



각종 미생물에 의한 음식물쓰레기 침출수의 악취저감 연구

김동원, 정혜원, 이경석, 박형용*, 이기영

호서대학교 식품생물공학과, (주)한빛특장*

(2005년 5월 20일 접수, 2005년 5월 20일 채택)

A Study on the odor reduction of food waste leachate by some microorganisms

Dong-Won Kim, Hye-Won Jeong, Kyung-Seok Lee, Hyoung-Yong Park*, Ki-Young Lee

Food & Biotechnology, Hoseo University, Hanbit Special Plant Co., Ltd.*

ABSTRACT

The purpose of this research is malodor reduction of food waste leachate by some microorganism. In order to observe the efficiency of malodor reduction by different microorganisms, 300ml of food waste leachate was fermented by the addition of 10% precultured seed microorganism such as marine algae of *Spirulina plantensis*, *Chlorella vulgaris*, the yeast *Saccharomyces cerevisiae* and bacteria *Bacillus cereus* for 10 days. During the fermentation the change in pH, salinity and sensory evaluations were tested.

As the results, the pH values of samples in the beginning were 3.5~4.0. After fermentation they are increased to the level 4.9~7.4. The salinity values of the samples fermented by *Spirulina plantensis* and *Chlorella vulgaris* were lowered rapidly. By the sensory evaluation, the efficiency of malodor reduction by *Chlorella vulgaris* of the marine microalgae showed almost inodorous degree of order 1.

초 록

본 연구는 종이 다른 여러 가지 미생물을 사용하여 음식물쓰레기 침출수의 악취저감 효과를 가지는 균주를 선별하고자 실시하였다. 침출수에 전배양한 해수미세조류인 *Spirulina plantensis* 와 *Chlorella vulgaris*, 효모 *Saccharomyces cerevisiae*와 세균인 *Bacillus cereus*를 각각 10% 주입하여 총 10일간 배양하였다. 72시간 주기로 pH와 염도, 관능검사를 시행한 결과, pH는 초기에 3.5~4.0 값을 보였으나 시일이 경과함에 따라 4.9~7.4 수준까지 증가하였고, 염도는 *Chlorella vulgaris*와 *Spirulina platensis*는 급격히 낮아졌다. 관능평가를 통한 악취시험 결과 광합성 미세조류인 *Chlorella vulgaris*가 발효 종료일인 10일째 거의 취기를 느낄 수 없는 악취도 1을 나타내어 악취제어에 효과가 있는 것으로 나타났다.

1. 서론

국토면적이 좁은 우리나라는 인구밀도가 높고 공업지역과 주거지역이 인접한 경우가 많아 악취에 대한 민원의 소지가 높다.¹⁾ 생활수준의 향상과 산업화로 인해 과거에는 문제시 되지 않았던 생활 민원형 악취에 민감하게 반응하는 등 삶의 질에 대한 욕구가 높아지면서 악취에 대한 인식이 새롭게 부각되고 있다.²⁾ 악취란 “황화수소, 메르캅탄류, 아민류, 기타 자극성이 있는 기체성 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새”로 정의되고 일반적으로 여러 화합물에 의해 야기되며, 인간에게 정신적·생리학적 스트레스를 유발시켜 메스꺼움, 두통, 식욕감퇴, 호흡곤란 및 알레르기 현상 등으로 인체의 자각반응을 나타낸다.³⁾ 이러한 악취는 공기에 의해 운반되고 넓은 지역에 확산되는 경우도 있기 때문에 발생원을 꼭 짚어 말하기 곤란한 경우가 많다. 또한 악취 유발 물질은 다 성분의 혼합성분이며, 극히 저농도의 경우에도 감지 할 수 있다는 특성을 가지고 있어 객관적인 평가가 어려워 타 공해 방지대책에 비해서 매우 까다로운 부분이라 할 수 있다.^{4),5)} 악취현상을 평가하는 방법에는 냄새 유발물질의 농도를 정량적으로 분석하는 화학성분 분석법과 복합취기물질에 의한 감각수준을 다수의 악취 판정인이 평가하는 관능측정법으로 대별 할 수 있으며, 관능 측정법의 경우 자극의 세기를 표현하는 직접관능법과 최소냄새감지한계희석배수를 구하는 간접 관능법으로 세분된다.⁶⁾

