



УКРАЇНА

(19) UA (11) 63692 (13) U
(51) МПК (2011.01)
C12N 1/12 (2006.01)
A01K 61/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА БІОМАСИ ГІДРОБІОНТІВ

1

(21) а200906171

(22) 15.06.2009

(24) 25.10.2011

(46) 25.10.2011, Бюл.№ 20, 2011 р.

(72) ГЕВОРГІЗ РУСЛАН ГЕОРГІЙОВИЧ

(73) ІНСТИТУТ БІОЛОГІЇ ПІВДЕННИХ МОРИВ ІМ.
О.О. КОВАЛЕВСЬКОГО НАН УКРАЇНИ

(57) 1. Спосіб виробництва біомаси гідробіонтів шляхом культивування методом квазібезперервної непропорційної проточної культури, який включає підготовку поживного середовища і його потоку через культиватор, внесення біомаси, забезпечення заданими температурою й освітленістю, збір урожаю, який **відрізняється** тим, що для культиватора попередньо визначають робочий діапазон щільності культури ($B_{\max} \div B_{\min}$), а в процесі культивування вимірюють щільність культури, питому швидкість зростання й розраховують зміну щільності культури по формулі:

$$B(t) = B_0 \cdot \exp\left(\left(\mu - \frac{1}{K} \cdot \omega_{\text{відтік}}\right)(t - t_n)\right),$$

де

 B_0 - поточна концентрація клітин (біомаса) у культиваторі, г/л; μ - питома швидкість зростання мікроводоростей;

2

 K - коефіцієнт непропорційності; $\omega_{\text{відтік}}$ - питома швидкість потоки; t_n - час культивування;

потім порівнюють отриману величину з діапазоном ($B_{\max} \div B_{\min}$) і підтримують щільність культивованої культури в заданому діапазоні, змінюючи питому швидкість потоки.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що, якщо задають питому швидкість потоки $\omega_{\text{відтік}}$ то щільність культивованої культури підтримують у заданому діапазоні, змінюючи коефіцієнт непропорційності.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що, якщо $K=1$, $B \cdot \omega = P$, де ω - питома швидкість потоки середовища через культиватор, то культивування ведуть у стаціонарному динамічному процесі пропорційно-проточної культури.

4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що, якщо $\omega_{\text{відтік}}=0$, $B(t) = B_0 \cdot \exp(\mu(t - t_n))$ й культивування ведуть у накопичувальному режимі

Корисна модель належить до галузі аквакультури й може бути використана для інтенсивного культивування широкого спектра гідробіологічних об'єктів у промислових умовах, а також для лабораторних досліджень.

Інтенсивне культивування дає можливість застосування видоспецифічних особливостей гідробіонтів для біосинтезу унікальних органічних сполук у керованій культурі й передбачає використання високопродуктивних технологій, що дозволяють одержувати максимальний урожай біомаси, у тому числі із заздалегідь заданими характеристиками. Однак широко використовувані технології виявляються недостатньо ефективними для об'єктів культивування, в яких у процесі культивування питома швидкість зростання й потоки

середовища не можуть бути рівні через специфічні особливості технології культивування.

Найбільш близьким до способу, що заявляється, є спосіб культивування водоростей (див. Дробецкая И.В., Минюк Г.С., Использование мочевины при выращивании цианобактерии Spirulina (Arthrospira) platensis методом непропорционально проточной культуры // Экология моря. - 2004. - Вып. 65. - С. 28-33.). Водорості культивують у відкритих басейнах на живильному середовищі Заррука при підтримці постійного об'єму 100 л. Застосовують метод непропорційно проточної культури з щоденною 10%-ною заміною збідненого поживного середовища на повноцінне. Культивування ведуть при природному освітленні, температурі 18-32 °С з безперервним барботуванням середовища. Слід

(13) U

(11) 63692

(19) UA

зазначити, що параметр щоденної заміни середовища був обраний довільно, неформалізованим способом. Основним недоліком відомого способу є низька ефективність внаслідок неоптимальних умов зростання й біосинтезу, що відбивається на кількості зібраної біомаси. Крім того, недоліком також є відсутність можливості керування процесом культивування з метою одержання заданої кількості біомаси з заданим хімічним складом.

