



БІОЛОГІЧНО-АКТИВНІ РЕЧОВИНИ ГРИБІВ ВІДДІЛУ BASIDIOMYCOTA

Іванова Т.С., Бісько Н.А., доктор біол. наук, В.Ю. Барштейн, кандидат тех. наук,
Т.А. Круподьорова, кандидат біол. наук

ДУ "Інститут харчової біотехнології та геноміки Національної академії наук України", Київ

Резюме. У статті узагальнено сучасні відомості про основні біологічно активні речовини грибів відділу *Basidiomycota* та наведені галузі їх застосування.

Ключові слова: базидіальні гриби, біологічно активні речовини, хітин, меланін, гетерополисахариди, лектини, терпеноїди, харчові добавки.

Резюме. В статье обобщены современные данные об основных биологически активных веществах грибов отдела *Basidiomycota* и области их использования.

Ключевые слова: базидиальные грибы, биологически активные вещества, хитин, меланин, гетерополисахариды, лектины, терпеноиды, пищевые добавки.

Summary. This review highlights recent information about the main biologically active substances of the mushrooms of the phylum *Basidiomycota* and some branches of their application.

Key words: *Basidiomycota*, biologically active substances, chitin, melanin, glucans, lectins, terpenoids, food supplements.

Створення харчових продуктів для спеціального дієтичного споживання та дієтичних добавок — далеко від свого вирішення та вельми актуальна в Україні проблема, що вимагає визначення сировини — джерела біологічно активних речовин (БАР). У наш час зростає інтерес до БАР, що синтезуються природними продуцентами: рослинами, бактеріями та грибами.

Всебічні численні дослідження грибів з різних систематичних груп встановили наявність продуцентів біологічно активних речовин серед вищих базидіальних грибів — макроміцетів, які відносяться до відділу *Basidiomycota* [1].

До найважливіших властивостей метаболітів цих грибів належать: підвищення імунітету, гепатопротекторна, протипухлинна, антидіабетична, кардіологічна дія, зниження рівня холестерину, покращення функціонального стану певних органів та систем організму (зокрема, нервової, статевої), лікування й профілактика хронічних захворювань [2].

Лікувальні властивості грибів широко застосовуються у народній медицині Далекого Сходу (Китай, Японія, Корея), де понад 2000 років люди збирали, сушили та використовували плоді тіла *Ganoderma lucidum*, *Lentinus edodes*, *Dendropolyporus umbellatus*, *Tremella fuciformis* тощо [2, 3].

Метою даного огляду є узагальнення і систематизація даних літератури про виявлені БАР вищих базидіальних грибів та перспективні шляхи їх подальшого застосування.

Насамперед привертає увагу клітинна оболонка грибів, в якій міститься до 60 % сухої маси хітину [2]. Хімічна природа хітину — лінійний полімер, в

молекулу якого входять β -1,4-зв'язані одиниці N-ацетилглюкозаміну. В оболонках грибних клітин вони зібрані у кристаліти [4].

Хітин та його дезацетильоване похідне хітозан, що промислово отримують із хітину (рис. 1, А), виявляють протівірусну, антибактеріальну, протипухлинну дію, активізують діяльність макрофагів [5]. Крім того, хітин має здатність до сорбції важких металів, радіонуклідів тощо [6]. На сьогодні хітин і хітозан широко використовують у різноманітних біотехнологічних процесах. Зокрема як катіонні агенти при очищенні забруднених водойм; для підвищення стійкості рослин; в якості харчової добавки для людини та тварин; для зниження рівня холестерину; для загоєння ран та опіків; як антикоагулянт, протитромбичний та гемостатичний засіб; для тимчасової заміни шкірної та кісткової тканини, як компонент у штучних кровоносних судинах та клапанах, імплантат у косметичній хірургії; як косметичний інгредієнт; у текстильній, паперовій промисловості, при виробництві кіноплівки та губок; як іммобілізаційний шар у хроматографії; в якості аналітичного реагенту [7].