악취를 제거하는 방법으로는 크게 물리적인 방법과 화학적인방법 그리고 생물학적 방법으로 나뉘는데 현재 국내에서는 흡착방식을 이용한 물리적인 방법과 화학적인 방법을 사용하여 악취를 제거하고 있으나 최근 생물학적으로 취기물질을 제어하는 방법이 새롭게 대두되고 있다.⁷⁾ 이는 환경에 친숙하고 경제적인 방법으로 특정한 구조물에 미생물 취기발생이 예상되는 물질과 혼합하여 취기발생을 근본적으로 막는 방법이라 할 수 있다.⁸⁾

본 연구는 음식물쓰레기침출수에 의해 발생하는 악취를 여러 종의 미생물을 이용, 저감시키는 우수

한 균주를 선별하기 위해 실시되었다.

2. 실험방법

2.1 실험재료

2.1.1 음식물 쓰레기

본 실험에 사용한 음식물 쓰레기는 호서대학교 교직원 식당과 학생식당에서 발생하는 음식물쓰레기를 수거하여 침출수를 받은 후 -4°C 에서 냉장 저장하면서 시료로써 사용하였다.

2.1.2 실험균주

실험에 사용한 균주로는 *Saccharomyces cerevisiae*, *Bacillus cereus*를 유전자은행에서 분양 받아 사용하였으며, 남조식물과의 *Spirulina plantensis* (CY-007) 와 *Chlorella vulgaris* (FC-012)는 한국해양미세조류은행에서 분양 받아 사용하였고 각각 전 배양 시킨 뒤 시료무게의 10%를 첨가하여 사용하였다.^{2),9),10)} 대조군으로는 아무런 균주를 혼합하지 않은 침출수와 시판되고 있는 액상 악취제거제(Bio-Plus)를 이용했으며 활성 생균제 유형으로 세상생명과학(주)의 제품을 사용하였다. 전배양시 사용한 배지는 Sabourarddextrose agar(Difco), Tryptic Soy Broth(Difco)를 사용하였고 *Spirulina plantensis*의 배지 SOT의 조성은 [Table 1]과 [Table 2]에 나타내었고, *Chlorella vulgaris*의 배지 Allen media의 조성은 다음과 같다.

- Composition of Allen Media(*Chlorella vulgaris* (FC-012))^{11),12)}

최적 성장배지는 기본영양분을 제조하기 위해 증류수 0.5L중에 NaNO_3 75g, K_2HPO_4 1.95g, Na_2CO_3 1.06g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 3.75g, CaCl_2 1.35g, $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 2.90g, Ferric citrate 0.30g, EDTA 0.05g을 각각 주입하였으며, 미량 원소의 혼합을 위해 증류수 1L 중에 H_3BO_3 2.86g, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1.81g, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.22g, $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.39g, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

[Table1] Composition of SOT Media(*Spirulina plantensis* in 1L of D · W)^{13),14)}

Component	Amount	Temp (°C)	Light (Lux)
NaHCO ₃	13.61g	25	3,000
K ₂ HPO ₄	0.50g		
NaNO ₃	4.03g		
K ₂ SO ₄	1g		
NaCl	1g		
MgSO ₄ 7H ₂ O	0.2g		
CaCl ₂ 2H ₂ O	0.04g		
PIV metal solution	6ml		
Chu micronutrient solution	1ml		

[Table2] Composition of PIV Metal Solution and Chu Micronutrient Solution

Component (mg)	PIV metal solution	Chu micronutrient solution	Temp (°C)	Light (Lux)
Na ₂ EDTA	750	780	25	3,000
MnCl ₂ 4H ₂ O	41.2	12.8		
Co(NO ₃) ₂ 6H ₂ O	2.0	20.0		
Na ₂ MoO ₄ 2H ₂ O	4.0	12.8		
FeCl ₃ 6H ₂ O	97.2	-		
ZnCl ₂	5.2	-		
H ₃ BO ₃	-	618.0		
CuSO ₄ 5H ₂ O	-	19.6		
ZnSO ₄ 7H ₂ O	-	44.0		

