أستاذ المادة : أ.م.د. آمال كاظم غضبان

طرق التنمية المستخدمة في التكنلوجيا الحيوية

Cultivation methods used in biotechnology

عادة تتم زراعة أو تنمية الأحياء المجهرية المستخدمة في التقنية الحيوية في أوساط غذائية صلبة أو سائلة والثانية تكون بعدة أنظمة منها نظام الوجبات أو الوجبات المغذاة أوالنظام المستمر

أساسيات التنمية في الأنظمة السائلة : Principles of cultivation in aqueous systems

يعرف النمو في الكائنات الحية بأنه الزيادة في مادة الخلية والتي يعبر عنها بالكتلة الحيوية Biomass أو عدد الخلايا وهي نتيجة لخطوات بايولوجية متسلسلة ومتناسقة تحفز بواسطة الأنزيمات. ويعتمد النمو المثالي على انتقال العناصر الغذائية الضرورية الى سطح الخلية وعلى المحافظة على الظروف البيئية المثالية مثل درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني pH.

يمكن تقدير كمية مادة الخلية أو الكتلة الحيوية في المفاعل الحيوي (جهاز التخمر) بطريقتين هما الطريقة الوزنية وتتم أما بقياس الوزن الجاف أو قياس الوزن الرطب أو بتقدير حامض DNA أو بتقدير البروتين والطريقة الثانية هي الطريقة العددية (عد الخلايا).

زمن التضاعف Doubling time: هو الزمن اللازم لتضاعف وزن الكتل الحيوية.

زمن الجيل (الاخلاف) Generation time: هو الزمن اللازم لتضاعف عدد الخلايا.

يكون زمن الجيل مساوياً لزمن التضاعف من خلال النمو اللوغاريتمي أو النمو المتوازن عندما تتم السيطرة على النمو فقط بواسطة الفعاليات ضمن الخلية، ويشترط ان تكون كل خلية من مجموع الخلايا قابلة للانقسام. يزداد متوسط زمن التضاعف كلما زاد حجم الخلية ودرجة تعقيدها، وتكون قدرة الاحياء المجهرية على التخليق الحيوي كبيرة جداً تحت الظروف المثالية وعندما يكون زمن التضاعف **15** دقيقة كما في أنواع معينة من البكتريا ولكن نادراً ما تسود الظروف المثالية للنمو فترة طويلة لذلك يصبح النمو عملياً يعتمد على عامل محدد مثل عنصر غذائي ضروري فعند انخفاض تركيزه ينخفض النمو بنفس الدرجة.

وقد تم التعرف على العناصر الغذائية الضرورية والظروف المثالية للنمو من خلال استخدام منظومات المفاعلات الحيوية التي تعمل بالطريقة المستمرة أو طريقة الوجبات.

أنظمة النمو في الاوساط السائلة

1-مزارع الوجبات (أنظمة الوجبات) Batch cultures

يعد نظام مزارع الوجبات نظاماً مغلقاً حيث يضاف اللقاح (البادئ) الى الوسط الغذائي وتوفر الظروف المثالية للنمو مثل الحرارة والرقم الهيدروجيني والتهوية. ونادراً ما يكون معدل النمو ومعدل

النمو النوعي ثابتاً في مزارع الوجبات وهذا يعكس عدم ثباتية ظروف التغذية والتي تعد من الصفات المميزة لهذا النظام.

يمتاز نمو الاحياء المجهرية في نظام الوجبات بعدم وجود نمو في طور الركود Lag phase ولكن التحليل الكيميائي أوضح عدداً من الفعاليات الايضية غير الظاهرة والتي تبين أن الخلية تتأقلم على الظروف الجديدة وأن النمو سيبدأ في الفترة اللاحقة. تؤثر الظروف الفسيولوجية للقاح ليس على طور الركود فقط وانما على النمو المستقبلي أيضاً وتكوين المنتوج مثل تخليق المضادات الحيوية ويوجد طور انتقالي سريع بعد بدأ نمو اللقاح وقبل بدأ الطور اللوغاريتمي. وهذا الطور غير مفهوم جيداً سواء من الناجية الفسيولوجية أو الرياضية وذلك لأن الخلايا تكون غير متجانسة في العمر والتركيب والأيض. يكون نمو الكائن في الطور اللوغاريتمي غير محدود وتكون العناصر الغذائية موجودة بوفرة ولا وجود للمواد المثبطة لذلك يكون معدل النمو النوعي عند أقصاه. يكون الطور اللوغاريتمي انتقاليا في اغلب مزارع الوجبات ويحل النمو المحدود محل النمو اللامحدود نظراً لاستعمال العناصر الغذائية من قبل الخلايا النامية ويأخذ معدل النمو النوعي بالنقصان شيئاً فشيئاً على الرغم من زيادة عدد الخلايا الكلي. يعقب هذا الطور طور الثبات Stationary phase حيث يتوقف النمو بسبب نفاذ العناصر الغذائية ويظهر توازن الكتلة الحيوية حيث معدل النمو = معدل الموت. ويقال ان تسمية طور الثبات تسمية خاطئة من الناحية الايضية حيث تكون الخلايا فعالة من الناحية الايضية وتنتج المنتجات الثانوية مثل المضادات الحيوية والتي لاتنتج خلال الطور اللوغاريتمي.