У клітинній оболонці грибів зустрічаються також пігменти, зокрема меланіни. Меланіни характеризуються антиоксидантними, гепатопротекторними, радіопротекторними, імуномодельючими та гепатопротекторними властивостями. Високий вміст меланінів встановлено для *Inonotus obliquus* та видів роду *Phellinus* [8]. Препарат із меланіну знижує афективні реакції у дослідних тварин, попереджує виразкоутворення, меланіни використовуються при виробництві сонцезахисних кремів, для

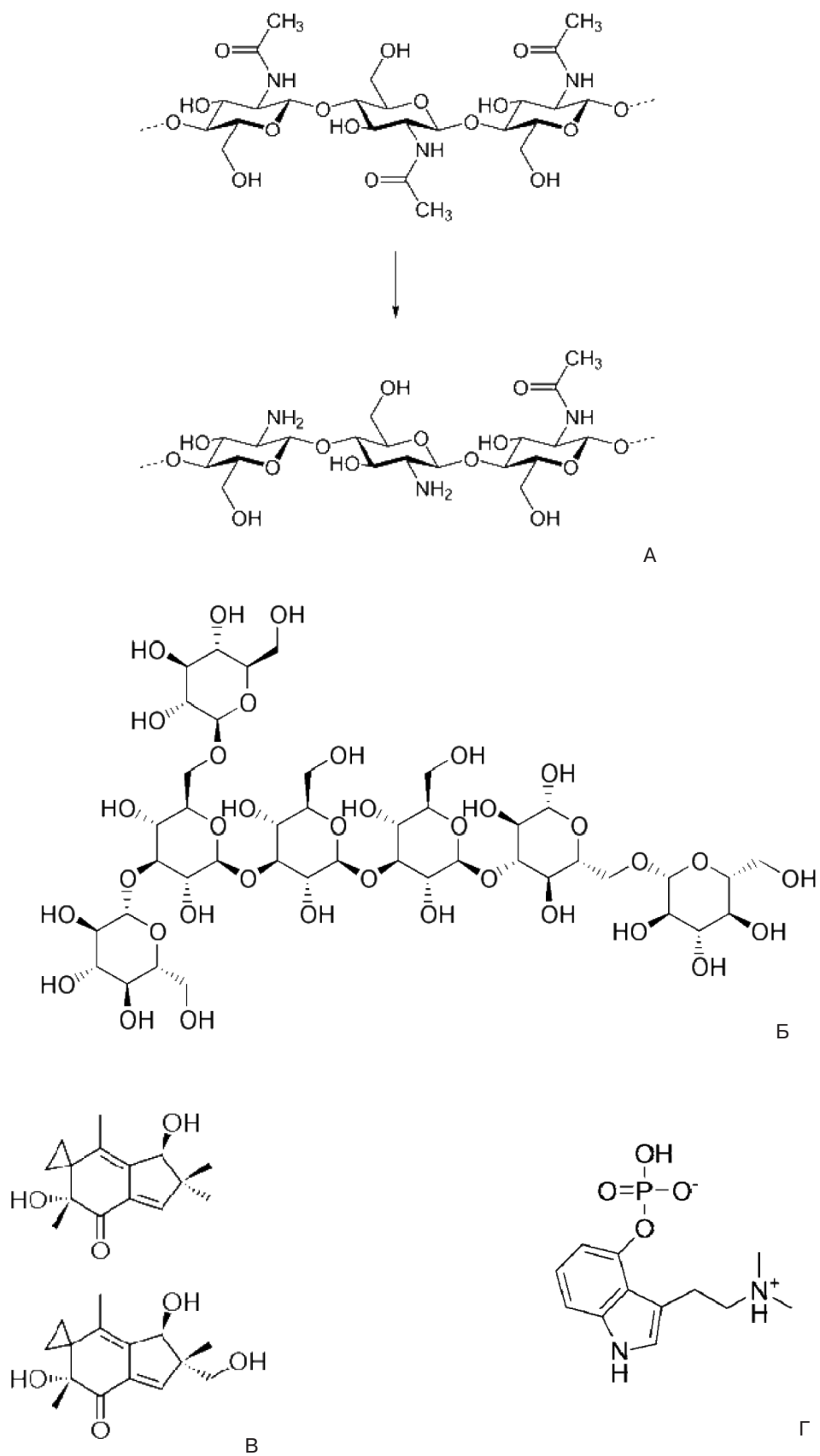


Рис. 1. Структурні формули деяких біологічно активних речовин базидіомікот:
 А – хітин та його похідне хітозан; Б – лентинан – β -D глюкан *Lentinula edodes*;
 В – терпеноїди грибів роду *Omphalotus*: ілюдини М (зверху) та S (знизу);
 Г – псилоцибін – галюциногенна отрута грибів *Psilocybe* та ін.

подовження строку придатності харчових продуктів, вони є антидотами при гострих отруєннях. У процесі травлення меланін частково засвоюється за участю мікрофлори кишечника, частково виконує роль ентеросорбента, регулятора перистальтики, нормалізує склад кишкової мікрофлори [9].

Сукупність високомолекулярних компонентів плодових тіл та міцелію базидіоміцетів — пептидоглюкани, гетерополісахариди та хітин в літературі називають грибною клітковиною (dietary fibre) [2]. Ці речовини поліпшують роботу шлунка та кишечника, сорбують і виводять з організму шлаки, іони важких металів, канцерогени та радіонукліди [2].

У роботах багатьох авторів [2, 3] доведено, що β -D-глюкани шапинкових грибів та їх похідні виявляють протипухлинну активність: зокрема лентинан, виділений із *L. edodes* (рис. 1, Б), та шизофілан, отриманий із *Schizophyllum commune* [3], протеїноглюкановий полісахарид крестин із *Trametes versicolor* та глюкуронооксиломанан, екстрагований