

Глибинна ферментація або твердотільна ферментація використовується для масового вирощування мікроорганізмів або з метою виділення мікроорганізмів як таких, або метаболічного продукту, або мікробного зміненого поживного субстрату(наприклад, в технології виробництва харчових продуктів). Незважаючи на те, що в наш час вже створені ферментери для глибинної ферментації(ферментери з рідким поживним субстратом) місткістю до 200000 літрів, досі ще не вдалося створити твердотільні ферментери(ферментери з твердим поживним субстратом) економічних об'ємів, які можуть зберігатися в незабрудненому сторонніми мікроорганізмами стані протягом довгого часу, і в той же час сприяють вирощуванню мікроорганізмів. Однак, певні ниткоподібні гриби(гіфоміцети) вимагають поверхневих конструкцій, де вони можуть розвиватися і утворювати спори. Самий великий ферментер для виробництва ниткоподібних грибів, де виключене забруднення сторонніми мікроорганізмами, знаходиться у Франції(INRA, Durand 1997, усний зв'язок) і має місткість 50 літрів. Однак місткість цього ферментера недостатня для економічного отримання грибкових спор, які можуть використовуватися, наприклад, в якості біологічних сільськогосподарських пестицидів.

Твердотільна ферментація(ТТФ) визначається як зростання мікроорганізмів, звичайно грибків, на твердих субстратах в газовій фазі, але без вільної водної фази. ТТФ використовувалася в древньому світі для виробництва ферментованої їжі, продуктів Koji(Японських овочів), що містять ферменти(ензими), і їстівних грибів на деяких територіях Сходу, Азії і Африки. Спроби, що робилися в західних країнах, зосереджувалися на глибинній ферментації з 1940 року, в той час як ТТФ використовувалася тільки для повторної обробки органічних відходів. Однак багато інститутів і фірм останнім часом виявляють цікавість до ТТФ, оскільки в порівнянні з глибинною ферментацією, існують певні переваги. Такими перевагами в порівнянні з глибинною ферментацією є:

можливість ефективного виробництва повторних метаболітів, як наприклад, ферментів, ароматичних речовин, смакових добавок і барвників, а також фармацевтично активних речовин;

можливість виробництва мікроорганізмів як біологічних агентів в сільськогосподарських пестицидах;

усунення токсинів або інших шкідливих речовин з харчових і кормових продуктів або збагачення їх протеїнами або вітамінами.

Існує 6 типів твердотільних ферментерів:

1. біореактор типу лотка,
2. біореактор з ущільненим шаром,
3. біореактор типу барабана, що обертається,
4. твердотільний біореактор, що гойдається,
5. біореактор у вигляді ємності, забезпеченої мішалкою,
6. повітряний твердотільний біореактор з псевдозрідженим шаром.

Перший тип - «біореактор типу лотка», де субстрат, який ферментується, розподіляється плоско в ємності, спеціально призначеній для цієї мети, і витримується в приміщенні зі спеціальним повітряним кондиціонуванням ("Koji"-Raum, Ramana Murthy, M.V.; Karanth, N.G.; Raghava Rao, K.S.M.S. «Прогрес в прикладній мікробіології» Advance in Applied Microbiology, 38, 1993, С. 99-147), і який може використовуватися для виробництва великих кількостей продукту, однак в ньому допускається можливість невеликого забруднення зовнішніми мікроорганізмами. Крім того, реактор і спосіб вимагають великого простору і великих трудових затрат. Субстрат, який ферментують, треба перемістити вручну в ємностях. Він не підходить для виробництва великих кількостей грибкових спор невеликих конкуруючих видів.

У "біореакторі з ущільненим шаром" вологий гранульований субстрат, розміщений в замкненій ємності, засівається мікроорганізмом, який там розвивається без переміщення субстрату. Для цього субстрат повинен постійно продуватися повітрям. Виникають наступні проблеми, які не дозволяють використовувати великі кількості субстрату з самого початку.