В основу корисної модулі - спосіб виробництва біомаси гідробіонтів, поставлено задачу підвищення продуктивності широкого спектра культивованих гідробіонтів шляхом забезпечення оптимальних умов зростання.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі виробництва біомаси гідробіонтів попередньо розраховують величини максимальної щільності B_{\max} і мінімальної щільності B_{\min} культури (робочий діапазон). У процесі культивування вимірюють щільність культури, продуктивність або питому швидкість зростання й розраховують зміну щільності культури по формулі:

$$B(t) = B_0 \cdot \exp\left(\left(\mu - \frac{1}{K} \cdot \omega_{\text{отмок}}\right)(t - t_n)\right)$$

Потім порівнюють отриману величину з робочим діапазоном ($B_{\max} \div B_{\min}$) і підтримують поточну щільність культури в заданому діапазоні, змінюючи питому швидкість протоки.

Спосіб пояснюється кресленнями. На Фіг. 1 - Накопичувальна крива зростання з робочим діапазоном для культивування спіруліни; Фіг. 2 - Проточне культивування, де питома швидкість зростання менше питомої швидкості протоки; Фіг. 3 - Проточне культивування, де питома швидкість зростання більше питомої швидкості протоки. Фіг. 4 - Накопичувальна крива зростання з вказівкою робочого діапазона для культивування коловороток.

При культивуванні гідробіонтів у промислових масштабах важливою є підтримка щільності культури в робочому діапазоні. На прикладі мікроводоростей доведено, що найбільш оптимальною є робоча щільність, що максимально близька до робочої щільності в точці переходу у фазу вповільнення зростання [Gevorgiz R.G., Borovkov A.B., Shiryayev A.V. Optimization model of the regime for cultivation of microalgae in chemostat of Dunaliella salina Teod. // International Journal on algae. - 2007. - Vol. 9, iss. 3. - P. 294-302]. Це пов'язане з тим, що, з одного боку, продуктивність максимальна, а з іншого - витрата поживних середовищ мінімальна, що позначається на собівартості продукції. Необхідно безупинно контролювати співвідношення біомаси, що відбирається (врожай) і біомаси, яка залишається в культиваторі. Є два крайні випадки: 1) біомаса відбирається більше, чим приростає в культиваторі, тоді щільність у культиваторі буде зменшуватися до повного вимивання разом із протокою (див. Фіг. 2). Продуктивність буде зменшуватися, оскільки щільність вийде за межі робочого діапазону «униз»; 2) біомаса відбирається менше, чим приростає в культиваторі, тоді щільність у культиваторі буде збільшуватися, при цьому продуктивність буде падати, оскільки щільність

вийде за межі робочого діапазону «нагору» (див. Фіг. 3).

Введемо в розгляд наступні величини, справедливі для безперервного процесу культивування:

W - об'єм культиватора, л;

B - поточна концентрація клітин (біомаса) у культиваторі, г/л;

m_0 - маса водоростей у культиваторі, г.

Нескінченно мала маса гідробіонтів dm буде дорівнювати добутку величини нескінченно малої щільності помноженої на об'єм, тобто

$$W dm_0 = W dB, [g] = [l \cdot g/l]. \quad (1)$$

Далі введемо:

$M_{\text{відтік}}$ - маса гідробіонтів, що виноситься протокою з культиватора, г;

$V_{\text{відтік}}$ - об'єм середовища, що виноситься протокою з культиватора, л;

K - коефіцієнт непропорційності; аналогічно (1) можна записати з урахуванням коефіцієнта непропорційності

$$K dm_{\text{відтік}} = B dV_{\text{відтік}}, [g] = [g \cdot l/l]; \quad (2)$$

Масу гідробіонтів, яка приросла за час dt , г, позначимо через $dm_{\text{приріст}}$,

$$dm_{\text{приріст}} = \mu \cdot B \cdot W dt, [g] = [1/\text{діб} \cdot \text{л} \cdot \text{г}/\text{л} \cdot \text{діб}],$$

або

$$\frac{1}{W \cdot B} \frac{dm_{\text{приріст}}}{dt} = \mu, \quad (3)$$

де μ - питома швидкість зростання гідробіонтів, $1/\text{діб}^{-1}$.