із *T. fuciformis* [2]. Полісахариди грибів не здатні безпосередньо руйнувати ракові клітини, але вони активують імунну відповідь клітин хворої людини. Встановлено, що полісахариди з *T. fuciformis*, *S. commune*, *D. umbellatus*, *Grifola frondosa*, *Hericium erinaceus*, *I. obliquus*, *G. lucidum* та інших базидіомікот підвищують активність макрофагів. Полісахарид лентинан, виділений із *L. edodes*, до того ж стимулює T- і B-лімфоцити, а також інфільтрацію еозинофілів, нейтрофілів та гранулоцитів навколо тканини-мішені [10].

Встановлено, що полісахаридна фракція *L. edodes* характеризується гепатопротекторною дією, а також здатністю підвищувати продукцію антитіл до гепатиту В. Ці властивості лентинану дозволяють використовувати його для лікування хронічних гепатитів та гепатиту В у людини [2].

Досліди на мишах показали, що гандодерани А і В — глюкани плодових тіл *G. lucidum*, значно знижують рівень цукру в крові при захворюванні діабетом. Встановлено, що корелан (β -глюкопротеїд), виділений із міцеліальної біомаси *T. versicolor*, показав на тваринах та *in vitro* активність проти експериментального діабету [2].

Новітні дані [11] виявили ефективність застосування полісахаридно-протеїнового комплексу, ізольованого із *Phellinus rimosus*, проти ревматоїдних артритів.

Олігосахариди грибів виявляють пребіотичні властивості, тобто вибірково стимулюють ріст та/або підвищують біологічну активність нормальної мікрофлори кишечника [12].

У складі ліпідів грибів переважають поліненасичені та мононенасичені жирні кислоти (олеїнова, лінолева), які позитивно впливають на стан здоров'я людини: їх наявність у дієті сприяє зниженню рівня холестерину в крові, регуляції кров'яного тиску та покращенню кровообігу [13].