الطور الاخير هو طور الهلاك أو الموت حيث يصبح معدل النمو النوعي سالباً. تتوقف عمليات التقنية الحيوية التي تعتمد على نظام الوجبات قبل الوصول الى هذا الطور بسبب تناقص الأيض وانحلال الخلايا، وتستخدم طريقة الوجبات لإنتاج الكتلة الحيوية وفي إنتاج المنتجات الأيضية الأولية primary metabolites وهي المركبات الضرورية لنمو وإدامة الخلية مثل الفيتامينات والانزيمات وكذلك المنتجات الايضية الثانوية secondary metabolites وهي المركبات التي ليس لها دور في نمو الخلية مثل المضادات الحيوية ومنظمات النمو مثل حامض الجبريليك. عادة تستخدم الظروف المزرعية التي تشجع إنتاج أقصى كمية من الخلايا عند الرغبة في إنتاج الكتلة الحيوية. وتستخدم الظروف الملائمة لإطالة الطور اللوعاريتمي والذي يصاحبه افراز المنتجات الأيضية الأولية عند الرغبة في إنتاج منتجات أيضية أولية. أما لإنتاج المنتجات الأيضية الثانوية يجب توفير الظروف لإعطاء طور لوغاريتمي قصير وإطالة طور الثبات (طور الانتاج في هذه الحالة) أو استخدام ظروف تقلل معدل النمو في الطور اللوغاريتمي والذي ينتج عنه تكوين مبكر للمنتجات الأيضية الثانوية.

2- المزارع المستمرة Continuous cultures

في هذه الطريقة وعلى العكس من طريقة الوجبات يضاف الوسط الغذائي ويسحب جزء مساو له من حجم المزرعه بصورة مستمرة. تسمح الطريقة المستمرة بنمو الكائن المجهري تحت ظروف وحالة مستقرة حيث تبقى ظروف التخمر مثل الرقم الهيدروجيني وتركيز العناصر الغذائية والمنتجات الايضية ثابتة على العكس من طريقة الوجبات حيث تتغير هذه الظروف خلال فترة نمو الكائن المجهري ويمكن السيطرة على هذه الظروف بصورة منفردة احدها عن الآخر وبذلك تسمح الطريقة

المستمرة في الحصول على معلومات دقيقة حول دور كل عامل في نمو الكائن المجهري. وهناك معدات تقليب والتحريك لمزج مكونات الوسط الغذائي بصورة متجانسة داخل جهاز التخمر. يجب السيطرة على هذا النظام بعدة طرق هي:

1- استخدام المنظم الكيميائي Chemo state

حيث يكون عامل النمو المحدد هو أحد مكونات الوسط الغذائي الذي يتحكم في عملية النمو، وعادة يضاف الوسط الحاوي على عامل النمو بصورة مستمرة عندما ينفذ هذا العامل في داخل جهاز التخمر ويسحب بالوقت نفسه حجماً مساوياً من المزرعة والذي يحتوي على أقصى كمية من الخلايا.

2- استخدام نظام العكارة Turbidostat

حيث يبقى تركيز الخلايا ثابتاً في المزرعة وذلك بالسيطرة على جريان الوسط الغذائي إلى داخل جهاز التخمر بحيث تبقى عكارة المزرعة في حدود معينة، ويمكن الوصول إلى ذلك عن طريق تنظيم الكتلة الحيوية بخلية ضوئية كهربائية تعطي إشارة إلى المضخة الخاصة بتجهيز الوسط الغذائي بحيث تفتح المضخة إذا تجاوزت الكتلة الحيوية الحد المثبت وتغلق إذا كانت الخلايا(الكتلة الحيوية) أقل من الحد المثبت.