Звідси можна записати формулу для продуктивності по біомасі P :

$$P = \frac{1}{W} \frac{dm_{\text{приріст}}}{dt} = \mu \cdot B. \quad (4)$$

З (4) впливає формула для продуктивності системи культивування Π :

$$\Pi = \frac{dm_{\text{приріст}}}{dt} = \mu \cdot B \cdot W, \left[\frac{g}{\text{л} \cdot \text{діб}} \cdot \text{л} \right] = \left[\frac{g}{\text{діб}} \right]. \quad (5)$$

З іншого боку, розділивши співвідношення (2) на dt , одержимо вираз для продуктивності:

$$\frac{dm_{\text{відтік}}}{dt} = \frac{1}{K} B \cdot \frac{dm_{\text{відтік}}}{dt} = \frac{1}{K} B \cdot v_{\text{відтік}},$$

т.ч. для непропорційно проточної культури справедлива рівність

$$B \cdot v_{\text{відтік}} = K \cdot P \cdot W. \quad (6)$$

Слід зазначити, що якщо $K=1$, то з (6) виходить широко використовувана формула для стаціонарного динамічного процесу пропорційно-проточної культури

$$B \cdot v_{\text{відтік}} = P \cdot W, \text{ або } B \cdot \omega = P,$$

де ω - питома швидкість протоки середовища через культиватор.

Приведемо основні співвідношення для квазі-безперервного непропорційно проточного культивування й позначимо:

$dV_{\text{приток}}$ - об'єм середовища, що додається в культиватор, л;

$dV_{\text{приріст}}$ - об'єм, займаний приростом за термін dt масою гідробіонтів, л.

Для нескінченно малих об'ємів і мас справедлива рівність

$$dV_{\text{приток}} = dV_{\text{відтік}} + dV_{\text{приріст}}, \text{ і } dm_{\text{приріст}} = dm_0 + dm_{\text{відтік}}.$$

Закон збереження об'єму й маси:

$$\begin{cases} dV_{\text{приток}} = dV_{\text{відтік}} + dV_{\text{приріст}} \\ dm_{\text{приріст}} = dm_0 + dm_{\text{відтік}} \end{cases} \quad (7)$$

звідси

$$\begin{cases} (dv_{\text{приток}} - dV_{\text{приріст}})dt = dV_{\text{відтік}} \\ \mu \cdot B \cdot W \cdot dt = W \cdot dB + B \cdot dV_{\text{відтік}} \end{cases}, \quad (8)$$

де $v_{\text{приток}}$ - питома швидкість припливу поживного середовища.

Перетворення виразу (8) дає балансове рівняння для динаміки щільності квазібезперервної непропорційної проточної культури в диференціальній формі:

$$\frac{dB}{dt} = \left(\mu - \frac{1}{K} \cdot \omega_{\text{відтік}} \right) \cdot B \quad (9)$$

Легко помітити, що вираз (9) при $K=1$ перетворюється в балансове рівняння для динаміки щільності безперервної пропорційної проточної культури (Тренкеншу Р.П. Простейшие модели. 2. Квазинепрерывная культура // Экология моря. - 2005. - Вып. 67. - С. 98-110)

Задаючи початкові умови й вирішуючи рівняння (9), можна одержати закон зміни щільності культури для різних фаз зростання. Наприклад, для експонентної фази $\mu = \text{const}$, отже, рішення (9) можна записати в наступному вигляді:

$$B(t) = B_0 \cdot \exp \left(\mu - \frac{1}{K} \cdot \omega_{\text{відтік}} \right) (t - t_n) \quad (10)$$

Питома швидкість зростання μ , що входить у формулу (10), є функцією багатьох факторів, у тому числі й неконтрольованих на виробництві: опромінення культиваторів (у хмарні дні), температурний режим навколишнього середовища, інтенсивність перемішування суспензії та ін.

Якщо $K=1$, то залежність (10) перетворюється в загальноприйнятий вираз експонентного зростання (Тренкеншу Р.П. Простейшие модели. 2. Квазинепрерывная культура // Экология моря. - 2005. - Вып. 67. - С. 98 - ПО). Якщо також питома

швидкість протоки дорівнює нулю, тобто $\omega_{\text{відтік}}=0$, то вираз (10) перетворюється в загальноприйнятий вираз експонентного зростання для накопичувальної культури:

$$B(t) = B_0 \cdot \exp(\mu(t - t_n)) \quad (11)$$

Аналогічні вираз можна записати для будь-якої фази зростання.

Таким чином, задаючи умови культивування з використанням математичних розрахунків, можна оптимізувати умови культивування й, здійснюючи контроль над процесом вирощування, досягти підвищення врожаю біомаси.

Приклади реалізації способу.

Приклад 1. Культивування *Spirulina platensis* в умових виробництва фірми Агро-Вікторія (м. Сочі, Росія).

