arabitol) oraz cukry proste. Krioprotektanty łatwo mieszają się z wodą, co uniemożliwia wodzie formowanie kryształitów lodu (HARAŃCZYK 2003).

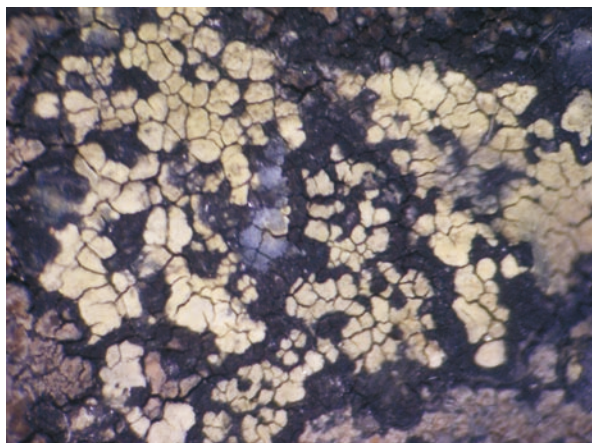
RHIZOCARPON GEOGRAPHICUM (L.) DC. – OPIS GATUNKU

Wzorzec geograficzny *Rhizocarpum geographicum* (Ryc. 1) jest to bardzo znany gatunek porostu. Ma plechę skorupiastą, średnio grubą lub dość cienką, rzadko bardzo grubą lub nikłą, zwykle areolkowaną, o areolkach płaskich lub wypukłych, gładkich, kanciastych lub kolistych, o średnicy do 0,7 mm, matowych lub lśniących. Plecha jest ciągła lub nieco popękana, bez sorediów, zwykle cytrynowożółta lub żółta, wyjątkowo częściowo popielata, biaława lub sinawa, na czarnym przedpleszu. Miąższ jest biały, zabarwiający się na niebieski kolor od roztworu jodu w jodku potasu IKI (I), od wodnego roztworu (około 20-procentowego) wodoro-

tlenku potasu KOH (K) i podchlorynu wapnia $CaOCl_2$ (C) brak reakcji barwnej.

W celach diagnostycznych w metodzie reakcji barwnej – reakcję pozytywną przy użyciu odpowiedniego odczynnika chemicznego (I, K, C) oznacza się jako + i określa się kolor, jaki się pojawił (I+ niebieski), brak zabarwienia określa się jako – (K-, C-), reakcję niewyraźną natomiast jako ±. Reakcje barwne świadczą o występowaniu kwasów porostowych.

Owocniki – apotecja lecideowe: prawie zawsze liczne, nieznacznie wystające, 0,3–1,5 mm średnicy, koliste, czarne, ułożone między areolkami. Tarczki płaskie lub wypu-



kle. Brzeżek cienki lub dość cienki, wyraźny i trwały lub zanikający. Otoczka zbudowana z promienistych, sklejonych strzępek o elipsoidalnych i wydłużonych komórkach o 3 μm średnicy, wewnątrz częściowo nieco biaława, zewnątrz czerwono-brunatno zaciemniona, od K powoli nieco czerniejąca. Ekscypulum: brązowe do brązowo-czerwonego. Epihymenium: brudno-zielono-niebiesko-czarniawe lub oliwkowe, jasne, albo najczęściej brunatno- lub czerwono- zaciemnione, w K+ fiołkowopurpurowe. Hypotecjum: brunatno zaciemnione, K- lub powoli nieco czerwieniejące, zbudowane z wyprostowanych, sklejonych strzępek o dość cienkich błonach. Hymenium (Ryc. 2, 3): bezbarwne lub nieco zielone, 100-180 μm wysokości, od I+ trwale niebieskie. Parafizy: z niezbyt grubą galaretowatą pochwą w K powoli pęczniejącą, tworzącą się prawdopodobnie z zewnętrznej części ich błony, z cienką wewnętrzną błoną, połączone rozgałęzieniami, z dość gęsty-

mi przegrodami, średnicy 2 μm , na końcach 2,5–4 μm . Worki: maczugowate, 8-zarodnikowe (NOWAK i TOBOLEWSKI 1975). Zarodniki: po 8 w worku, początkowo bezbarwne lub jasno zielono-brązowe, dojrzałe ciemno zielone lub brunatne, młode z 3–4 przegrodami, starsze murkowate, o nielicznych komorach, o średnicy 24–35 (–50) $\times$ 11–14 μm (Ryc. 2 i 3). Pyknidy drobniotkie, nieco brodawkowate, do połowy wdrażone, czarne pojedyncze lub skupione, niekiedy zlewające się, osadzone zwłaszcza na obwodzie plechy lub prawie na brzegach areolek. Pyknokonidia wałeczkowate, proste lub prawie proste, 8–9 μm długości.

