

## *Gluconacetobacter hansenii* TL-2C에 의한 감귤과즙 발효시 겔 생성에 미치는 탄소원의 영향

최경호<sup>1\*</sup> · 정지숙<sup>1</sup> · 문철호<sup>2</sup> · 김미림<sup>2</sup>

<sup>1</sup>대구가톨릭대학교 식품영양학과

<sup>2</sup>경북과학대학 전통식품연구소

### Effect of Carbon Source Supplement on the Gel Production from Citrus Juice by *Gluconacetobacter hansenii* TL-2C

Kyoung-Ho Choi<sup>1\*</sup>, Ji-Suk Jeong<sup>1</sup>, Chul-Ho Moon<sup>2</sup> and Mi-Lim Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Food Science and Nutrition, Catholic University of Daegu, Hayang 712-702, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Traditional Food Institute, Kyongbuk College of Science, Gyeongbuk 718-850, Korea

#### Abstract

This study was conducted to determine the minimum concentration of citrus juice for basal medium and also to search for an additional carbon source for the best production of the gel. A concentrate of citrus fruit juice of 65°Brix, it was diluted to be used as a basal medium. Static cultivation of *Gluconacetobacter hansenii* TL-2C for 14 days at 30°C produced the best gel with 7.5±0.4 mm thickness in the 6-fold diluted citrus juice concentrate without any additional nutrient. However, the same thickness could be obtained with 60 to 100-fold diluted juice concentrate when refined white sugar was added at appropriate concentrations. Glucose was the most effective sugar for the both of gel and acid production, and optimal concentration of the sugar was 10° Brix. Ethyl alcohol at 1.0% had synergistic effects in combination with refined sugar and increased the gel thickness up to 15.1 mm which was 1.85 times thicker than that of refined sugar alone. However, acetic acid was not effective. Gel productivity with supplement of ethanol was 172.6±8.4 g wet/L, and it was approximately equal to 4.7 g of dry gel/L.

**Key words:** *Gluconacetobacter hansenii* TL-2C, citrus gel fermentation, citrus gel, bacterial cellulose

#### 서 론

세균이 생산하는 셀룰로스(bacterial cellulose, 이하 BC로 약함)는 섬유의 직경이 약 0.1 μm로 매우 미세할 뿐만 아니라 높은 보습성과 결정성을 가지며 동물의 체내에서 분해되기 어려운 특성(1,2)으로 인하여 최근 식품, 화장품, 제지, 의료 및 공업용 소재로 실용화가 진행되고 있다(3-8). BC는 *Acetobacter*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* 등 다양한 세균(9,10)에서 생합성이 확인되었으며 국내에서도 식초산 발효과정, 부패한 과일 등으로부터 *Acetobacter xylinum* sp.에 속하는 균주가 다수 분리되었다(11-14). BC 생산균으로 *Glucon(o)acetobacter*가 분리(15)된 것은 비교적 최근의 일로서, 16S rDNA 염기서열의 차이에 의하여 종래의 *Acetobacter*로부터 세분화 되었다. 국내에서는 tea fungus로부터 *G. hansenii*(8)가 분리되었고 과일식초 발효과정에서 *G. persimmonus* [syn. *G. persimonensis*](16)가 분리되었으나, 균주의 구체적인 성상은 불분명한 상

태에 있다.

현재까지 *A. xylinum*을 중심으로 BC 발효균의 유전형질 개선 및 발효조건에 관한 연구가 진행되어 왔다. 그 결과로 형질개선의 면에서는 acetic acid 내성균주(17), sulfaguanidine 내성균주(18) 및 ethanol 자화성(19,20) 균주가 개발되었으며, 생산성 향상을 목적으로 통기배양에 적합한 균주(21)도 개발되었다. 발효조건은 pH 5~6의 배양액으로 30~35°C에서 정지배양하는 것이 유리하다는 점에서는 대체적으로 일치하고 있다(2,12,16,22-24). 그러나 최적 탄소원에 관해서는 sucrose(22,23), glucose(24,25), fructose(19), mannitol(26) 등으로 다양한 결과를 보고하고 있으며 최적농도 또한 0.2%(27)~10%(16,25)로 상당한 차이를 나타내고 있다.

Tea fungus는 당을 첨가한 홍차의 표면에 생성되는 BC를 중심한 겔 상의 물질을 칭하며 발효제는 *Acetobacter*를 주축으로 한 수종의 세균과 효모로 구성되어 있다(28-30). 최근 tea fungus로부터 감귤과즙을 이용하여 겔을 생산할 목적으로 citrate 내성의 *G. hansenii* TL-2C를 선별하였으며, 본 논

\*Corresponding author. E-mail: khchoi@cu.ac.kr  
Phone: 82-53-850-3521, Fax: 82-53-850-3504

문에서는 이 균주를 이용하여 탄소원의 종류 및 농도가 겔 생산에 미치는 영향을 검토하였다.

**재료 및 방법**

**재료**

**감귤과즙** : 제주개발공사에서 착즙한 평균당도 65°Brix의 서키프 산 온주밀감 농축액(이하 과즙으로 약함)을 사용하였다. 과즙은 -20°C에서 저장하였으며 해동 후 사용 전에 filter paper(Whatman No. 2)로 여과하였다.

