

구연산 발효에 따른 주정증류 폐수의 처리

서명교 · 안갑환 · 이민규* · 송승구

부산대학교 공과대학 화학공학과

*제주대학교 공과대학 화학공학과

(1992년 3월 3일 접수, 1992년 7월 11일 채택)

Treatment of Alcoholic Distillery Wastes through Citric Acid Fermentation

Myung Gyo Suh, Kab Hwan An, Min Gyu Lee* and Seung Koo Song

Department of Chemical Engineering, College of Engineering, Pusan National University

*Department of Chemical Engineering, College of Engineering, Cheju National University

(Received 3 March 1992; accepted 11 July 1992)

요 약

타피오카 및 쌀보리 주정증류 폐기물의 재활용 및 처리방안으로 이들 주정증류 폐기물을 발효기질로 하여 회분식 생물반응기에서 *Aspergillus niger* 균주를 이용하여 폐기물을 처리하는 동시에 구연산을 생산하고자 여러 가지 조건을 변화시켜 공정의 효율화를 시도하였다. 회분식 생물반응기에서 *Asp. niger* ATCC 9142 균주는 총 환원당의 농도가 50 g/l 및 100 g/l인 타피오카 주정증류 폐기물로부터 구연산을 각각 9.6, 16.9 g/l의 농도로 생산하였으며, 50 g/l인 쌀보리 주정증류 폐기물로부터 구연산을 2.4 g/l 농도로 생산하였다. 또 총 환원당 50 g/l인 타피오카 주정증류 폐기물에서 *Asp. niger* KCTC 1231 및 ATCC 9142 균주는 구연산 및 균체를 4.38, 50.8 g/l 및 9.6, 12.6 g/l의 농도로 생산하였는데, 이는 구연산 생산면에서는 *Asp. niger* ATCC 9142 균주가 좋고, COD 처리효율면에서는 KCTC 1231이 우수함을 의미했다. 구연산 생산공정을 통한 타피오카 및 쌀보리 폐기물의 COD의 감소는 사용하는 균주에 따라 각각 30.93-70.8%로 나타났으므로 주정증류 폐기물을 구연산 생산공정으로 먼저 처리할 경우 COD를 감소시켜 유기물의 부하를 현저히 감소시킬 수 있으므로 이어지는 활성슬러지 처리 공정에서 희석수의 첨가없는 폐수처리가 가능하므로 폐수처리조의 크기를 상당히 줄일 수 있을 것이 예상되었다.

Abstract—Alcoholic distillery wastewater was treated as dual purposes to produce citric acid and to reduce the amount of wastewater to be treated. In this study, an attempt was made to enhance the efficiency of process under various conditions by *Aspergillus niger* in a batch bioreactor. The concentrations of citric acid were marked up to 9.6 and 16.9 g/l in a batch bioreactor by *Asp. niger* ATCC 9142 with 50 g/l and 100 g/l of reducing sugar concentration in tapioca distillery wastewater, respectively. But the naked barley wastewater of 50 g/l reducing sugar gave 2.4 g/l citric acid concentration by *Asp. niger* ATCC 9142. The concentrations of citric acid and mycelial dry weight were shown to be 4.38, 50.8 and 9.6, 12.6 g/l in a batch bioreactor by *Asp. niger* KCTC 1231 and ATCC 9142 with 50 g/l reducing sugar concentration in tapioca distillery wastewater. Therefore, *Asp. niger* ATCC 9142 is good for citric acid production, while *Asp. niger* KCTC 1231 is good for COD removal performance. The fermentation process of citric acid formation reduced the COD value of 70.8%, which reduced organic loading rate to subsequent ordinary activated sludge system.

1. 서 론

국내 10여개 주정업체에서 연간 배출되는 폐기물량은 1,300만 D/M에 달하며 이들 폐기물은 COD값이 30,000 mg/l의 고농도 물질이므로 1차 혐기성 발효조에서 처리되어 3-4,000 mg/l의 농도로 유출되므로 2차 활성슬러지조에 회석유입되어 처리되고 있으나 원료물질의 종류에 따라 폐기물의 농도가 달라지고 혐기조의 상태에 따라 활성슬러지조에 유입되는 유입액의 농도의 변화가 크므로 정상상태로 운전하기가 어렵고, 또한 회석을 위하여 상당히 많은 양의 회석수를 요구하고 있으므로 주정업체 폐기물의 원활한 처리방법이 큰 관심사로 대두되고 있다. 특히 폐기물을 공정 중에서 줄이는 방법이 연구되고 있으며, 폐기물을 농축하여 사료로의 이용도 연구되고 있으나 농축에 따른 가열비가 중요한 인자로 작용한다.