Fotobiontem jest *Trebouxia* sp., glon cy-stokokkoidalny, o komórkach kulistych, pojedynczych, 6–16 µm średnicy, o błonie grubej lub dość cienkiej, niekiedy z autosporami.

Reakcje chemiczne: miążsż K-, C- lub nieco C+ czerwone, P- lub P+ żółte (P to świeży alkoholowy roztwór parafenylenodwuaminy), KC (KOH + CaOCl₂) i C+ czerwone. W świetle Uv świeci na pomarańczowy kolor.

Wtórne metabolity porostowe: kwas barbatowy, kwas psoromowy, kwas rizokarponowy (CULBERSON 1969). Psoromowy kwas lub kwas barbatowy i kwas gyroforowy (WIRTH 1995). Kwas rizokarponowy i kwas psoromowy (OLECH 2004).

Kwas ryzokarponowy nadaje wzorcowi geograficznemu żółtą barwę plechy. Kwas gyroforowy, barbatowy i psoromowy to związki bezbarwne (BYSTREK 1997).

Pod względem budowy anatomicznej *Rhizocarpon geographicum* ma plechę warstwowaną (heteromeryczną), która posiada grubą warstwę korową zbudowaną ze strzępek grzyba (mykobionta), żółto zabarwionych,

sklejonych bezpostaciową galaretką. Miąższ jest paraplektenchymatyczny, dość gęsty i tworzą go rozgałęzione, bezbarwne strzępki. W podkorowej części miąższu umiejscawia się glon (fotobiont) *Trebouxia* sp., w postaci dużych skupień komórek. Wyraźne jest podplesze, wystające ciemnym rąbkiem przedplesza (BYSTREK 1997).

Rhizocarpon geographicum jest gatunkiem naskalnym, pospolitym w górach, gdzie rośnie na skałach ubogich w węglan wapnia, na granitach, gnejsach i kwarcytach, w miejscach otwartych, najczęściej do wysokości 1000–3720 m n.p.m. Na niżej spotykany bardzo rzadko na głazach narzutowych. Jest gatunkiem kosmopolitycznym, spotykanym we wszystkich szerokościach geograficznych (pospolicie w górach, w obszarach arktycznych i alpejskich).

Tempo przyrostu plech wzorca geograficznego wynosi 0,25–0,5 mm rocznie (na podstawie badań prowadzonych w Ameryce Północnej). Porosty te mogą dożywać iście matuzalemowego wieku. Od 4–4,5 tysięcy lat, tj. od okresu neolitu do dziś żyją plechy tego gatunku (LIPNICKI i WÓJCIAK 1995).

Plecha *Rhizocarpon geographicum* pęka na liczne drobne, żółte areolki odsłaniając ciemno zabarwione przedplesze, przypominając stare mapy stąd nazwa wzorzec geograficzny. Z powodu masowego występowania tego porostu i wywołanego przezeń efektu kolorystycznego jeden ze szczytów tatrzańskich nazwano żółtą Turnią (PODBIELKOWSKI i PODBIELKOWSKA 1992).