1. Мікроорганізм виробляє тепло 300кДж на 1кг сухої ваги за годину (Saucedo-Castaneda, G.; Gutierrez-Rojas, M.; Bacquet, G.; Raimbault, M.; Viniegra-Gonzalez, G.: Bio-technologie und Bioingeniering, 35, 1990, С. 802-808 «Біотехнологія і Біоінженерія»), яке може або видалятися через зовнішню стінку ємності, або шляхом збільшення циркуляції повітря - випаровуватися. Це неможливе, якщо ємності мають великі об'єми. Зростання мікроорганізмів сповільнюється із збільшенням виділення тепла і зрештою вони вмирають.

2. Постійне аерування висушує субстрат. У результаті «втрата» створює повітряні канали. Їх наявність не може забезпечити подальше рівномірне аерування субстрату. Поступове висушування субстрату також приводить до погіршення зростання мікроорганізму.

"Біореактор типу барабана, що обертається" складається з циліндричної ємності, яка розташована горизонтально і обертається. Ємність заповнюється не більш ніж на одну третину свого об'єму гранульованим культивуючим субстратом для вирощування мікроорганізмів, в якому росте мікроорганізм. Тепло, що виділяється при зростанні мікроорганізму, може видалятися значною мірою оболонкою ємності, яка частково охолоджується. Це відбувається при повільному обертанні циліндра, що приводить до того, що субстрат знов і знов входить в контакт з оболонкою і виділяє тепло в неї. Однак, спосіб має той недолік, що всередині рухомого субстрату діють зусилля зсуву, що приводить до руйнування грибкових структур(міцеліуму, спорангіуму, фруктовегетативної маси). Таким чином, для багатьох грибків з самого початку неможливо добитися високого урожаю спор. Проблема зневоднення вирішується в цьому типі ферментера аеруванням вологим повітрям, оскільки немає необхідності випаровувати воду з субстрату(холод випаровування не потрібний). Крім того, розпилювальні насадки можуть сприяти зволоженню субстрату, також забезпечуючи хороший розподіл вільної води за допомогою такого руху.

Однак, великі кількості культивуемого субстрату для вирощування мікроорганізмів приводять до інших

проблем в ферментерах такого типу:

1. вони мають конструкцію, що дорого коштує, особливо для великих ферментерів;
2. безперервний рух ферментера може викликати агрегацію вологого субстрату;
3. необхідні поверхні для сполучення із зовнішнім середовищем (патрубок для впуску повітря і патрубок для випуску повітря, патрубок подачі води), які легко можуть стати джерелами забруднення зовнішніми мікроорганізмами при обертанні ферментера.

Таким же ферментом є "твердотільний біореактор, який гойдається" з єдиною різницею, що полягає в тому, що перемішування субстрату відбувається не від обертального руху, а струшуючим рухом. В іншому випадку, йому були б властиві вже згадані переваги і недоліки. Додатково обмежений об'єм цього типу ферментера, оскільки конструкція складного механізму струшування насилу допускає вагу, що перевищує 100кг для заповненої ємності.

«Біореактор у вигляді ємності, забезпеченої мішалкою» може бути представлений як закритий чан з мішалкою, яка рухається в ньому. Для цього типу реактора неминучі проблеми використання великих кількостей субстрату, оскільки ці кількості не можуть переміщуватися рівномірно, не викликаючи руйнування структури субстратів.

Субстрат для вирощування мікроорганізмів постійно зберігається в псевдозрідженому шарі в «повітряному твердотільному біореакторі з псевдозрідженим шаром», що викликає необхідність відносно великого об'єму для простору реактора. Необхідне повітря для підтримки псевдозрідженого шару підводиться шляхом циркуляції. Повітря повинен мати точно обчислений вміст вологи. Цей процес вимагає великої кількості енергії для підтримки псевдозрідженого шару. У проєкті AiF (Bahr, D.; Menner, M.: BIOforum, 18, 1995, С. 16-21), що вже проводиться, можна продемонструвати, що вирощування дріжджових клітин можливе в псевдозрідженому шарі.

Однак, це було досягнуте відносно в невеликому об'ємі і з досить невеликим виходом в порівнянні з глибинною ферментацією. Вирощування ниткоподібних грибів на великих кількостях гранульованих культивуючих субстратів (більше за 100кг на партію) протягом декількох тижнів з використанням цієї технології можливе тільки при дуже високих затратах.