0.08g, CO(NO₃)₂ · 6H₂O 0.05g을 주입하여 기본 solution을 조제 한 후, 1L의 희석용액을 조제하기 위해 기본 영양분을 각각 10ml씩 주입하였고, 미량원소는 1ml를 주입하여 배양액을 조제하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 발효방법

침출수 300ml 에 각각의 전배양한 균주를 10% 주입 후 다음과 같이 균주에 적당한 배양온도에 총 10일간 발효하였고, 72시간 주기로 pH와 염도, 관능평가를 실시하였다. 균주별 배양온도는 [Table 3]과 같다.

[Table3] Culture Temperature of Microorganism^{15),16)}

Microorganism	Temperature (°C)
<i>Chlorella vulgaris</i> (FC-012)	20
<i>Spirulina plantensis</i> (CY-007)	35
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	30
<i>Bacillus cereus</i>	35
Offensive remover	25
Control	25

2.2.2 pH 측정

발효가 진행되는 시료를 pH-meter를 이용하여 3회씩 pH를 측정하였다.

2.2.3 염도 측정^{(17),(18),(19)}

음식물 쓰레기 침출수의 염도는 ATAGO S/Mill-E(Salinity 0~100%, MADE IN JAPAN)의 염도계를 사용하여 염도를 측정하였다.

2.2.4 관능방법

관능검사는 관능검사의 경험이 있는 숙달된 pannel을 선발하여 시행하였고 악취도의 측정은 환경오염 공정시험법상의 관능법을 사용하였다.²⁰⁾ 그 관정기준은 [Table 4]과 같다

[Table4] Measuring Table of Odor

악취	악취감도구분
0	무취 (취기가 전혀 감지 안됨) NONE
1	감지취기 (약한 정도의 취기감지) THRESHOLD
2	보통취기 (보통정도의 취기감지) MODERATE
3	강한 취기 (강한 취기 감지) STRONG
4	극심한 취기 (아주강한 취기 감지) VERY STRONG
5	참기 어려운 취기 (견딜 수 없는 취기) OVER STRONG

2.2.5 통계분석

악취에 관한 관능평가 결과는 SPSS program을 이용하여 각 군주마다 평균과 표준편차로 계산하였고, 유의적인 차이는 p<0.05에서 Duncan's multiple range test에 의해 검정하였다.

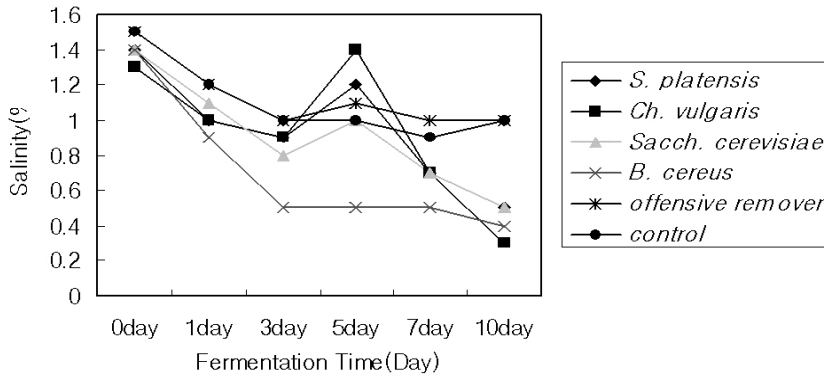
3. 결과 및 고찰

3.1 pH의 변화

음식물 쓰레기 침출수의 악취관능에 미치는 영향을 알아보기 위해 pH값을 분석하였다. 각종 미생물균주와 액상시판 악취제거제인 Bio-Plus를 주입한 음식물쓰레기 침출수의 저장기간 중 pH변화는 [Fig.1]에 나타난 바와 같다.

pH의 변화는 발효 3일 경과 후, *S. plantensis*를 제외한 모든 균주와 대조군은 pH가 3.5~4.0의 수준을 나타내다가 균을 주입하지 시료와 시판 악취제거제를 주입한 시료는 pH가 3.5수준으로 낮아졌고 *Saccharomyces cerevisiae*와 두 종류의 조류 그리고 *Bacillus cereus* 균주를 주입한 시료는 계속 높아져 4.9~7.4 수준까지 증가하였다.