폐기물을 이용한 발효공정의 개발은 폐기물의 양을 줄이고 부산물을 얻을 수 있으므로 많은 연구가들에 의하여 연구되어지고 있으나 아직까지 산업체에 응용되고 있지는 않으므로 앞으로 많은 고찰이 요구된다고 보아진다. 폐기물을 특정 미생물로 처리하면 폐기물 중의 유기물을 미생물이 유용물질로 전환시키므로 유용물질을 얻을 수 있는 반면에 폐기물 중의 유기물을 감소시키는 효과도 있다. 최근 Hang 등[14]과 Roukas와 Kotzekidou[5]는 양조폐기물과 과일쓰레기를 발효기질로 한 표면배양으로 구연산을 생산할 수 있다고 보고하였다.

또한 Hossain 등[6] 및 Somkuti와 Bercivengo[7]는 우유찌꺼기를 발효기질로 하여 구연산을 생산하고자 하였으나 생산성이 낮아 lactose를 첨가함으로써 구연산의 생산성을 향상시켰다고 보고하였다. 최근에 서 등[8, 9]은 쌀보리 및 타피오카 주정종류 폐기물을 발효기질로 구연산 생산을 보고한 바 있다.

주정종류 폐기물은 대체로 COD가 20,000 mg/l 이상의 고농도 유기물을 함유하며, 악취를 발하고, pH는 3.5-4.5사이 값을 가지고 있었다. 이러한 고농도의 주정종류 폐수를 혐기성 처리를 통하여 COD를 7000-8000 mg/l로 떨어뜨린 후 다시 회석하여 활성오니조로 처리하고 있으나, 7000 mg/l 이상의 폐수를 활성오니조에 투입하기 위하여 7배 이상의 회석수가 요구되고 또한 처리효율도 높지 않으므로 주정업체는 폐수처리에 큰 부담을 안고 있는 실정이다.

본 연구는 국내 주정공장에서 배출되어 주된 수질오염원이 되고 있는 타피오카 및 쌀보리 주정종류 폐기물의 재활용 및 처리방안으로 이 주정종류 폐기물을 발효기질로 하여 회분식 생물반응기에서 *Aspergillus ni-*

Table 1. Typical compositions of wastewater derived from alcoholic distillery using naked barley or tapioca as major raw material for ethanol fermentation

Item	Alcoholic distillery wastes	
	Naked barley	Tapioca
pH	4.0-4.3	4.0-4.3
BOD ₅ (mg/l)	35,000	25,000
COD(mg/l)	27,000	24,000
Total reducing sugars as glucose(mg/l)	10,000	10,000
Suspended solids(mg/l)	30,000	22,000
Total nitrogen(mg/l)	1,736	807
Total phosphorus(mg/l)	2.30	n.d.
Color	Brown	Brown
Temperature(°C)	70-80	70-80

n.d.=Undetectable

ger 균주를 이용하여 구연산과 균체를 생산하였다.

또한 공정의 효율화를 기하기 위하여 폐기물의 농축, 균주의 선정, 유입공기의 유량속도 등을 변화시켜 구연산 및 균체생성에 따른 구연산 생성 및 COD 제거 효율변화 등의 제반 고찰을 통하여 폐기물의 양을 줄이고 구연산 생산을 증가시켜 폐수처리의 효과와 발효생성물을 생산하는 이중효과를 얻는데 목적을 두었다.

2. 실험재료 및 방법

2-1. 주정종류 폐기물의 성상

본 실험에 사용한 시료는 부산시 문현동 소재의 주정 생산업체에서 배출되는 타피오카 및 쌀보리 주정종류 폐기물로서 그 성상은 Table 1과 같다.

2-2. 균주

본 실험에 사용한 균주는 *Aspergillus niger*(KCTC 1231), *Aspergillus niger*(NRRL 337) 및 *Aspergillus niger*(ATCC 9142)로서 한국과학기술연구원 내 유전공학연구소에서 분양받았으며, 균주의 활성을 유지하기 위하여 PDA(potato dextrose agar) 배지에서 7일마다 1회씩 계대 배양하였다.

2-3. 배지 및 전배양

균체 보관용으로 사용한 PDA 배지조성은 200 g/l potato, 20 g/l dextrose 및 15 g/l의 agar로 구성되었다.

전배양은 300 ml의 진탕플라스크에 폐액을 100 ml정도 넣고 솜마개를 한 후 121°C에서 15분간 멸균하여 냉각한 다음 무균실에서 agar배지로부터 포자를 접종하여 30°C, 200 rpm의 조건으로 진탕배양기에서 2일간

배양하였다. 이렇게 배양한 것을 본배양 배지 부피의 2% 이내가 되도록 살균된 본 배양 배지에 접종시켰다.