**발효균** : Tea fungus로부터 겔 생성균 *Gluconacetobacter hansenii* TL-2를 분리·동정하고 이 균주를 citrate를 첨가(농도 5%)한 감귤과즙배지에서 수회 반복 배양하여 분리한 citrate 내성균 *G. hansenii* TL-2C를 발효균으로 사용하였다.

**배지조제 및 발효**

과즙을 멸균 증류수로 100배 희석하고 정백당을 가하여 당도를 10°Brix로 조정된 것을 표준 배지로 하였다. 배지를 용량 180 mL의 발효병(내경 47 mm)에 85 mL씩 분주하고 전배양한 겔을 접종한 다음 발효병 입구를 살균 filter paper(Whatman No. 2)로 덮어 30°C의 배양실에서 14일간 정치배양하였다. Seed 겔 접종량은 배양액의 5%로 하였다.

**과즙 첨가량에 따른 발효성상**

과즙을 멸균 증류수로 60~120배로 희석한 후 정백당을 가하여 당도를 10°Brix로 조정하였으며, 배양과정 중 과즙 첨가량에 따른 발효액의 pH, 총산함량 및 생성된 겔의 두께를 측정하였다.

**탄소원 첨가에 따른 발효성상**

**당** : 과즙 100배 희석액에 glucose, fructose 및 sucrose를 10~30°Brix가 되도록 첨가하고 경시적으로 발효액의 pH, 총산 및 겔 두께를 측정하였다.

**알콜 및 식초산** : 과즙 100배 희석액에 10°Brix가 되도록 정백당을 첨가한 배지에 0~2.0%의 주정(95%, 풍국주정) 또는 빙초산을 첨가하였다.

**pH 및 총산**

배양액의 pH는 pH meter(Toledo 340, Mettler, Swiss)를 사용하여 측정하였다. 총산 함량은 AOAC법(31)에 따라 0.01 N NaOH로 중화적정하고 acetic acid로 환산하여 %(w/v)로 표시하였다.

**당도**

당도는 굴절당도계(ATC-1E, Atago, Japan)를 사용하여 측정하였다.

**겔 두께**

발효병에 눈금 모눈종이를 부착하여 측정하였으며 mm로 나타내었다.

**통계처리**

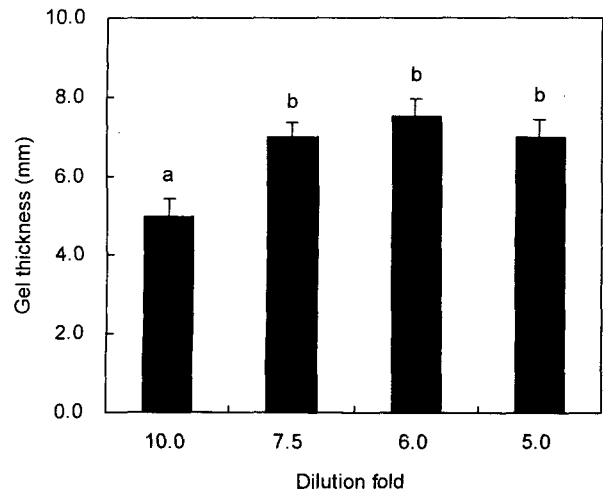
SAS package를 사용하여 ANOVA program으로 p<0.05 수준에서 유의성을 검정하였다.

**결과 및 고찰**

**과즙첨가량에 따른 발효성상**

**과즙 단독발효** : 감귤과즙을 멸균증류수로 5~10배로 희석하고 종균을 접종하여 발효한 결과 Fig. 1과 같이 6배 희석액에서 7.5±0.44 mm의 가장 두꺼운 겔이 생성되었으나 5~7.5배 희석액 사이에 유의적인 차이는 없었다.

**가당 발효** : 과즙을 60~120배 희석하고 정백당을 가하여 10°Brix로 조정된 가당 배지를 사용한 경우에 pH는 Fig. 2-A와 같이 0일의 3.66~3.86으로부터 점차적으로 낮아져서 발효 14일에는 2.26~2.74에 달하였다. 이 과정에서 희석배율 80 이상에서는 희석배율에 따른 차이가 없었으나, 60배 희석액에서는 발효 6일까지 다른 시험구에 비하여 pH 변화가 적었다. 산도는 Fig. 2-B와 같이 희석배율에 따라 상이한 변화를 나타내었다. 즉, 60배 희석액에서는 산도에 거의 변화가 없었으나, 80~120배 희석액에서는 발효중기(4~10일)에 일단 상승하였다가 다시 감소되었다. 120배 희석액에서는 0일의 0.34%로부터 8일에는 3.18%로 증가되었으며 이후 급격히 감소되었다. 100배 희석액도 발효 6~8일에 4.08~4.20%로 증가된 다음 이후부터 급격히 감소되는 비슷한 형태를 나타내었다. 80배 희석액은 발효 4일에 2.14%까지 증가된 후 급격히 감소되었다. 겔은 Fig. 2-C와 같이 발효 2~3일 후부



**Fig. 1. Effect of citrus juice concentrations on thickness of the gel fermented by *G. hansenii* TL-2C.**

Commercial citrus juice, a concentrate of 65°Brix, was used as the cultural broth after dilution by 5~10 folds. After inoculation of seed gel, the broth was statically cultivated at 30°C for 14 days without any additional nutrient. The juice concentrate was purchased from the Jeju Provincial Development Corporation. Values in the Fig. are mean±SD and those with different subscripts are significantly different at p<0.05.

