

Influence of mineral substances on the synthesis of volatile organic compounds by *Pleurotus ostreatus* in the process of solid phase cultivation

E. N. Vlasenko, O. V. Kuznetcova, J. V. Stepnevskaya

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 27.09.2017

Received in revised form
03.11.2017

Accepted 08.11.2017

Ukrainian State University
of Chemical Technology,
Gagarin Ave., 8,
Dnipro, 49005, Ukraine.
Tel.: +38-097-954-78-85
E-mail:
ekaterina.udhtu@gmail.com

Vlasenko, E. N., Stepnevskaya, J. V., & Kuznetcova, O. V. (2017). Influence of mineral substances on the synthesis of volatile organic compounds by *Pleurotus ostreatus* in the process of solid phase cultivation. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 8(4), 489–496. doi:10.15421/021775

Mineral substances play an important role in ensuring high-grade growth and high organoleptic quality of the fruit bodies of basidiomycetes. In the process of solid-phase cultivation of the mushroom *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. the lignocellulosic substrates were enriched with mineral additives of calcium, iron and selenium. Their influence on the synthesis of volatile aroma compounds was investigated by the methods of sensory profile analysis and ultraviolet spectroscopy. Mineral additives in the form of CaCl_2 , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ and Na_2SeO_3 salts were added to the substrate (sunflower husk, barley straw) before sterilization in concentrations that correspond to the physiological needs of the mushrooms. When carrying out a sensory profile analysis of dried fruit bodies, the following attributes of the flavor were determined: mushroom, woody, sweet, herbaceous, fish, meat, floral, earthy, acidic, putrescent. The conducted profile analysis showed an unequal dependence of the effect of mineral additives for each of the *P. ostreatus* strains. For IBK-549 and IBK-1535, an increase in the intensity of mushroom notes of aroma was observed with the addition of calcium and selenium to the husks, and for IBK-551, this was observed with the addition of iron and selenium to both substrates. The volatile aroma compounds were extracted with hexane at boiling point for 30 minutes. Absorption spectra were recorded in the wavelength range 200–330 nm. The examined extracts had light absorption maxima at 200–210 and 260–300 nm, which is typical for solutions of unsaturated compounds that have non-conjugated double bonds, saturated and unsaturated aldehydes and ketones. Additions of iron to the substrates increased the intensity of light absorption in comparison with the control. Additions of selenium selectively influenced different strains, and calcium ions did not significantly affect the change in the intensity of light absorption, and therefore the synthesis of volatile compounds by mushrooms. The level of synthesis of aroma-forming substances was higher when cultivating fungi on sunflower husks than on barley straw. This was confirmed both by the obtained aroma profiles and by the recorded absorption spectra of all examined strains. The study showed the possibility of influencing the organoleptic qualities of *P. ostreatus* fruiting bodies during solid-phase cultivation by supplementing the composition of lignocellulosic substrates with various mineral additives.

Keywords: aroma compounds; sensory analysis; UV spectroscopy; iron; calcium; selenium

Вплив мінеральних речовин на синтез летких органічних сполук грибами *Pleurotus ostreatus* у процесі твердофазного культивування

К. М. Власенко, О. В. Кузнецова, Я. В. Степневська

Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпро, Україна

Мінеральні речовини відіграють важливу роль у забезпеченні повноцінного росту та високої органолептичної якості плодових тіл базидіоміцетів. У процесі твердофазного культивування грибів *Pleurotus ostreatus* (Jacq.:Fr.) Kumm. лігноцелюлозні субстрати збагачували мінеральними добавками кальцію, заліза та селену. Вивчено їх вплив на синтез летких запашних сполук методами сенсорного профільного аналізу та ультрафіолетової спектроскопії. Мінеральні добавки у вигляді солей CaCl_2 , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ та Na_2SeO_3 додавали до субстрату (соняшникове лушпиння, солома ячменю) перед стерилізацією у концентраціях, які відповідають фізіологічним потребам гриба. Сенсорний профільний аналіз висушених плодових тіл показав неоднакову залежність впливу мінеральних добавок для кожного зі штамів гриба *P. ostreatus*. Для штамів IBK-549 та IBK-1535 відмічено підвищення інтенсивності грибних нот запаху під час додавання кальцію та селену. А для IBK-551 спостерігалось підвищення характерних грибних нот на обох субстратах із добавками заліза та селену. Екстрагували леткі запашні сполуки гексаном за температури кипіння протягом 30 хвилин. Досліджені екстракти мали максимуми світлопоглинання у діапазоні 200–210 нм та за 260–300 нм, що характерно для розчинів ненасичених сполук, які мають подвійні зв'язки, насичених і ненасичених альдегідів і кетонів. Добавки заліза до субстратів підвищували інтенсивність світлопоглинання екстрактів порівняно з контролем. Добавки селену мали вибірковий вплив на різні штами, а іони кальцію суттєво не впливали на синтез летких сполук грибами.

Ключові слова: запашні сполуки; сенсорний аналіз; УФ-спектроскопія; залізо; кальцій; селен

Гриби *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. можна культивувати на різних субстратах, включаючи більшість сільсько-господарських відходів (Curvetto et al., 2002). Але за інтенсивного процесу вирощування цих грибів існує проблема відсутності грибного аромату міцелію та зниження ароматичних властивостей плодових тіл порівняно з тими, які отримані у природних умовах (Buhalo, 1988).

Як правило, лігноцелюлозні матеріали, які використовують як субстрати для культивування грибів, мають низький вміст мінералів і потребують добавок для забезпечення їх повноцінного росту. Іони металів відіграють важливу роль у фізіології живлення грибів, що зумовлено високим біологічним значенням ферментних систем, які їх містять. Мікроелементи беруть участь у численних біохімічних процесах, пов'язаних із різними катаболічними та анаболічними реакціями (Al-Maali, 2015).

Мінеральні речовини, такі як фосфор, сульфур, магній, кальцій, залізо, калій, купрум, цинк, манган і кобальт, використовують у культуральних середовищах для вирощування грибів (Belletini et al., 2016). Кальцій – життєво необхідний елемент для росту грибів (Pitt and Ugalde, 1984), підтримання цілісності клітинних мембран та регуляції проникності мембран для багатьох іонів (El Habbasha and Faten, 2015). Він бере участь у багатьох клітинних процесах, таких як утворення апресорій, розгалуження гіф та цитоплазматичний рух (Regalado, 1998). Градієнт іонів Ca^{2+} відіграє регуляторну роль у процесах верхівкового росту гіф грибів (Jackson and Heath, 1993). Нерідко кальцій слугує нейтралізатором надлишку органічних кислот, які утворюються у процесах обміну багатьох грибів. Він – кофермент низки гідролаз, наприклад, α -амілази та деяких гідролаз циклічних полісахаридів (Bekker, 1988).

Залізо необхідне для росту всіх грибів, а також для утворення комплексів різних сполук із ним, які відіграють важливу роль у живленні грибів, детоксикації проміжних метаболітів та багатьох інших процесах (Velychko and Berykashvyly, 2008). Залізо як кофактор активує ферменти та відіграє роль у формуванні просторової структури білків, які беруть участь у більшості важливих біохімічних реакцій у клітині. Fe-залежні ферменти задіяні майже в усіх основних процесах, що відбуваються у клітинах: у циклі трикарбонних кислот, диханні, трансляції, реплікації та репарації ДНК, метаболізмі ксенобіотиків, транспорті кисню, синтезі антибіотиків та інших малих молекул. Вони необхідні для синтезу основних компонентів клітини: ліпідів (оксистеролів, ненасичених жирних кислот, гідроксильованих сфінголіпідів), протеїнів, нуклеїнових кислот (Philpott et al., 2012).

Залізо (II) входить до складу ферментів ліпоксигеназ – родини негемових залізовмісних діоксигеназ, які каталізують окиснення ненасичених жирних кислот з утворенням їх гідропероксидів (Golovanov et al., 2008). Ця реакція – ключовий етап ліпоксигеназного шляху утворення летких запашних сполук, таких як 1-октен-3-ол, грибами (Combet et al., 2006).

