

스피루리나 첨가 요구르트의 저장 중 품질 특성 및 항산화능의 변화

손찬욱 · 신유미 · 심현정 · 김민희 · 김미연 · 이근중 · 김미리[†]

충남대학교 식품영양학과

Changes in the Quality Characteristics and Antioxidant Activities of Yoghurts Containing Spirulina during Storage

Chan Wok Son, Yu-Mi Shin, Hyun Jung Shim, Min Hee Kim, Mi Yeon Kim, Kun Jong Lee and Mee Ree Kim[†]

Department of Food and Nutrition, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Abstract

The aim of this study was to evaluate the physicochemical, microbial, and sensory characteristics, as well as antioxidative activities of yoghurts containing spirulina powder, during storage at 4°C. The pH of the yoghurts decreased until the 9th day of storage, but significantly increased by the 12th day. Total acidity also increased until the 9th day of storage, and then significantly decreased by the 12th day. Sugar content did not change significantly (approximately 18 °Brix). Viscosity(cP) increased until the 6th day of storage, but had decreased at the 12th day. The viable bacterial cell counts of the control group decreased during storage. In contrast, the viable cell counts of the spirulina containing samples increased until the 9th day, and then decreased by the 12th day of storage. Antioxidant activity decreased in all groups, but the changes in antioxidant activity were lower in the spirulina groups than in the control group. According to sensory evaluations, the samples presented no significant differences during storage. Based on the above results, the optimum concentration of spirulina was determined as 0.25%. Also, the period of circulation of yoghurt containing spirulina was estimated to be 9 days at 4°C.

Key words : Yoghurt, spirulina, quality, antioxidant activity.

서론

요구르트는 전유 또는 탈지유를 유산균으로 발효시켜 산미와 향미를 강화시킨 것으로, 유산균의 작용에 의해 생성된 유효 성분과 유산균 균체가 함유되어 있어 영양학적으로 뛰어난 식품이다. 또한, 요구르트의 생리 기능으로 유당의 소화 불량 개선, 장내 균총의 정상화 및 정장, 설사와 변비의 개선(Ahn TS 1999), 장내 유해 세균의 생육 억제(Kim *et al* 2002), 혈중 콜레스테롤 저하(Lee YW 1997), 면역 증진, 항암 작용(Yoon *et al* 1999) 등이 보고되고 있다.

최근에는 울무(Kim & Lim 2000), 알로에(Shin *et al* 1995), 클로렐라(Sung *et al* 2005), 배양 인삼(Lee & Paek 2003), 구기자 추출액(Bae *et al* 2005), 쑥(Bae *et al* 2000)과 같은 기능성 재료를 첨가하여 효능을 부각시킨 새로운 발효유제품의 개발에 많은 연구들이 이루어지고 있는 실정이다.

한편, 스피루리나는 청록색을 띠고 있는 긴 나선형 모양의 다세포성 독립영양생물로서, 원핵세포 생물인 사이아노박테

리아(cyanobacteria)의 한 종류로 오래전부터 식품으로 이용되어 왔으며, 최근 그 안정성을 WHO, FAO, UNIDO, UNICEF의 국제기구들로부터 인정받아 세계 100여 국가에서 건강보조식품 및 피부 관리 제품, 기타 여러 형태로 이용되고 있다. 스피루리나의 성분은 60~70%가 양질의 단백질로 되어 있으며, 6~9%의 지질, 15~20%의 탄수화물을 포함하고 있고, 비타민, 무기질, 섬유질, 식용 색소가 비교적 풍부하다. 단백질은 질이 우수하며, 탄수화물로는 포도당(glucose), 람노스(rhamnose), 만노스(mannose), 자일로스(xylose) 등을 함유하고 있다. 지질 성분 중에는 고도 불포화 필수지방산인 리놀렌산(linolenic acid), 감마 리놀렌산(γ -linolenic acid)이 풍부하고, n-3지방산인 리놀레익산(linoleic acid)도 다량 함유하고 있다(Mahajan & Kamat 1995). 또한, 스피루리나에는 청색 색소인 피코시아닌(phycoyanin)을 비롯한 클로로필, 카로티노이드(carotenoids) 등 항산화 성분이 풍부하다(Kim & Park 2003). 스피루리나의 이러한 성분들은 다양한 효능을 나타내는 것으로 보고되었는데, 특히, 항산화 및 노화 억제를 비롯하여 발암 프로모션 및 전이 억제 효과와 면역 증진 작용 등을 나타낸다. 뿐만 아니라 스피루리나 섭취시 장관내의 유산균 기