RHIZOCARPON GEOGRAPHICUM (L.) DC. A LICHENOMETRIA

Lichenometria, pojmowana jako studia nad tempem wzrostu plech porostów w różnych środowiskach przyrodniczych, pozbawionych zwartej szaty roślinnej, powstała na początku lat 50. XX w. Ojcem tej metody był austriacki botanik Roland Beschel. Obserwując kamienie nagrobkowe oraz głazy morenowe o znanym wieku stwierdził, że wielkość plech porostów jest miarą czasu, który upłynął od momentu wystawienia tych powierzchni na działanie czynników atmosferycznych (KOTARBA 1988). Podstawową zasadą lichenometrii jest stwierdzenie, że plechy porostów o największej średnicy są wskaźnikiem wieku powierzchni, na którą wkroczyły jako pierwsze i w optymalnych warunkach środowiska wzrastały najszybciej (BESCHEL 1950). Lichenometria została uznana za użyteczną metodę datowania powierzchni skalnych odsłaniających się spod topniejących lodowców górskich i czasz lodowych Arktyki i Antarktyki. Geomorfologia uzyskała możliwość rekonstruowania faz deglacjacji wokół obszarów pokrytych lodem oraz przebiegu niektórych procesów rzeźbotwórczych. Metody lichenometryczne, oparte na znajomości tempa przyrostu plech porostowych pozwalają także określić datę powstania słynnych budowli, np. olbrzymich megalitów na Wyspach Wielkanocnych. Oceniono, że powstały około 430 lat temu, a więc są znacznie młodsze niż przypuszczano. Tufy wulkaniczne, z których zostały zrobione, nie mogły być datowane izotopowo. Lichenometria jest alternatywną

techniką datowania w stosunku do metody radiowęglowej, termoluminescencji lub dendrochronologii. Jest najbardziej użyteczna w datowaniu powierzchni skalnych odkrytych w ciągu ostatnich 500 lat (INNES 1990), gdyż wiele z innych metod datowania nie obejmuje tego okresu.

W badaniach lichenometrycznych największe znaczenia dla datowania ma właśnie *Rhizocarpon geographicum*, żyjący na powierzchniach granitowych we wszystkich szerokościach geograficznych. Jest to gatunek charakteryzujący się długowiecznością i powolnym tempem wzrostu oraz bardzo obfitą reprezentacją w warunkach arktycznych i wysokogórskich. Jego plechy mają zazwyczaj kształt kolisty i wraz ze wzrostem powiększają stopniowo swoją średnicę.

Znajomość tempa wzrostu porostu na podłożu o znanym wieku pozwala na skonstruowanie krzywej tempa jego wzrostu, która służy do określenia bezwzględnego wieku powierzchni znajdujących się poza zasięgiem obszarów testowych użytych do kalibracji krzywej (BAJGIER-KOWALSKA 2001). Przestrzenne zróżnicowanie klimatyczne sprawia, że w różnych częściach kuli ziemskiej rozwój porostu przebiega z różnym tempem, a więc dla każdego studiowanego obszaru należy skonstruować właściwą mu krzywą wzrostu. Krzywa wzrostu pokazuje relację między maksymalnymi średnicami porostów (najczęściej oznaczonych na osi Y w układzie współrzędnych prostokątnych), a

ich wiekiem liczonym w latach (na osi X). W literaturze geomorfologicznej zamieszczono wiele krzywych wzrostu plech porostów dla różnych obszarów w różnych strefach klimatycznych, gdzie ich przyrost jest określony współczynnikiem wyrażonym w mm na 100 lat. W skrajnie zimnej, kontynentalnej Arktyce, przyrost plech *Rhizocarpon geographicum*

wynosi 2 mm na 100 lat, w wilgotnej Arktyce (zachodnia Grenlandia, wyspa Axel Heiberg, wyspa Baffina) 5–15 mm na 100 lat, w obszarach wysokogórskich średnich szerokości geograficznych 20–50 mm na 100 lat – północna Norwegia, szwedzka Laponia, Alpy Austriackie i Szwajcarskie (KOTARBA 1988).

LICHENOMETRIA I JEJ ZASTOSOWANIE W POLSKICH GÓRACH

Z badań tatrzańskich wynika, że dla każdego piętra klimatycznego istnieje inna krzywa wzrostu *Rhizocarpon geographicum* (KOTARBA 1988, 1989). Współczynnik wzrostu plech tego gatunku dla piętra klimatycznego bardzo chłodnego (1550–1850 m n.p.m.) w Tatrach Wysokich wynosi 38,1 mm na 100 lat. W piętrze alpejskim, pokrywającym się z piętrzem klimatycznym umiarkowanie zimnym (1850–2200 m n.p.m.) współczynnik wzrostu jest niższy i wynosi 32,5 mm na 100 lat. Równanie określające tempo wzrostu plech porostów:

$$Ld = 0,429 A - 4,87$$

(gdzie Ld – średnia maksymalna średnica plech w mm, A – wiek porostu w latach) w Tatrach Wysokich ma zastosowanie dla okre-

su nie dłuższego niż 300 lat. Takiemu okresowi odpowiadają plechy o średnicy do 150 mm. Większe plechy przenikają się, co czyni metodę lichenometryczną nieprzydatną do datowań starszych powierzchni (KOTARBA 1988).