Селен – мікроелемент, хімічно подібний до сульфору та телуру. В організмі він зв'язується з білковими молекулами, утворюючи селенопротеїни (Savic et al., 2009). Селен входить до складу селенометіоніну та селеноцистеїну (Werner and Beelman, 2002), які мають каталітичну та антиоксидантну активність. Він – кофактор ферменту глутатіонпероксидази, яка захищає організм від негативного впливу перекису водню та гідропероксидів жирних кислот, які утворюються у ліпоксигеназному та циклооксигеназному метаболічних шляхах (Nunes et al., 2012; Ostadalova, 2012).

Мета цього дослідження – визначити вплив мінеральних речовин (солей кальцію, заліза та селену) на синтез летких запашних сполук штамми гриба *P. ostreatus* у процесі твердофазного культивування за допомогою сенсорного профільного аналізу та ультрафіолетової спектроскопії.

Об'єкти досліджень – три штами їстівного гриба *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm.: IBK-549, IBK-551 та IBK-1535, отримані з колекції культур шапинкових грибів Інституту ботаніки імені М. Г. Холодного НАН України. Гриб належить до родини Pleurotaceae, порядку Agaricales, класу Agaricomycetes, відділу Basidiomycota, царства Fungi.

Субстрати для отримання плодових тіл – відходи сільськогосподарства: соняшникове лушпиння та солома ячменю.

Мінеральні добавки використовували у вигляді водних розчинів солей $CaCl_2$, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ та Na_2SeO_3 . Розчини додавали до субстрату перед стерилізацією у перерахунок на вміст досліджуваних мінеральних речовин у концентраціях: Ca – $10^{-2}\%$ та $10^{-3}\%$, Fe – $10^{-3}\%$ та $10^{-4}\%$, Se – $10^{-5}\%$ та $10^{-6}\%$. Під час вибору концентрацій мінеральних добавок враховували потреби *P. ostreatus* у них та їх потенційну токсичність. Контроль – субстрати без добавок.

Підготовку та стерилізацію субстратів проводили загальноприйнятими методами (Buhalo et al., 2004). Охолоджений субстрат інокулювали посівним міцелієм *P. ostreatus*. Посівний міцелій отримували на основі зерна ячменю. Культивування проводили за температури 26 ± 1 °C та вологості 70–80% до повного заростання субстрату міцелієм, потім ємності з субстратом переносили у ростове приміщення з температурою 15–16 °C, вологістю 80–90% і освітленням протягом 8 годин на добу. Збирали врожай I та II хвиль плодоносіння. Гриби висушували за температури 40–45 °C у сухожаровій шафі протягом 24–48 годин.

У процесі культивування визначали такі параметри росту міцелію *P. ostreatus*: термін появи приморддів та I хвилі плодоносіння, кількість утворених зростків, врожай I та II хвиль плодоносіння.

Сенсорний профіль аромату зразків висушених грибів визначали за загальноприйнятими методиками (Vlasenko and Kuznesova, 2016). Експертна дегустаційна комісія складалась із п'яти осіб, підготовлених для проведення органолептичного аналізу. Спочатку визначено характерні атрибути запаху, а потім ступінь інтенсивності кожного з них за 5-бальною шкалою: 0 – ознака відсутня, 1 – ознака лише упізнається або відчувається, 2 – слабка інтенсивність, 3 – помірна інтенсивність, 4 – сильна інтенсивність, 5 – дуже сильна інтенсивність прояву ознаки. Досліджувані зразки оцінювали тричі.

Для проведення спектрофотометричного дослідження висушені плодові тіла першої хвилі плодоносіння подрібнювали на електричному млині до порошкоподібного стану. Наважку сировини масою 1 г поміщали в екстрактор, додавали розчинник у кількості 100 см³ (гідромодуль складав 1 : 100). Як розчинник використовували гексан. Екстракцію проводили за температури кипіння протягом 30 хвилин. Екстракти охолоджували у витяжній шафі, фільтрували через паперовий фільтр на воронці Бюхнера, кількісно переносили у мірну колбу місткістю 250 см³ і доводили об'єм розчинником до позначки. Розчин 1-октен-3-олу готували розчиненням у гексані концентрацією 1 г/дм³. Спектри поглинання реєстрували за допомогою спектрофотометра СФ-2000 у діапазоні 200–330 нм. Як розчин порівняння використовували розчинник. Математичну обробку даних здійснювали методом однофакторного дисперсійного аналізу.

Результати та їх обговорення

Культурально-морфологічні характеристики росту грибів. Термін появи приморддів варіював залежно від штаму гриба від 15 до 26 діб на соняшковому лушпинні та від 17 до 28 діб на солоній ячменю. Додавання Ca^{2+} до соняшкового лушпиння скорочувало термін появи приморддів на 2–4 доби. За морфологічними ознаками міцелій *P. ostreatus* усіх досліджених штамів білий, пухнастий, щільніший на соняшковому лушпинні.

Таблиця 1

Параметри росту *Pleurotus ostreatus* ІВК-549, ІВК-551 та ІВК-1535 на різних варіантах субстрату ($x \pm SE$, $n = 3$)

Мінеральна добавка	Термін появи	Перша хвиля при-морддів, доба	Перша хвиля пло-носіня, доба	Кількість зростків на одиницю об'єму, шт.	Врожай першої хвилі пло-носіня, г	Врожай другої хвилі пло-носіня, г	Термін появи при-морддів, доба	Перша хвиля пло-носіня, доба	Кількість зростків на одиницю об'єму, шт.	Врожай першої хвилі пло-носіня, г	Врожай другої хвилі пло-носіня, г
	Соняшникове лушпиння						Солома ячменю				
<i>P. ostreatus</i> ІВК-549											
Ca10 ⁻² %	16-17	25	35,7 ± 1,08*	17,2 ± 0,80	6,1 ± 0,38*	25	36	12,3 ± 0,41	14,4 ± 0,57	3,8 ± 0,33	
Ca10 ⁻³ %	16	25-27	36,0 ± 1,41*	14,9 ± 0,23	4,8 ± 0,61	23	32	11,3 ± 0,82	15,3 ± 0,39	3,9 ± 0,50	
Fe10 ⁻³ %	18	32	18,7 ± 1,78	15,5 ± 0,51	4,6 ± 0,68	21-22	29-31	11,0 ± 2,55	16,0 ± 2,48	4,3 ± 0,69	
Fe10 ⁻⁴ %	19-20	33	15,7 ± 0,41	13,7 ± 0,40	4,3 ± 0,22	18-19	33	15,0 ± 1,87	12,3 ± 0,47	4,7 ± 0,37	
Se10 ⁻⁵ %	19-21	28-29	23,7 ± 3,19	16,2 ± 0,47	4,4 ± 0,42	17	25	17,3 ± 0,82	22,1 ± 0,67	5,6 ± 0,28	
Se10 ⁻⁶ %	20-22	29-32	23,3 ± 1,47	15,5 ± 0,63	4,3 ± 0,49	17	25	16,3 ± 0,41	19,3 ± 1,03	4,7 ± 0,20	
Контроль	18-20	26-32	18,7 ± 1,08	17,1 ± 1,40	3,4 ± 0,34	17-20	26-32	14,0 ± 1,87	15,5 ± 3,25	4,4 ± 1,55	
<i>P. ostreatus</i> ІВК-551											
Ca10 ⁻² %	16	29-32	19,3 ± 1,08	14,0 ± 0,47	4,5 ± 0,61	28	42	5,7 ± 1,08	11,2 ± 0,42	4,9 ± 0,35	
Ca10 ⁻³ %	15-16	28	17,7 ± 1,47	15,2 ± 0,43	4,4 ± 0,74	26-27	38-40	7,3 ± 1,08	13,4 ± 0,70	4,3 ± 0,33	
Fe10 ⁻³ %	23	34-35	19,7 ± 2,86	15,4 ± 1,65	4,8 ± 0,35	24	32	13,0 ± 0,71*	13,1 ± 0,13	8,6 ± 0,45	
Fe10 ⁻⁴ %	18-20	33-35	20,7 ± 1,47	13,6 ± 0,41	4,2 ± 0,32	20-22	33	12,7 ± 0,82*	12,1 ± 0,49	4,7 ± 0,49	
Se10 ⁻⁵ %	18	28	17,7 ± 1,47	14,2 ± 0,71	5,3 ± 0,78	20	29	14,3 ± 1,78	14,5 ± 1,04	8,2 ± 1,06	
Se10 ⁻⁶ %	18-22	32	16,3 ± 1,47	14,5 ± 0,82	6,1 ± 1,46	20	32-35	14,0 ± 1,87	13,3 ± 0,81	5,0 ± 0,69	
Контроль	20-24	30-36	18,7 ± 1,47	13,9 ± 0,60	4,0 ± 0,55	20-24	30-35	8,7 ± 1,08	12,4 ± 1,55	5,9 ± 1,12	
<i>P. ostreatus</i> ІВК-1535											
Ca10 ⁻² %	17-19	34-36	37,7 ± 0,41*	16,0 ± 1,30	6,3 ± 0,87	25-27	40-42	12,7 ± 3,56	18,3 ± 1,51*	5,8 ± 0,69	
Ca10 ⁻³ %	16-17	32	30,0 ± 0,71*	13,4 ± 0,43	5,1 ± 0,19	27-28	40	16,3 ± 1,47	18,8 ± 1,93*	5,0 ± 0,24	
Fe10 ⁻³ %	21	39	29,0 ± 1,87	14,3 ± 0,31	6,4 ± 0,63	22-24	37	26,0 ± 3,94*	12,7 ± 0,16	6,7 ± 0,81	
Fe10 ⁻⁴ %	19-20	39-42	25,0 ± 0,71	12,4 ± 0,42	4,3 ± 0,33	20-22	34-38	17,3 ± 0,41*	11,0 ± 0,36	4,7 ± 0,28	
Se10 ⁻⁵ %	17-18	28-29	36,0 ± 2,83*	15,9 ± 0,84*	5,4 ± 0,35	20-21	31-35	13,3 ± 1,08	12,7 ± 0,49	6,4 ± 0,67	
Se10 ⁻⁶ %	18-19	28-32	41,3 ± 1,08*	15,0 ± 0,78	7,7 ± 1,27	21	35-37	17,7 ± 0,41*	12,8 ± 0,41	10,5 ± 0,58*	
Контроль	22-26	32-36	25,0 ± 1,41	12,7 ± 0,71	5,9 ± 0,73	22-24	34-40	10,3 ± 2,04	12,5 ± 0,61	5,4 ± 0,40	