Культиватором служив прямокутний басейн 2х2,5 м. Об'єм суспензії в культиваторі становив 500 л при висоті шару 10 см. Цей об'єм підтримували протягом усього експерименту. Для культивування спіруліни використовували поживне середовище Заррука. Розраховували необхідний об'єм інокуляту й поживного середовища, які складали робочий об'єм культиватора. Співвідношення об'ємів повинне бути таким, щоб щільність культури після засівання становила 0,2 г (сухої біомаси) на літр суспензії.

Для розрахунку заданої початкової щільності достатньо знайти коефіцієнт розведення θ , розділивши величину щільності інокуляту на робочу щільність, потім отриманий коефіцієнт і робочий об'єм підставити у формулу

$$w = W \cdot \left(1 - \frac{1}{\theta} \right), \quad W-w, \quad (12)$$

де W - робочий об'єм у культиваторі, θ - коефіцієнт розведення.

В експерименті щільність інокуляту становила 0,8 г/л, а робочий об'єм - 500л, тобто $w=500(1-1/(0,8/0,2))=375$ л, отже, щоб досягти робочої щільності в 500 л необхідно $500-375=225$ л інокуляту й 375 л поживного середовища.

Протягом 10 днів щільність культури збільшувалася й досягла щільності 1,2 г/л. На цьому етапі культивування збір урожаю не проводили, тому його можна розглядати як періодичне (накопичувальне) культивування. У даних умовах динаміку щільності культури можна описати виразом (11). Було відзначено, що на 7 день експерименту швидкість зростання знижувалася. Робочий діапазон був обраний у наступних межах: $B_{\text{min}}=0,9$ та $B_{\text{max}}=1,1$ г/л (див. Фіг. 1) Безперервний (проточний) процес

В міру підйому біомаси на поверхню її збирали. Щодня в заданий час робили контроль параметрів культури. Вимірювали температуру, рН, оптичні характеристики й щільність культури. По оптичним характеристикам і результатам мікроскопії визначали альгологічну чистоту культури і якість біомаси. По вимірюванням щільності розраховували об'єм зливу суспензії й доливу поживного середовища. У нашому експерименті питома швидкість протоки становила $0,1 \text{ дб} \cdot \text{л}^{-1}$. Для розрахунку об'єму зливу /доливу (w) використовували вираз (12).

Якщо величину біомаси, зібраної на двох етапах, розділити на величину об'єму зливу суспензії, то одержана величина буде відмінною від щільності в басейні, тобто питома швидкість протоки по біомасі виявляється більше, ніж швидкість протоки поживного середовища, тобто виконується умова непропорційності двох потоків.

Щоб розрахувати величину протоки середовища й коефіцієнт непропорційності, необхідно у формулу (10) підставити значення питокої швидкості зростання μ , а величину $\omega_{\text{відтік}}/K$ підібрати

таким чином, щоб величина $B(t)$ була близька до робочої щільності.

Розрахуємо величину питомої швидкості зростання з 6 по 7 добу:

$$\mu = \frac{B_1 - B_0}{B_0(B_1 - B_0)/2} = \frac{1,0824 - 0,9059}{0,9059 + (1,0824 - 0,9059)/2} = 0,177 \text{ діб}^{-1} \quad (12a)$$

Дотримуючи вимоги про рівність одиниці робочої щільності, з формули (10) можна легко знайти величину $\omega_{\text{відтік}}/K$:

$$1 = 1,024 \cdot \exp\left((0,177 - \frac{1}{K} \cdot \omega_{\text{відтік}})(8 - 7)\right) \quad \text{або}$$

$$\ln \frac{1}{1,024} = 0,177 - \frac{1}{K} \cdot \omega_{\text{відтік}}$$

Звідки $\omega_{\text{відтік}}/K \approx 0,2$, тобто при заданому коефіцієнті K (наприклад, з технологічних міркувань)

одержимо величину $\omega_{\text{відтік}}$. Наприклад, при $K=0,67$ $\omega_{\text{відтік}}=0,134$.

Підраховували врожай, отриманий при використанні різних методів культивування. Періодичне (накопичувальне) культивування.

Оскільки вихідна щільність культури становила 0,2 г/л, наприкінці періодичного культивування – 1,2 г/л, у кожному літрі приросло 1 г біомаси за 10 днів. Отже, урожай склав $1 \cdot 500=500$ г.

