

IWONA GOLAK-SIWULSKA, ALINA KAŁUŻEWICZ, TOMASZ SPIŻEWSKI, KRZYSZTOF SOBIERALSKI

Zawartość związków biologicznie aktywnych w grzybach jadalnych dziko rosnących

Bioactive compounds content in edible wild-growing mushrooms

ABSTRACT

Golak-Siwulska I., Kałużewicz A., Spiżewski T., Sobieralski K. 2018. Zawartość związków biologicznie aktywnych w grzybach jadalnych dziko rosnących. Sylwan 162 (3): 238-247.

Mushrooms are traditionally used in folk medicine in Slavic and Asian countries, especially in traditional Chinese medicine. According to the contemporary scientific research wild-growing mushrooms contain many secondary metabolites of medicinal potential. These compounds were isolated both from mushroom fruiting bodies and mycelium. Many of these bioactive substances exhibit antibacterial, anti-oxidative, and anti-inflammatory properties. They have also anti-neoplastic, anti-diabetic, and anti-atherosclerotic activity. Mushroom metabolites include polysaccharides, sesquiterpens and triterpenoids which demonstrate anti-cancer and immunostimulatory activity. Moreover, wild-growing mushrooms contain natural antibiotics and antioxidants. Mushroom species exhibit different antibacterial activity. It was found that mushroom extracts are more effective against Gram-positive than Gram-negative bacteria. Mushroom species vary significantly in their content of antioxidants. The main group of mushroom antioxidants are polyphenols, i.e. phenolic acids and flavonoids. Anti-oxidative potential of mushrooms is strongly correlated with the content of these compounds. Such species as *Boletus edulis* and *Cantharellus cibarius* demonstrate especially high antioxidant activity. Another group of antioxidants are tocopherols, carotenoids and ascorbic acid. Lectins isolated from wild-growing mushroom include polysaccharide-protein and polysaccharide-peptide complexes. They exhibit mainly antineoplastic and antiviral effect. Nowadays wild growing mushrooms are treated as a source of secondary metabolites, which can potentially be used in food, pharmacological and cosmetic industries. This paper reviews the latest scientific reports on bioactive substances identified in edible wild-growing mushrooms occurring in Poland.

KEY WORDS

edible mushrooms, health-promoting substances, polysaccharides, antioxidants, polyphenols

ADDRESSES

Iwona Golak-Siwulska – e-mail: iwona.golak@up.poznan.pl

Alina Kałużewicz – e-mail: kalina@up.poznan.pl

Tomasz Spiżewski – e-mail: spizewsk@up.poznan.pl

Krzysztof Sobieralski – e-mail: sobieralski@up.poznan.pl

Katedra Warzywnictwa, Uniwersytet Przyrodniczy; ul. Dąbrowskiego 159, 60-594 Poznań

Wstęp

Grzyby uznawane były przez stulecia za element diety człowieka – ze względu na unikalny smak, aromat i wartość odżywczą. Były również wykorzystywane w medycynie ludowej krajów słowiańskich oraz tradycyjnej medycynie chińskiej. Wzrost zainteresowania grzybami w ostatnich dziesięcioleciach związany jest z wyizolowaniem wielu substancji bioaktywnych oraz udokumentowaniem ich właściwości prozdrowotnych [Rathee i in. 2012; Singh i in. 2014]. Obecnie grzyby wykorzystywane są do produkcji żywności funkcjonalnej, suplementów diety oraz innych produktów zawierających ekstrakty grzybowe, np. kosmetyków [Aida i in. 2009; Taofiq i in. 2016].

Na świecie zidentyfikowano dotychczas 140 tys. gatunków grzybów [Balakumar i in. 2011], jednak ich globalna liczba szacowana jest na 1,5 mln [Hawksworth 2001]. Jak podają Mueller i in. [2007], wśród zidentyfikowanych gatunków 21,6 tys. stanowią grzyby wielkoowocnikowe, których ogólna liczba gatunków szacowana jest na 53-110 tys. W Europie występuje co najmniej 75 tys. gatunków grzybów, z czego 15 tys. stanowią grzyby wielkoowocnikowe [Senn-Irlet i in. 2007]. Wśród grzybów wielkoowocnikowych około 2 tys. gatunków jest uznawanych za jadalne. Do celów kulinarnych oraz leczniczych wykorzystywanych jest obecnie około 200 gatunków grzybów pozyskiwanych ze stanowisk naturalnych [Sanchez 2004]. Ich prozdrowotne właściwości wynikają z zawartości wtórnych metabolitów, które wytwarzane są w procesie rozwoju grzybów, ich adaptacji do środowiska i konkurencji z innymi organizmami [Alves i in. 2012]. Wiele specyficznych metabolitów grzybowych wykazuje działanie antybakteryjne, antyoksydacyjne i przeciwzapalne [Zjawiony 2004; Ribeiro i in. 2006; Sanchez 2017]. Właściwości antybiotyczne stwierdzono w przypadku 158 gatunków grzybów [Shen i in. 2017]. Wiele gatunków wykazuje działanie antynowotworowe, przeciwalergiczne, przeciwwirusowe i immunostymulujące [Chang, Wasser 2012; Rezaeian i in. 2016].