Інші відомі ферментери дуже малі для отримання за їх допомогою економічно вигідної кількості грибкових спор (EP-A1-0683815 і FR 8508555) або ж, у ферментері з достатньою місткістю неможливо запобігти культивуванню субстрату зовнішніми мікроорганізмами протягом тривалого часу (DE 4406632 C1).

Задачею даного винаходу є розробка ферментера для ТТФ, що має великі об'єми, і забезпечення способу твердотільної ферментації, який дозволяє економічно застосовувати ТТФ невеликих конкуруючих мікроорганізмів у великих ферментерах.

При цьому вдається:

1. запобігти сторонньому забрудненню ферментера, зберігаючи стерильні умови протягом всього процесу ферментації;
 2. видалити тепло, що створюється грибковим метаболізмом без зневоднення субстрату (збільшенням потоку повітря і використанням холоду випаровування);
 3. запобігти виникненню зусиль зсуву в ферментері (ніякого руху культивуваного субстрату), і
 4. гарантувати рівномірне аерування без зневоднення і регулювання температури субстрату.
- Поставлена задача була вирішена, згідно з винаходом, шляхом розробки модульного ферментера, який має місткість, щонайменше, 50 літрів, переважно від 500 літрів до 1000 літрів, але також допускає великі місткості. Вся конструкція складається з циліндричної або овальної судини (фіг.1), яка закрита зверху кришкою 1, забезпеченою, якщо це необхідно, патрубком 2 для випуску повітря, а також отвором 3 для засіву ферментера.

Судина у вигляді оболонки, непроникної для повітря і води, містить модульні основи 4, розташовані ярусами і проникні для повітря і пари, які призначені для підтримки культивуваного субстрату 5 для мікроорганізмів, що вирощуються.

Культивуючий субстрат складається з різних матеріалів для живлення мікроорганізму, що вирощується. Цей матеріал переважно має гранульовану структуру, щоб забезпечити достатню проникність для повітря. Він може, наприклад, складатися із зерен, висівок в гранулах або інших продуктів органічних відходів, відходів від цукру або гранулятів що просочилися поживним розчином.

Кількість ярусів залежить від вимог, що пред'являються до культивування мікроорганізму, який вирощується, а також від простоти обслуговування всього ферментера. Дуже велика кількість ярусів може порушити необхідну подачу кисню для зростання мікроорганізмів (див. нижче) у верхніх шарах культивуваного субстрату. Дуже велика кількість ярусів також погіршує простоту експлуатації ферментера. Однак, згідно з винаходом, у ферментері може бути встановлено 20 або більше ярусів.

Модульні основи з'єднані зі стінкою резервуара таким чином, що ні повітря ні вода не можуть протікати мимо них збоку. Відстань між модульними основами залежить від оптимальної товщини шару культивуваного субстрату, яка визначається потребами мікроорганізму, що вирощується.

Є засоби 6 охолодження, розташовані під модульними основами, які можуть бути виконані або як охолоджуючі змійовики, або як охолоджуючі пластини. Вони дозволяють видаляти теплоту реакції з культивуваного субстрату. У переважному варіанті металеві пластини з високою теплопровідністю можуть пройти в культивуючий субстрат через окрему модульну основу від кожного засобу охолодження (фіг.2). Це спрощує видалення теплоти реакції. Після завершення процесу ферментації пристрій охолодження виймають разом з охолоджуючими пластинами в напрямі вниз від модульної основи для видалення культивуваного субстрату. Потім можна виймати культивуючий субстрат з вирощеними мікроорганізмами без перешкод з боку охолоджуючих пластин.

Можливо також встановлювати засоби охолодження на певній відстані над модульними основами. У цьому випадку вони повинні бути встановлені таким чином, щоб проходити в середині шару культивуемого субстрату. Установка засобів охолодження всередині шарів субстрату(паралельно модульним основам) особливо необхідна, коли в процесі ферментації виробляється велика кількість теплоти.

Основа ферментера містить патрубок 7 для впуску повітря в ферментер, куди вдувається стерильне зволожене повітря. Повітря проходить через всі шари субстрату і виходить з ферментера через патрубок 2 для випуску повітря, встановлений на кришці.

Проміжний простір між модулями, в якому розташовані засоби охолодження, гарантує рівномірний розподіл повітря в усьому ферментері.