3- استخدام المنظم الحيوي Biostat

حيث يتم قياس تركيز الكتلة الحيوية بمقدار CO_2 الناتج. إن أساس هذه الطريقة يعتمد على أنه تتكون أقصى كمية من الكتلة الحيوية عندما تصل كمية CO_2 أقصاها لذلك تتم عملية سحب المنتوج وإضافة وسط غذائي جديد.

تعتبر طريقة المنظم الكيميائي هي أكثر الطرق شيوعاً لكونها لاتحتاج الى أجهزة معقدة كما في المنظم الحيوي

مميزات طريقة المزارع المستمرة

لم تعتمد صناعات التقانات الاحيائية طريقة المزارع المستمرة على الرغم من مميزاتها مقارنة بطريقة الوجبات من ناحية الانتاجية وتجانس عملية الانتاج وسهولة استخدام الطرق الأتوماتيكية لأن عيبها الوحيد هو كونها عرضة للتلوث أكثر من طريقة الوجبات والسبب يعود إلى الخبرة الطويلة مع طريقة الوجبات ونقص المعلومات والخبرة الخاصة بظروف السيطرة الدقيقة في النظام المستمر.

1- الإنتاجية Productivity

يعود تفوق الانتاجية بهذه الطريقة مقارنة بطريقة الوجبات إلى الحفاظ على ظروف أقصى إنتاج خلال عملية التخمر فضلاً عن إنعدام تأثير الفترة غير الانتاجية المرتبطة بالطريقة المستمرة الطويلة الأمد مثل عمليات التحضير والتعقيم. نظرياً يكون إنتاج منتوج مرغوب غير الكتلة الحيوية بالطريقة المستمرة عالٍ أيضاً مقارنة بطريقة الوجبات وهذا يعود إلى أن المزارع المستمرة قد تعمل عند معدل تخفيف يحافظ على أقصى كمية من المنتوج بينما تكوين المنتوج بطريقة الوجبات عبارة عن ظاهرة عابرة خلال عملية التخمر لذلك تعمل الطريقة المستمرة عند حجم أقل وفي الوقت نفسه تعطي الانتاجية نفسها ويؤدي ذلك إلى تقليل كلفة الإنشاء والمعدات والصيانة.

2- تجانس العملية وسهولة عملها اتوماتيكياً

تنظم هذه الطريقة نفسها بنفسها حيث ينظم معدل نمو المزرعة مع معدل التخيف (الإضافة) لذلك توجد حالة استقرار، حيث يبقى تركيز كل من الخلايا والوسط الغذائي والمنتوج والسموم ثابتاً خلال عملية التخمر ولهذا فإنه حال بدأ المزرعة وتكاملها فإن متطلبات عملية التخمر مثل عمليات السيطرة تبقى ثابتة أيضاً. بينما تختلف متطلبات المزرعة خلال عملية التخمربطريقة الوجبات حيث تكون حاجة الاوكسجين في البداية قليلة لكنها تزداد قرب انتهاء عملية التخمر يتجه لزيادة الكتلة الحيوية ولزوجة الوسط الغذائي كما تزداد الحاجة للتبريد خلال العملية وكذلك السيطرة على الرقم الهيدروجيني لذلك تستخدم الطرق الاوتوماتيكية في المزارع المستمرة. كما تحتاج طريقة الوجبات إلى أيدي عاملة كثيرة في بعض الخطوات مثل تحضير الوسط الغذائي والتعقيم وتعبئة أجهزة التخمر وفصل المنتوج بينما تحتاج الطريقة المستمرة إلى عدد ثابت من الايدي العاملة حيث يجهز الوسط الغذائي المعقم بصورة مستمرة كذلك يستخلص المنتوج لذلك يكون الوقت اللازم لتحضير الاجهزة والتعقيم قليلاً جداً.