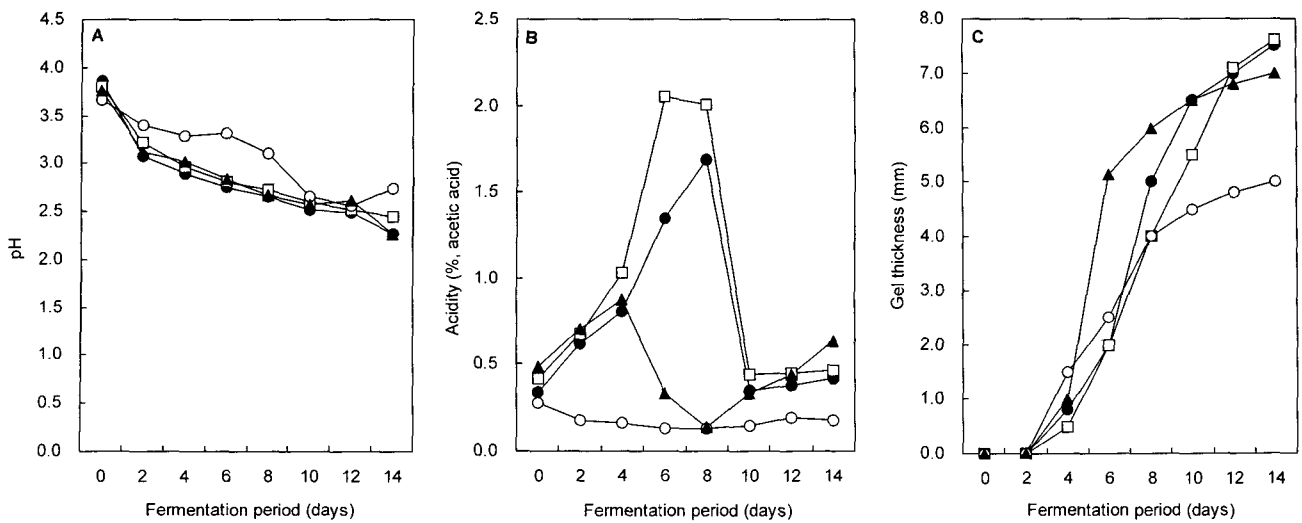


Fig. 2. Effect of citrus juice concentration on changes in pH, total acidity and thickness of gel fermented by *G. hansenii* TL-2C.

The juice concentrate was diluted by 60~120 folds to establish a basal medium system for examining the effect of carbon source addition on gel fermentation. Sugar content of the diluted juice was controlled to 10°Brix by using white sugar. Figures are pH (A), total acidity (B) and thickness of gel (C). Symbols represent the dilution fold as -○-: ×60, -▲-: ×80, -■-: ×100 and -●-: ×120.

터 발효액 표면에 서서히 생성되기 시작하여 발효 14일째에는 100 및 120배 희석액에서는 평균두께 7.5 mm, 80배 희석액에서는 6.5 mm, 60배 희석액에서는 5.0 mm로 성장하였다.

과즙 단독으로 발효한 Fig. 1의 결과는 공시균이 다른 영양소의 첨가 없이 과즙만으로도 겔 발효가 가능할 뿐만 아니라 당도 약 10°Brix의 농축되지 아니한 천연과즙에서 잘 발효될 수 있음을 나타내고 있다. Ko 등(11)은 오렌지 과즙을 배지로 *Acetobacter xylinum*으로 bacterial cellulose를 발효하여 원료과즙 최적농도를 10%로 보고하였으며 Lee 등(16)도 농축 apple juice와 *Gluconacetobacter persimmonus*를 이용하여 BC를 발효하고 apple juice를 10°Brix로 희석한 경우가 가장 효과적으로 보고하였다.

한편, 60~120배로 희석한 과즙을 사용한 Fig. 2의 결과는 과즙에 함유된 영양물질 중 탄소원을 제외한 나머지 성분은 약 100배 희석하여도 발효가 진행될 수 있음을 나타내고 있다. 정백당을 첨가하여 당도를 10°Brix로 조정함으로써 최적 과즙농도와 비슷한 삼투압을 부여하였음에도 불구하고 과즙 희석배율이 낮은 경우(60 및 80배)에 겔 성장속도가 늦어지는 원인은 불분명하나, 본 실험에 사용한 발효균이 Mg<sup>2+</sup> 제외 한 대부분의 무기염류에 의하여 겔 생성이 저해되는 현상(미발표)도 주요 원인의 하나로 분석된다. Son 등(26)도 *Acetobacter* sp.에서 1가의 양이온과 인산염의 존재에 의하여 BC의 생산이 저해되는 것으로 보고하였다.