Do głównych substancji biologicznie czynnych występujących w grzybach są zaliczane polisacharydy, glikoproteiny, seskwiterpeny oraz triterpenoidy, które decydują o działaniu antynowotworowym i immunostymulującym [Barros i in. 2007; Ferreira i in. 2010; Wang i in. 2014a]. Grzyby zawierają również naturalne statyny, antybiotyki oraz antyoksydanty, w tym związki fenolowe, flawonoidy, tokoferole oraz karotenoidy [Muszyńska i in. 2010; Sułkowska-Ziaja i in. 2012; Drownowska, Falandysz 2015]. Wiele gatunków grzybów dziko rosnących, pomimo nieco niższej zawartości składników odżywczych, charakteryzuje się wyższą zawartością antyoksydantów niż gatunki uprawne [Tsai i in. 2007; Barros i in. 2008; Kalač 2013; Ghate, Sridhar 2017]. Do gatunków grzybów o najwyższej zawartości związków fenolowych ogółem oraz flawonoidów należą borowik szlachetny *Boletus edulis* [Palacios i in. 2011] oraz pieprznik jadalny *Cantharellus cibarius* [Sharma, Gautam 2015].

Badania dotyczące prozdrowotnych właściwości grzybów prowadzone są intensywnie w wielu ośrodkach naukowych na świecie. Wpisują się one w aktualny trend poszukiwania naturalnych substancji o korzystnym wpływie na organizm człowieka. Grzyby są potencjalnym źródłem naturalnych antybiotyków i antyoksydantów, które cechowałoby bezpieczeństwo stosowania i brak skutków ubocznych.

W artykule dokonano przeglądu najnowszych doniesień naukowych dotyczących substancji bioaktywnych zawartych w grzybach jadalnych występujących dziko na terenie Polski. Właściwości prozdrowotne wykazane w przypadku poszczególnych gatunków grzybów jadalnych zestawiono w tabeli.

Tabela.

Aktywność biologiczna jadalnych grzybów dziko rosnących
Bioactivity of edible wild-growing mushrooms

Aktywność Activity	Gatunek Species	Literatura References
Antynowotworowa Anti-cancer	<i>Boletus edulis</i>	Lemieszek i in. [2012], Hou i in. [2014]
	<i>Lactarius deliciosus</i>	Kosanic i in. [2016]
	<i>Macrolepiota procera</i>	
Antyoksydacyjna Anti-oxidative	<i>Armillaria mellea</i>	Muszyńska i in. [2013]
	<i>Boletus edulis</i>	Tsai i in. [2007], Zhang i in. [2011], Guo i in. [2012], Luo i in. [2012]
	<i>Cantharellus cibarius</i>	Valentao i in. [2005], Vamanu, Nita [2014], Sharma, Gautam [2015]
	<i>Lactarius deliciosus</i>	Muszyńska i in. [2013]
	<i>Leccinum aurantiacum</i>	Radzki i in. [2014]
	<i>Macrolepiota procera</i>	Kosanic i in. [2016]
	<i>Suillus luteus</i>	Ribeiro i in. [2006] Mirończuk-Chodakowska i in. [2012]
Przeciwzapalna Anti-inflammatory	<i>Xerocomus badius</i>	Muszyńska i in. [2013]
	<i>Boletus edulis</i>	Wu i in. [2016]
	<i>Cantharellus cibarius</i>	Vamanu, Nita [2014]
Przeciwbakteryjna Antibacterial	<i>Morchella esculenta</i>	Rahi, Malik [2016]
	<i>Boletus edulis</i>	Zavastin i in. [2016]
	<i>Cantharellus cibarius</i>	
	<i>Lactarius deliciosus</i>	Kosanic i in. [2016]
Przeciwwirusowa Antiviral	<i>Macrolepiota procera</i>	Nowacka i in. [2014]
	<i>Xerocomus badius</i>	
Hipoglikemiczna Hypoglycemic	<i>Boletus edulis</i>	Zheng i in. [2007], Santoyo i in. [2012]
	<i>Cantharellus cibarius</i>	Zavastin i in. [2016]
Neuroprotekcynna Neuroprotective	<i>Cantharellus cibarius</i>	Orhan, Ustun [2011]
	<i>Xerocomus badius</i>	
	<i>Tricholoma equestre</i>	Muszyńska i in. [2009]
	<i>Boletus edulis, Suillus luteus</i>	Muszyńska i in. [2011a]

Związki o działaniu antynowotworowym

POLISACHARYDY. Polisacharydy zawarte w ścianie komórkowej grzybów to β - oraz α -glukany. Związki te zbudowane są z cząsteczek glikopiranozy połączonych wiązaniami glikozydowymi. β -(1 \rightarrow 3)- oraz β -(1 \rightarrow 6)-glukany stanowią element budulcowy środkowej części ściany komórkowej grzybów. β -glukany połączone z łańcuchami chityny zapewniają sztywność, a jednocześnie elastyczność ściany komórkowej. β -glukany pozyskiwane z grzybów są dokładnie przebadaną grupą polisacharydów. Związki te różnią się budową, rozpuszczalnością w wodzie, wielkością cząsteczki i masą cząsteczkową. Wykazują bardzo szerokie spektrum działania prozdrowotnego [Stachowiak, Reguła 2012].

Zdecydowanie mniej poznaną grupą polisacharydów są α -(1 \rightarrow 3)-glukany. Występują one w najgłębiej położonej warstwie ściany komórkowej grzybów, pełniąc funkcję strukturalną i podporową, oraz stanowią materiał zapasowy. Stwierdzono, że α -glukany wykazują działanie przeciw-

nowotworowe, immunostymulujące i antyoksydacyjne [Wiater i in. 2012]. Aktywność biologiczna α -(1→3)-glukanów zależy od ich rozpuszczalności, struktury oraz stężenia. Aktywność nierozpuszczalnych α -glukanów można zwiększyć na drodze chemicznej modyfikacji. Wykazano, że pochodne otrzymane wskutek karboksymetylacji α -(1→3)-glukanów charakteryzowały się wysoką aktywnością cytotoksyczną [Wiater i in. 2015].