W Beskidach współczynnik wzrostu plech *Rhizocarpon* dla piętra chłodnego (980–1390 m n.p.m.) wynosi 42,8 mm na 100 lat, a dla piętra bardzo chłodnego (1390–1650 m n.p.m.) 39,6 mm na 100 lat (BAJGIER 1992; BAJGIER-KOWALSKA 2001, 2002).

Często w badaniach lichenometrycznych łączy się razem dwa gatunki *Rhizocarpon geographicum* i wzorzec alpejski *Rh. alpicola* (Anzi) Rabenh., ze względu na trudne ich odróżnienie w warunkach polowych.

RHIZOCARPON GEOGRAPHICUM (L.) DC. W PRZESTRZENI KOSMICZNEJ

Europejska Agencja Kosmiczna dowiodła, że porostom nie szkodzą warunki panujące w otwartej przestrzeni kosmicznej. W dniu 31 maja 2005 r. kapsuła z porostami wyniesiona została w kosmos na orbitę Earth na rosyjskiej rakiecie Sojuz. W przestrzeni pojemnik z dwoma gatunkami porostów, w tym z *Rhizocarpon geographicum* i złotorostem pysznym *Xanthoria elegans*, został otworzony i porosty te zostały wystawione na ekstremalne warunki (niską temperaturę poniżej

–20°C i słoneczne promieniowanie ultrafioletowe) panujące w przestrzeni kosmicznej przez 15 dni. Po powrocie na Ziemię okazało się, że porosty w przestrzeni wstrzymały metabolizm, ale w ziemskich warunkach ożyły ponownie, a ich DNA nie nosił śladów uszkodzeń (YOUNG 2005). Eksperyment ten potwierdził, że porosty są organizmami bardzo wytrzymałymi i mającymi zdolność do przetrwania niekorzystnych warunków.

MATUZALEM GENUS OF LICHENS – *RHIZOCARPON GEOGRAPHICUM* (L.) DC. – ITS PROPERTIES AND APPLICATION

Summary

Lichens have been described as dual organisms because they are symbiotic associations between two (or sometimes more) entirely different types of the microorganism – a fungus (termed the mycobiont) and a green alga or a cyanobacterium (termed the photobiont). *Rhizocarpon geographicum* has a thallus crustose, composed of scattered areoles or

areolate to rimose. Prothallus black, poorly to well developed. Areoles delimited by a black hypothallus. Areoles yellow-green, or more greenish or green-grey, round or ± angular, flat to convex 0.3–1.5 mm in diameter. Apothecia black to 1 mm in diameter, round or angular, matt, flat to weakly convex with distinct margin when young, becoming convex

within distinct margin when old. Apothecia sitting between the areoles. Exciple pale brown to brownish red. Epithymenium brown or reddish brown, K $\pm$ red, not containing crystals. Hymenium 100–140 μ m high, hyaline or more rarely green. Paraphyses clavate with hyaline tips. Hypothecium dark brown, K–. Asci clavate, 8–spored, 100–150 x 20–30 μ m. Ascospores hyaline to pale green-brown initially, becoming dark green to brown, submuriform or muriform, ellipsoid, 25–40 x 12–16 μ m, halonate.

Lichens with known, slow growth rates, like *Rhizocarpon geographicum*, have been used to estimate the dates of geological events such as the retreat of glaciers. Yellow map or world map of lichen is frequently used in *lichenometry*. Lichenometry is a method for age dating a landform based on the rate of lichen growth on the exposed rock surfaces. Lichenometry has been employed widely for dating the ages of glacial and periglacial features in alpine and desert regions. The method depends on the increase (growth) in diameter of lichen thalli through time. On siliceous (quartz-rich) rocks, *Rhizocarpon*

geographicum is favored for lichenometry. These bright yellow-green colored lichens are easy to identify and measure in the field. Lichenometry was first developed by Roland Beschel in the 1950's, by measuring lichen diameters on gravestones of different ages.