당 종류 및 농도에 따른 발효성상

당의 종류와 농도가 겔 생성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 glucose, fructose 및 sucrose를 10~30°Brix가 되도록 첨가하고 14일간 발효한 결과 Table 1과 같이 glucose 10°Brix 첨가구에서 두께 7.5±0.61 mm로 가장 두꺼운 겔이 생성

Table 1. Effect of sugars and their concentrations on pH, total acidity and thickness of gel fermented by *G. hansenii* TL-2C

Sugar <sup>1)</sup>	Culture broth	Gel thickness <sup>3)</sup> (mm)		
		pH	Acidity <sup>2)</sup> (% acetic acid)	
Control <sup>1)</sup>	0%	3.45±0.06	0.03±0.02	0
Glucose	10%	2.07±0.08 <sup>cd5)</sup>	1.53±0.12 <sup>a</sup>	7.5±0.61 <sup>a</sup>
	20%	2.22±0.09 <sup>c</sup>	0.52±0.05 <sup>d</sup>	6.4±0.42 <sup>cd</sup>
	30%	2.05±0.09 <sup>cd</sup>	0.76±0.08 <sup>c</sup>	4.0±0.41 <sup>c</sup>
Fructose	10%	2.90±0.14 <sup>d</sup>	0.13±0.03 <sup>ef</sup>	4.5±0.35 <sup>b</sup>
	20%	2.70±0.04 <sup>b</sup>	0.25±0.03 <sup>c</sup>	3.2±0.57 <sup>cd</sup>
	30%	2.78±0.07 <sup>ab</sup>	0.20±0.04 <sup>cf</sup>	2.0±0.35 <sup>b</sup>
Sucrose	10%	2.67±0.07 <sup>b</sup>	0.20±0.04 <sup>cf</sup>	6.4±0.42 <sup>c</sup>
	20%	1.93±0.08 <sup>d</sup>	0.93±0.05 <sup>b</sup>	6.0±0.35 <sup>c</sup>
	30%	2.82±0.11 <sup>ab</sup>	0.11±0.02 <sup>e</sup>	3.5±0.35 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Sugars were added to citrus juice diluted by 100 folds.  
<sup>2)</sup>Total acidity was measured by using 0.01 N NaOH and represented as acetic acid concentration (% w/v).  
<sup>3)</sup>Gels were fermented by static cultivation at 30°C for 14 days.  
<sup>4)</sup>Diluted juice was used as the control without supplement of sugar, and it was not computed for range test because no gel was produced.  
<sup>5)</sup>Values are mean ± SD and those with different subscripts are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

되었고 총산도도 1.53 ±0.12%로 유의적으로 높았다. 당의 종류별로는 glucose 첨가구가 산도가 가장 높았고 겔도 가장 두꺼웠으며 fructose가 가장 낮은 경향을 나타내었다.

초기당도 10°Brix에서 당의 종류만 달리한 경우의 경시적 변화는 Fig. 3과 같다. 즉 pH는 Fig. 3-A와 같이 fructose와 sucrose 첨가구는 점차적으로 낮아졌으나, glucose 첨가구에서는 배양 2~6일 사이에 급격하게 낮아지는 상이한 변화를 나타내었다.

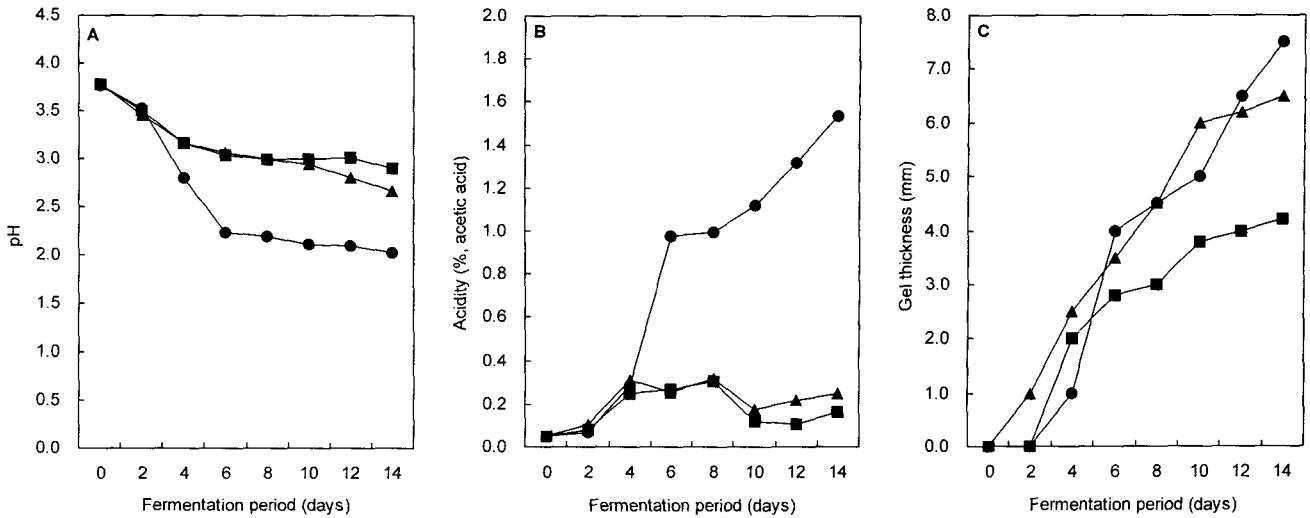


Fig. 3. Changes in pH, total acidity and gel thickness during citrus gel fermentation with different kinds of sugar. Sugars were added to citrus juice diluted by 100 folds. Concentration of each sugar was adjusted to 10°Brix. The gels were fermented by static culture of *G. hansenii* TL-2C at 30°C. Symbols are ●: glucose, ■: fructose and ▲: sucrose.