Z grzybów dziko rosnących wyizolowano wiele polisacharydów [Yang i in. 2008]. Wykazano, że charakteryzują się one szeroką gamą aktywności biologicznej, głównie antynowotworowej, przeciwzapalnej i antyoksydacyjnej [Vaz i in. 2011; Ding i in. 2012; Luo i in. 2012]. Stwierdzono antyoksydacyjne właściwości polisacharydowej frakcji z gąsówki rudawej *Lepista inversa* [Vaz i in. 2010]. Frakcja polisacharydowa pozyskana z *B. edulis* hamowała replikację wirusa opryszczki typu HSV-1 [Santoyo i in. 2012]. Biopolimer BE3, zawierający polisacharydy i glikoproteiny z *B. edulis*, wykazywał skuteczność antynowotworową wobec linii komórek ludzkiego raka jelita grubego CCD 841 CoTr [Lemieszek i in. 2013]. Rozpuszczalny polisacharyd o masie cząsteczkowej 113,432 kDa pozyskany z *B. edulis* (BEP) hamował wzrost guza nerki u myszy [Wang i in. 2014a]. Rozpuszczalny z wodzie polisacharyd wyizolowany z *B. edulis* (BEBP) redukował prozapalną reakcję i wzmacniał przeciwzapalną odpowiedź w zwierzęcym modelu astmy, co wskazuje na jego potencjał terapeutyczny w przypadku tej choroby [Wu i in. 2016]. Polisacharydy wywołują również efekt hipoglikemiczny [Zavastin i in. 2016]. W badaniach przeprowadzonych przez tych autorów etanolowe ekstrakty z *B. edulis* oraz *C. cibarius* były silnymi inhibitorami enzymu α -glukozydazy, co umożliwiłoby skuteczne kontrolowanie hiperglikemii.

LEKTYNY. W owocnikach grzybów stwierdzono występowanie lektyn – związków o wielokierunkowym działaniu prozdrowotnym [Hassan i in. 2015]. Do lektyn zaliczane są kompleksy polisacharydowo-białkowe lub polisacharydowo-peptydowe. W ostatnich latach lektyny budzą szczególne zainteresowanie badaczy ze względu na właściwości antynowotworowe, immunomodulujące i przeciwwirusowe [Końska 2006; Khan, Khan 2011]. Lektyny wyizolowane z różnych gatunków grzybów różnią się masą cząsteczkową, ilością podjednostek oraz rodzajem związanych węglowodanów [Singh i in. 2010]. Z tego samego gatunku wyizolowano lektyny o różnych właściwościach biochemicznych [Singh i in. 2014]. Lektyny zidentyfikowano ponadto w różnych częściach owocnika, tj. w kapeluszu i trzonie oraz w grzybni. Wykazano, że ich aktywność jest ściśle zależna od wieku owocnika oraz sezonu [Mikiashvili i in. 2006].

Pomimo dużej różnorodności lektyn grzybowych istnieje niewiele informacji na temat zależności pomiędzy ich budową, funkcją oraz aktywnością biologiczną. Z *B. edulis* wyizolowano lektynę o specyficznej swoistości wobec ksylozy i melibiozy. Wykazywała ona potencjalną aktywność mitogenną oraz hamujący wpływ na enzym HIV-1 – odwrotną transkryptazę. Wskazuje to na możliwość zastosowania lektyny w zapobieganiu immunosupresji u pacjentów po chemioterapii lub chorych na AIDS [Zheng i in. 2007].

Związki o działaniu antyoksydacyjnym

Antyoksydanty budzą szczególne zainteresowanie badaczy ze względu na zdolność usuwania wolnych rodników powstających w organizmie człowieka. Dzięki temu mogą przeciwdziałać wielu chorobom cywilizacyjnym, w tym najgroźniejszym, czyli nowotworom, miażdżycy, cukrzycy, chorobom sercowo-naczyniowym i neurodegeneracyjnym. Poszukuje się obecnie nowych naturalnych źródeł antyoksydantów, które można by uwzględnić w codziennej diecie. Wyniki wielu badań wskazują, że owocniki grzybów, zarówno występujących dziko, jak i uprawnych, są bogate w przeciwutleniacze [Vaz i in. 2010; Gąsecka i in. 2015, 2017a, b; Heleno i in. 2015]. Do antyoksydantów obecnych w grzybach jadalnych należą głównie związki fenolowe, w tym kwasy

fenolowe i flawonoidy, a także tokoferole, kwas askorbinowy i karotenoidy [Ferreira i in. 2010; Robaszkiewicz i in. 2010]. Stwierdzono wysoką korelację pomiędzy aktywnością antyoksydacyjną a zawartością związków fenolowych w grzybach wielkoowocnikowych [Guo i in. 2012].

ZWIĄZKI FENOLOWE. Głównymi związkami fenolowymi występującymi w grzybach jadalnych są kwercetyna, katechina oraz kwasy kumarowy, kawowy i galusowy [Liu i in. 2012]. Ponadto zidentyfikowano kwasy homogentyzynowy, ferulowy oraz p-hydroksybenzoesowy. Stwierdzono również, że w gatunkach *B. edulis* oraz *B. regius* dominującymi związkami fenolowymi były kwas galusowy i homogentyzynowy [Guo i in. 2012]. Według Valentao i in. [2005a] w owocnikach *C. cibarius* występuje 6 związków fenolowych, w tym kwas kawowy, p-kumarowy oraz rutyna.