Встановлено, що до складу шапинкових грибів входить широкий спектр вітамінів: провітамін А (каротини), В₁ (тіамін), В₂ (рибофлавін), В₃ (PP — ніацин або нікотинова кислота), В₅ (пантотенова кислота), В₆ (піридоксин), В₁₂ (оротова кислота), С (аскорбінова кислота), D (кальцифероли) та провітамін D (ергостерол). *Boletus edulis* містить також вітамін Е (токоферол). Вміст вітаміну С у базидіомікот у порівнянні з рослинними продуктами (зелена цибуля, смородина, лимони тощо) досить незначний. Найбільшу кількість аскорбінової кислоти знайдено в плодових тілах *Agaricus bisporus*. У той же час, більшість грибів, крім *Leccinum* та *Rhizillus*, продукують вітамін В₁ у концентрації, що характерна для більшості зернових культур. Вміст вітаміну В₂ у плодових тілах багатьох видів істівних грибів значно вищий, ніж в овочах та злаках. Найбільша кількість рибофлавіну характерна для *Pholiota nameko*. Максимальний синтез вітаміну А характерний для *Cantharellus cibarius* та *Lactarius deliciosus*. Цей вітамін майже зовсім відсутній у *B. edulis*, *Xerocomus badius* та *Tricholoma equestre*. Проте в плодових тілах трьох останніх видів грибів був відмічений вітамін D, що відсутній в плодових тілах *A. bisporus* при культивуванні у темряві. Виявлено, що плодове тіло *Pleurotus ostreatus* містять найбільшу кількість вітаміну PP [4].

На сьогодні особливу увагу привертають білкові речовини грибів — лектини та ферменти. Лектини — це білки неімуноглобулінової природи, здатні до специфічного впізнання та зворотного зв'язування з вуглеводною частиною глікокон'югатів без порушення ковалентної структури будь-яких впізнаних глікозидних лігандів. Гліколізування білків - це невід'ємна частина вуглеводного обміну організмів. Основна функція вуглеводів у метаболізмі будь-яких організмів пов'язана не тільки з енергетичним, а і з біоінформаційним потенціалом, тому переважна кількість білків у організмах, в тому числі і в грибах, гліколізовані. Функціонування деяких метаболічних систем, переважно тих, що мають екстраклітинну направленість, з використанням вуглеводного біоінформаційного потенціалу можливе завдяки здійсненню біоспецифічної вуглевод-білкової взаємодії. Подібна взаємодія реалізується, в основному, за допомогою лектинів, здатних розпізнавати певні вуглеводні детермінанти в клітинних структурах. Тобто, якщо деякі глікозидні структури в живій клітині представляють певний інформаційний потенціал, то його реалізація потребує участі лектинових субстанцій [14].

Тому біологічна роль лектинів дуже різноманітна. Так, вони беруть участь у мобілізації та транспорті цукрів, організації клітини, регуляції росту та диференціації, в процесі проникнення паразитів у організм хазяїна і при утворенні симбіотичних взаємовідносин (наприклад, при формуванні міко-

ризи та бактеріоризи) [15]. Лектини також широко використовують як біохімічні інструменти в багатьох напрямках дослідження: в якості специфічних аглютининів при визначенні групових антигенів крові, у синтезі афінних сорбентів, що використовуються для фракціонування чи аналізу полісахаридів, гліколіпідів та глікопротеїнів, при цито- та гістохімічних дослідженнях глікокон'югатів тканин та клітинних поверхонь [16].

Лектини широко розповсюджені у тварин, рослин, бактерій, вірусів та грибів. Проте серед базидіомікот лектини більш поширені, ніж серед вищих рослин. У родах *Lactarius*, *Russula*, *Boletus*, *Phallus* та в родині *Hygrophoraceae* відмічено великий відсоток видів із лектиною активністю. Окремі види мають декілька лектинів, інколи дуже схожої специфічності, інколи зовсім відмінні. Різноманітні лектини різного хімічного складу, структури та активності виділені із плодових тіл *A. bisporus*, *Boletus satanus*, *Ganoderma* spp., *Grifola frondosa*, *Leucoagaricus* spp., *Pleurotus* spp., *Tricholoma mongolicum* та інших. Лектини було знайдено у міцелії *Kuehneromyces mutabilis*, *Pholiota squamosa*, *G. lucidum* та *L. edodes*. Деякі виділені із міцелію лектини були ідентичні лектинам плодових тіл, зокрема, лектини *Fleuria aurantia* та *Volvariella volvaceae* [15].