최초 pH가 낮아진 후 증가하는 것을 몇몇 균주에서 볼수 있는데 이는 균주의 첨가로 유기산성분이 증가하였기 때문이며^{16),(21)} 그 후 pH의 증가는 ammonium의 증가로 인해 pH가 영향을 받았기 때문으로 사료된다.²²⁾



[Fig. 1] Change in pH value of food wastes leachate during fermentation time.

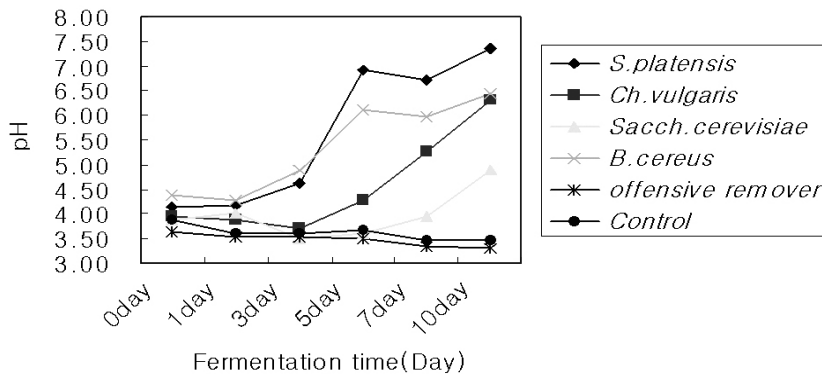
3.2 염도의 변화

음식물 쓰레기 침출수의 염도변화에 따라 악취관능에 미치는 영향을 알아보기 위해 염도측정을 하였다. 염도의 변화는 발효 3일 경과 후, 전체적으로 모든 균주들의 염도가 낮아졌고 *Bacillus cereus* 외에 모든 균주와 대조군이 0.8%~1.0%의 수준을 나타내다가 5일 경과 후, *Bacillus cereus* 외에 모든 균주가 1.0%~1.4%로 상승하였다. 7일 경과 후에는 시판되고 있는 악취제거제와 *Bacillus cereus*는 염도변화가 없었고, *Chlorella vulgaris*와 *Spirulina platensis*는 다시 급격히 낮아졌다. [Fig.2]

3.3 관능검사

각 미생물에 의한 음식물쓰레기 침출수 발효물에 대한 관능검사의 통계는 시간 경과에 따른 관능을 panel들의 반복실험을 통해 통계처리를 하였고, 각기 다른 균주별, 시간의 경과별 차이에 따른 통계처리와 균주와 panel 요인에 따른 차이를 평균과 표준편차 그리고 유의수준을 판정하였다.

발효시간의 경과에 따른 악취도의 변화를 보여준 [Table 5]에서 control이나 시판되는 악취제거제보다 남조식물과의 *Chlorella vulgaris*의 악취도 1을 나타내어 다른 균주보다 현저히 낮음을 나타



[Fig. 2] Change in salinity of food wastes leachate during fermentation time.

[Table 5] The Result of Sensory Evaluation by Microorganism

	0 ³⁾	1	3	5	7	10 days
1 ²⁾	1.25±0.463 ¹⁾	1.63±0.744	3.00±0.535	3.50±0.535	3.50±0.535	3.38±0.916
2	1.38±0.518	2.25±0.707	2.75±0.463	2.50±0.756	1.88±0.835	1.88±0.641
3	1.25±0.463	2.62±1.061	2.88±0.641	3.50±0.535	3.00±0.535	3.50±0.535
4	1.25±0.463	2.62±0.744	3.13±0.641	3.13±0.641	3.13±0.835	3.25±0.463
5	1.50±0.535	2.50±0.535	3.25±0.463	3.25±0.707	3.25±0.707	3.62±0.744
6	1.50±0.535	2.75±0.707	2.88±0.641	3.50±0.535	3.62±0.518	3.25±0.463

Using SPSS Program in Duncan's multiple range test

Data are represented as means ± S.D

The score were assigned numerical values 1 to 5 with "threshold" equaling 1, "moderate" equaling 2, "strong" equaling 3, "very strong" equaling 4, "over strong" equaling 5.