W badaniach przeprowadzonych przez Barrosa i in. [2008] wykazano większą zawartość flawonoidów w grzybach dziko rosnących w porównaniu do gatunków uprawnych. Mirończuk-Chodakowska i in. [2012] dokonała oceny zawartości flawonoidów w 18 gatunkach grzybów jadalnych występujących w Polsce. Badane gatunki charakteryzowały się zróżnicowaną zawartością flawonoidów: od 0,84 mg/100 g w płachetce kołpakowatej *Rozites caperatus* do 6,12 mg/100 g w maślaku żółtym *Suillus grevillei*. Wysoką zawartość flawonoidów stwierdzono w gatunkach należących do rodzaju *Suillus*, *Leccinum* oraz *Boletus*. Badania Gąseckiej i in. [2017b], obejmujące 17 gatunków grzybów dziko rosnących w Polsce, wykazały, że gatunkami o wysokiej zawartości związków fenolowych ogółem były gąsówka płowa *Lepista gilva* (38,64 mg/g s.m.) i kozłarz babka *Leccinum scabrum* (22,90 mg/g s.m.) W wymienionych gatunkach dominującymi kwasami fenolowymi były cynamonowy, galusowy, waniliowy, protokatechinowy oraz syringinowy. Spośród flawonoidów zidentyfikowano katechinę, witeksynę, luteolinę, kemferol, naryngininę, apigeninę, kwercetynę oraz rutynę.

WITAMINY. W owocnikach grzybów dziko rosnących stwierdzono występowanie witamin, takich jak tokoferol (witamina E), β -karoten (prowitamina A), a także kwas askorbinowy (witamina C). Związki te, obok polifenoli, decydują o antyoksydacyjnej aktywności grzybów [Robaszkiewicz i in. 2010; Vamanu, Nita 2014]. Gatunkiem o wysokiej zawartości witamin jest *C. cibarius* [Kuka i in. 2014; Sharma, Gautam 2015]. Zawartość tokoferoli ogółem w owocnikach tego gatunku wynosiła 4,33 mg/g (α -tokoferol – 1,25 mg/g, β -tokoferol – 1,79 mg/g, γ -tokoferol – 1,29 mg/g). Zawartość β -karotenu wynosiła 0,79 mg/100 g, a kwasu askorbinowego 0,99 mg/100 g. W owocnikach stwierdzono również występowanie likopenu, barwnika z grupy karotenoidów (0,33 mg/100 g) [Sharma, Gautam 2015]. Kuka i in. [2014] stwierdzili, że w owocnikach *C. cibarius* zawartość β -karotenu (5,6 mg/g s.m.) była czterokrotnie wyższa niż zawartość likopenu (1,3 mg/g s.m.). Zawartość β -karotenu oraz likopenu oznaczona wcześniej przez tych autorów w owocnikach *B. edulis* była znacznie wyższa i wynosiła odpowiednio 26,2 oraz 13,8 mg/g s.m. [Kuka, Cakste 2011].

Związki o działaniu antybiotycznym

Istnienie bakterii opornych na dostępne obecnie antybiotyki stanowi duży problem współczesnej medycyny. Do najgroźniejszych drobnoustrojów należą *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* oraz *Klebsiella pneumoniae* [Alves i in. 2012]. Prawdziwym wyzwaniem staje się poszukiwanie nowych, naturalnych źródeł substancji o potencjale antybakteryjnym. Wielu autorów wskazuje na obecność w grzybach związków o charakterze antybiotyków, głównie terpenoidów i związków fenolowych [Aina i in. 2012; Nowacka i in. 2014; Kosanic i in. 2016; Zavastin i in. 2016].

Stwierdzono szerokie spektrum przeciwbakteryjnej i przeciwgrzybowej aktywności etanoloowych ekstraktów z *C. cibarius* [Aina i in. 2012]. Badania Nowackiej i in. [2014] wykazały umiarkowaną aktywność przeciwbakteryjną ekstraktów z 19 grzybów dziko rosnących w Polsce. Najwyższą

aktywność stwierdzono w przypadku następujących gatunków: opieńka miodowa *Armillaria mellea*, czernidłak błyszczący *Coprinus micaceus*, mleczaj rudy *Lactarius rufus* oraz podgrzybek brunatny *Xerocomus badius*. Ci sami autorzy badali aktywność antybakteryjną 31 gatunków grzybów dziko rosnących w Polsce wobec bakterii Gram-dodatnich (*Staphylococcus epidermidis*, *S. aureus*, *Bacillus subtilis*, *Micrococcus luteus*) oraz Gram-ujemnych (*Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus mirabilis*). Wykazano, że gatunki różniły się znacznie potencjałem antymikrobiologicznym. Stwierdzono wyższą aktywność ekstraktów grzybowych wobec bakterii Gram-dodatnich niż Gram-ujemnych [Nowacka i in. 2015].

Zavastin i in. [2016] wykazali, że ekstrakty etanolowe z *B. edulis* oraz *C. cibarius* były bardziej skuteczne wobec *S. aureus* niż ekstrakty metanolowe. Według Kosanic i in. [2016] ekstrakty metanolowe z mleczaja rydza *Lactarius deliciosus* i czubajki kani *Macrolepiota procera* charakteryzowały się wyższą aktywnością antybiotyczną niż ekstrakty badane wcześniej przez innych autorów. Ekstrakty z owocników obu gatunków zastosowane w tych samych stężeniach wykazywały wyższą aktywność przeciwbakteryjną niż przeciwgrzybową.