2-4. 발효실험

실험장치는 회분식 반응기(B. Braun Biotech. Co., Model: BIOLAB)를 사용하였으며, 용량 2l인 원통형 발효조 내에 1l의 배양액을 채워 실험을 행하였다. 공기여과기(0.2 μ m membrane filter)를 통한 공기를 유량속도 1l/min에서 2.5l/min으로 변화시켜 주입함으로써 산소를 공급하였으며, 발효조 내의 용존 산소는 DO probe(Galvanic membrane type)를 사용하여 측정하였다. 또한 배양 중에 pH(Model: Ingold)의 변화를 측정하였으며, 발효조의 온도는 30°C로 유지하였다.

교반속도는 배양초기에는 400 rpm으로 유지하다가 발효가 진행되면서 용존산소가 포화 용존산소량의 40% 이하로 낮아질 때에 교반속도를 800 rpm으로 높여 용존산소를 포화 용존산소량의 30% 이상으로 유지시켰으며 소포제(DOW-CORNING DB-110A)를 사용하여 거품 발생을 제어하였다.

2-5. 분석방법

균체 건조무게의 측정은 배양액 중에서 시료를 취하여 원심분리한 다음, 침전된 균체를 다시 0.85% NaCl 용액으로 2-3번 세척하여 원심분리하고, 증류수로 다시 2-3번 세척하여 105°C에서 24시간 건조한 후 데시게이트에서 30분간 방냉하여 무게를 측정하였다. 총 환원당의 농도는 DNS법[10]에 의하여 측정하였으며, 구연산의 농도는 Marier와 Boulet방법[11]에 의해 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 농축에 따른 영향

타피오카 주정증류 폐기물 중에 함유된 총 환원당의 농도는 10 g/l 정도였으며, 이를 발효기질로 하여 *Asp. niger* ATCC 9142 균주를 사용한 구연산 발효에서 구연산 및 균체를 각각 0.9, 2.47 g/l의 농도로 얻었다. 이러한 낮은 생산농도는 주정증류 폐기물 중에 함유된 환원당의 농도가 일반적으로 구연산 생산에 이용되는 환원당의 농도보다 낮기 때문인 것으로 사료되어 폐기물을 농축하여 환원당의 농도를 증가시켜 구연산 수율에 관한 영향을 고찰하였다.

고농도의 구연산을 얻기 위하여 타피오카 폐기물을 여과한 후 회전진공 증발기로 당의 농도를 50 및 100 g/l로 농축하여 증가시켜 발효한 결과는 Fig. 1(a)와 (b)

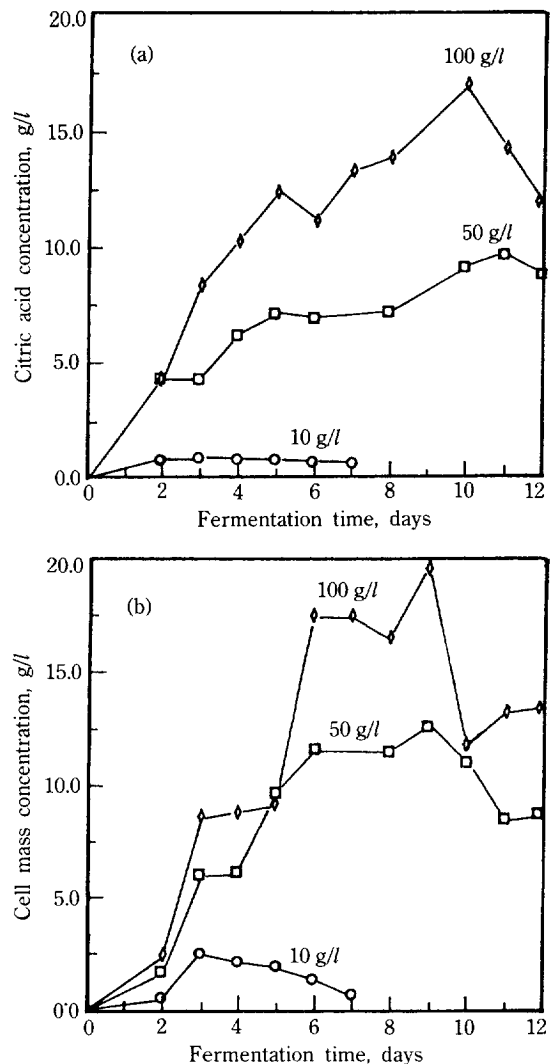


Fig. 1. Time course profiles of citric acid(a) and cell mass (b) production in a bioreactor by *A. niger* cultures with concentrated wastewater: reducing sugar concentration; ○, 10 g/l; □, 50 g/l; ◇, 100 g/l.