Якщо у ферментері не може використовуватися вологе повітря для аерування, повітря може зволожуватися всередині ферментера. Це досягається тим, що, щонайменше, найнижча модульна основа не заповнюється культивуючим субстратом, а заповнюється гранульованим матеріалом, який може поглинати воду, що протікає з повітрям, яке вдувається, перш ніж повітря проникає у ферментер. Якщо для розвитку мікроорганізму потрібна велика кількість води, у ферментері на певних відстанях можуть бути встановлені декілька модулів для зволоження повітря. Кількість повітря, яке вдувається, залежить від потреби організму, що вирощується, в кисні. Вона може змінюватися від 1 до 100 літрів за годину на літр культивуемого субстрату.

Ферментер заповнюється стерильною водою до самого верхнього шару культивуемого субстрату для засіву(інокуляції) субстрату мікроорганізмом, призначеним для вирощування, після стерилізації його вмісту. Для цього встановлений патрубок 8 для подачі води, в який вставлений стерильний фільтр. Однак, патрубок для подачі води також може бути встановлений в іншому місці ферментера, наприклад, на кришці. Після заповнення вводиться посівний матеріал через призначений для цього отвір 3 в кришці. Отвори 3 для засіву ферментера можуть розташовуватися між одиночними модульними основами, особливо якщо модулів дуже багато. У першому випадку розподіл посівного матеріалу в ферментері здійснюється виключно введенням води через отвір 9 в днищі ферментера.

Посівний матеріал - суспензія мікроорганізмів, яка протікає через всі шари культивуемого субстрату і залишається з достатньою кількістю пов'язаної води. Якщо шарів, по яких протікає суспензія, дуже багато, може статися розбавлення в залежності від будови культивуемого субстрату. Це означає, що мікроорганізми будуть фільтруватися через культивуючий субстрат, через який протікає потік. Таким чином їх концентрація у воді зменшується, чим нижче у ферментері вони знаходяться. Щоб цьому запобігти, проходи для введення посівного матеріалу в ферментер можуть розташовуватися між модульними основами. Посівний матеріал, який вже введений під час заповнення ферментера водою, розподіляється потім з потоком води, який направлений вгору, а також з потоком води, який направлений вниз.

Посівний матеріал, що використовується для засіву ферментера, складається з суспензії високої концентрації маленьких зачаткових мікроорганізмів(переважно спор, бактеріальних мікроорганізмів або конідіоспор) мікроорганізмів, призначених для вирощування.

В умовах рівномірної і достатньої ферментації в судині курс вирощування(тривалість вирощування і урожай продукту), а також якість продукту вирощування(грибкових спор), головним чином залежать від параметрів догляду при вирощуванні, що полягає в подачі зволоженого повітря і регулюванні температури. Об'ємні витрати повітря повинні регулюватися відповідно пропускною спроможністю повітряного стерильного фільтра. Регулювання температури у ферментері забезпечується використанням засобу охолодження, який встановлений у ферментері. Охолоджуюча здатність ферментера повинна бути розрахована таким чином, щоб можна було видалити все тепло, що виділилося з культивуемого субстрату, і зберегти оптимальну температуру для вирощування мікроорганізму. Необхідна охолоджуюча здатність також залежить від товщини шару, і таким чином, від об'єму культивуемого субстрату. Чим більше культивуемого субстрату для зростання мікроорганізмів, тим більше виділяється теплоти реакції. Ось чому обидва параметри повинні бути оптимальними. Потрібний за можливістю швидкий розвиток мікроорганізмів, а також високий урожай продукту, при цьому продуктами можуть бути в залежності від задачі ферментації грибкові спори, бактеріальні клітини, ферменти, антибіотики, фарбувальні речовини й інші речовини.

Пропонуються два варіанти конструкції ферментера.

Варіант 1

Ферментер(фiг.3) складається з відкритого циліндра або призми, які щільно закриті на дні. Циліндр(звичайно круглий) або призма можуть мати діаметр 1 метр і більше. Висота обмежена технічною простотою обслуговування, а також можливістю збереження оптимальних умов для мікроорганізмів, які повинні бути обчислені. Можлива висота від 2м і більше.