Inne związki o aktywności biologicznej

ZWIĄZKI INDOLOWE. W grzybach występują niehalucynogenne związki indolowe, takie jak L-tryptofan, 5-hydroksytryptofan, serotonina, melatonina oraz tryptamina [Muszyńska i in. 2011a, b]. Pełnią one w organizmie człowieka funkcję neuroprzekazników lub ich prekursorów, ponadto działają przeciwnowotworowo, przeciwutleniająco i przeciwstarzeniowo. Są to związki bardzo istotne ze względu na ich potencjalną rolę w przeciwdziałaniu depresji oraz chorobom neurodegeneracyjnym, np. Parkinsona i Alzheimer. W owocnikach gąski zielonki *Tricholoma equestre* oraz podgrzybka brunatnego *Xerocomus badius* stwierdzono obecność tryptofanu, tryptaminy oraz serotoniny. Zawartość poszczególnych związków indolowych w obu gatunkach wahała się od 0,182 do 2,851 mg/100 g s.m. [Muszyńska i in. 2009]. W owocnikach borowika szlachetnego *B. edulis* oraz maślaka zwyczajnego *Suillus luteus* zidentyfikowano L-tryptofan, 5-hydroksytryptofan, serotoninę i tryptaminę. W *S. luteus* stwierdzono również występowanie produktów degradacji związków indolowych, takich jak kwas kinureninowy (2,63 mg/100 g s.m.) oraz siarczan kinureniny (19,57 mg/100 g s.m.) [Muszyńska i in. 2011a].

KWASY ORGANICZNE. Obecne w grzybach kwasy organiczne wykazują aktywność antyoksydacyjną oraz biorą udział w procesie detoksyfikacji metali poprzez ich chelatację. Valentao i in. [2005b] zidentyfikowali w owocnikach *C. cibarius* pięć kwasów organicznych: cytrynowy, askorbinowy, jabłkowy, szikimowy oraz fumarowy. Ribeiro i in. [2008] stwierdzili, że profil i zawartość poszczególnych kwasów organicznych są cechą gatunkową. Mleczek i in. [2016] wykazali, że całkowita zawartość i skład kwasów organicznych w owocnikach podgrzybka brunatnego *Boletus badius* (syn. *Xerocomus badius*) były uzależnione od warunków środowiskowych. W badaniach składu kwasów organicznych w 16 gatunków grzybów jadalnych dziko rosnących stwierdzono obecność kwasu szczawiowego w owocnikach wszystkich gatunków. Pozostałe kwasy, takie jak malonowy, bursztynowy, fumarowy, maleinowy, cytrynowy i jabłkowy, występowały tylko w niektórych gatunkach, a ich zawartość była zróżnicowana [Gąsecka i in. 2017b].

Podsumowanie

Grzyby dziko rosnące są bogatym źródłem biologicznie aktywnych metabolitów. Mogą wzbogacić dietę w naturalne, łatwo dostępne antyoksydanty oraz związki działające antybakteryjnie. Owocniki grzybów dostarczają także innych związków korzystnych dla organizmu człowieka, takich jak polisacharydy, lektyny i terpenoidy. Spożywanie grzybów może wywierać wielokie-

runkowe działanie prozdrowotne. Istnieje możliwość wykorzystania występujących dziko grzybów w przemyśle farmaceutycznym oraz do produkcji żywności funkcjonalnej. Zachodzi jednak potrzeba szczegółowego wyjaśnienia mechanizmów działania w organizmie człowieka poszczególnych substancji wyizolowanych z grzybów oraz potwierdzenia ich skuteczności, a przede wszystkim bezpieczeństwa stosowania.