에서 보여주는 바와 같이 타피오카 주정증류 폐기물을 발효기질로 성장한 *Asp. niger* 균주는 폐기물의 농도에 따라서 구연산 및 균체의 생산 차이를 보이고 있다. 구연산 및 균체농도는 당의 농도가 50 g/l인 경우에는 각각 9.6 g/l, 12.6 g/l이었고, 100 g/l인 경우에는 각각 16.94 g/l, 19.57 g/l로 농축하지 않은 경우에 비해 농축 처리한 경우에 구연산 및 균체농도가 증가하였다. 또한 당의 농도가 50 g/l인 경우에 비해 100 g/l인 경우가 구연산 및 균체 생산이 많았으며, 농축 처리한 경우에는 처리하지 않은 경우에 비해 구연산 생산이 10-18배 증

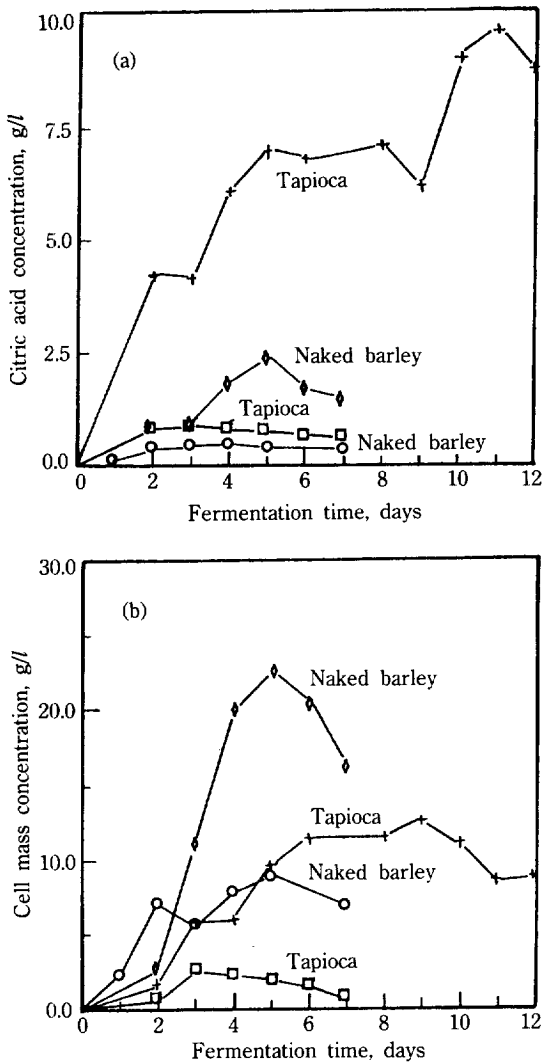


Fig. 2. Comparison of citric acid(a) and cell mass(b) production between naked barley and tapioca alcoholic distillery wastewater: reducing sugar concentration; □, 10 g/l; ◇, 50 g/l.

가하였다. 그러나 환원당의 농도가 50 g/l인 경우에는 환원당의 45%가 구연산이나 균체로 전환되었는데 비해 환원당의 농도가 100 g/l일때는 33%만이 전환되었으므로 환원당의 효율면에서는 환원당의 농도가 50 g/l일 때가 높은 것으로 나타났다.

우리나라에서 정책적으로 사용되는 쌀보리 원료의 폐기물은 고형물 및 유기물의 농도가 높을 뿐만 아니라 질소, 황 및 인의 함량이 높아 폐수처리에 많은 어려움을 주고 있으며, *Asp. niger* ATCC 9142균주는 Fig. 2(a)에 나타난 바와 같이 총 환원당 10 g/l 및 50 g/l인 쌀보리

주정증류 폐기물에서 구연산을 각각 0.48 g/l 및 2.41 g/l로 생산하여 쌀보리 주정증류 폐기물은 타피오카 주정증류 폐기물에 비하여 구연산의 농도가 아주 낮은 것으로 나타났다. 이와 같이 구연산 생산은 주정증류 폐기물의 종류 즉 쌀보리 및 타피오카 주정증류 폐기물에 따라 상당한 차이를 보이고 있다.