Безперервне пропорційно проточне культивування. Щодобовий урожай розраховували по формулі:

$$Y = B \cdot w, \text{ де } w - \text{об'єм зливу суспензії.} \quad (13)$$

Оскільки робоча щільність культури була постійною й становила 1 г/л ($B=1$), при питомій швидкості протоки 0,1 діб⁻¹ урожай склав:

$$500 \cdot 0,1 = 50 \text{ г}$$

Множимо цю величину на час культивування 10 днів, одержуємо 500 г. Якщо до врожаю віднести й біомасу, яка залишається в культиваторі, то одержимо

$$500 + 400 = 900 \text{ г.}$$

Квазібезперервне непропорційно проточне культивування

Тут формула (13) не підходить, оскільки не враховує зібраний урожай з поверхні суспензії. Для розрахунку щодобового врожаю використовуються наступний вираз:

$$Y_{\text{дт}} = W \cdot B_{\text{пврх}} + Y = B_{\text{пврх}} \cdot B \cdot w, \quad (14)$$

де $B_{\text{пврх}}$ - щільність біомаси, зібраної з поверхні суспензії. У цьому випадку $B_{\text{пврх}}=0,05$ г/л. Отже, щодобовий урожай становив

$$500 \cdot 0,05 + 50 = 75 \text{ г.}$$

Множачи цю величину на час культивування, маємо:

$$75 \cdot 10 = 750 \text{ г.}$$

У цьому випадку коефіцієнт непропорційності рівний (див. (2)):

$$75/50/1=1,5, \text{ тобто } K=1/1,5=0,67$$

Таким чином, застосування пропонованого способу забезпечувало оптимальні умови зростання для мікроводоростей. Продуктивність системи культивування підвищувалася в 1,25 разу в порівнянні із пропорційно-проточним методом ку-

льтивування без контролю над умовами вирощування.

Приклад 2. Вирощування коловороток.

В експерименті використовували солонатоводну коловертку *Brachionus plicatilis*. Культиватор об'ємом 300 л являв собою циліндричну ємність з дном конічної форми зі зливальним отвором у нижній частині. Другий зливальний отвір розташовувався у верхній частині культиватора. При додаванні нової порції поживного середовища частина суспензії самопливом стікала через отвір у ємність для врожаю. Таким чином, автоматично підтримували робочий об'єм на постійному рівні. Підтримку оптимального кисневого режиму й рівномірного розподілу корму здійснювали за допомогою подачі повітря в культиватор. Температуру підтримували на рівні 28-30 °С. Поверхню суспензії висвітлювали лампою ДРЛ-750 до збору врожаю.

Періодичне культивування.

У культиватор поміщали маточну культуру об'ємом не менш 3-5 л щільністю 20-50 екз./мл. У міру зростання коловороток в екстенсивному режимі вирощування об'єм суспензії доводили до 300 л. Потім, протягом 8-10 днів стежили за динамікою щільності аміктичних самок, яка описується виразом (11). При годуванні коловороток корм вносили з розрахунку 0,5 г на 1 млн. коловороток. Після досягнення максимальної щільності 300 -350 екз./мл і вповільненні швидкості зростання переходили до безперервного вирощування (Фіг. 4).

Безперервний процес.

Щодня в заданий час здійснювали контроль параметрів культури. Вимірювали температуру, рН, щільність популяції. По вимірам щільності аміктичних самок розраховували об'єм зливу суспензії й доливу поживного середовища. В експерименті робоча щільність була визначена в діапазоні від 240 до 260 екз./мл, оскільки в цьому діапазоні продуктивність максимальна. Щоб розрахувати величину протоки середовища й коефіцієнт непропорційності, необхідно у формулу (10) підставити значення питомої швидкості зростання μ , а

величину $\omega_{\text{відтік}}/K$ підібрати таким чином, щоб величина $B(t)$ була близькою до робочої щільності.

Величину питомої швидкості зростання розраховуємо аналогічно (12a), але за час з 4 по 5 добу ($B_0=180$):

$$\mu = \frac{B_1 - B_0}{B_0(B_1 - B_0)/2} = \frac{275 - 180}{180 + (275 - 180)/2} = 0,42 \text{ діб}^{-1}.$$

Дотримуючи вимоги про рівність робочої щільності 250, з формули (10) можна легко знайти величину $\omega_{\text{відтік}}/K$:

$$250 = 275 \cdot \exp\left((0,42 - \frac{1}{K} \cdot \omega_{\text{відтік}})(6 - 5)\right) \quad \text{або}$$

$$\ln \frac{300}{245} = 0,42 - \frac{1}{K} \cdot \omega_{\text{відтік}} \quad (146)$$

Звідки $\omega_{\text{відтік}}/K \approx 0,5$, тобто при $K=0,7$

$$\omega_{\text{відтік}}=0,35.$$

Установивши розрахункове значення питомої швидкості протоки $0,35 \text{ діб}^{-1}$ при робочій щільності культури 250 екз./мл , одержували щоденний урожай $87,5 \text{ екз./мл}$, максимально можливий урожай для умов даного експерименту.