Literatura

- Aida F. M. N. A., Shuhaimi M., Yazid M., Maaruf A. G. 2009. Mushroom as a potential source of prebiotics: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 20: 567-575.
- Aina D. A., Jonathan S. G., Olawuyi O. J., Ojelabi D. O., Durowaju B. M. 2012. Antioxidant, antimicrobial and phytochemical properties of alcoholic extracts of *Cantharellus cibarius* – a Nigerian mushroom. *NY. Sci. J.* 5 (10): 114-120.
- Alves M. J., Ferreira I. C. F. R., Dais J., Teixeira V., Martins A., Pintado M. 2012. A review on antimicrobial activity of mushroom (*Basidiomycetes*) extracts and isolated compounds. *Plant Med.* 78: 1707-1718.
- Balakumar R., Sivaprakasam E., Kavitha D., Sridhar S., Kumar J. S. 2011. Antibacterial and antifungal activity of fruit bodies of *Phellinus* mushroom extract. *Int. J. Biosci.* 1: 72-77.
- Barros L., Calhella R. C., Vas J. A., Ferreira I. C. F. R., Baptista P., Estevinh L. M. 2007. Antimicrobial activity and bioactive compounds of Portuguese wild edible mushrooms methanolic extracts. *Eur Food Res. Technol.* 225: 151-156.
- Barros L., Cruz T., Baptista P., Estevinho L. M., Ferreira I. C. F. R. 2008. Wild and commercial mushrooms as source of nutrients and nutraceuticals. *Food Chem. Toxicol.* 46: 2742-2747.
- Chang S. T., Wasser S. P. 2012. The role of culinary-medicinal mushrooms on human welfare with a pyramid model for human health. *Int. J. Med. Mushrooms.* 14 (2): 95-134.
- Ding X., Hou Y. L., Hou W. R. 2012. Structure elucidation and antioxidant activity of a novel polysaccharide isolated from *Boletus speciosus* Forst. *Int. J. Biol. Macromol.* 50: 613-618.
- Drewnowska M., Falandysz J. 2015. Investigation on mineral composition and accumulation by popular edible mushroom common chanterelle (*Cantharellus cibarius*). *Ecotox. Envir. Safe.* 113: 9-17.
- Ferreira I. C. F. R., Barros L., Abreu R. M. V. 2009. Antioxidants in wild mushrooms. *Curr. Med. Chem.* 16: 1543-1560.
- Ferreira I. C. F. R., Vaz J. A., Vasconcelos M. H., Martins A. 2010. Compounds from Wild Mushrooms with Antitumor Potential. *Anticancer Agents Med. Chem.* 10: 424-436.
- Gąsecka M., Mleczek M., Siwulski M., Niedzielski P., Kozak L. 2015. The effect of selenium on phenolics and flavonoids in selected edible white rot fungi. *LWT – Food Sci. Technol.* 63: 726-731.
- Gąsecka M., Rzymyski P., Mleczek M., Siwulski M., Budzyńska S., Magdziak Z., Niedzielski P., Sobieralski K. 2017a. The relationship between metal composition, phenolic acid and flavonoid content in *Imleria badia* from non-polluted and polluted areas. *J. Environ. Sci. Health B* 52 (3): 171-177.
- Gąsecka M., Siwulski M., Mleczek M. 2017b. Evaluation of bioactive compounds content and antioxidant properties of soil-growing and wood-growing edible mushrooms. *J. Food Process. Preserv.*, e13386.
- Ghate S. D., Sridhar K. R. 2017. Bioactive potential of *Lentinus squarrosulus* and *Termitomyces clypeatus* from the Southwestern region of India. *Indian J. Nat. Prod. Resour.* 8 (2): 120-131.
- Guo Y.-J., Deng G.-F., Xu X.-R., Wu S., Li S., Xia E.-Q., Li F., Chen F., Ling W.-H., Li H.-B. 2012. Antioxidant capacities, phenolic compounds and polysaccharide contents of 49 edible macro-fungi. *Food Funct.* 3: 1195-120.
- Hassan M., Rouf R., Tirralongo E., May T., Tiralongo J. 2015. Mushroom lectins: specificity, structure and bioactivity relevant to human disease. *Int. J. Mol. Sci.* 16: 7802-7838.
- Hawksworth D. L. 2001. The magnitude of fungal diversity: 1.5 million species estimate revisited. *Mycol. Res.* 105 (12): 1422-1432.
- Heleno S. A., Ferreira R. C., Antonio A. L., Queiroz M.-J. R. P., Barros L., Ferreira I. C. F. R. 2015. Nutritional value, bioactive compounds and antioxidant properties of three edible mushrooms from Poland. *Food Biosci.* 11: 48-55.
- Hou Y., Ding X., Hou W., Song B., Wang T., Wang F., Li J., Zeng Y., Zhong J., Xu T., Zhu H. 2014. Pharmacological evaluation for anticancer and immune activities of a novel polysaccharide isolated from *Boletus speciosus* Frost. *Mol. Med. Rep.* 9: 1337-1344.
- Kalač P. 2009. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review. *Food Chem.* 113: 9-16.
- Kalač P. 2013. A review of chemical composition and nutritional value of wild growing and cultivated mushrooms. *J. Sci. Food Agric.* 93 (2): 209-218.
- Khan F., Khan M. I. 2011. Fungal lectins: Current molecular and biochemical perspectives. *Int. J. Biol. Chem.* 5: 1-20.