Hang 등[12]은 환원당 농도가 10.9-24 g/l인 양조 폐기물을 기질로 하여 심부발효에서 96시간 배양한 *A. foetidus*는 3.5-12.3 g/l의 구연산을 생산한다고 보고하였고, Hossain 등[6]은 환원당 농도가 43 g/l인 우유찌꺼기를 발효기질로 하여 심부발효에서 8일간 배양한 *Asp. niger* IMI 41874는 8.3 g/l의 구연산이 얻어진다고 보고하였다. 이와 같이 구연산 생산에 차이를 보이는 이유는 사용된 미생물 균주, 당의 성상, 당의 농도, 다른 영양분 존재 및 용존 산소량과 같은 물리적 환경 요인 등의 영향이 큰 것으로 생산되었다.

Fig. 2(b)에서 보여주는 바와 같이 균체 건조무게는 발효가 진행되는 동안 증가하며 *Asp. niger* ATCC 9142 균주를 쌀보리 및 타피오카 주정증류 폐기물에서 배양할 때 총 환원당 10 g/l 및 50 g/l인 쌀보리 주정증류 폐기물에서 최대 균체질량이 9.03 g/l 및 22.5 g/l이고, 타피오카 주정증류 폐기물에서는 최대 균체질량이 2.47 g/l 및 12.6 g/l가 얻어졌다. 따라서 쌀보리 폐기물에서는 균주생성이 많고 타피오카 폐기물에서는 구연산 생산이 서로 상대적으로 많은 것으로 나타났다.

이러한 현상은 Hang 등[12]의 보고와 같이 폐기물에 포함된 각 성분들의 영향에 의한 것으로 Table 1에서 보여주는 바와 같이 쌀보리 폐기물 중의 질소함량이 타피오카 폐기물의 값보다 2배 이상 크므로 균체성장에도 영향을 주었던 것으로 사료되었다.

Shannon과 Stevenson[13]은 곡물추출액, 발효 찌꺼기액 및 트립추출액 등에서 자란 곰팡이 균주의 최대 균체량은 6.28, 6.46 및 27.72 g/l라고 보고한 바 있으므로 큰 범위 내에서는 본 실험의 결과와 비슷함을 알 수 있었다.

3-2. 균주에 따른 영향

총 환원당 50 g/l인 타피오카 주정증류 폐기물에서 *Asp. niger* KCTC 1231 및 ATCC 9142 균주는 Fig. 3에서와 같이 각각 4.38 g/l, 9.6 g/l 농도의 구연산을 생산하였으며, 균체의 건조무게를 각각 50.8 g/l, 12.6 g/l의 농도로 증가시켰다. 이것은 구연산 생산과는 달리 *A. niger* KCTC 1231이 ATCC 9142보다 균체농도가 4배나 높았다. 따라서 본 실험범위 내에서 고찰하면 구연산 생산면에서는 *A. niger* ATCC 9142가 좋고 COD 처리 효율면에서 KCTC 1231도 좋은 것으로 생각되었다.

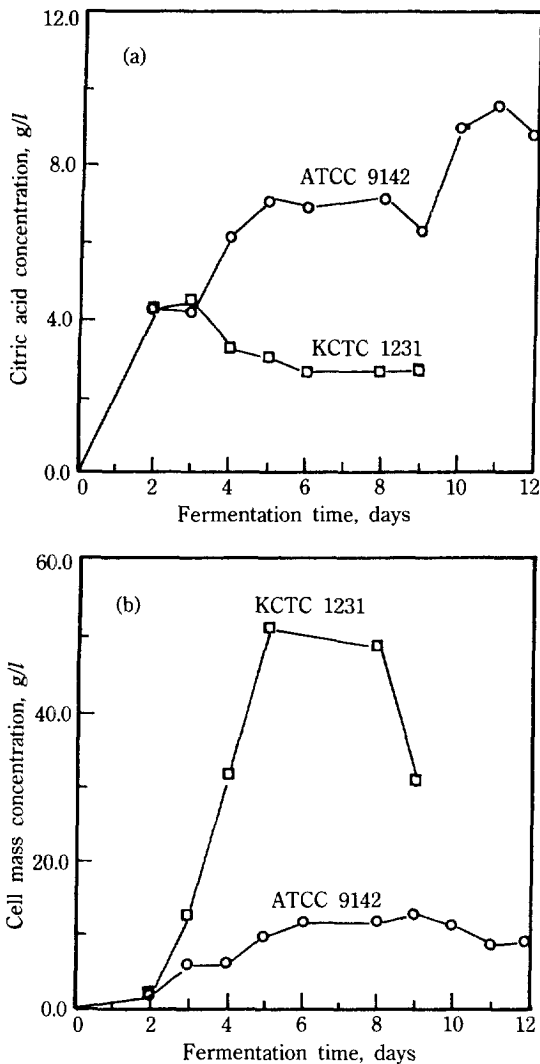


Fig. 3. Comparison of citric acid(a) and cell mass(b) production by *A. niger* KCTC 1231 and ATCC 9142 in 50 g/l tapioca distillery wastewater.