Примітка: * – різниця статистично достовірна за $P < 0,05$ порівняно з контролем.

Варіювання строків I хвилі пло-носіня спостерігали для різних штамів у діапазоні 25–39 діб на лушпинні та 26–42 доби на соломі. Досліджувані мінеральні добавки суттєво не впливали на терміни пло-носіня.

Особливої різниці у морфології отриманих пло-дівих тіл різних штамів грибів на субстратах із мінеральними добавками не відмічено. Зразки отриманих пло-дівих тіл *P. ostreatus* різних штамів показані на рисунках 1–3.

Під час культивування на соняшниковому лушпинні спостерігали збільшення кількості грибних зростків за додавання у середовище солей кальцію для штаму ІВК-549, кальцію та селену для штаму ІВК-1535. Під час вирощування на соломі ячменю достовірне збільшення кількості зростків відмічено за додавання до основного субстрату заліза в обох концентраціях (штами ІВК-551 та ІВК-1535) та селену (ІВК-1535).

Досліджені мінеральні добавки суттєво не вплинули на врожайність грибів під час культивування на соняшниковому лушпинні. На соломі ячменю за додавання іонів кальцію врожайність збільшилася в 1,5 раза (штам ІВК-1535). Деякі дослідники також відмічають вплив мінеральних речовин на врожайність базидіо-міцетів. У дослідженнях Yokota et al., (2016) додавання заліза у концентрації 30–60 мг/кг до цукрового очерету підвищувало біологічну ефективність на 15%, але суттєво не впливало на терміни пло-носіня *P. ostreatus*. Додавання селену (1 та 10 мг/л) до мальц-агару під час культивування у чашках Петрі стимулювало ріст *P. ostreatus* НК-35 (Savic et al., 2009). Під час твердофазного культивування *P. ostreatus* на кавовому лушпинні збагачення селеном впливало на морфологію пло-дівих тіл. За концентрації понад 12,8 мг/кг утворювалися пло-діві тіла з видовженими ніжками та меншими шапками, збільшувалися терміни пло-носіня.

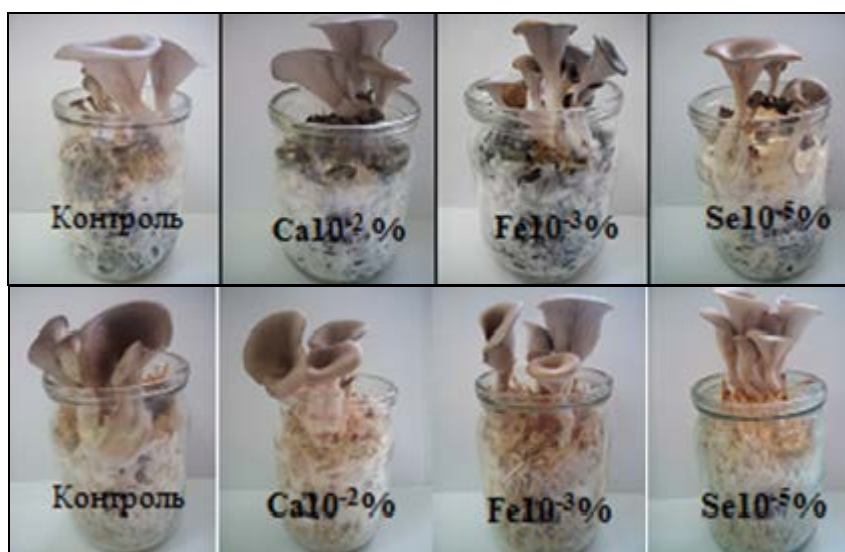


Рис. 1. Зразки пло-дівих тіл *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. ІВК-549: верхній ряд – субстрат – соняшникове лушпиння, нижній – со-лома ячменю

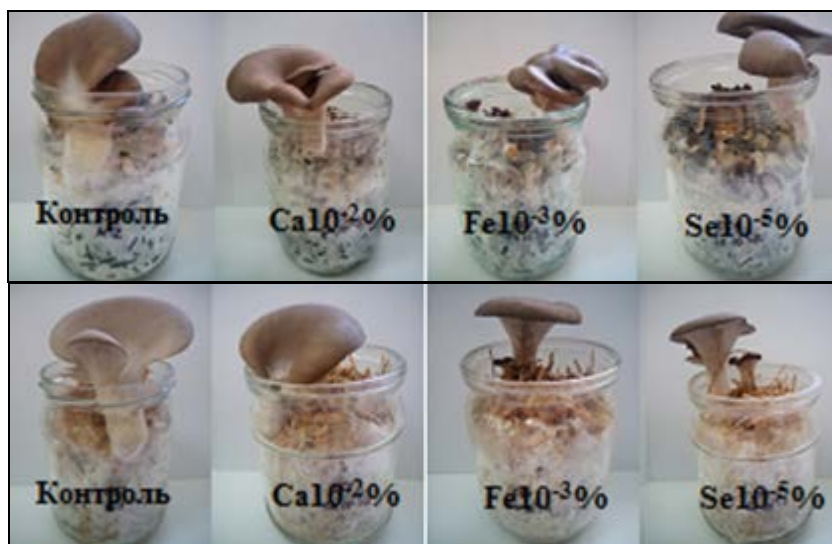


Рис. 2. Зразки плодових тіл *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. IBK-551: верхній ряд – субстрат – соняшникове лушпиння, нижній – солома ячменю



Рис. 3. Зразки плодових тіл *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. IBK-1535: верхній ряд – субстрат – соняшникове лушпиння, нижній – солома ячменю

Селен у концентрації 3–20 мг/кг проявляв стимульовальні властивості стосовно врожаю плодових тіл (Silva et al., 2012). Під час проведення даного дослідження також встановлено вплив мінеральних домішок у значених концентраціях на культурально-морфологічні характеристики штамів *P. ostreatus* на різних субстратах.