Базидіомікоти мають велике значення як деструктори, що перетворюють біополімери лігнін та полісахариди у легкодоступну форму. Виробництво ферментних препаратів є одним із провідних напрямків у розвитку біотехнології в усьому світі. Використання лігно- та целюлозоруйнуючих ферментів базидіомікот перспективне, зокрема у паперовій промисловості, при отриманні кормів для худоби та для деструкції різноманітних відходів виробництва, що забруднюють навколишнє середовище [17].

Протеїнази, виділені із базидіальних грибів, широко використовуються у промисловості. Так, сицужна дія ферментів *Irpex lacteus* була використана у виробництві сиру Чеддер. Протеїнази *Russula decolorans* застосовуються для заміни реніну при згортанні молока. Протеїнази *Armillariella mellea* використовуються у вигляді тромболітичного засобу, а з *Tricholoma portentosum* та *Flammulina velutipes* одержують фібринолітичний засіб [17].

Базидіоміцети багаті на такі важливі сполуки, як терпеноїди різних класів (монотерпеноїди, сесквітерпеноїди, дитерпеноїди, сестертерпеноїди, тритерпеноїди, тетратерпеноїди). До терпеноїдів належать терпени — низькомолекулярні біорегулятори, що складаються з ізопренових одиниць та їх похідні. Зокрема, із плодових тіл, спор та міцелію *G. lucidum* і *G. applanatum* виділено близько 130 різних тритерпеноїдів: ганодерал А і В (рис. 1, В), епоксипанодеріол А, В, С, люцидон А, В, С тощо. Деякі з них мають антиандрогенну, антиоксидантну, протипухлинну, антикомплементарну,

протимікробну дію, активність проти гепатиту В, ВІЛ-1, селективно пригнічують еукаріотичну ДНК-полімеразу та фермент, що перетворює ангіотензин [18]. Із отруйних агарикових грибів *Omphallotus* отримано сесквітерпеноїди ілюдини М і S. Вперше серед базидіомікот із лікарського гриба *I. obliquus* виділено сесквітерпеноїди цис- і транс-бергамотен, α -сантален, β -сесквіфенчен, епі- β -сантален, фотосанталол, β - і γ -еудестемол [19].

Дослідження показали, що деякі біологічно активні речовини базидіальних грибів (феноли, флавоноїди та вітаміни тощо) виявляють антиоксидантні властивості [21], тобто нейтралізують вільні радикали. Продемонстровано також здатність амінокислоти ерготіонеїну із макроміцетів попереджувати клітинну токсичність, опосередковану вільними радикалами та індуковану міддю [20]. Описані антиоксидантні властивості ліпідної фракції *G. frondosa* і екстракту з *Geastrum saccatum*, багатих на β -глюкан [20].

Деякі базидіальні гриби містять отрути. Так, із мухомора червоного виділено сім видів отрут, серед них: мускарин (похідне триметиламонію), мускариндин, ацетилхолін, мускімол та ін. Мускімол — селективний антагоніст групи клітинних рецепторів γ -аміномасляної кислоти, основного гальмівного медіатора в нервовій системі хребетних. Види роду *Psilocybe* містять псилоцибін (рис. 1, Г), псилоцин, беоцистин і норбеоцистин. Крім того, псилоцибін знайдено у видів грибів із родів *Panaeolus*, *Stropharia*, *Gymnopilus* та *Inocybe*. Вважається, що псилоцин, що утворюється в кишечнику при дефосфорилуванні псилоцибіну, діє на серотонінові рецептори. Плодові тіла *Psilocybe mexicana* традиційно використовуються мексиканськими індіями у релігійних ритуалах. *Amanita phalloides* — найотруйніший гриб, з якого виділено та ідентифіковано десять отруйних речовин — циклопептидів, що містять індольне кільце і закриті системи кілець, кінці яких зв'язані амінокислотними залишками. Під дією токсинів блідої поганки пригнічується синтез АТФ, руйнуються лізосоми, мікросоми та рибосоми клітин. В результаті порушення біосинтезу білка, фосфоліпідів та глікогену розвиваються некроз та жирове переродження печінки [4, 9].