Модульні основи 4, заповнені культивуючим субстратом 5, вставляються зверху в циліндр або призму. Всередині ємності встановлені кільця або у разі використання призматичного корпусу засоби 11 іншої форми для втримання модульних основ. Кожне кільце або засіб опори іншої форми забезпечене термостійким ущільненням 10, наприклад, з кремнію, куди встановлюються своїми зовнішніми кромками модульні основи, що забезпечує ущільнення між модульною основою і стінкою ємності, непроникне для повітря і води. Кільця або засоби опори іншої форми можна виймати з корпусу. Вузол 6 охолодження під модульною основою, який може складатися, наприклад, з охолоджуючого змійовика, виконаного з міді, з'єднаний швидко з'єднуваним і швидко роз'єднуваним з'єднанням 13 з трубами 14 для подачі і виведення охолоджуючої рідини, які розташовані ззовні ферментера. Кожна модульна основа має кромку 12, висота якої вибирається відповідно до товщини шару культивуемого субстрату. Це запобігає випаданню субстрату в ємність ферментера і його забруднення.

Ферментер щільно закритий зверху кришкою 1. Він сконструйований як судина високого тиску і може стерилізуватися гарячою парою, що подається під тиском. Тому немає необхідності у використанні автоклава.

Варіант 2

Ферментер(фіг.4) складається з декількох циліндрів або призм невеликої висоти, переважно близько 7-30см, які можуть мати круглу, овальну, прямокутну основу, або основу іншої форми. Днище, проникне для повітря і води, встановлене у всіх окремих циліндрах або призмах. Засіб охолодження розташований під днищем, а на днищі розташований субстрат для вирощування мікроорганізмів. Циліндри або призми використовуються як модулі 4 для складеного ферментера. Вони встановлені один над іншим і герметизовані один від іншого термостійкими ущільненнями 15, які розташовані на кромках. Перший модуль встановлений врівень з днищем ферментера, а останній модуль закривається зверху кришкою ферментера. Таким чином ферментер може бути зібраний переважно з 10 або більше модулів. Оскільки сконструювати такий складений ферментер у вигляді судини високого тиску складно, стерилізація ферментера і культивування субстрату всередині виконується в автоклаві. Таким чином висота ферментера насамперед залежить від місткості автоклава. У результаті, вона повинна бути знижена в більшості випадків до об'єму від 500 до 1000 літрів. Під час обробки автоклавом ферментер залишається відкритим, що означає, що одиночні модулі злегка підняті один над другим приблизно на 5мм. Це дає можливість подавати гарячу пару для стерилізації всередині ферментера. Ферментер щільно закривається після обробки автоклавом. Кожний модуль забезпечений зовнішнім кільцем 16, яке призначене для перекриття зазору, існуючого між модулями, коли ферментер відкритий, щоб запобігти забрудненню ферментера зовнішніми мікроорганізмами після обробки автоклавом і перед його закриттям, тобто, коли ферментер виймають з автоклава.

Після того, як ферментер закривають, засоби 6 охолодження, розташовані під модульними основами, з'єднуються з'єднанням 17 з трубами 14, які використовуються для подачі і виведення охолоджуючої рідини.

У переважному варіанті виконання гранульований культивуючий субстрат, де будуть розвиватися мікроорганізми, складається з шару товщиною 5-6см. До 10 таких шарів розташовані один понад іншим. Гранульований культивуючий субстрат, розташований шарами, кожний раз встановлюється на перфороване і тому проникне для повітря дно, нижче якого знаходиться охолоджуючий змійовик(вита мідна трубка), який може використовуватися для видалення теплоти, що виділяється в субстраті. Подача стерильного фільтрованого повітря відбувається знизу. Повітря циркулює, проходячи по всіх модулях(шарах культивуючого субстрату) рівномірно, чому сприяє герметичне ущільнення збоку, перед тим як він зможе вийти з ферментера на верхньому кінці. На найнижчій модульній основі знаходиться насичений водою шар, переважно гранулят SERAMIS, через який проходить, зволожуючись таким чином, повітря.