Профільний аналіз аромату грибів. Під час проведення сенсорного аналізу комісія експертів визначила такі атрибути аромату висушених зразків грибів: грибний, солодкий, деревний, трав'янистий, кислий, рибний, м'ясний, земляний, квітковий, гнильний (рис. 4). Органолептичне оцінювання висушених грибів різних штамів, зібраних на однакових стадіях дозрівання, проводили у спеціально підготовлених, добре вентиляваних приміщеннях на кафедрі біотехнології ДВНЗ УДХТУ.

Під час аналізу сенсорних профілів зразків грибів спостерігали неоднаковий вплив мінеральних добавок на аромат кожного зі штамів гриба *P. ostreatus*. Для штамів IBK-549 та IBK-1535 відмічене підвищення інтенсивності грибних нот запаху за додавання до соняшникового лушпиння кальцію та селену. Для IBK-551 спостерігали підвищення характерних грибних нот на обох субстратах із добавками заліза та селену.

Що стосується м'ясних нот як характерної складової запаху *P. ostreatus*, додавання до соломи ячменю $\text{Ca } 10^{-2}\%$ (штами IBK-549 та IBK-551), $\text{Fe } 10^{-4}\%$ (IBK-549), $\text{Fe } 10^{-3}\%$ та $\text{Se } 10^{-5}\%$ (IBK-1535) сприяло підвищенню їх інтенсивності. Під час куль-

тивування на соняшниковому лушпинні позитивний вплив на м'ясну складову запаху відмічений на субстраті із добавками кальцію та селену.

Добавки селену до соломи за культивування штамів IBK-549 та IBK-551 позитивно впливали на солодкі, трав'янисті та квіткові складові аромату. Залізо, додане до соломи, на якій вирощували *P. ostreatus* IBK-549 та IBK-1535, сприяло підвищенню рибних нот запаху.

Гнильні та кислі складові запаху виражені слабо в усіх зразках грибів. Також із наведених даних видно, що профіль аромату зразків грибів відрізнявся залежно від субстрату, на якому їх культивували.

Порівняння профілів аромату зразків грибів, отриманих на різних субстратах, показало їх характерне зміщення у бік грибних, м'ясних і деревних нот для соняшникового лушпиння, та у бік солодких, квіткових і трав'янистих – для соломи ячменю. Інтенсивність характерного грибного аромату вища для всіх штамів, культивованих на соняшниковому лушпинні. Аналогічна залежність уже відмічена нами у попередніх дослідках.

У таблиці 2 наведено результати бального оцінювання інтенсивності прояву кожного з дескрипторів для всіх зразків висушених грибів. За методикою сенсорного аналізу, стандартне відхилення характеризує узгодженість оцінок експертів (Rodina, 2004). Як видно з таблиці 2, відхилення не перевищує ± 1 бал, що свідчить про статистичну однорідність сукупності оцінок експертів.

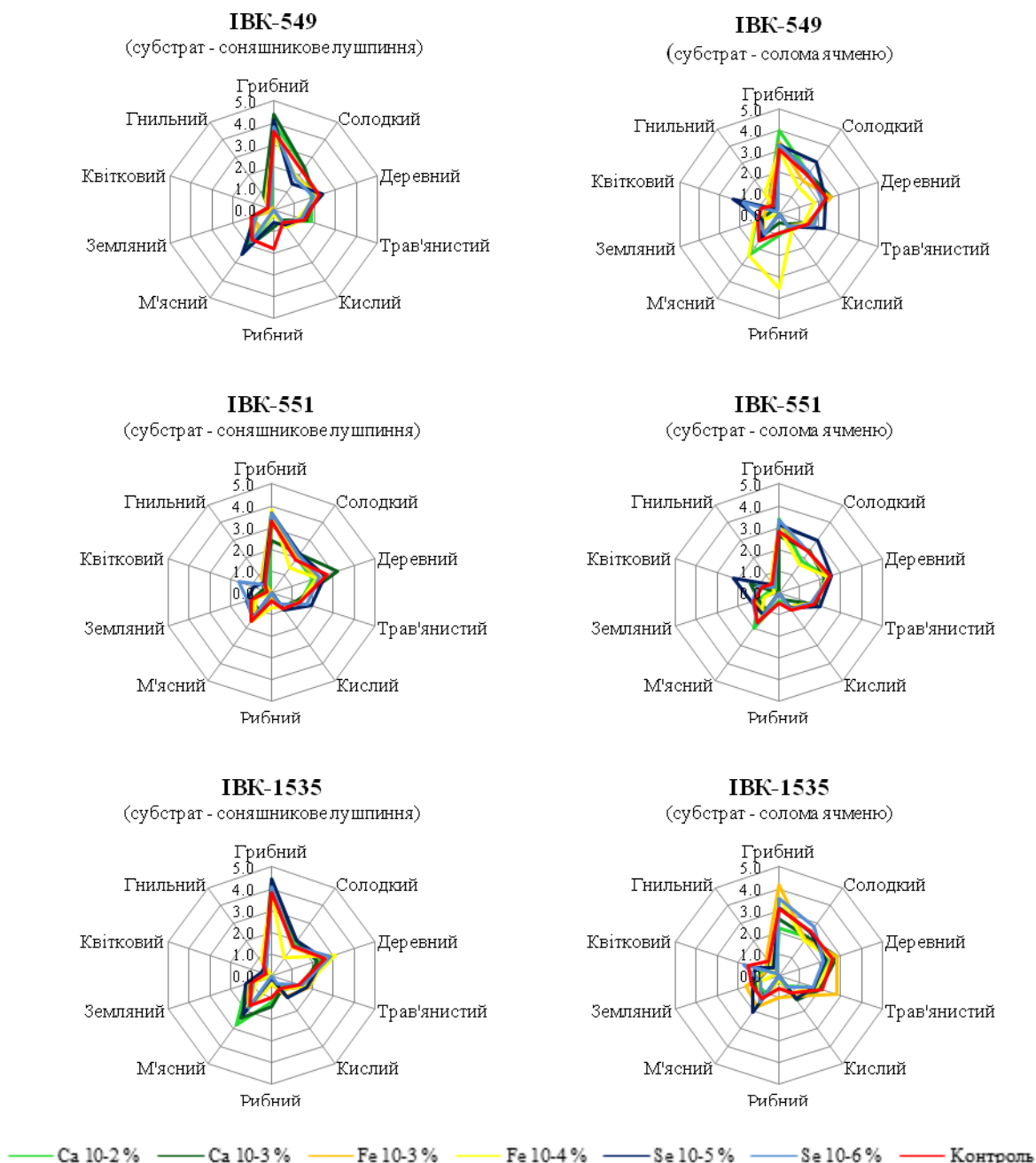


Рис. 4. Сенсорний профіль аромату зразків висушених грибів штамів *P. ostreatus*

Ультрафіолетова спектроскопія. Досліджені гексанові екстракти висушених зразків плодових тіл *P. ostreatus* мали максимуми світлопоглинання у діапазоні 200–210 і 260–300 нм (рис. 5, 6). Такі спектральні властивості характерні для розчинів ненасичених сполук, які мають непов'язані подвійні зв'язки, насиченим і ненасиченим альдегідам і кетонам (Sil'vertejн et al., 1977).

1-Октен-3-ол ($C_8H_{16}O$) – ненасичений спирт, основний компонент (рис. 7) комплексу летких органічних сполук, які зумовлюють характерний аромат грибів роду *Pleurotus* (Zawirska-Wojtasiak et al., 2009). Має виражений грибний аромат. Його концентрація в екстрактах *P. ostreatus* складає до 60–70% (Nyegue et al., 2003). 1-Октен-3-ол має максимум світлопоглинання за 205 нм. Цей максимум характерний для отриманих екстрактів *P. ostreatus*.