쌀보리 주정종류 폐기물에서 사용된 균주는 *Asp. niger* KCTC 1231, NRRL 337 및 ATCC 9142이고, 균주의 종류 및 기질의 농도에 따른 구연산 및 균체농도 변화를 Fig. 4(a)와 (b)에 나타내었다.

그림에서 보여지는 바와 같이 원 폐기물의 농도가 10 g/l일 때 구연산 및 균체의 질량이 *A. niger* KCTC 1231 경우는 각각 0.12 g/l, 3.72 g/l이며, NRRL 337 경우는 0.39 g/l, 7.3 g/l, ATCC 9142 경우는 0.48 g/l, 9.03 g/l로 얻어졌다. 구연산 생산은 ATCC 9142가 가장 우수하였으며, KCTC 1231에 비해 구연산 농도가 4배정도 높았다. 또 원 폐기물을 5배로 농축한 환원당의 농도가 50

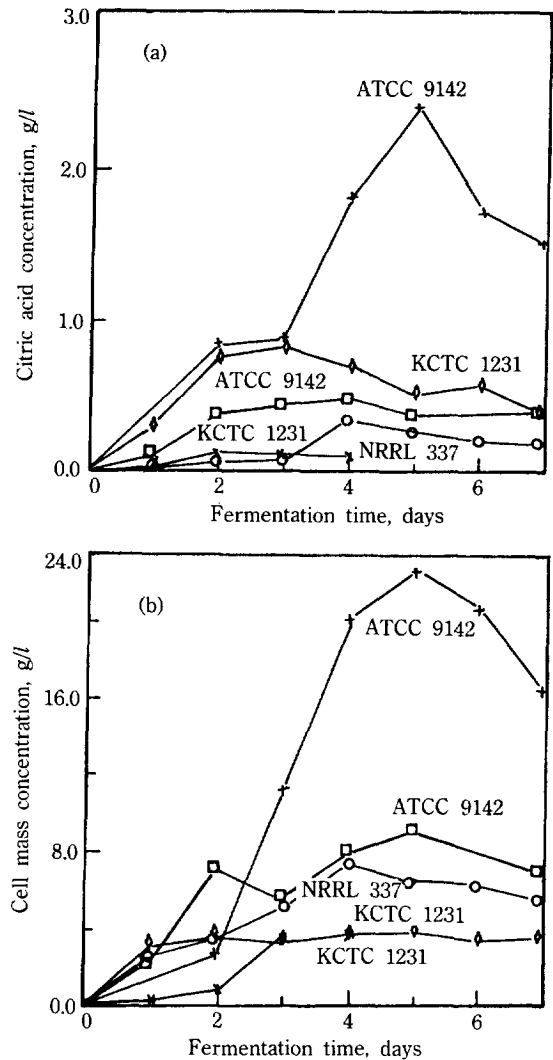


Fig. 4. Comparison of citric acid(a) and cell mass(b) production capability of three selected strains in naked barley alcoholic distillery wastewater: reducing sugar concentration; ○*□, 10 g/l; ◇+, 50 g/l.

g/l일 때 구연산 및 균체의 농도는 KCTC 1231에서 각각 0.81 g/l, 3.86 g/l이고, ATCC 9142에서는 각각 2.40 g/l, 22.48 g/l가 얻어졌다. 따라서 구연산 수율은 ATCC 9142가 KCTC 1231에 비해 3배나 높았으므로 *Asp. niger* ATCC 9142 균주가 다른 균주에 비해 구연산 생산력이 우수한 것으로 사료되었다.