Стерилізація ферментера разом з вставленим культивуючим субстратом виконується переважно парою, яка нагрівається до 121°C в автоклавах, коли одиночні модулі злегка підняті один над іншим під час обробки автоклавом, що дозволяє гарячій парі проникати в модулі. Параметри:

об'єм 500 літрів

кількість культивуючого субстрату 250 літрів

об'ємна витрата повітря 1500 літрів за годину

потужність системи охолодження 2,5кВт

На відміну від ферментерів, що використовуються досі(твердотільний ферментер, що гоїдається, або ферментер типу барабана, що обертається), де потрібне постійне перевертання культивуючого субстрату для видалення тепла, аерування і подача води, більше не треба переміщувати субстрат. Зберігання культивуючого субстрату в ярусах або шарах, які цілком взяті в закриту оболонку, забезпечує наступні переваги:

1. власна вага культивуючого субстрату не приводить до ущільнення і, в результаті, зниження проникності для повітря;

2. установка засобу охолодження під окремими модулями спрощує видалення тепла, що виробляється;

3. внаслідок відносно невеликої товщини модулів, а також відстаней між модулями гарантується рівномірне аерування шарів субстрату;

4. оскільки аерування субстрату використовується тільки для подачі кисню, а також для видалення газів, що виробляються, а не для охолодження субстрату, можна працювати з дуже невеликим об'ємом потоку повітря, що вже не приведе до зневоднення субстрату, оскільки повітря зволожене;

5. оскільки більше немає необхідності в переміщенні субстрату, механічне руйнування грибкових структур(спорангіуму, фруктової маси і т.д.) виключене.

Винахід пояснюється описом з посиланнями на супроводжуючі креслення, на яких:

фіг.1 зображає ферментер (подовжній розріз), згідно з винаходом;

фіг.2 - засіб охолодження ферментера з теплопровідними пластинами, згідно з винаходом;

фіг.3 - ферментер у вигляді відкритого циліндра(розріз), згідно з винаходом;

фіг.4 - ферментер(розріз), згідно з винаходом.

Приклад 1. Вирощування *beauveria brongniartii* в масі для отримання грибкових конідій

Ферментер, який використовується для вирощування *beauveria brongniartii*, має місткість близько 50 літрів. Він має форму циліндра діаметром 30см і висотою 70см. Зовнішня оболонка ферментера виконана з термостійкого скла. У ферментері встановлено вісім модулів, днища яких складаються з нейржавіючого

сита з розміром отвору сита 3мм. Відстань між модульними основами 8см. Нижнє дно заповнене шаром гранулята SERAMIS товщиною 6см. Розташовані вище 7 модулів містять дроблені зерна ячменю в якості культивуєчого субстрату. Товщина шару культивуєчого субстрату приблизно 6см. Загалом використано 30 літрів культивуєчого субстрату.

Ферментер стерилізований в автоклаві. Для цього вміст ферментера нагрівали гарячою парою до 121°C протягом півгодини. Кришка ферментера була трохи відкрита під час обробки в автоклаві, щоб пара проникала всередину ферментера. Відразу після обробки кришка була закрита.

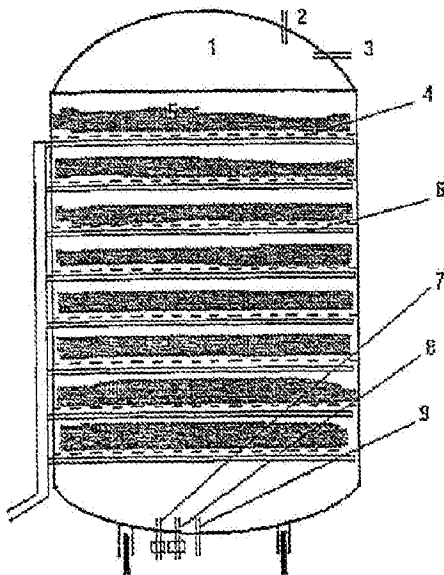
Ферментер був заповнений понад самого верхнього шару культивуєчих субстратів стерильною водою для засіву. Для цього використали капсулу розміром 500см² типу S+S-EXELON PES 20/5 HC (Schleicher und Schuell, Dassel). Після цього вводили посівний матеріал через отвір в кришці. Засів ферментера відбувався під ящиком з шаруватого матеріалу. Посівним матеріалом, який використовувався, було 100мл суспензії конідіума в концентрації 1 x 10⁹ конідій на мл. Після введення посівного матеріалу понад шаром культивуєчого субстрату через клапан в днищі ферментера випустили воду. Всі шари субстрату були рівномірно засіяні грибовими конідіями.