Під час культивування на соняшниковому лушпинні додавання заліза сприяло підвищенню утворення летких запаших сполук, що підтверджується збільшенням інтенсивності світлопоглинання отриманих грибних екстрактів (рис. 5). У до-

слідженнях Yokota et al. (2016) встановлено, що додавання сульфату заліза до цукрової тростини під час культивування сприяло підвищенню ароматичних властивостей *P. ostreatus*. Посилювалися сірчані, умами, гіркі та металеві ноти аромату, що пов'язують зі збільшенням вмісту білка та золи.

Додавання селену мало позитивний результат лише для штаму IBK-549. Для штаму IBK-1535 не відмічено суттєвої зміни інтенсивності світлопоглинання за додавання мінеральних добавок до субстрату (соняшникового лушпиння) під час твердофазного культивування.

Добавки заліза та селену також мають позитивний вплив на синтез летких органічних сполук штамми гриба *P. ostreatus*, вирощеними на соломі ячменю. Це видно зі збільшення інтенсивності поглинання світла як у діапазоні 205–210 нм, так і 260–300 нм (рис. 6). Додавання під час культивування іонів кальцію майже не впливає на утворення ненасичених сполук (205–210 нм) усіма штамми під час культивування на соломі ячменю та несуттєво підвищує утворення карбонільних сполук (260–300 нм) штамми IBK-551 та IBK-1535.

Таблиця 2

Інтенсивність прояву атрибутів аромату штамів гриба *Pleurotus ostreatus* ($x \pm SD$, $n = 15$)