3-3. 공기의 유량속도 변화에 따른 영향

Aspergillus niger 균주가 산소를 공급받아 글루코오스를 산화시켜 에너지를 얻으며, 또한 TCA 회로의 중간

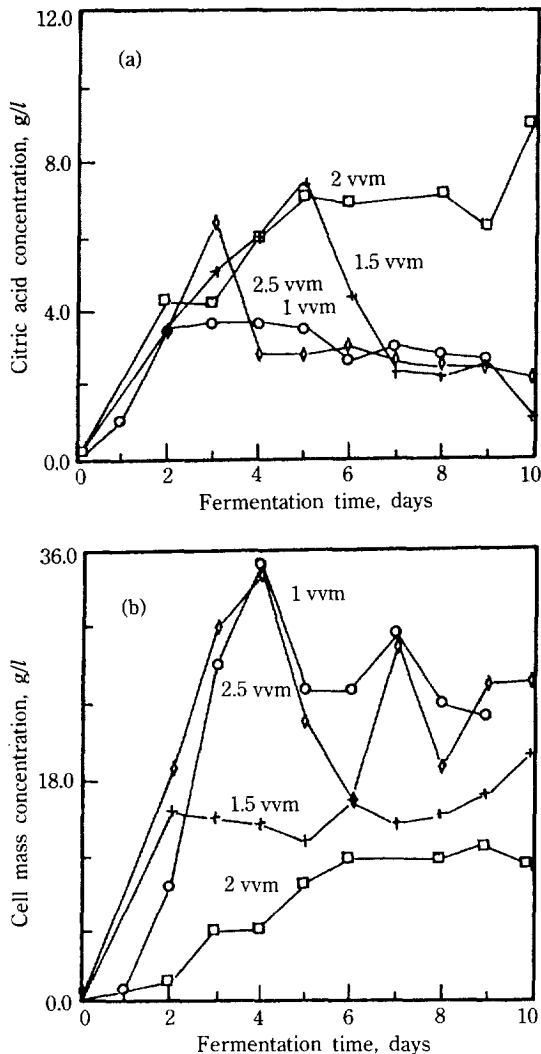


Fig. 5. Effect of aeration rate on citric acid(a) and cell mass(b) production.

생성물인 구연산을 생성하기 위해서 공기의 공급이 중요한 요소로 작용함은 이미 보고[14]된 바 있다.

구연산 생성에 있어서 산소의 영향을 알아보기 위하여 공기의 유량속도를 각각 1, 1.5, 2 및 2.5 vvm으로

조절하였다. Fig. 5(a)와 (b)에 나타난 결과에 따르면 공기 유량속도를 1, 1.5, 2 및 2.5 vvm으로 증가시킬 때 구연산 농도는 각각 3.66, 7.5, 9 및 6.38 g/l로 변하고 균체농도는 34.57, 19.77, 12.6 및 33.9 g/l로 변하였다. 또한 용존산소는 공기 유량속도가 증가함에 따라 점차 증가하는 것을 알 수 있었으며 공기 유량속도가 2 vvm 이상에서는 산소의 공급이 충분함을 알았다.

3-4. COD 제거효율

앞에서 고찰된 자료를 Table 2에 정리하여 COD 제거효율의 견지에서 고찰하였다. 5배 농축한 타피오카 주정증류 폐기물의 경우는 *Asp. niger* ATCC 9142가 COD 처리 효율면에서 30.9%를 나타내었고, *Asp. niger* KCTC 1231인 경우에는 구연산 생산은 ATCC 9142에 비해 낮으나 균체증식이 월등하게 크므로 COD 처리 효율이 70.5%로 나타내었다. 이는 Shannon과 Stevenson[13]의 보고에 의한 환원당 농도가 9.9 g/l인 발효 찌꺼기액에서의 COD처리효율인 20.3-35.3%와 Lee 등[15]의 환원당 농도가 3.3 g/l인 절간고구마원료 주정 폐액을 기질로 할 때 22-32% 처리효율에 비해 본 연구에서의 처리효율이 훨씬 높음을 알 수 있었다.

또한 난분해성 물질이 많은 것으로 알려진[16] 쌀보리 주정증류 원폐기물은 COD 처리 효율면에서 70.8%를 나타내므로 Jamuna와 Ramakrishna[17]의 cassava starch waste를 기질로 할 때 5-62%의 처리효율에 비해 높은 처리효율을 보였으며, 원 폐기물을 5배로 농축한 경우의 COD 처리효율도 38.8%로 타보고에 비해 처리효율이 높음을 알 수 있었다.

쌀보리 폐기물을 발효기질로한 경우 균체수율은 타피오카 폐기물의 균체수율과 비교해 볼 때 약 2-4배가 많은데, 그 이유는 쌀보리 주정증류 폐기물은 타피오카 주정증류 폐기물보다 질소함량이 2배 이상 함유하기 때문으로 사료되며, 폐기물 중의 유기물을 처리하는 면에서는 원 폐수를 농축처리한 경우보다 농축하지 않은 경우가 처리효율이 훨씬 좋았으며, 구연산 생산의 경우에는 원 폐수를 농축처리한 경우가 처리하지 않은 경우보다 증가된 수율을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 또 쌀보리 폐기물이 타피오카 폐기물에 비해 구연산

Table 2. Production of citric acid and COD removal of alcoholic distillery wastes

