ETH zürich

ETH Library

Bioprocess development for aerobic thermophilic sludge treatment

Doctoral Thesis

Author(s):
Bomio, Michele

Publication date:
1990

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-000578252

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

DISS. ETH No. 9159

Bioprocess development for aerobic thermophilic sludge treatment

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH
for the degree of
Doctor of Technical Sciences

Presented by
MICHELE BOMIO
Dipl. Lm. Ing. ETH
Born April 9, 1961
Citizen of Bellinzona TI

Eidg. Techn. Hochschule
Institut für Biotechnologie
ETH-Hönggerberg / HPT
CH-8093 Zürich
Switzerland

Accepted on the recommendation of:
Prof. Dr. A. Fiechter, examiner
Prof. Dr. G. Hamer, co-examiner

ADAG Administration & Druck AG

Zürich 1990

Summary

The enormous amounts of sewage sludge produced in wastewater treatment plants and the lack of efficient technologies for the recycling or degradation of the sludge, make this problem one of the most urgent to solve in the comming years. A possible solution is provided by the application of high temperatures (65 °C) bioprocesses making use of the biocatalytic activities of populations of *Bacillus stearothermophilus*. Such aerobic thermophilic sludge (ATS) bioprocesses for sewage sludge treatment offer several major advantages:

- hygienization of the sludge (inactivation of pathogenic organisms)
- degradation of normally biodegradable organic components at high rates and, in special cases, degradation of recalcitrant compounds
- improvement of sludge settling characteristics
- stability and reliability of the process due to the uniform microflora employed

The ATS process represents either an alternative or is complementary to classical mesophilic anaerobic sludge treatment. The benefits of the technology allow the product to be safely used as an agricultural fertilizer and, when disposal is the favoured option, higher rates of dewatering.

In ATS processes the growth of thermophilic bacteria can only be monitored during treatment by an indirect method, such as the total dehydrogenase activity. Maximum metabolic activity is achieved at 65 °C and pH values in the range 6.8 to 9. Fed-batch cultivation techniques offer excellent means for reproducibility when evaluating bioprocesses, as well as allowing good performance of the microorganisms. The main enzymatic activity involved is proteolysis, with an *in vitro* optimum at 80 °C and pH 7. This characteristic allows rapid and effective evaluation of the process efficiency.

The inactivation of potential pathogenic bacteria is shown to be a thermal mechanism, without synergistic effects of the thermophilic process bacteria, even though aerobic thermophilic bacteria isolated from sludge produce lysozyme during their cultivation.

The maximum biodegradation rate of -1.8 kg m^{-3} h^{-1} for the chemical oxygen demand (COD) with a corresponding calculated heat yield coefficient of 15.3 MJ kg^{-1} shows the enormous potential that thermophilic bacteria can offer during fed-batch cultivation, when cultivation conditions are optimized using multivariable optimization techniques.

The high metabolic activity results from the biodegradation of two-thirds of the insoluble matter and one third of soluble matter. The average particle size distribution of insoluble matter is shifted during treatment from lower to higher diameter particles with a consequent improvement in settling characteristics.

At present ATS processes are effectively operated at several small and medium sized wastewater treatment plants. Larger scale units still await commissioning for the most part. Pilot plant experiments demonstrated that the efficiency of the process can be markedly improved. In order to make effective use of the enormous biological potential that exist, further studies with large scale units are necessary.

Zusammenfassung

Aus den enormen Mengen an Klärschlamm, die in Kläranlagen anfallen und dem Mangel an effizienten Technologien für ein Recycling oder die Beseitigung des Schlammes entsteht eines der grössten Umweltprobleme für die Abfallwirtschaft industrialisierter Länder.
Aerobe thermophile Bioprozesse (65 °C), die das biologische Potential von thermophilen Mikroorganismen wie *Bacillus stearothermophilus*-Populationen nutzen, stellen eine mögliche Lösung dieses Problems dar.
Die vielfältigen Vorteile der aeroben thermophilen Schlammbehandlung (ATS) werden wie folgt zusammengefasst:

- Schlammhygienisierung (Inaktivierung potentiell pathogener Organismen)
- Biodegradation organischer Komponenten mit grossen Umsatzraten und organischen toxischen Komponenten (Rekalzitranten)
- Verbesserung physikalischer Eigenschaften (Absetzverhalten, Entwässerungseigeschaften)
- Stabilität und Zuverlässigkeit des Bioprozesses

Die ATS Technologie ist eine wirksame Alternative zu der klassischen, mesophil-anaeroben Behandlung oder eine Ergänzung derselben. Die Vorteile des Prozesses sind zu erkennen beim landwirtschaftlichen Einsatz als Dünger oder bei einer Entwässerung vor weiteren Anwendungen wie Deponie.

Das Wachstum der thermophilen Mikroorganismen wird mittels eines indirekten Summenparameters wie der Gesamtdehydrogenase-Aktivität gemessen.
Die maximale metabolische Aktivität wird bei 65 °C und einem pH Wert zwischen 6.8 und 9 erreicht.