Варіант субстрату / мінеральна добавка	Інтенсивність атрибутів аромату, бали									
	грибний	солодкий	деревний	трав'янистий	кислий	рибний	м'ясний	земляний	квітковий	гнильний
<i>P. ostreatus</i> IBK-549										
Ca10 ⁻² %	4,0 ± 0,65	2,4 ± 0,51	1,8 ± 0,41*	1,8 ± 0,41	0,6 ± 0,51	0,2 ± 0,41*	2,0 ± 0,65	0,8 ± 0,41	0,2 ± 0,41	0,2 ± 0,41
Ca10 ⁻³ %	4,4 ± 0,51*	2,4 ± 0,51	2,0 ± 0,00	1,6 ± 0,51	0,6 ± 0,51	0,8 ± 0,41*	2,2 ± 0,41*	1,0 ± 0,00	0,2 ± 0,41	0,8 ± 0,41*
Fe10 ⁻³ %	3,6 ± 0,51	1,8 ± 0,41	2,2 ± 0,41	1,4 ± 0,51	1,0 ± 0,00*	0,0 ± 0,00*	1,2 ± 0,41*	1,0 ± 0,00	0,0 ± 0,00*	0,3 ± 0,49
Fe10 ⁻⁴ %	3,4 ± 0,51	1,8 ± 0,41	2,0 ± 0,00	1,2 ± 0,41	1,0 ± 0,00*	0,2 ± 0,41*	1,4 ± 0,51	1,0 ± 0,00	0,2 ± 0,41	0,6 ± 0,51
Se10 ⁻⁵ %	4,1 ± 0,35*	1,5 ± 0,52*	2,4 ± 0,51	1,3 ± 0,49	0,9 ± 0,35	0,6 ± 0,51*	2,5 ± 0,52*	0,9 ± 0,35	0,3 ± 0,46	0,5 ± 0,52
Se10 ⁻⁶ %	3,8 ± 0,41	1,7 ± 0,46	1,9 ± 0,59	1,3 ± 0,49	0,7 ± 0,46	0,0 ± 0,00*	1,8 ± 0,77	0,9 ± 0,35	0,3 ± 0,49	0,3 ± 0,46
Контроль	3,6 ± 0,51	2,2 ± 0,41	2,2 ± 0,41	1,5 ± 0,52	0,7 ± 0,49	1,8 ± 0,77	1,7 ± 0,46	1,1 ± 0,52	0,3 ± 0,46	0,4 ± 0,51
<i>P. ostreatus</i> IBK-551										
Ca10 ⁻² %	3,4 ± 0,51	2,0 ± 0,00	2,0 ± 0,00*	1,4 ± 0,51	0,8 ± 0,41	0,4 ± 0,51	1,6 ± 0,51	1,0 ± 0,00	0,4 ± 0,51	0,2 ± 0,41
Ca10 ⁻³ %	2,4 ± 0,51*	2,2 ± 0,77	3,2 ± 0,41*	1,2 ± 0,41	0,8 ± 0,41	0,0 ± 0,00*	1,0 ± 0,00*	1,0 ± 0,00	0,4 ± 0,51	0,6 ± 0,51
Fe10 ⁻³ %	3,6 ± 0,51	2,0 ± 0,65	2,2 ± 0,41*	1,4 ± 0,51	0,9 ± 0,59	0,2 ± 0,41	1,2 ± 0,41*	0,9 ± 0,35	0,2 ± 0,41	0,8 ± 0,41
Fe10 ⁻⁴ %	3,8 ± 0,41*	1,4 ± 0,51*	2,2 ± 0,41*	1,4 ± 0,51	0,8 ± 0,41	0,7 ± 0,49	1,6 ± 0,51	0,7 ± 0,46	0,0 ± 0,00	0,7 ± 0,49
Se10 ⁻⁵ %	3,7 ± 0,49	2,2 ± 0,77	2,6 ± 0,83	1,9 ± 0,59*	1,0 ± 0,65	0,0 ± 0,00*	1,5 ± 0,52	1,2 ± 0,41	0,9 ± 0,74*	0,6 ± 0,51
Se10 ⁻⁶ %	3,7 ± 0,49	2,1 ± 0,74	2,3 ± 0,49*	1,7 ± 0,70	0,7 ± 0,49	0,0 ± 0,00*	1,5 ± 0,52	1,1 ± 0,35	1,6 ± 0,63*	0,5 ± 0,52
Контроль	3,3 ± 0,62	1,9 ± 0,59	2,7 ± 0,46	1,4 ± 0,74	0,9 ± 0,74	0,4 ± 0,51	1,6 ± 0,51	1,0 ± 0,65	0,2 ± 0,41	0,5 ± 0,52
<i>P. ostreatus</i> IBK-1535										
Ca10 ⁻² %	4,4 ± 0,51*	1,8 ± 0,41	2,4 ± 0,51	1,4 ± 0,51	0,6 ± 0,51	1,2 ± 0,41	2,8 ± 0,41*	1,2 ± 0,41	0,0 ± 0,00*	0,6 ± 0,51
Ca10 ⁻³ %	4,2 ± 0,41	2,0 ± 0,65	2,2 ± 0,41*	1,6 ± 0,51	0,8 ± 0,77	1,4 ± 0,51	2,4 ± 0,51*	1,0 ± 0,00	0,0 ± 0,00*	0,4 ± 0,51
Fe10 ⁻³ %	4,4 ± 0,51*	1,6 ± 0,51	2,6 ± 0,51	1,8 ± 0,41*	1,2 ± 0,41*	0,4 ± 0,51*	1,8 ± 0,41	1,2 ± 0,41	0,0 ± 0,00*	0,7 ± 0,46
Fe10 ⁻⁴ %	3,8 ± 0,41	1,0 ± 0,65*	3,1 ± 0,70*	1,6 ± 0,51	0,8 ± 0,41	0,4 ± 0,51*	1,9 ± 0,59	0,7 ± 0,46	0,0 ± 0,00*	0,8 ± 0,41
Se10 ⁻⁵ %	4,5 ± 0,52*	2,0 ± 0,76	2,5 ± 0,52	1,7 ± 0,46*	1,3 ± 0,46*	0,1 ± 0,35*	2,2 ± 0,68*	1,3 ± 0,46	0,5 ± 0,52	0,5 ± 0,52
Se10 ⁻⁶ %	4,1 ± 0,59	1,7 ± 0,49	2,9 ± 0,64	1,5 ± 0,52	0,5 ± 0,52	0,0 ± 0,00*	1,8 ± 0,68	0,9 ± 0,35	0,3 ± 0,49	0,5 ± 0,52
Контроль	3,8 ± 0,68	1,7 ± 0,80	2,6 ± 0,51	1,3 ± 0,49	0,7 ± 0,49	1,0 ± 0,65	1,7 ± 0,49	1,0 ± 0,65	0,3 ± 0,46	0,6 ± 0,63
<i>P. ostreatus</i> IBK-549										
Ca10 ⁻² %	4,0 ± 0,65*	2,4 ± 0,51	2,4 ± 0,51	1,6 ± 0,51	0,8 ± 0,41	1,0 ± 0,93	2,4 ± 0,51*	1,2 ± 0,41	0,4 ± 0,51*	0,8 ± 0,41
Ca10 ⁻³ %	3,4 ± 0,51	2,4 ± 0,51	2,6 ± 0,51	1,4 ± 0,51	0,6 ± 0,51	0,4 ± 0,51*	1,2 ± 0,41*	1,0 ± 0,00	0,4 ± 0,51*	0,8 ± 0,41
Fe10 ⁻³ %	3,4 ± 0,51	1,9 ± 0,70	2,6 ± 0,51	1,4 ± 0,51	0,7 ± 0,46	0,0 ± 0,00*	1,3 ± 0,46	0,8 ± 0,41	0,7 ± 0,62	0,8 ± 0,41
Fe10 ⁻⁴ %	3,0 ± 0,53	1,6 ± 0,51*	1,7 ± 0,46*	1,3 ± 0,46	1,0 ± 0,76	3,5 ± 0,52*	2,5 ± 0,52*	1,3 ± 0,46	0,0 ± 0,00*	1,2 ± 0,41*
Se10 ⁻⁵ %	3,3 ± 0,46	3,1 ± 0,59	2,3 ± 0,49	2,3 ± 0,80*	0,7 ± 0,46	0,0 ± 0,00*	1,5 ± 0,52	0,9 ± 0,35	2,3 ± 0,49*	0,3 ± 0,46
Se10 ⁻⁶ %	3,3 ± 0,46	2,5 ± 0,52	2,1 ± 0,35	1,7 ± 0,70	0,7 ± 0,46	0,0 ± 0,00*	1,2 ± 0,41*	1,0 ± 0,00	1,8 ± 0,77*	0,1 ± 0,35
Контроль	3,1 ± 0,59	2,3 ± 0,59	2,4 ± 0,51	1,5 ± 0,52	0,9 ± 0,52	0,9 ± 0,70	1,6 ± 0,51	1,1 ± 0,59	0,9 ± 0,35	0,5 ± 0,52
<i>P. ostreatus</i> IBK-551										
Ca10 ⁻² %	3,4 ± 0,83	1,8 ± 0,41*	2,4 ± 0,51	1,6 ± 0,51	0,8 ± 0,41	0,4 ± 0,51	2,0 ± 0,93	1,0 ± 0,00	0,4 ± 0,51*	0,2 ± 0,41
Ca10 ⁻³ %	2,6 ± 0,83	2,4 ± 0,93	2,2 ± 0,41	1,8 ± 0,41	0,4 ± 0,51*	0,0 ± 0,00*	1,0 ± 0,65*	1,0 ± 0,00	1,4 ± 0,51*	0,0 ± 0,00*
Fe10 ⁻³ %	3,2 ± 0,41	2,3 ± 0,72	2,4 ± 0,63	1,6 ± 0,51	0,8 ± 0,41	0,0 ± 0,00*	1,2 ± 0,41*	1,2 ± 0,41	0,9 ± 0,59	0,6 ± 0,51
Fe10 ⁻⁴ %	3,0 ± 0,65	1,6 ± 0,51*	2,4 ± 0,51	1,6 ± 0,51	0,8 ± 0,41	0,0 ± 0,00*	1,4 ± 0,51	0,7 ± 0,46	0,2 ± 0,41*	0,6 ± 0,51
Se10 ⁻⁵ %	3,1 ± 0,35	3,0 ± 0,65*	2,5 ± 0,64	2,0 ± 0,76	0,9 ± 0,74	0,0 ± 0,00*	1,3 ± 0,46*	1,3 ± 0,49	2,2 ± 0,68*	0,5 ± 0,52
Se10 ⁻⁶ %	3,3 ± 0,49*	2,3 ± 0,72	2,5 ± 0,52	1,5 ± 0,52	0,9 ± 0,70	0,0 ± 0,00*	1,7 ± 0,46	1,3 ± 0,46	1,1 ± 0,59	0,3 ± 0,49
Контроль	2,8 ± 0,77	2,3 ± 0,62	2,5 ± 0,52	1,7 ± 0,46	1,0 ± 0,53	0,5 ± 0,52	1,7 ± 0,70	1,2 ± 0,77	0,8 ± 0,41	0,5 ± 0,52
<i>P. ostreatus</i> IBK-1535										
Ca10 ⁻² %	2,2 ± 0,40*	2,2 ± 0,41	2,4 ± 0,51	1,8 ± 0,41	0,6 ± 0,51	0,0 ± 0,00*	1,0 ± 0,00*	1,2 ± 0,41	0,8 ± 0,41*	0,2 ± 0,41*
Ca10 ⁻³ %	2,6 ± 0,83	2,2 ± 0,41	2,8 ± 0,41	2,0 ± 0,65	1,4 ± 0,51	0,2 ± 0,41*	1,2 ± 0,41	1,2 ± 0,41	0,6 ± 0,51*	0,8 ± 0,41
Fe10 ⁻³ %	4,2 ± 0,41*	2,1 ± 0,70	2,8 ± 0,41	2,8 ± 0,40*	1,2 ± 0,41	1,0 ± 0,65	1,7 ± 0,46*	1,6 ± 0,51	0,6 ± 0,51*	1,0 ± 0,65
Fe10 ⁻⁴ %	3,6 ± 0,51*	2,0 ± 0,65*	2,6 ± 0,51	1,8 ± 0,41	1,0 ± 0,65	0,2 ± 0,41*	1,4 ± 0,51	1,0 ± 0,65	0,2 ± 0,41*	0,6 ± 0,51
Se10 ⁻⁵ %	3,1 ± 0,35	2,5 ± 0,64	2,3 ± 0,46	1,7 ± 0,46	1,3 ± 0,49	0,0 ± 0,00*	2,1 ± 0,70*	1,3 ± 0,46	1,1 ± 0,64	0,5 ± 0,52
Se10 ⁻⁶ %	3,5 ± 0,52*	2,8 ± 0,77	2,1 ± 0,35*	1,7 ± 0,49	0,7 ± 0,49	0,0 ± 0,00	1,5 ± 0,52	0,9 ± 0,35*	1,7 ± 0,46	0,1 ± 0,35*
Контроль	3,1 ± 0,52	2,5 ± 0,52	2,6 ± 0,51	2,1 ± 0,59	1,0 ± 0,53	0,6 ± 0,51	1,3 ± 0,49	1,3 ± 0,49	1,5 ± 0,52	0,8 ± 0,41

Примітка: * – різниця статистично достовірна для $P < 0,05$ порівняно з контролем.

Для штамів IBK-549 та IBK-551 спостерігали вищу інтенсивність максимумів поглинання світла за 200–210 нм, ніж у діапазоні 260–300 нм. Для штаму IBK-1535 відмічена протилежна залежність. Це ймовірно пояснюється різним співвідношенням основних летких сполук в екстрактах грибів.

Отримані результати корелюють із даними інших дослідників. У працях Silva et al. (2013) також показано, що культивування штамів *P. ostreatus* та *P. eryngii* на картопляно-декстрозному агарі, збагаченому Na₂SeO₃ у концентрації 25,4–101,8 мг/л, спричинює яскраво-жовте забарвлення колоній та характерний сильний запах, що ймовірно пояснюється синтезом летких сполук, таких як наонадеканова кислота, 9,12-октадекадієн-1-ол, метиловий ефір цис-лінолевої кислоти, етиловий ефір пальмітинової кислоти та інших складових аромату грибів. Інші автори відмічають, що додавання селену до середовища культивування сприяло під-

вищенню антиоксидантної активності екстрактів плодкових тіл *P. ostreatus* та *P. eryngii*, яку пов'язують зі збільшенням утворення фенольних, флавоноїдних сполук і аскорбінової кислоти (Gasecka et al., 2015), а також посиленню лакказної активності *Lentinus edodes* (Nunes et al., 2012). Під час порівняння субстратів для культивування стосовно синтезу запашних сполук грибами за допомогою УФ-спектроскопії прослідковано значно вищу інтенсивність світлопоглинання екстрактів усіх досліджених штамів, вирощених на соняшниковому лушпинні, ніж для зразків, отриманих на соломі ячменю.