산도는 Fig. 3-B와 같이 모든 시험구가 0일의 0.47~0.48에서 발효 2일째에는 0.66(glucose)~1.08(sucrose)로 증가하였다가 발효 6~8일에는 0.1% 이하로 감소되었다. 8일 이후부터 fructose와 sucrose 첨가구는 0.1~0.2%로 소폭 증가하여 발효 14일까지 안정화되었으나, glucose 첨가구는 8일 이후 큰 폭으로 계속 증가하여 14일에는 1.53%를 나타내었다. 겔은 발효 2일째부터 생성되기 시작하여 모든 시험구에서 점차적으로 두꺼워졌으나 당의 종류에 따라 두께의 증가 속도에 차이가 있었다. Glucose 첨가구는 발효 14일까지 두께가 직선적으로 증가하여 14일에는 평균두께 7.5 mm에 도달한 반면에 fructose와 sucrose 첨가구는 발효 6~10일 이후부터 증가속도가 떨어져서 발효 14일에는 각각 평균두께 4.2 및 6.5 mm에 달하였다.

이상의 결과는 glucose 10°Brix가 겔 생성에 가장 적합함을 나타내는 것으로서, Romana 등(24)도 *Acetobacter xylinum*을 이용하여 BC를 생산하고 glucose와 sucrose를 효과적인 탄소원으로 보고하였으며, Choi 등(25)도 tea fungus를 이용한 홍차 발효음료 생산시 glucose 10%가 가장 두꺼운 겔을 생산한다고 하였다. Hwang 등(27)은 glucose를 단일 탄소원으로 하는 경우에는 4%가 가장 효과적이거나 수용성 다당류인 acetan이 과량 생성되는 관계로 fructose 및 citrate를 적정량 첨가하고 glucose 농도를 낮추는 것이 보다 효과적이라 하였다. Park 등(20)은 gluconic acid 자화성 세균인 *A. xylinum* BRC5를 교반배양하고 2% fructose가 BC 생산에 가장 효과적이며, gluconic acid 생산능을 상실한 균주는 BC 생산도 불가능한 것으로 보고하였다.

한편 Son 등(26)은 *Acetobacter* sp. A9을 정치배양하고 2% mannitol이 가장 효과적이라 하였으며, Lee 등(16)은 사과과즙에 *Gluconacetobacter*를 배양하고 산도와 BC 생성을 위한 최적 당 농도가 일치하지 아니하는 것으로 보고하였다.

탄소원의 종류 및 농도는 BC의 생산에 중요한 위치를 점하고 있는 요인이나, 최적 탄소원의 종류 및 농도는 균주와 부원료, 부산물 생성 여부 등에 따라 크게 영향 받는 것으로 분석된다. 다만 복합 탄소원을 기질로 사용하는 경우에도 glucose를 기본 탄소원으로 채택한 경우가 많은 점으로 미루어 5~10°Brix의 glucose가 가장 공통성이 높은 탄소원으로 판단된다.

에탄올 및 빙초산 첨가가 겔 생성에 미치는 영향

정백당으로 당도를 10°Brix로 조정한 배지에 주정 및 빙초산을 추가하여 발효한 경우에 발효액의 pH, 산도 및 겔 두께의 경시적인 변화는 Fig. 4 및 5와 같다.

주정 첨가시 발효액의 pH는 Fig. 4-A와 같이 대조구와 비슷한 경시적 변화를 나타내었으나, 산도와 겔 두께는 Fig. B 및 C와 같이 현저한 차이를 나타내었다. 즉, 산도는 대조구가 발효 0일의 0.05%에서 발효 4일에는 0.23%, 14일에는 0.32%로 완만하게 증가한 반면에 1.0 및 2.0% 첨가구는 8일째에 각각 0.60 및 1.49%로 증가하였으며 이후로는 거의 변화가 없었다. 4.0% 첨가구는 발효 4~8일에 직선적으로 증가되어 1.60%에 달하였다. 발효 14일째의 겔 두께는 1.0% 첨가구가 15.0 mm로 가장 두꺼웠으며, 2.0% 첨가구가 13.5 mm, 4.0% 첨가구가 11.0 mm, 대조구가 8.0 mm였다.