3- حساسية الطريقة المستمرة للتلوث

تكون هذه الطريقة أكثر عرضة للتلوث بسبب طول مدة التخمر مقارنة بطريقة الوجبات. وفي حالة حدوث التلوث وكان معدل نمو الكائن الملوث أعلى من الكائن الأصلي فإنه سوف يزيح الكائن الأصلي مما يسبب فشل العملية التخمرية. وقد تعود الطبيعة الانتقائية العالية للمزارع المستمرة إلى مشكلة انحلال السلالة strain degeneration والتي يطلق عليها التلوث من الداخل حيث تتغير صفات السلالة الأصلية ولايمكن التغلب على هذه المشكلة عن طريق تصميم أجهزة تخمر محكمة الغلق. إن حدوث طفرات وراثية في بعض أفراد السلالة الأصلية بسبب طول فترة الطريقة المستمرة تكون أكثر من طريقة الوجبات وفي حالة تأقلم تلك الأفراد مع الظروف السائدة فإنها تحل محل السلالة الأصلية وتكون هذه الحالة مفيدة عند إنتاج الكتلة الحيوية بهذه الطريقة إلا أنها تصبح ضارة في حالة إنتاج منتوجات أيضية إذا كانت المزرعة المستخدمة هي سلالة متطفرة أصلاً وذات إنتاجية عالية أو سلالات تم الحصول عليها بالهندسة الوراثية.

استخدامات طريقة المزارع المستمرة

1-انتاج الكتلة الحيوية

يطلق على الكتلة الحيوية التي تنتج لغرض الاستهلاك البشري أو الحيواني بروتين أحادي الخلية. حيث ظهرت فكرة استخدام الكتلة الحيوية في تغذية الانسان بصورة كبيرة في الستينات على الرغم من إنتاجها واستخدامها من قبل الألمان خلال الحرب العالمية الأولى، وقد طورت شركات عديدة إنتاج بروتين أحادي الخلية من مصادر كاربونية مختلفة. وقد أستخدمت طريقة المزارع المستمرة في جميع الدراسات والبحوث لتنمية الأحياء المجهرية. تعد الطريقة المستمرة مثالية لإنتاج الكتلة الحيوية وكما وردت سابقاً.

2-عزل وتحسين السلالات

ان الطبيعة الانتخابية العالية للمنظم الكيميائي الذي يستخدم في الطريقة المستمرة جعلته أداة مثالية في عزل الاحياء المجهرية وتحسين صفاتها.

3-الحصول على المعلومات الاساسية الخاصة بالاحياءالمجهرية الصناعية

تعد الطريقة المستمرة من الأمور الجيدة التي تستخدم في بحوث الفسلجة والكيمياء للأحياء المجهرية ومن مميزات هذه الطريقة مقارنة بطريقة الوجبات هي:

أ- الحصول على حالة مستقرة.

ب- يتجدد نمو المزرعة بمعدل التخفيف (الإضافة).

ج- يتحدد معدل نمو الكائن المجهري بتركيز العنصر الغذائي المحدد.

3- مزارع الوجبات المغذاة Fed-Batch cultures

يقصد بها مزارع الوجبات التي تتغذى بصورة مستمرة أومتتالية بالوسط الغذائي دون إزالة أية كمية من المزرعة وبذلك يزداد الحجم مع الوقت.

تطبيقات طريقة الوجبات المغذاة

من اهم مميزات هذه الطريقة المحافظة على تركيز واطئ جداً للعناصر الغذائية ومن فوائدها هي:

1- ازالة التأثير الكبحي لمصادر الكاربون سريعة التمثيل والمحافظة على الظروف الهوائية

لوحظ ومنذعام **1915** أن زيادة المالت في الوسط الغذائي المستخدم في انتاج خميرة الخبز تؤدي إلى زيادة النمو وينتج عنه إحتياج عالٍ من الاوكسجين فوق قدرة أجهزة التخمر المستعملة وبذلك تزداد الظروف غير الهوائية التي تؤدي إلى إنتاج الكحول على حساب الكتلة الحيوية لذلك ينمى الكائن المجهري في وسط غذائي ذي تركيز ابتدائي واطئ وتضاف له كميات من الوسط الغذائي بمعدل أقل من معدل الاستهلاك وبذلك يمكن الوصول إلى حالة شبه مستقرة.

تعد عملية انتاج البنسلين مثالاً جيداً أيضاً على استعمال نظام الوجبات المغذاة في إنتاج المنتجات الأيضية الثانوية، حيث تقسم عملية التخمر في انتاج البنسلين الى مرحلتين هي مرحلة النمو السريع والتي تنموخلالها المزرعة الى اقصى نمو أما المرحلة الثانية فهي مرحلة النمو البطيء أو طور الإنتاج. ويمكن الاستعانة بالكلوكوز المستعمل في التغذية للسيطرة على ميتابولزم الكائن المجهري في كلا الطورين، في حالة استخدام كميات كبيرة أو زائدة من الكلوكوز في المرحلة الأولى يؤدي الى تجميع الاحماض العضوية وتصبح حاجة الكتلة الحيوية للاوكسجين أكبرمن التهوية في جهاز التخمر. بينما قلة الكلوكوز تسبب استخدام النتروجين العضوي مصدراً للكاربون مما يؤدي الى زيادة الرقم الهيدروجيني وتكون كمية قليلة من الكتلة الحيوية. ويمكن منع تجمع السكريات السداسية باستخدام كاربوهيدرات بطيئة التحلل مثل اللاكتوز.