На сьогоднішній популярною формою використання макроміцетів є створення на їх основі дієтичних добавок чи їх інгредієнтів, що без подальшої модифікації вживаються людиною для покращення стану здоров'я [3]. Найбільшим виробником таких добавок є США, зокрема такі компанії як *Nature's Sunshine Products*, *Ming Gold*, *SC Formula*, *Mico Forte*, *Rare Red Reishi* [2].

В Україні розпочато випуск харчових добавок серії "Мікосвіт" та "Міко" на основі плодових тіл та міцелію *L. edodes*, *G. frondosa*, *G. lucidum* та інших видів лікарських грибів, "Мікотон" — з використан-

ням плодових тіл *Fomes fomentarius*. У Біларусі виробляють торгові продукти "Лентин" та "Діалентин" на основі *L. edodes*.

Найпопулярнішими у світі видами вищих базидіальних грибів, на основі яких розробляються біологічно активні добавки та функціональні продукти харчування, є *L. edodes*, *G. lucidum*, *G. frondosa*, *Hericium erinaceus*, *T. versicolor*, *T. fuciformis* [2]. Експериментально встановлено, що використання порошку із грибів *P. ostreatus* у якості біологічно активної добавки при виробництві хлібобулочних виробів при заміні 3% маси дріжджів порошком гливи покращувало показники хліба за рахунок інтенсифікації дріжджової активності: збільшувалася піднімаюча сила та зменшився час бродіння [21].

Отже, гриби є цінним джерелом різноманітних за

складом та структурою біологічно активних речовин. Деякі з них є характерними лише для метаболізму грибів відділу Базидіомікота, зокрема, специфічні β -D-глюкани та їх похідні, певні терпеноїди, лектини тощо.

Пошук перспективних продуцентів біологічно активних речовин серед представників відділу Basidiomycota, вивчення закономірностей росту та біосинтезу цих компонентів, розробка біотехнологій отримання екологічно чистої біомаси грибів з використанням рослинної сировини — відходів сільського, лісового господарства та харчової промисловості нашої країни дозволить отримати нові ефективні харчові продукти для спеціального дієтичного споживання.

ЛІТЕРАТУРА

1. A Higher-level Phylogenetic Classification of the Fungi / D.S. Hibbett [et al.] // *Mycological Research*. –2007. –№III. –P. 509–547.
2. Wasser S.P. Medicinal properties of substances occurring in Higher Basidiomycetes Mushrooms: current perspectives (Review) / S.P. Wasser, A.L. Weis // *International Journal of Medicinal Mushrooms*. –1999. –Vol.1. –P. 31–62.
3. Dietary Supplements from Medicinal Mushrooms: Diversity of Types and Variety of Regulations / S.P. Wasser, E. Nevo, D. Sokolov [et al.] // *International Journal of Medicinal Mushrooms*. –2000. –Vol.2. –P. 1–19.
4. Дудка И.А. Грибы. Справочник миколога и грибника / И.А. Дудка, С.П. Вассер. –К.: Наукова думка, 1987. –534 с.
5. Nishimura K. Immunological activity of chitin and its derivatives / K. Nishimura, S. Nishimura, N. Nishi, I. Saiki, S. Tokura, I. Azuma // *Vaccine*. –1984. –Vol.2. –Iss.1. –P. 93–99.
6. Сорбция ионов меди биомассой, клеточными стенками и хитин-глюкановым комплексом гриба *Trametes hirsute*, выращенного на среде с лактозой / Н.М. Ровбель, И.А. Гончарова, В.А. Воскобоева [и др.] // *Материалы Международной конференции [Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии]* –Минск. –2004. –С. 325–326.
7. Hiranoa Sh. Chitin Biotechnology Applications / Sh. Hiranoa // *Biotechnology Annual Review*. –1996. –Vol.2. –P. 237–258.
8. Связывание ионов тяжелых металлов меланином грибов *Phellinus robustus* и *Inonotus obliquus* / Н.В. Иконникова, И.А. Гончарова, Т.В. Соколова [и др.] *Материалы Международной конференции [Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии]* –Минск. –2004. –С. 288–289.
9. Огарков Б.Н. Грибы — защитники, целители и разрушители / Б.Н. Огарков, Г.Р. Огаркова, Л.В. Самусенок - Иркутск: ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2008. –247 с.
10. Mizuno T. The Extraction and Development of Antitumor-Active Polysaccharides from Medicinal Mushrooms in Japan (Review) / T. Mizuno // *International Journal of Medicinal Mushrooms*. –1999. –Vol.1. –P. 39–30.
11. Meera Ch. R. Antiarthritic activity of a polysaccharide-protein complex isolated from *Phellinus rimosus* (Berk.) Pilat (Aphyllphoromycetideae) in Freund's complete adjuvant-induced arthritic rats / Ch.R. Meera, Th.P. Smina, B. Nitha [et al.] // *International Journal of Medicinal Mushrooms*. –2009. –Vol.11(1). –P. 21–28.
12. Synytsya A. Glucans from fruit bodies of cultivated mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*: Structure and potential prebiotic activity / A. Synytsya, K. Mickova, A. Synytsya [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. –2009. –Vol.76. –Iss.4. –P. 548–555.
13. Ribeiro B. Fatty acid composition of wild edible mushrooms species: A comparative study / B. Ribeiro, P. Guedes de Pinhoa [et al.] // *Microchemical Journal*. –2009. –Vol.93. –Iss.1. –P. 29–35.