Fed batch Kultivationstechnik erlaubt eine gute Stabilität der thermophilen Population. Dies ist unabhängig von der Schlammzusammensetzung.
Proteolyse ist die wichtigste enzymatische Aktivität. Das Optimum wird *in vitro* bei 80 °C und einem pH Wert von 7 erreicht. Eine schnelle und effiziente Beurteilung des Prozesses ist mittels dieser Parameter möglich.

Die Inaktivierung potentiell pathogener Keime ist rein thermisch bedingt, ohne synergistische Effekte durch thermophile Mikroorganismen, obwohl ein Lysozym produzierender Stamm während der Schlammbehandlung isoliert wurde.

Die Gesamtabbaurate erreicht einen maximalen Wert von -1.8 kg m^{-3} h^{-1} für den chemischen Sauerstoff-Bedarf mit einer berechneten Energieausbeute von 15.3 MJ kg^{-1}. Die Werte zeigen das aussergewöhnliche Potential von thermophilen Mikroorganismen, das mittels fed batch und optimierten Kultivationsbedingungen erreicht werden kann.

Die hohe metabolische Aktivität wird zu zwei Dritteln durch den Abbau unlöslicher Komponenten verursacht, während ein Drittel aus löslichen C-Quellen entsteht. Die mittlere Partikelgrössenverteilung verschiebt sich während der Behandlung von kleinen zu grösseren Partikeln. Dadurch wird ein deutlich besseres Absetzverhalten beobachtet.

Die aerob thermophile Behandlung ist eine effiziente Technologie für kleine und mittelgrosse Anlagen und kann auch in grossen Anlagen eingesetzt werden. Experimente im Pilot-Plant Massstab zeigen, dass die Effizienz des Prozesses noch verbessert werden muss, um die Nutzung des biologischen Potentials zu steigern.

Riassunto

La continua crescita della quantità di fanghi di scarto provenienti da impianti di depurazione e la mancanza di alternative tecnologiche valide per il riciclaggio o la distruzione dei fanghi, pone questo problema ambientale tra i più urgenti da risolvere nei paesi industrializzati.
Una possibile soluzione a questo problema viene fornita dall' uso di processi biologici a temperatura elevata (65 °C), sfruttando il potenziale biologico di popolazioni di microorganismi termofilici del tipo *Bacillus stearothermophilus*.
I molteplici vantaggi di questa tecnologia aerobica termofilica (ATS) possono venire riassunti come segue:

- eliminazione totale di organismi patogeni
- distruzione efficiente della materia organica biodegradabile contenuta nei fanghi e di componenti organiche tossiche (recalcitranti)
- miglioramento delle proprità fisiche dei fanghi, quali la sedimentazione
- stabilità ed efficienza del processo grazie alla microflora impiegata

Questo processo (ATS) rappresenta un' alternativa valida o un complemento al trattamento classico anaerobico mesofilico finora usato. I vantaggi di questa nuova tecnologia risultano sia in caso d' uso agricolo quale fertilizzante dei fanghi trattati, sia in caso di deidratazione dei fanghi a scopo di altri impieghi, quale la deponia o l' incenerimento.

La crescita dei microorganismi termofilici impiegati per il bioprocesso può essere seguita e controllata tramite parametri indiretti come la deidrogenasi totale. L' attività metabolica massima viene raggiunta a 65 °C ed un valore pH variante tra 6.8 e 9.
Tramite tecniche di coltivazione fed batch si raggiunge una buona stabilità dei microorganismi impiegati indipendentemente dalla composizione dei fanghi.
L' attività enzimatica predominante è di tipo proteolitico, con un massimo di efficienza *in vitro* a 80 °C e pH 7. Grazie a questo parametro misurato alle condizioni indicate è possibile una rapida ed efficace valutazione dello stato del processo.

La distruzione dei germi patogeni è di natura puramente termica senza effetti sinergistici dei microorganismi impiegati, sebbene un ceppo capace di produrre lisozima sia stato isolato durante la coltivazione in bioreattore.

La velocità totale di biodegradazione raggiunge una punta massima di -1.8 kg m^{-3} h^{-1} per la domanda chimica di ossigeno, con un ricavo energetico calcolato di 15.3 MJ kg^{-1}. Questi dati dimostrano l' eccezionale potenziale dei microorganismi termofilici che viene raggiunto con tecniche di coltivazione fed batch e condizioni ottimalizzate grazie all' uso di un algoritmo molto efficiente.

L' elevata attività metabolica è legata per due terzi a degradazione di materia organica insolubile, mentre un terzo è dovuto a materia solubile. La distribuzione media della dimensione delle particelle mostra durante il trattamento biologico uno spostamento verso dimensioni più elevate, con un conseguente miglioramento della deidratazione dei fanghi tramite sedimentazione.

Il processo aerobico termofilo per il trattamento dei fanghi è una valida alternativa per impianti di piccola e media taglia e potrebbe diventarlo anche per impianti di grossa dimensione.
Per poter sfruttare a fondo il potenziale biologico e i vantaggi mostrati, sono comunque necessari studi approfonditi anche su bioreattori di grosse dimensioni, condizione che si impone dopo le misurazioni effettuate su un impianto pilota.