Висновки

У ході дослідження культурально-морфологічних параметрів росту міцелію та плодкових тіл *P. ostreatus* (штами IBK-549,

ІВК-551 та ІВК-1535) на субстратах із добавками кальцію, заліза та селену відмічено незначне варіювання строків появи примордіїв та першої хвилі плодоносіння залежно від штаму гриба та субстрату. Сенсорний профільний аналіз показав

підвищення інтенсивності характерних грибних нот запаху у разі додавання до субстрату (соняшникового лущиння) кальцію та селену (штами ІВК-549 та ІВК-1535), заліза та селену (ІВК-551).

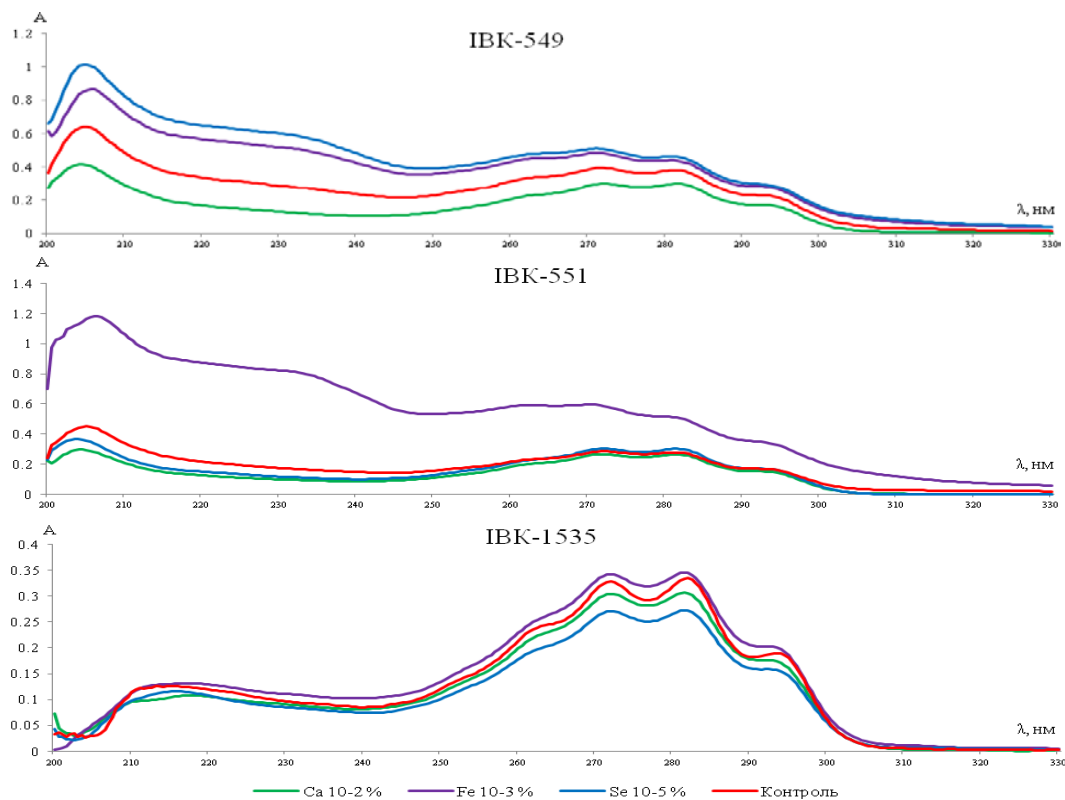


Рис. 5. УФ-спектри гексанових екстрактів штамів *P. ostreatus*: субстрат – соняшникове лущиння

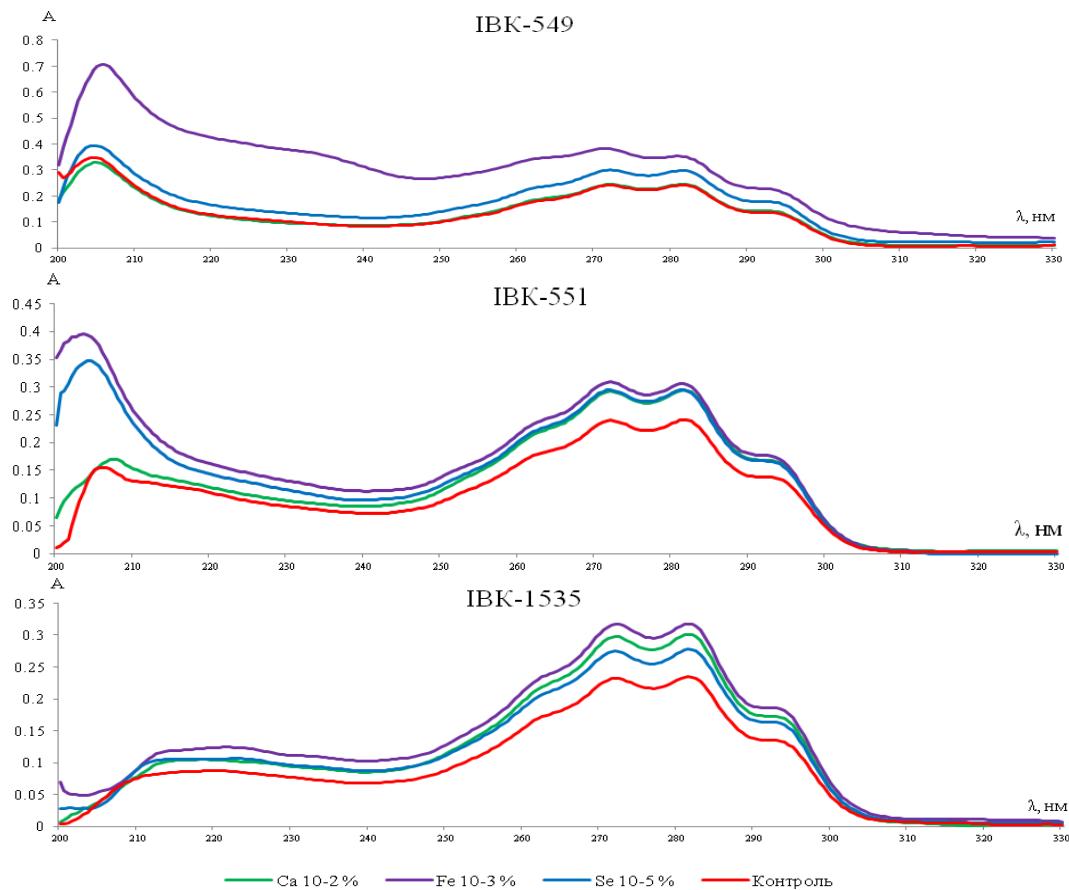


Рис. 6. УФ-спектри гексанових екстрактів штамів *P. ostreatus*: субстрат – солома ячменю

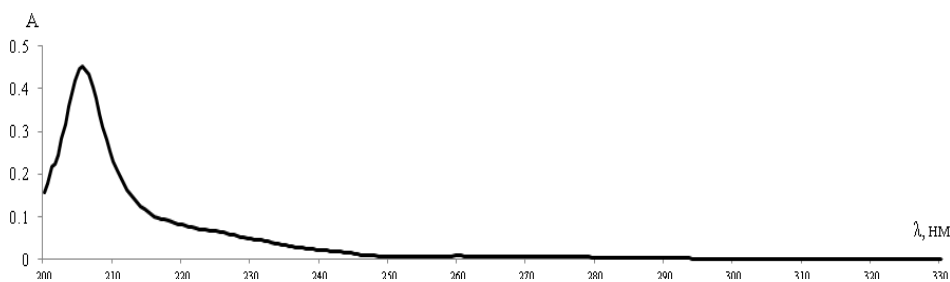


Рис. 7. УФ-спектр розчину 1-октен-3-олу в гексані

Порівнюючи профілі аромату зразків грибів, отриманих на різних субстратах, спостерігали їх зміщення у бік грибних, м'ясних і деревних нот для соняшникового лушпиння, та у бік солодких, квіткових і трав'янистих – для соломи ячменю. Інтенсивність характерного грибного аромату вища для всіх штамів, культивованих на соняшковому лушпинні. Досліджені гексанові екстракти висушених зразків плодкових тіл штамів *P. ostreatus* мали максимуми світлопоглинання у діапазоні 200–210 та 260–300 нм. Додавання заліза та селену сприяло підвищенню утворення летких запаших сполук, що підтверджується збільшенням інтенсивності світлопоглинання отриманих грибних екстрактів. Добавки кальцію не мали суттєвого впливу на спектри поглинання грибних екстрактів.