- Końska G. 2006. Lectins of higher fungi (*Macromycetes*) – Their occurrence, physiological role and biological activity. *Int. J. Med. Mushrooms* 8: 19-30.
- Kosanic M., Rankovic B., Rancic A., Stanojkovic T. 2016. Evaluation of metal concentration and antioxidant, antimicrobial, and anticancer potentials of two edible mushrooms *Lactarius deliciosus* and *Macrolepiota procera*. *J. Food Drug Anal.* 24: 477-484.
- Kuka M., Cakste I. 2011. Bioactive Compounds in Latvian Edible Mushroom *Boletus edulis*. The 6th Baltic Conference on Food Science and Technology 'Innovations for food science and production'. Foodbalt 2011 Conference Proceedings, Latvia, Jelgava. 116-120.
- Kuka M., Cakste I., Galoburda R., Sabovics M. 2014. Chemical composition of Latvian wild edible mushroom *Cantharellus cibarius*. Proceedings of 9th Baltic Conference on Food Science and Technology 'Food for Consumer Well-Being'. Foodbalt 2014, Jelgava, 8-9 May 2014, LLU. 248-252.
- Lemieszek M. K., Cardoso C., Nunes F. H. F. M., de Barros A. I. R. N. A., Marques G., Pożarowski P., Rzeski W. 2013. *Boletus edulis* biologically active biopolymers induce cell cycle arrest in human colon adenocarcinoma cells. *Food Funct.* 4: 575-585.
- Liu Y. T., Sun J., Luo Z. Y., Rao S. Q., Su Y. J., Xu R. 2012. Chemical composition of five wild edible mushrooms collected from southwest China and their antihyperglycemic and antioxidant activity. *Food Chem. Toxicol.* 50: 1238-1244.
- Luo A., Luo A., Huang J., Fan Y. 2012. Purification, characterization and antioxidant activities *in vitro* and *in vivo* of the polysaccharides from *Boletus edulis*. *Bull. Molecules* 17: 8079-8090.
- Mikiashvili N., Elisashvili V., Wasser S. P., Nevo E. 2006. Comparative study of lectin activity of higher *Basidiomycetes*. *Int. J. Med. Mushrooms* 8: 31-38.
- Mironczuk-Chodakowska I., Witkowska A., Zujko M. E. 2012. Zawartość flawonoidów w jadalnych grzybach leśnych. *Bromat. Chem. Toksykol.* 45 (3): 665-668.
- Mleczek M., Magdziak Z., Gąsecka M., Niedzielski P., Kalač P., Siwulski M., Rzymiski P., Zalicka S., Sobieralski K. 2016. Content of selected elements and low-molecular-weight organic acids in fruiting bodies of edible mushroom *Boletus badius* (Fr.) Fr. from unpolluted and polluted areas. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23: 20609-20618.
- Moro C., Palacios I., Lozano M., Dárrigo M., Guillamón E., Villares A., Martínez J. A. García-Lafuente A. 2012. Anti-inflammatory activity of methanolic extracts from edible mushrooms in LPS activated RAW 264.7 macrophages. *Food Chem.* 130: 350-355.
- Mueller G. M., Schmidt J. P., Leacock P. R., Buyck B., Cifuentes J., Desjardin D. E., Halling R. E., Hjortstam K., Iturriaga T., Larsson K. H., Lodge D. J., May T. W., Minter D., Rajchenberg M., Redhead S. A., Ryvar den L., Trappe J. M., Watling R., Wu Q. 2007. Global diversity and distribution of macrofungi. *Biodivers. Conserv.* 16: 37-48.
- Muszyńska B., Sułkowska-Ziaja K., Ekiert H. 2009. Indole compounds in fruiting bodies of some selected *Macromycetes* species and in their mycelia cultured *in vitro*. *Pharmazie* 64: 479-480.
- Muszyńska B., Sułkowska-Ziaja K., Ekiert H. 2010. Główne grupy związków i pierwiastki z aktywnością biologiczną w wybranych gatunkach grzybów z taksonu *Basidiomycota*. *Farm. Pol.* 66 (11): 804-814.
- Muszyńska B., Sułkowska-Ziaja K., Ekiert H. 2011a. Indol compounds in some culinary-medicinal higher *Basidiomycetes* from Poland. *Int. J. Med. Mushrooms* 13: 449-454.
- Muszyńska B., Sułkowska-Ziaja K., Ekiert H. 2011b. Indol compounds in fruiting bodies of some edible *Basidiomycota* species. *Food Chem.* 125: 1306-1318.
- Muszyńska B., Sułkowska-Ziaja K., Ekiert H. 2013. Phenolic acids in selected edible *Basidiomycota* species: *Armillaria mellea*, *Boletus badius*, *Boletus edulis*, *Cantharellus cibarius*, *Lactarius deliciosus* and *Pleurotus ostreatus*. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 12 (4): 107-116.
- Nowacka N., Nowak R., Drozd M., Olech M., Los R. 2014. Analysis of phenolic constituents, antiradical and antimicrobial activity of edible mushrooms growing wild in Poland. *LWT – Food Sci. Technol.* 59: 689-694.
- Nowacka N., Nowak R., Drozd M., Olech M., Los R., Malm A. 2015. Antibacterial, antiradical potential and phenolic compounds of thirty-one Polish mushrooms. *Plos One* DOI: 10.1371/journal.pone.0140355.
- Orhan I., Ustun O. 2011. Determination of total phenol content, antioxidant activity and acetylcholinesterase inhibition in selected mushrooms from Turkey. *J. Food Comp. Anal.* 24 (3): 386-390.
- Palacios I., Lozano M., Moro C., Arrigo D., Rostagno M. A., Martinez J. A., Garcia-Lafuente A., Quillamon E., Villares A. 2011. Antioxidant properties of phenolic compounds occurring in edible mushrooms. *Food Chem.* 128: 674-678.
- Radzki W., Sławińska A., Jabłońska-Rys E., Gustaw W. 2014. Antioxidant Capacity and Polyphenolic Content of Dried Wild Edible Mushrooms from Poland. *Int. J. Med. Mushr.* 16 (1): 65-75.
- Rahi D. K., Malik D. 2016. Diversity of mushrooms and their metabolites of nutraceutical and therapeutic significance. *J. Mycol.*, ID 7654123, 18 pp.
- Rathee S., Rathee D., Rathee D., Kumar V., Rathee P. 2012. Mushrooms as therapeutic agents. *Braz. J. Pharmacogn.* 22 (2): 459-474.