في المرحلة الثانية وهي مرحلة انتاج البنسلين (النموالبطئ) يجب ان يحدد معدل التغذية كل من معدل النمو واستهلاك الأوكسجين وبذلك يمكن الوصول الى تخليق عال للبنسلين مع توفركمية كافية من الاوكسجين الذائب. يفضل أن يكون الأوكسجين الذائب عاملاً للسيطرة على هذه المرحلة لأن الرقم الهيدروجيني أقل استجابة من الأوكسجين.

تزداد الكتلة الحيوية واللزوجة والحاجة للاوكسجين مع استمرار عمليات الوجبات المغذاة حتى يصبح العامل المحدد من الأوكسجين ويمكن تأخير هذه الفترة الحرجة وذلك بتقليل معدل التغذية مع تقدم عملية التخمر.كذلك تستخدم طريقة الوجبات المغذاة في منع ظاهرة الكبح الهدمي التي تمنع تخليق الانزيمات في حالة وجود مصادر كاربون سريعة التمثيل.

2- منع التأثير السام لمكونات الوسط الغذائي

يمكن استخدام طريقة الوجبات المغذاة في منع التأثير السام لأحد مكونات الوسط مثل لمادة خلات فنيل الصوديوم sodium phenyl acetate ضد الكائن المجهري *P. chrysogenum* المستخدم في إنتاج البنسلين لذلك تتم المحافظة على مستوى ادنى من المستوى السام لتلك المادة اما بإضافتها بشكل دفعات صغيرة متتالية أو بالتغذية المستمرة، فضلاً عن ذلك فإن نظام التغذية هذه يقلل من عملية إضافة الهيدروكسيل إلى مادة الخلات والتي تعتبر تمهيدية لتكوين جزيئة البنسلين وبذلك تضمن أقصى دمج لها بالمنتوج.

مثال آخر هو إنتاج حامض الكلوتاميك حيث أن التغذية البطيئة تساعد على استعمال أوساط غذائية للكائن المجهري ولعملية الانتاج نفسها في حالة استخدام تراكيز عالية وبطريقة الوجبات التقليدية.

تخمرات الحالة الصلبة Solid state fermentation

هي عبارة عن نمو الكائن المجهري على مواد صلبة في حالة غياب أو شبه غياب للماء الحر. يعتمد الحد الأعلى لنسبة الرطوبة (قبل ظهور الماء الحر) في الاوساط الغذائية الصلبة على قابلية امتصاص المادة الصلبة وبذلك تعتمد نسبة الرطوبة على نوع الوسط الغذائي. الاوساط الغذائية الشائعة الاستعمال في تخمرات الحالة الصلبة هي الحبوب والبقوليات ونخالة الحنطة والمواد السيليوزية مثل الخشب والقش، وتكون هذه المواد غير ذائبة أو قليلة الذوبان جداً في الماء ولكنها رخيصة ومن السهل الحصول عليها وتحتوي على تركيزمن العناصر الغذائية. تعد تخمرات الحالة الصلبة من الطرق القديمة جداً إذ استخدمت في الشرق منذ مئات السنين، وتستخدم في إنتاج بعض الاغذية الشرقية مثل صلصة فول الصويا والميزو وهي عبارة عن أغذية متخمرة ناتجة من تخمر فول الصويا والحبوب بواسطة الاعفان. كما تستخدم هذه الطريقة في انتاج الانزيمات وبعض الاحماض العضوية مثل حامض الستريك وقد تركز استعمال تخمرات الحالة الصلبة في الغرب على تحلل المخلفات العضوية الحيوانية والنباتية وإنتاج السايلج والفطر(العرهون) وفي صناعة أنواع معينة من الاجبان. يعتقد أن تخمرات الحالة الصلبة التي تعتمد على المخلفات السيليلوزية ستكون صناعة رئيسية في المستقبل لإنتاج الكتلة الحيوية والايثانول والميثان وعدد من المنتجات الأخرى ذات الأهمية الاقتصادية .