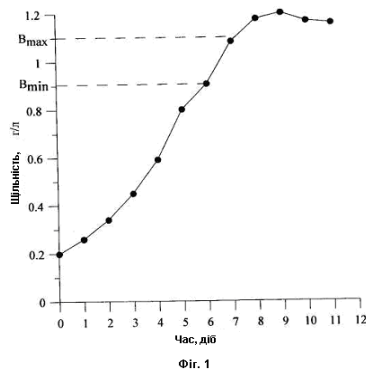
Якщо на 5-у добу не включити протоку (збір урожаю не проводити) і допустити вихід величини щільності за межі робочого діапазону, то втрати врожаю вже на шостий день складали 40 екз./мл , а на сьомий - 75 екз./мл ;

Якщо в момент включення протоки (на п'ятий день) установити величину $\omega_{\text{відтік}} < 0,35$, наприклад, $0,1$, то на шостий день щільність виходила за межі робочого діапазону «нагору», і втрати врожаю склали 70 екз./мл , оскільки продуктивність знизилася мінімум у два рази. Періодичне культивування.

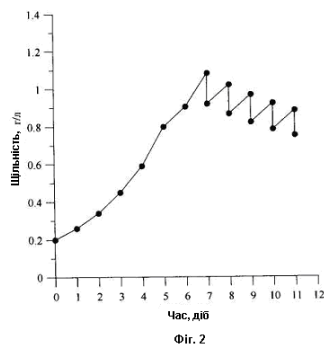
За час культивування (10 діб) щільність збільшилася в середньому з 35 до 325 екз./мл , тобто урожай рівний $325 - 35 = 290 \text{ екз./мл}$ за 10 діб.

Для безперервного режиму при сталості робочої щільності 250 екз./мл щодобовий урожай можна розрахувати по формулі (14), але оскільки щоденне визначення величини $V_{\text{поверх}}$ (біомаса, зібрана з поверхні), з технічної точки зору, визначити досить складно, тому використовували формулу, аналогічну (14):

$$Y_{dt} = (B_0 - B_1) \cdot W. \quad (15)$$



Фіг. 1



Фіг. 2

де B_0 і B_1 - щільність біомаси до й після збору урожаю. Тобто $250 - 165 = 85 \text{ екз./мл}$ у добу. За 10 днів культивування врожай склав 850 екз./мл .

Таким чином, як і у випадку з культивуванням мікроводоростей, використання пропонованого способу дає більший урожай.

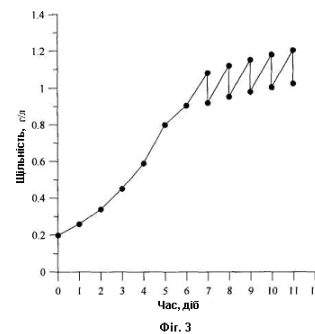
Пропонований спосіб культивування має ряд переваг:

- спосіб дозволяє встановлювати оптимальну робочу щільність культури й одержувати максимальний урожай, чого неможливо зробити будь-яким іншим відомим методом культивування;

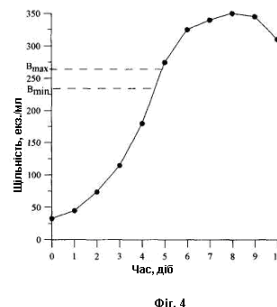
- спосіб дозволяє досить швидко одержати динамічно рівноважний стан культивованої культури, стабілізувати параметри середовища й одержувати сталий врожай біомаси з незмінним заданим біохімічним складом. При цьому автоматично реалізуються максимальні ростові й фотоенергетичні характеристики водоростей. Одночасно відбувається економна витрата хімреактивів;

- пропонований спосіб дозволяє управляти співвідношенням культивованих видів у полікультурі, і, як наслідок, управляти чистотою культури, наприклад для мікроводоростей дозволяє домагатися альгологічної чистоти при культивуванні в басейнах відкритого типу;

- спосіб дозволяє оптимізувати процес культивування не тільки для випадків лімітування зростання субстратом, але й для випадків інгібування зростання продуктами метаболізму.



Фіг. 3



Фіг. 4