- Rezaeian S., Saadatmand S., Sattari T. N., Mirshamsi A. 2016. Antioxidant potential and other medicinal properties of edible mushrooms naturally grown in Iran. *Biomed. Res.* 27 (1): 240-247.
- Ribeiro B., Lopes R., Andrade P. B., Seabra R. M., Goinalves R. F., Baptista P., Quelhas I., Valentao P. 2008. Comparative study of phytochemicals and antioxidant potential of wild edible mushroom caps and stipes. *Food Chem.* 110 (1): 47-56.
- Ribeiro B., Rangel J., Valentao P., Baptista P., Seabra R. M., Andrade P. B. 2006. Contents of carboxylic acids and two phenolics and antioxidant activity of dried Portuguese wild edible mushrooms. *J. Agric. Food Chem.* 54: 8530-8537.
- Robaszekiewicz A., Bartosz G., Lawrynowicz M., Soszynski M. 2010. The Role of Polyphenols, β -carotene, and Lycopene in the Antioxidative Action of the Extracts of Dried, Edible Mushrooms. *J. Nutr. Metabol.*, ID 173274, 9 p.
- Sanchez C. 2004. Mini-review, modern aspects of mushroom culture technology. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 64: 759-762.
- Sanchez C. 2017. Reactive oxygen species and antioxidant properties from mushrooms. *Synth. Syst. Biotechnol.* 2: 13-22.
- Santoyo S., Ramirez-Anguiano A. C., Aldars-Garcia L., Reglero G., Soler-Rivas C. 2012. Antiviral activities of *Boletus edulis*, *Pleurotus ostreatus* and *Lentinus edodes* extracts and polysaccharide fractions against Herpes simplex virus type 1. *J. Food Nutr. Res.* 51 (4): 225-235.
- Senn-Irlet B., Heilmann-Clausen J., Genney D., Dahlberg A. 2007. Guidance for conservation of macrofungi in Europe. Council of Europe, Strasbourg.
- Sharma S. K., Gautam N. 2015. Chemical, bioactive and antioxidant potential of twenty wild culinary mushroom species. *BioMed Res. Int.*, ID 346508, 12 p.
- Shen H.-S., Shao S., Chen J.-C., Zhou T. 2017. Antimicrobials from mushrooms for assuring food safety. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 16: 316-329.
- Singh R. S., Bhari R., Kaur H. P. 2010. Mushroom lectins: Current status and future perspectives. *Crit. Rev. Biotechnol.* 30: 99-126.
- Singh S. S., Wang H., Chan Y. S., Pan W., Dan X., Yin C. M., Akkouch O., Ng T. B. 2014. Lectins from Edible Mushrooms. *Molecules* 20: 446-469.
- Stachowiak B., Reguła J. 2012. Health-promoting potential of edible macromycetes under special consideration of polysaccharides: a review. *Eur. Foods Res. Technol.* 234: 369-380.
- Sułkowska-Ziaja K., Muszyńska B., Motyl P., Pasko P., Ekiert H. 2012. Phenolic compounds and antioxidant activity in some species of polyporoid mushrooms from Poland. *Int. J. Med. Mushrooms* 14 (4): 385-393.
- Taofiq O., Gonzalez-Paramis A. M., Martins A., Barreiro M. F., Ferreira I. C. F. R. 2016. Mushroom extracts and compounds in cosmetics, cosmeceuticals and nutricosmetics – A review. *Ind. Crops Prod.* 90: 38-48.
- Tsai S.-Y., Tsai H.-L., Mau J.-L. 2007. Antioxidant properties of *Agaricus blazei*, *Agrocybe cylindracea* and *Boletus edulis*. *LWT – Food Sci. Technol.* 40: 1392-1402.
- Valentao P., Andrade P. B., Rangel J., Ribeiro B., Silva B. M., Baptista P., Seabra R. M. 2005a. Effect of the conservation procedure on the content of phenolic compounds and organic acids in Chantarelle (*Cantharellus cibarius*) mushroom. *J. Agric. Food Chem.* 53: 4925-4931.
- Valentao P., Lopes G., Valente M., Barbosa P., Andrade P. B., Silva B. M., Baptista P., Seabra R. M. 2005b. Quantification of nine organic acids in wild mushrooms. *J. Agr. Food Chem.* 53: 3626-3630.
- Vamanu E., Nita S. 2014. Bioactive compounds, antioxidant and anti-inflammatory activities of extracts from *Cantharellus cibarius*. *Rev. Chim.* 65 (3): 372-379.
- Vaz J. A., Barros L., Martins A., Santos-Buelga C., Vasconcelos M. H., Ferreira I. C. F. R. 2011. Chemical composition of wild edible mushrooms and antioxidant properties of their water soluble polysaccharidic and ethanolic fractions. *Food Chem.* 126: 610-616.
- Vaz J. A., Heleno S. A., Martins A., Almeida G. M., Vasconcelos M. H., Ferreira I. C. F. R. 2010. Wild mushrooms *Clitocybe alexandrii* and *Lepista inversa*: *in vitro* antioxidant activity and growth inhibition of human tumour cell lines. *Food Chem. Toxicol.* 48: 2881-2884.
- Wang D., Sun S.-Q., Wu W.-Z., Yang S.-L., Tan J.-M. 2014a. Characterization of a water-soluble polysaccharide from *Boletus edulis* and its antitumor and immunomodulatory activities on renal cancer in mice. *Carbohydr. Polym.* 105: 127-134.
- Wang X.-M., Zhang J., Wu L.-H., Zhao Y.-L., Li T., Li J.-Q., Wang Y.-Z., Liu H.-G. 2014b. A mini-review of chemical composition and nutritional value of edible wild-growing mushroom from China. *Food Chem.* 151: 279-285.
- Wiater A., Paduch R., Choma A., Pleszczyńska M., Siwulski M., Dominik J., Janusz G., Tomeczyk M., Szczodrak J. 2012. Biological study on carboxymethylated (1 \rightarrow 3)- α -D-glucans from fruiting bodies of *Ganoderma lucidum*. *Int. J. Biol. Macromol.* 51: 1014-1023.
- Wiater A., Paduch R., Próchniak K., Pleszczyńska M., Siwulski M., Białas W., Szczodrak J. 2015. Ocena aktywności biologicznej karboksymetylowanych pochodnych α -(1 \rightarrow 3)-glukanów wyizolowanych z owocników uprawnych gatunków bocznika (*Pleurotus*). *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 98: 193-206.

- Wu S., Wang G., Yang R., Cui Y. 2016. Ant-inflammatory effects of *Boletus edulis* polysaccharide on asthma pathology. Am. J. Transl. Res. 8 (10): 4478-4489.
- Yang L. H., Liu L. D., Zong X. S., Feng P. Y., Cai D. H., Ma C. J. 2008. Separation and identification of polysaccharides from natural *Boletus* and their antioxidant activities. Food Sci. 29: 335-338.
- Zavastin D. E., Bujor A., Tuchilus C., Mircea C. G., Gherman S. P., Aprotosoiaie A. C., Miron A. 2016. Studies on antioxidant, antihyperglycemic and antimicrobial effect of edible mushrooms *Boletus edulis* and *Cantharellus cibarius*. J. Plant Develop. 23: 87-95.
- Zhang A., Xiao N., He P., Sun P. 2011. Chemical analysis and antioxidant activity *in vitro* of polysaccharides extracted from *Boletus edulis*. Int. J. Biol. Macromol. 49: 1092-1095.
- Zheng S., Li C., Ng T. B., Wang H. X. 2007. A lectin with mitogenic activity from the edible wild mushroom *Boletus edulis*. Process Biochem. 42: 1620-1624.
- Zjawiony J. K. 2004. Biologically active compounds from *Aphylllophorales* (*Polypore*) fungi. J. Nat. Prod. 67: 300-310.