Проведене дослідження показало можливість підвищення органолептичної якості плодкових тіл *P. ostreatus* у процесі твердофазного культивування шляхом збагачення складу лігноцелюлозних субстратів різними мінеральними добавками, такими як солі кальцію, заліза та селену.

References

- Al-Maali, G. A. (2015). Vplyv cytrativ metaliv, otrymanyh metodom akvananotologii, na rist sthamiv likars'kyh makromicetiv *Ganoderma lucidum* 1900 i *Trametes versicolor* 353 [The influence of metal citrates obtained by aquanotechnology on growth of the strains of medical macromycetes *Ganoderma lucidum* 1900 and *Trametes versicolor* 353]. *Ukrainian Botanical Journal*, 72(4), 393–397 (in Ukrainian).
- Bekker, Z. J. (1988). Fiziologija i biohimija gribov [Physiology and biochemistry of fungi]. Izdatel'stvo Moskovskogo Universiteta, Moscow (in Russian).
- Belletini, M. B., Fiorda, F. A., Maieves, H. A., Teixeira, G. L., Avila, S., Hornung, P. S., Junior, A. M., & Ribani, R. H. (2016). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 1–14.
- Buhalo, A. S. (1988). Vysshie s'edobnye bazidiomicety v chistoj kul'ture [Higher edible basidiomycetes in pure culture]. *Naukova Dumka, Kiev* (in Russian).
- Buhalo, A. S., Bis'ko, N. A., Solomko, J. F., & Bilaj, V. T. (2004). Kul'tivirovanie s'edobnyh i lekarstvennyh gribov [The cultivation of edible and medicinal mushrooms]. *Chemobyl'interinform, Kyiv* (in Russian).
- Combet, E., Henderson, J., Eastwood, D. C., & Burton, K. S. (2006). Eight-carbon volatiles in mushrooms and fungi: Properties, analysis, and biosynthesis. *Mycoscience*, 47, 317–326.
- Curvetto, N. R., Figlas, D., Devalis, R., & Delmastro, S. (2002). Growth and productivity of different *Pleurotus ostreatus* strains on sunflower seed hulls supplemented with $N-NH_4^+$ and/or Mn(II). *Bioresource Technology*, 84, 171–176.
- El Habbasha, S. F., & Faten, M. I. (2015). Calcium: Physiological function, deficiency and absorption. *International Journal of ChemTech Research*, 8(12), 196–202.
- Gasecka, M., Mleczek, M., Siwulski, M., & Niedzielski, P. (2015). Phenolic composition and antioxidant properties of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* enriched with selenium and zinc. *European Food Research and Technology*, 242(5), 723–732.
- Golovanov, A. B., Mjagkova, G. Y., & Groza, N. V. (2008). Lipoksigenaznoe oksilenie zhimnyh kislot v rastenijah [Lipoxygenase oxidation of fatty acids in plants]. *Fine Chemical Technologies*, 3(6), 26–33 (in Russian).
- Jackson, S. L., & Heath, I. B. (1993). Roles of calcium ions in hyphal tip growth. *Microbiological Reviews*, 57(2), 367–382.
- Nunes, R. G., Luz, J. M., Freitas, R. B., Higuchi, A., Kasuya, M. C., & Vanetti, M. C. (2012). Selenium bioaccumulation in Shiitake mushrooms: A nutritional alternative source of this element. *Journal of Food Science*, 77(9), C983–C986.
- Nyegue, M., Zollo, P.-H. A., Bessiere, J.-M., & Rapior, S. (2003). Volatile components of fresh *Pleurotus ostreatus* and *Termitomyces shimperti* from Cameroon. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 6(3), 153–160.
- Ostadalova, I. (2012). Biological effects of selenium compounds with a particular attention to the ontogenetic development. *Physiological Research*, 61, S19–34.
- Philpott, C. C., Leidgens, S., & Frey, A. G. (2012). Metabolic remodeling in iron-deficient fungi. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1823, 1509–1520.
- Pitt, D., & Ugalde, U. O. (1984). Calcium in fungi. *Plant, Soil and Environment*, 7(6), 467–475.
- Regalado, C. M. (1998). Roles of calcium gradients in hyphal tip growth: A mathematical model. *Microbiology*, 144, 2771–2782.
- Rodina, T. G. (2004). Sensornyj analiz prodovol'stvennyh tovarov [Sensory analysis of food products]. *Akademija, Moscow* (in Russian).
- Savic, M. D., Petrovic, J. P., Klaus, A. S., Niksic, M. P., Rajkovic, M. B., Filipovic, N. R., & Antic-Mladenovic, S. B. (2009). Growth and fruit body formation of *Pleurotus ostreatus* on media supplemented with inorganic selenium. *Zbornik Matice Srpske za Prirodne Nauke*, 116, 209–216.
- Sil'verstejn, R., Bassler, G., & Morril, T. (1977). Spektrometricheskaja identifikacija organicheskikh soedinenij [Spectrometric identification of organic compounds]. *Mir, Moscow* (in Russian).
- Silva, M., Naozuka, J., Luz, J. M., Assuncao, L. S., Oliveira, P. V., Vanetti, M., Bazzoli, D., & Kasuya, M. (2012). Enrichment of *Pleurotus ostreatus* mushrooms with selenium in coffee husks. *Food Chemistry*, 131, 558–563.
- Silva, M., Nunes, M. D., Luz, J. M., & Kasuya, M. C. (2013). Mycelial growth of *Pleurotus* spp. in Se-enriched culture media. *Advances in Microbiology*, 3, 11–18.
- Velychko, N. A., & Berykashvyly, Z. N. (2008). Himicheskij sostav plodovogo tela griba *Pleurotus ostreatus* (Fr) Kumm. [Chemical composition of fruit body mushroom *Pleurotus ostreatus* (Fr) Kumm.]. *Vestnik Krasnojarskogo Gosudarstvennogo Agramogo Universiteta*, 4, 274–278 (in Russian).
- Vlasenko, K. M., & Kuznecova, O. (2016). Zastosuvannja sensomogo analizu u biotehnologii kul'tyvuvannja makromicetiv [The use of sensory analysis in biotechnology of the cultivation of macromycetes]. *Visnyk Dnipropetrovsk University. Biology, Ecology*, 24(2), 347–352 (in Ukrainian).
- Werner, A. R., & Beelman, R. B. (2002). Growing high-selenium edible and medicinal button mushrooms (*Agaricus bisporus* (J. Lge) Imbach) as ingredients for functional foods or dietary supplements. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 4(2), 112–120.
- Yokota, M. E., Frison, P. S., Marcante, R. C., Jorge, L. F., Valle, J. S., Dragunski, D. C., Colauto, N. B., & Linde G. A. (2016). Iron translocation in *Pleurotus ostreatus* basidiocarps: Production, bioavailability, and antioxidant activity. *Genetics and Molecular Research*, 15(1), 1–10.
- Zawirska-Wojtasiak, R., Siwulski, M., Mildner-Szkudlarz, S., & Wasowicz, E. (2009). Studies on the aroma of different species and strains of *Pleurotus* measured by GH/MS, sensory analysis and electronic nose. *Acta Scientiarum Polonorum*, 8(1), 47–61.