빙초산 첨가시 발효액의 pH는 Fig. 5-A와 같이 0일에는 2.84(2.0% 빙초산 첨가구)~3.89(무첨가구)로 산 첨가농도에 따라 차이가 있었으나 발효 14일에는 2.50~2.64로 비슷한 pH를 나타내었다. 산도는 Fig. 5-B와 같이 0일의 0.05%로부터 발효 14일에는 0.32%로 서서히 증가하였으며 0.5% 첨가구는 0일의 0.56%에서 8일에는 0.75%로 증가하였으며 이후로는 안정화되었다. 1.0 및 2.0% 첨가구는 6~10일 사이에 각각 1.23 및 2.25%까지 상승하였으나 발효 14일에는 첨가농도보다 다소 높은 1.1 및 2.1%로 감소하였다. 겔은 Fig. 5-C와

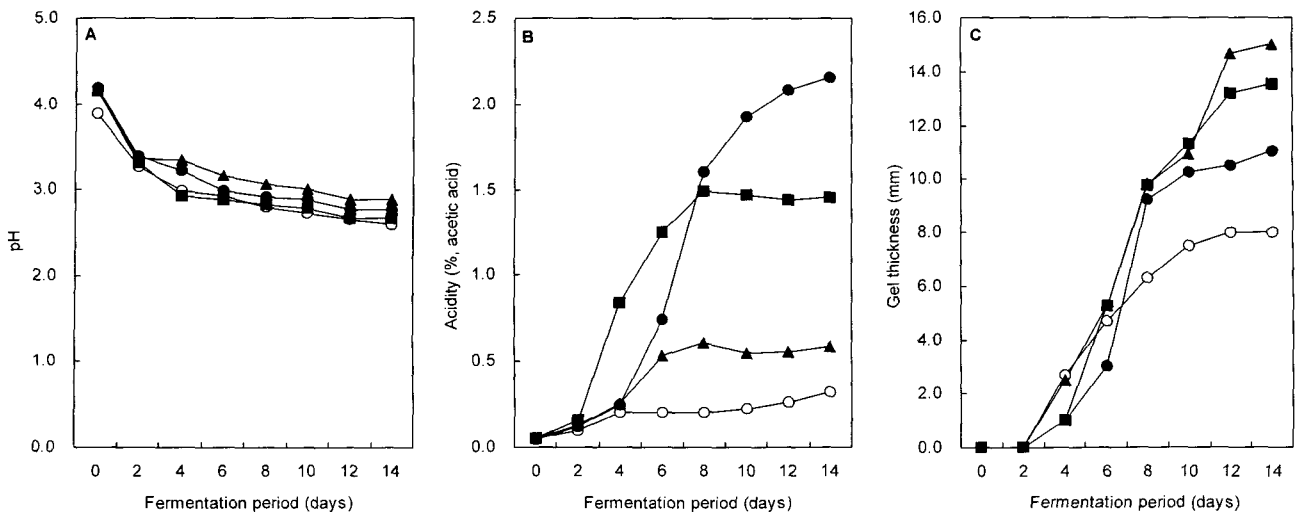


Fig. 4. Effect of ethanol addition on changes in pH, acidity and thickness of the gel fermented by *G. hansenii* TL-2C. Ethanol (95%) was added to diluted-citrus juice which contained 10°Brix of white sugar. The gels were fermented by static culture of *G. hansenii* TL-2C at 30°C. Symbols represent the concentration of ethanol as ○: 0%, ▲: 1.0%, ■: 2.0% and ●: 4.0%.