In an experiment led by the European Space Agency, two species of lichen – *Rhizocarpon geographicum* and *Xanthoria elegans* – were sealed in a capsule and launched on a Russian Soyuz rocket on 31 May 2005. Once in Earth orbit, the lid of the container opened and the samples were exposed to the space environment for nearly 15 days before the lid resealed and the capsule returned to Earth. The lichens were subjected to the vacuum of space and to temperatures ranging from –20°C on the night side of the Earth, to 20°C on the sunlit side. They were also exposed to glaring ultraviolet radiation of the Sun. In space, the lichens turned dormant and did not metabolize, but once returned to Earth, they resumed to their normal activity and their DNA appeared not to have been damaged.

LITERATURA

- BAJGIER M., 1992. *Zastosowanie lichenometrii w datowaniu osuwisk w Beskidzie Śląskim*. Ann. Soc. Geol. Pol. 62, 239–346.
- BAJGIER-KOWALSKA M., 2001. *Lichenometryczne datowanie pokryw koluwalnych na stokach Lipowskiej – Rodanki w Beskidzie Żywieckim* [W:] *Symposium – Pokrywy stokowe jako zapis zmian klimatycznych w późnym wistulianie i holocenie*. Sosnowiec, 5–9.
- BAJGIER-KOWALSKA M., 2002. *Zastosowanie lichenometrii w datowaniu stoków osuwiskowo-obrywowych w Beskidzie Żywieckim (Karpaty fliszowe)*. Czas Geogr. 73, 215–230.
- BESCHEL R. E., 1950. *Flechten als Altersmasstab praezenter Moränen, zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 1, 152–161.
- BYSTREK J., 1997. *Podstawy lichenologii*. Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin.
- CULBERSON C. F., 1969. *Chemical and Botanical Guide to Lichen Products*. The University of North Carolina Press, Chapel Hill.
- FAŁTYNOWICZ W., 1995. *Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia powietrza. Zasady, metody, klucze do oznaczania wybranych gatunków*. Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi, Krośno.
- FAŁTYNOWICZ W., 2003. *The lichens, lichenicolous and allied fungi of Poland. An annotated checklist. Krytyczna lista porostów i grzybów naporostowych Polski*. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.
- GEHRMANN C., KRUMBEIN W. E., PETERSEN K., 1988. *Lichen weathering activities on mineral and rock surfaces*. Studia Geobotanica 8, 33–45.
- HARAŃCZYK H., 2003. *Rozważania o dwóch z fizyki, czyli jak zamarza woda*. Foton 83, Zima, 23–29.
- HARAŃCZYK H., 2006. *Wybrane zastosowania NMR w biofizyce – wykład*. Mikrosymposium NMR w Instytucie Chemii Uniwersytetu w Białymstoku, 20 października 2006.
- INNES J. L., 1990. *The use of lichens in dating*. [W:] *CRC Handbook of Lichenology*, t. III, 75–91.
- KOTARBA A., 1988. *Lichenometria i jej zastosowanie w badaniach geomorfologicznych w Tatrach*. Wszechświat 1, 13–15.
- KOTARBA A., 1989. *On the age of debris flows in the Tatra Mountains*. Studia Geomorph. Carp.-Balc. 23, 139–152.
- LIPNICKI L., WÓJCIAK H., 1995. *Porosty. Klucz-atlas do oznaczania najpospolitszych gatunków*. WSIP, Warszawa.
- NOWAK J., TOBOLEWSKI Z., 1975. *Porosty polskie*. PWN, Warszawa-Kraków.
- OLECH M., 2004. *Lichens of King George Island, Antarctica*. The Institute of Botany of the Jagiellonian University, Kraków.
- PODBIELKOWSKI Z., PODBIELKOWSKA M., 1992. *Przystosowania roślin do środowiska*. WSIP, Warszawa.
- RUNDEL P. W., 1978. *The ecological role of secondary lichen substances*. Bioch. Syst. Ecol. 6, 157–170.
- WIRTH V., 1995. *Die Flechten Baden-Württembergs*. Bd. 1–2, II Aufl. Stuttgart, Verl. Eugen Ulmer.
- YOUNG K., 2005. *Hardy lichen shown to survive in space*. New Scientist. com. news service.