1) Means SD, 2) Kind of microorganism, 3) Fermentation time (Day)

1 : *Spirulina platensis*, 2 : *Chlorella vulgaris*, 3 : *Saccharomyces cerevisiae*

4 : *Bacillus cereus*, 5 : offensive remover 6 : Control (with out microorganism)

내었다. 악취도 1은 약한 취기가 감지될 정도로 강한 취기를 나타내는 악취도 3을 받은 다른 균주보다 악취 저감 효능이 있음을 나타낸다.

실험에 사용된 균주 중 가장 효능이 좋은 균주를 식별하기 편하게 표시하고자, 각각의 균주에 대한 관능 평균을 일변량 다중비교에서 Duncan's multiple range test를 사용하여 통계처리를 한 결과, [Table 6]에서 나타내듯이 다른 균주들에 비하여 *Chlorella vulgaris*가 가장 낮은 악취도를 나타냈다.

두개의 집단으로 나뉜 결과로 *Chlorella vulgaris*가 다른 균주에 비해 악취에 가장 효능이 있는 균주로 선별되었다.

[Table 7]은 발효시간의 경과와 균주의 관능적인 차이를 알아보하고자 일변량 다중비교에서 Duncan's multiple range test를 사용하여 통계처리를 한 결과, 실험이 시작된 0일과 1일이 가장 낮은 악취도를 보였으며 발효 5일째 가장 높은 악취도를 나타내었다.

이러한 결과로써 시간의 경과와 악취도와 연관성이 있음을 알 수 있다.

[Table 8]에서 보여주듯이 각각의 균주에 의한 악취도의 차이와 발효시간에 의한 악취도의 차이

[Table6] Classified by Microorganism

	number of group	
a ¹⁾	1	2
2	2.10 ²⁾	-
1	-	2.71
4	-	2.75
3	-	2.79
5	-	2.90
6	-	2.92

Using SPSS Program in Duncan's multiple range test

1) microorganism,

2) average of each other microorganism

1 : *S. platensis*, 2 : *Ch. vulgaris*,

3 : *Sacch. cerevisiae*, 4 : *B. cereus*,

5 : Offensive remover, 6 : Control.

Means within the same column with different superscripts are significantly different.

그리고 각각의 균주와 발효시간에 의한 차이는 유의수준 0.05수준에서 차이가 있음이 나타났고 균주와 pannel 에 관한 상관관계는 없는 것으로 나타났다.

이는 앞서 말한바와 같이 균주와 발효시간에 따라 악취도의 차이가 있음을 나타내는 것이다.

4. 결론

미생물들을 이용한 발효로 환경오염의 문제가 되고 있는 음식물쓰레기 침출수의 악취저감 효과 실험을 진행한 결과, pH는 모든 균주에서 3.5~4.0 정도가 측정되다가 시간이 경과함에 따라 4.9~7.4 수준까지 증가하였다. 염도는 발효시간이 종료됨에 따라 시판되고 있는 악취제거제와 *Bacillus cereus*는 변화가 없었고, *Chlorella vulgaris*와

[Table7] Classified by Fermentation Time

	number of group		
b ¹⁾	1	2	3
0	1.35 ²⁾	-	-
1	-	2.4	-
3	-	-	2.98
7	-	-	3.06
10	-	-	3.15
5	-	-	3.23

1) Fermentation time (Day),

2) average of sensory evaluation by fermentation time

Means within the same column with different superscripts are significantly different.