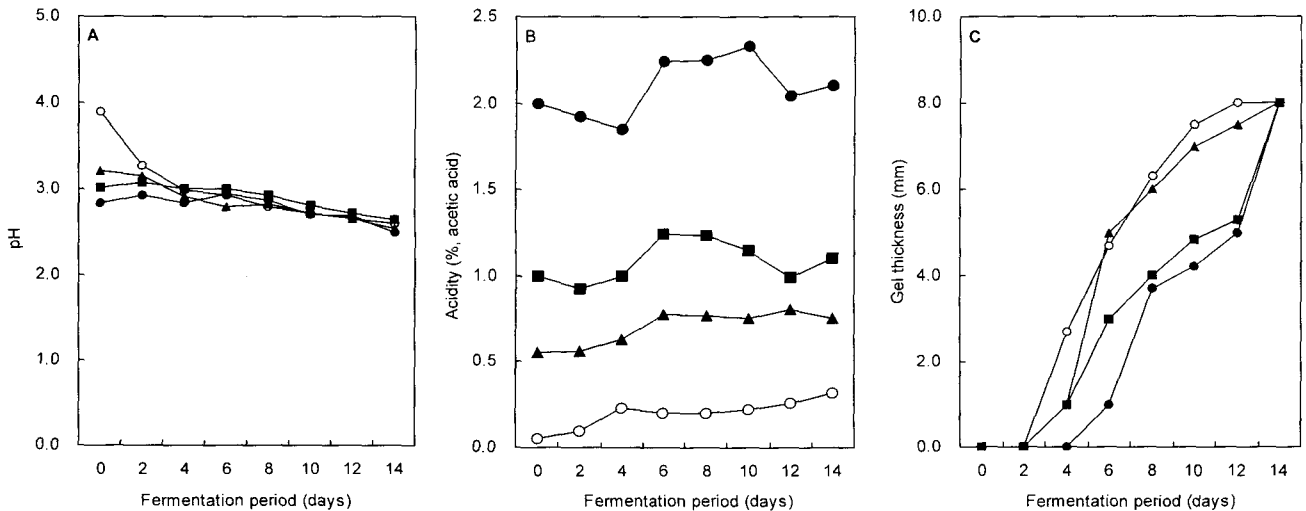


Fig. 5. Effect of acetic acid addition on changes in pH, acidity and thickness of gel fermented by *G. hansenii* TL-2C. Acetic acid was added to the diluted-citrus juice instead of ethanol in Fig. 4. The gels were fermented by static culture of *G. hansenii* TL-2C at 30°C. Symbols represent concentrations of the acetic acid as ○: 0%, ▲: 0.5%, ■: 1.0% and ●: 2.0%.

같이 첨가량 1.0% 이상에서는 초기 생성이 지연되었으나 발효 14일에는 첨가량과 관계없이 두께 8.0 mm로 성장하였다. 주정을 가하여 14일간 배양한 경우 배양액 liter 당 평균 172 g의 wet gel(dry gel 약 4.5 g 상당)이 생산되었다.

이상의 결과는 acetic acid는 배양액의 산도에는 영향을 미치나 겔 생성에는 영향을 미치지 못하는 반면에, 주정은 배양액의 산도와 겔 두께를 유의적으로 증가시키며 1.0%가 최적 첨가농도로서 14일간의 배양에 의하여 겔 두께가 약 85% 증가하는 것으로 판단되었다.

Lee와 Zhao(14)도 *A. xylinum*을 정지배양하고 1%의 ethanol 또는 0.5%의 citrate 첨가에 의한 BC의 수율이 향상된다 하였으며, Lee 등(16,23)은 *G. persimmonus*를 이용한 셀룰로스 발효시 0.5%의 ethanol 및 acetate 첨가에 의하여 셀루

로스 수율이 4~5배 증가되며 acetate보다 ethanol이 효과적인 것으로 보고하였으며, 1%의 pyruvate 첨가에 의하여 수율이 현저히 증가한다 하였다. Son 등(26)은 2%의 glucose를 함유한 반합성배지에서 *Acetobacter* sp. A9을 배양하고 2.0%의 acetate 첨가에 의하여 셀룰로스 수율이 약 50% 증가된 것으로 보고하였다. 본 실험의 경우에도 acetate 첨가구의 겔 두께가 배양 12일 후부터 급속히 증가된 것을 감안하면 배양 기간이 짧았던 것으로 판단되며 추가적인 검토가 요망된다.

요 약

*Gluconacetobacter hansenii* TL-2C를 사용하여 30°C에서 14일간 정지발효하면서 감귤과즙 회석배율 및 탄소원의

종류와 농도가 겔 생성에 미치는 영향을 검토하였다. 감귤과즙으로는 제주개발공사에서 제조한 당도 65°Brix의 서귀포산 온주밀감 농축액을 사용하였다. 농축과즙만으로 발효한 경우에는 과즙 6배 희석액에서 가장 두꺼운  $7.5 \pm 0.44$  mm의 겔이 생성되었으며, 정백당을 10°Brix로 보당한 경우에는 100~120배 희석액이 가장 적합하였다. 농축과즙 100배 희석액을 사용하여 당의 종류를 달리한 경우에는 glucose 10°Brix에서 가장 두꺼운  $7.5 \pm 0.61$  mm의 겔이 생성되었다. 정백당 10°Brix를 함유한 과즙 희석액에 1.0%의 주정을 첨가한 경우에는 겔의 두께가 평균 15.1 mm로 대조구에 비하여 약 1.85배로 증가되었으나 acetic acid 첨가는 효과가 없었다. 1.0%의 주정을 첨가하고 발효한 경우의 겔 수율은 평균 172 g wet/L(4.7 g dry/L)로 확인되었다.

### 감사의 글

본 연구는 2001년도 농림기술지원센터 연구비 지원에 의한 연구결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