	Naked barley		Tapioca		
	10 g/l	50 g/l	10 g/l	50 g/l	
Reducing sugar conc.	<i>A. niger</i>	<i>A. niger</i>	<i>A. niger</i>	<i>A. niger</i>	<i>A. niger</i>
Strains	ATCC 9142	ATCC 9142	ATCC 9142	ATCC 9142	KCTC 1231
Citric acid conc.(g/l)	0.5	2.4	0.9	9.6	4.38
Cell mass conc.(g/l)	9.0	22.5	2.5	12.6	50.8
COD removal efficiency(%)	70.8	38.8	41.1	30.9	70.5

생성량이 상당히 적은데 이는 쌀보리 폐기물을 발효에 이용하는 경우 타피오카 폐기물에 비해 고형물 및 유기물 농도가 높을 뿐 아니라 질소, 황 및 인의 농도가 높으므로 이러한 점이 쌀보리 폐기물을 기질로 구연산 발효시에 저해를 주는 요인으로 생각되었다.

4. 결 론

주정공장에서 배출되는 타피오카 및 쌀보리 주정증류 폐기물을 발효 기질로 하여 회분식 생물반응기에서 *Asp. niger* 균주를 이용하여 폐기물 처리와 구연산을 생산하는 실험에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) *Asp. niger* ATCC 9142 균주는 총 환원당 50 g/l 및 100 g/l인 타피오카 주정증류 폐기물로부터 구연산을 각각 9.6, 16.9 g/l의 농도로 생산하였으며, 총 환원당 50 g/l인 쌀보리 주정증류 폐기물로부터 2.4 g/l의 구연산을 생산하였다.

(2) 총 환원당 50 g/l인 타피오카 주정증류 폐기물에서 *Asp. niger* KCTC 1231 및 ATCC 9142 균주는 구연산과 균체농도를 각각 4.38, 50.8 g/l 및 9.6, 12.6 g/l의 농도로 생산하였으므로 구연산 생산면에서는 *Asp. niger* ATCC 9142 균주가 좋고, COD 처리효율면에서는 KCTC 1231도 좋았다.

(3) 구연산 생산공정을 통한 타피오카 및 쌀보리 폐기물의 COD의 감소는 각각 30.93-70.8%로 나타났으므로 주정증류 폐기물을 구연산 생산공정으로 처리할 경우 구연산 생산 뿐만 아니라, 폐수처리조에 유입되는 유기물의 부하를 현저히 감소시킬 수 있었다.

참고문헌

1. Hang, Y. D. and Woodams, E. E.: *Biotechnol. Lett.*, **6**(11), 763(1984).
2. Hang, Y. D. and Woodams, E. E.: *Biotechnol. Lett.*, **7**(4), 253(1985).
3. Hang, Y. D. and Woodams, E. E.: *Am. J. Enol. Vitic.*, **37**, 141(1986).
4. Hang, Y. D., Luh, B. S. and Woodams, E. E.: *J. Food Sci.*, **52**(1), 226(1987).
5. Roukas, T. and Kotzekidou, P.: *J. Food Sci.*, **51**(1), 225(1986).
6. Hossain, M., Brooks, J. D. and Maddox, I. S.: *New Zealand J. Dairy Sci. Technol.*, **18**, 161(1983).
7. Somkuti, G. A. and Bercivengo, M. M.: *Dev. Ind. Microbiol.*, **22**, 557(1981).
8. 서명교, 서근학, 송승구: 한국생물공학회지, **5**(4), 383(1990).
9. 서명교, 김영수, 송승구: 부산대학교 환경연구보 투고중(1992).
10. Chaplin, M. F. and Kennedy, J. F.: *Carbohydrate Analysis*, IRL Press, p. 3(1986).
11. Marier, J. R. and Boulet, M.: *J. Dairy Sci.*, **41**, 1683(1958).
12. Hang, Y. D., Splittstoesser, D. F., Woodams, E. E. and Sherman, R. M.: *J. Food Sci.*, **42**(2), 383(1977).
13. Shannon, L. J. and Stevenson, K. E.: *J. Food Sci.*, **40**, 826(1975).
14. Marchael, R., Chaud'e, O. and Metche, M.: *Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **4**, 111(1977).
15. Lee, H. C., Koo, Y. J., Min, B. Y. and Lee, H. K.: *Kor. J. Appl. Microbiol. Bioeng.*, **10**(2), 95(1982).
16. 김철, 정윤진, 장덕: 주정폐액의 메탄발효 최적화 연구 및 신공정개발, 1991년도 동력자원부 최종보고서, p. 146-147(1991).
17. Jamuna, R. and Ramakrishna, S. V.: *J. Ferment. Bioeng.*, **67**(2), 126(1989).