يعتمد نمو الأحياء المجهرية في تخمرات الحالة الصلبة على النشاط المائي لتلك الأحياء لذلك فإن الأحياء المجهرية التي تستطيع تحمل مستويات واطئة من النشاط المائي وتتكاثر عندها هي الكائنات التي تسود في تلك التخمرات.

انواع تخمرات الحالة الصلبة

يوجد عدة أنواع من تخمرات الحالة الصلبة اعتماداً على نوع الأحياء المجهرية السائدة :

1- تخمرات الحالة الصلبة بواسطة الفلورا الطبيعية

كما هو الحال في عملية انتاج السايلج وعملية تحلل المواد العضوية، إن عملية انتاج السايلج هي عملية لاهوائية تستخدم فيها النباتات الخضراء ويتم التخمر عند 25 -30 مْ لمدة 1- 2 أسبوع والبكتريا السائدة هي *Lactobacillus bulgaricus* حيث ينتج حامض اللاكتيك وبذلك تمنع بكتريا التفسخ Putrefaction bacteria ولا تستطيع الاعفان أن تنمو بسب غياب الأوكسجين، الرطوبة المثالية لهذه العملية 50-65% حيث تنشط فقط بكتريا حامض اللاكتيك التي تتحمل الضغط الأزموزي وتحول الكاربوهيدرات إلى حامض اللاكتيك

بينما عملية تحلل المواد العضوية (المخلفات النباتية والحيوانية) فإنها تتضمن تعاقب أنواع مختلفة من الأحياء المجهرية مثل البكتريا المحبة للحرارة المعتدلة والخمائر والأعفان الخيطية وكذلك البكتريا الخيطية والاعفان المحبة للحرارة العالية. ويعد تكوين الحرارة نتيجة للفعاليات الحيوية للاحياء المجهرية مشكلة كبيرة لذا يجب تقليب المادة العضوية ميكانيكياً لتجنب عملية التعقيم. يعد تحلل المادة العضوية لإنتاج فطر العرهون من أهم العمليات للاستفادة من المخلفات السيليوزية.

2- تخمرات الحالة الصلبة باستخدام مزارع نقية

تعد صناعة الكوجي مثالاً لهذه التخمرات وهي من العمليات القديمة التي تستعمل فيها الحبوب وفول الصويا التي يتم تخميرها بواسطة عفن *Aspergillus oryzae* كما تعد طريقة كوجي الأساس في إنتاج الأنزيمات على نطاق تجاري وإنتاج الاحماض العضوية والإيثانول وكذلك إنتاج الكتلة الحيوية من المواد النشوية والمواد السيليوزية.

3- تخمرات الحالة الصلبة باستخدام مزارع مختلطة

تستخدم مزارع مختلطة في تخمرات الحالة الصلبة للحصول على أقصى كمية من المنتوج المرغوب حيث وجد أن القش يمكن ان يتحول إلى كتلة حيوية بصورة أكفأ عند استخدام مزارع مختلطة من عفن *Chaetomium cellulolyticum* وخميرة *Candida lipolytica* مقارنة باستخدام مزارع نقية من العفن. والسبب يعود إلى أن الخمائر تستخدم السكريات بشكل أكبر والتي تنتج بفعل انزيم السيلوليز الذي ينتجه العفن وبالتالي يمنع العفن من تكوين السبورات لإزالة الكبح الهدمي لهذ السكريات

إيجابيات وسلبيات تخمرات الحالة الصلبة

الإيجابيات	السلبيات
1-الوسط الغذائي بسيط وطبيعي ورخيص مقارنة بالأوساط التركيبية العالية الكلفة.	1- يقتصر استعمال الطريقة على الاعفان التي تتحمل رطوبة واطئة.
2- يساعد مستوى الرطوبة المنخفض على استخدام أجهزة تخمر صغيرة الحجم ويقلل من فرص التلوث وقد لا يحتاج غالباً إلى عملية التعقيم.	2- إنتاج حرارة عالية نتيجة الفعاليات الحيوية والتي تعد أحدى مشكلات هذه الطريقة.
3- يكون تركيز المنتوج المرغوب عاليا.	3- صعوبة السيطرة على الظروف التخمر بدقة مثل درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني وكمية الأوكسجين.
4- تحتاج طاقة أقل مقارنة مع عمليات الخلط التحريك في التخمرات السائلة.	4- يمكن إنتاج منتوجات محدودة.
5- يمكن تلبية متطلبات المزرعة من الاوكسجين عن طريق انتشار الغازات من خلال الفراغات بين جزيئات المادة الصلبة.	5- يكون معدل نمو الاحياء المجهرية واطئاً.