14. Степанова Л.В. Выделение и характеристика лектина с поверхности мицелия *Grifola frondosa* (Fr.) S.F. Gray / Л.В. Степанова, В.Е. Никитина, А.С. Бойко // Микробиология. –2007. –Т.76. –С. 488–493.
15. Mikiashvili N. Purification and Characterization of a Lectin Isolated from the Submerged Cultivated Mycelium of Grey Polypore *Cerrena unicolor* (Bull.) Murrill (Aphyllphoromycetideae) / N. Mikiashvili, V. Elisashvili, M. Worku [et al.] // International Journal of Medicinal Mushrooms. –2009. –№11(1). –P. 61–68.
16. Ветчинкина Е.П. Активность внутриклеточных лектинов *Lentinus edodes* на разных стадиях развития гриба / Е.П. Ветчинкина, В.Е. Никитина, О.М. Цивилев, Л.Б. Гарибова // Микология и фитопатология. –2008. –Т.44. –С. 76–83.
17. Даниляк Н.И. Ферментативные системы высших базидиомицетов / Н.И. Даниляк, В.Д. Семичаевский, Л.Г. Дудченко, И.А. Трутнёва. –К.: Наук. думка, 1989. –280 с.
18. Analysis of Triterpenoids in *Ganoderma lucidum* Using Liquid Chromatography Coupled with Electrospray Ionization Mass Spectrometry / M. Yang, X. Wang, Sh. Guan [et al.] // Journal of the American Society for Mass Spectrometry. –2007. –Vol.18. –Iss.5. –P. 927–939.
19. Ayoub N. Volatile Constituents of the Medicinal Fungus Chaga *Inonotus obliquus* (Pers.: Fr.) Pilat (Aphyllphoromycetideae) / N. Ayoub, D. Lass, W. Schultze // International Journal of Medicinal Mushrooms. –2009. –Vol.11(1). –P. 55–60.
20. Antioxidant Activity of Edible Blushing Wood Mushroom, *Agaricus sylvaticus* Schaeff. (Agaricomycetideae) In Vitro / S. Percario, A.S. Naufal, M.S. Gennari, J.L. Gennari // International Journal of Medicinal Mushrooms. –2009. –№11. –P. 133–140.
21. Кравченко О.А. Возможность применения муки из грибов вешенка в качестве биологически активной добавки при производстве хлебобулочных изделий / О.А. Кравченко, Э.Е. Хачатурян, Ю.Ф. Росляков // Известия ВУЗов. Пищевая технология. –2009. –№4. –С. 50–51.

Надійшла до редакції 24.03.2010