### 문헌

- Lee OS, Jeong YJ. 2001. Industrial application and biosynthesis of bacterial cellulose. *Food Industry and Nutrition* 6: 10-14.
- Ross P, Mayer R, Benziman M. 1996. Cellulose biosynthesis and function in bacteria. *Microbiol Rev* 55: 35-58.
- Vandamme EJ, Baets SD, Vanbaelen A, Joris K, Wulf PD. 1998. Improved production of bacterial cellulose and its application potential. *Polymer Degradation and Stability* 59: 93-99.
- Shigenori K. 1992. Bacterial cellulose: The possibility of raw material for paper making fiber. *Mokchae Konghak* 20: 3-8.
- Sutherland IW. 1998. Novel and established applications of microbial polysaccharides. *Tibtech* 16: 41-46.
- Chung BW, Kim CY, Kang SK, Park BN. 1998. Characteristics of Korean traditional paper containing bacterial cellulose. Chonbuk National University, The Research Institute of Industrial Technology 29: 47-51.
- Klemm D, Schumann D, Udhardt U, Marsch S. 2001. Bacterial synthesized cellulose-artificial blood vessels for microsurgery. *Prog Polym Sci* 26: 1561-1603.
- Cho SH, Lee JY, Choi YS, Choi KH. 2002. Dietary effects of fiber produced from *Gluconoacetobacter hansenii* on digestive tract and lipid metabolism in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 802-807.
- Matthysse AG, Holmes KV, Gurlits HG. 1981. Elaboration of cellulose fibrils by *Agrobacterium tumefaciens* during attachment to carrot cell. *J Bacteriol* 145: 583-595.
- Robert EC, Steven MA. 1991. Biogenesis of bacterial cellulose. *Microbiol* 17: 435-447.
- Ko JY, Shin KS, Yoon BD, Choi WY. 2000. Isolation and identification of *Acetobacter xylinum* GS11 producing cellulose. *Korean J Appl Microbiol Biotechnol* 28: 139-146.
- Cha, YJ, Park KJ, Kim DK, Chun HS, Lee BK, Kim KH, Lee SK, Kim SJ. 1994. Isolation and characterization of cellulose producing *Acetobacter xylinum* KI strain. *Korean J Appl Microbiol Biotechnol* 22: 571-576.
- Ko JY, Shin KS, Lee JS, Choi WY. 2002. Production of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* GS11. *Korean J Appl Microbiol Biotechnol* 30: 57-62.
- Lee HC, Zhao X. 1996. The optimal medium composition for the production of microbial cellulose by *Acetobacter xylinum*. *Korean J Biotechnol Bioeng* 11: 550-556.
- Yamada Y, Hoshino K, Ishikawa T. 1997. The phylogeny of acetic acid bacteria based on the partial sequence of 16S ribosomal RNA: The elevation of subgenus *Gluconoacetobacter* to the genetic level. *Biosci Biotech Biochem* 61: 1244-1251.
- Lee OS, Jang SY, Jeong YJ. 2002. Culture conditions for the production of bacterial cellulose with *Gluconacetobacter persimmonus* KJ145. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 572-577.
- Toda K, Asakura T, Fukaya M, Entani E, Kawamura Y. 1997. Cellulose production by acetic acid-resistant *Acetobacter xylinum*. *J Ferment Biotec* 84: 228-231.
- Ishikawa A, Matsuoka M, Tsuchida T, Yoshinaga F. 1995. Increase in cellulose production by sulfaguandinine-resistant mutants derived from *Acetobacter xylinum* subsp. sucrofermentans. *Biosci Biotech Biochem* 59: 2259-2262.
- Park SH, Yang YK, Hang W, Lee CS, Pyun YR. 1997. Microbial cellulose fermentation by *Acetobacter xylinum* BRC5. *Kor J Appl Microbiol Biotechnol* 25: 598-605.
- Park ST, Song TS, Kim YM. 1999. Effect of gluconic acid on the production of cellulose in *Acetobacter xylinum* BRC5. *Korean J Microbiol Biotechnol* 9: 683-686.
- Toyosaki H, Naritomi T, Seto A, Masuoka M, Suchida T, Yoshinaga F. 1995. Screening of bacterial cellulose-producing *Acetobacter* strains suitable for agitated culture. *Biosci Biotech Biochem* 59: 1489-1502.
- Son HJ, Lee OM, Kim YG, Lee SJ. 2000. Isolation and identification of cellulose-producing bacteria. *Korean J Appl Microbiol Biotechnol* 28: 134-138.
- Lee OS, Jang JY, Jeong YJ. 2003. Effect of ethanol on the production of cellulose and acetic acid by *Gluconacetobacter persimmonensis* KJ145. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 181-184.
- Romana KV, Tomar A, Shingh L. 2000. Effect of various carbon and nitrogen sources on cellulose synthesis by *Acetobacter xylinum*. *J Microbiol Biotechnol* 16: 245-248.
- Choi MA, Kim JO, Choi KH. 1996. Effects of saccharides and incubation temperature on pH and total acidity of fermented black tea with tea fungus. *Korean J Food Sci Technol* 28: 405-410.
- Son HJ, Lee OM, Kim YG, Park YK, Lee SJ. 2000. Characteristics of cellulose production by *Acetobacter* sp. A9 in static culture. *Korean J Biotechnol Bioeng* 15: 573-577.
- Hwang JW, Lee CS, Park SH, Pyun YR. 1999. Production of high concentration cellulose by *Acetobacter xylinum* BRC5 in fed-batch culture. *Korean J Biotechnol Bioeng* 14: 284-290.
- Reiss J. 1987. Tea fungus and its metabolic products. *Deutsche Lebensmittel Rundschau* 83: 286-390.
- Choi ME, Choi KY, Kim JY. 1996. Microflora occurring in the fermentation by tea fungus. *Korean J Life Science* 6: 56-65.
- Lee SP, Kim CS. 2000. Characterization of kombucha beverages fermented with various teas and tea fungus. *Korean J Food Sci Nutr* 5: 165-169.
- AOAC. 1980. *Official methods of analysis*. 13th ed. Association of official analytical chemists, Washington DC. p 180.

(2003년 8월 8일 접수; 2003년 12월 10일 채택)