[Table8] Significant Factor

	a ²⁾	a*sub ³⁾	b ⁴⁾	a*b ⁵⁾
SF ¹⁾	0.000	0.825	0.000	0.000

1) Significant Factor (p<0.05),

2) Different by Microorganism,

3) Different by Microorganism and Pannel,

4) Different by Fermentation time (Day),

5) Different by Microorganism and Fermentation time (Day)

*Spirulina platensis*는 급격히 낮아짐을 나타냈다.

관능검사를 실시한 결과 발효시간이 5일째 되는 날 가장 심한 악취를 발생시키며, 악취도는 발효시간의 경과하면서 균주에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. panel 들의 관능 통계를 분석한 결과 광합성 미세조류인 *Chlorella vulgaris*가 발효종료일인 10일째 거의 취기를 느낄 수 없는 악취도 1을 나타내어 악취제어에 효과가 있는 것으로 나타났으며 이는 강한 악취를 나타내는 악취도 3을 받은 다른 균주보다 현저히 낮은 악취도를 보여주는 것이다.

참고문헌

1. 송복주, 정재은, 정승열, “음식물쓰레기 처리 설비의 악취성분에 관한 연구, 지기원 (2004).
2. 안상영, 최성우, “산업단지에서 배출되는 악취 원인물질의 규명”, (2004).
3. 정구희, 김선태, 손찬웅, 홍지형 “악취평가용 Olfactometer 의 제작과 성능평가를 위한 기초 실험”, (2004).
4. 김대승 “산업현장의 악취제거 기술과 최근 동향”, (주)퓨리테크
5. Yun S. I “Treatment of Waste Food using mixed microorganism responsible for the degradation of Mager Compound”, (2003).
6. 허광선, 정의덕, 백우현, “목초액을 이용한 쓰레기 매립지 침출수의 악취제거에 관한 연구”, (1999).
7. 안광일, “국내외의 악취규제현황 및 제거 대책에 관한 비교 고찰”, (1996).
8. 암규방남, “조류의 다양성과 계통 라이프사이언스”, (2004).
9. 박혜경, “미세조류의 분리 및 보존.
10. 안주희, 김성수, 김태호, 이준엽, “축산폐수의 효율적 처리를 위한 광합성 미세조류인 *Spirulina Plantensis* 배양공정의 최적화”,

(1996).

11. 성기훈, 이정호, 박영식, 김현규, 유호금, 오상집, 이현용, “*Spirulina Plantensis*를 이용한 축산폐수 처리 및 고단백 사료원의 생산”, (1994).
12. 주동식, 정충국, 이창호, 조순영, “배양조건에 따른 *Spirulina Plantensis*의 성장 및 phyococynin 함량 변화”, (2000).
13. 김용삼, 박호일, 김동건, 박대원, “관형 광생물 반응기에서의 *Spirulina Plantensis* 성장 특성 연구”, (2003).
14. 김철경, 박기용, 박준성, 김남기, “*Chlorella vulgaris*의 이산화탄소 고정 및 수소생성 특성”.
15. 이완석, 최애란, 안치용, 오현철, 안종석, 오희목, “담수산 미세조류로부터 생리활성물질의 탐색”, (2004).
16. 이경석, 이기영, 오창석, 이대규, 김영준, “*Lactobacillus acidophilus*와 *Saccharomyces cerevisiae*를 이용한 남은 음식물의 생균 사료화에 대한 공기주입의 영향”, (2003).
17. 배재근, 주요섭, 박정수, “음식물쓰레기 염분농도가 퇴비화 및 식물성장에 미치는 영향”,(2002).
18. 김정섭, 김해수, 박승조, “염분농도에 따른 음식물쓰레기 소멸에 관한 연구.
19. 양재경, “혐기, 호기성 생물막 채널 반응기에 의한 합성 폐수처리에 있어 염분의 영향”, (2004).
20. 김인수, 김동근, 고성정, “유용미생물의 종류별 선박 주방 폐기물의 냄새저감에 관한 연구” 해사산업연구논문집 제 12권.
21. 이기영, 이성택, 이무춘, “광합성 세균을 이용한 돈분 폐수처리에 관한 연구”, (1996)
22. 이재성, 이현준, Janjit Imachaturapatr “Fermentation Product를 이용한 축산폐수 악취제거 특성연구”, (2004). 