Після засіву ферментера він витримувався в приміщенні з температурою 20°C. Потім подавалося повітря, а також підключалася система охолодження. Об'ємні витрати повітря протягом всього процесу ферментації становили 150 літрів за годину. В якості охолоджуючої рідини використовували воду з температурою при подачі 17°C. Регулювання охолодження проводилося таким чином, що охолоджуюча рідина прокачувалася через охолоджуючий змійовик, якщо температура в культивуєчому субстраті перевищувала 22°C, поки вона не знижувалася до 20°C. Таким чином могла підтримуватися середня температура субстрату приблизно близько 21°C протягом всього періоду вирощування.

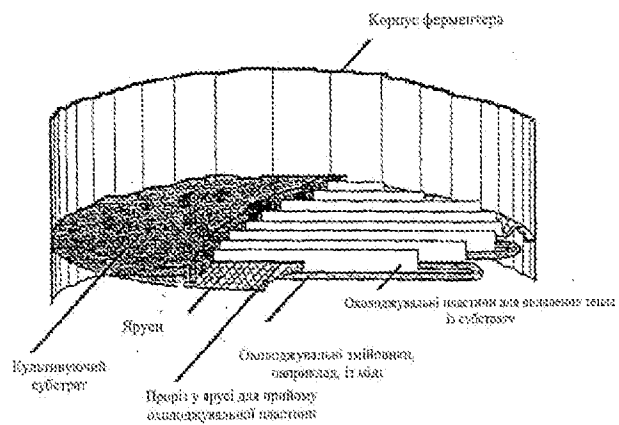
Метою вирощування було отримання за можливістю більшої кількості грибових конідій. Скляне покриття ферментера давало можливість дуже добре спостерігати за зростанням.

Приблизно через 10 днів весь культивуєчий субстрат був покритий білим міцелієм. Цей міцелій змінював свій зовнішній вигляд починаючи з 13-го дня через утворення конідій і конідіофор. Він змінився в порошокоподібну структуру. Приблизно після 19 днів у ферментері помітно зменшилася активність метаболізму. Виділення тепла зменшувалося, що помітно зменшило частоту охолодження. Через 21 день після засіву ферментера культивуєчий субстрат був вилучений і спеціальною технологією фільтрації з культивуєчого субстрату були витягнуті конідії, які потім були остаточно вирощені з *beauveria brongniartii*.

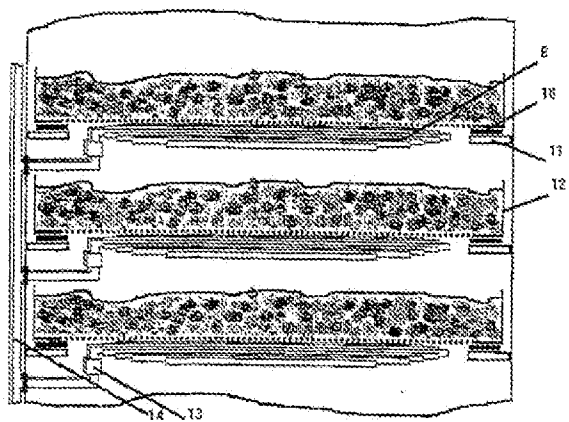
У модульному ферментері змогли витягнути загальну кількість $3,3 \times 10^{13}$ конідій.



ФН. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

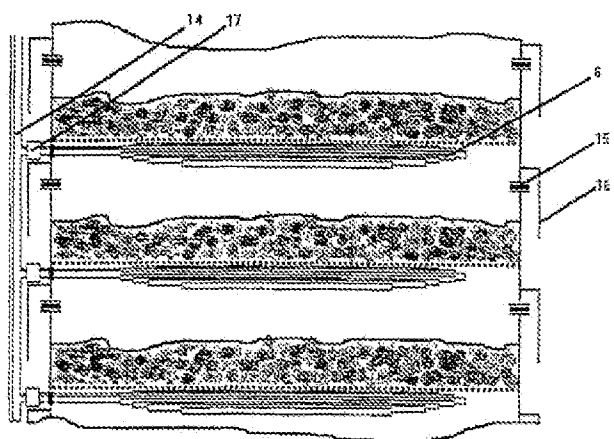


FIG. 4