[†] Corresponding author : Mee Ree Kim, Tel : +82-42-821-6837, Fax : +82-42-821-8887, E-mail : mrkim@cnu.ac.kr

능이 강화되고, 건강한 유산균이 육성되며, 유산균수가 증가되어 배속이 편안해지고 변비에도 탁월한 효과가 나타난다(성 등 2002). de Caire *et al* (2000)은 스피루리나 플라텐시스를 우유에 첨가하였을 때 *L. lactis*의 성장이 27% 촉진되었으며, 다른 종에서도 성장이 촉진되었다고 보고하였다.

본 연구에서는 전보에서 개발한 스피루리나 첨가 요구르트를 저장하는 동안 품질 특성을 분석하여 상업화를 위한 기초 자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

실험에 사용한 원유(서울우유), 탈지분유(서울우유), 프락토올리고당((주)CI)은 시중 슈퍼마켓에서 구입하여 사용하였고, 키위 푸레는 (주)아그라나 푸르트 코리아에서 제공받았다. 또한, 스피루리나는 (주)이에스바이오텍에서 공급받은 스피루리나 원말을 Autoclave (Hanbaek Scientific Co., HB-506-6, Korea)를 이용하여 고온고압(120℃, 20 min, 1.5 kgf/m²)에서 멸균하여 사용하였다.

2. 사용 균주 및 배지

실험에 사용한 균주는 유산 구균에 속하는 *S. thermophilus* (KCTC, Korean Collection for Type Cultures 5092)와 유산 간균에 속하는 *L. bulgaricus*(KCTC 3635)를 한국생명공학연구원 생물자원센터로부터 분양받아 사용하였다. 유산균주는 고압 멸균된(121℃, 15 min) MRS broth(Difco 0881, USA) 배지에서 37℃에서 18시간 가량 2회 계대 배양한 후 고압멸균된 10%(w/v) skim milk(Difco, USA) 배지에 2%(v/v)접종하여 사용하였다.

3. 시료의 제조

스피루리나 첨가 요구르트 표준 재료의 배합비는 Table 1과

Table 1. Ingredient (%) of yoghurt added with spirulina powder

	Control	SP ¹⁾	SP	SP
		0.25%	0.5%	1.0%
Milk	76.76	76.76	76.76	76.76
Powdered skim milk	3.24	3.24	3.24	3.24
Spirulina	0	0.2	0.4	0.8
Oligosaccharide	2	2	2	2
Mixing kiwi puree	18	18	18	18

¹⁾ Spirulina powder.

같다. 탈지 분유 분말, 우유에 스피루리나 원말을 예비 실험 결과, 기능성을 부각시키면서 기호도를 만족시킬 수 있는 범위 0.25%, 0.5%, 1.0% 농도로 첨가하여 잘 균질화 하고 멸균(100℃, 20 min)한 후 Starter를 2% 접종하여 40℃ 항온기에서 12시간 배양하였다. 배양이 끝나면 키위 푸레(18%)와 올리고당(2%)을 첨가하여 저장 온도 4℃에 보관하면서 실험에 사용하였다. 이때 스피루리나는 탈지 분유 분말, 우유와 함께 요구르트를 제조하는 단계에 첨가되고, 키위 푸레와 올리고당은 제조 후에 혼합되어 스피루리나의 함량은 탈지분유 분말과 우유 분말에 대한 첨가량으로 계산하였다.

4. pH 및 총 산도

시료 5 g에 증류수 45 mL가 함께 섞이도록 Bag Mixer(Bag mixer 400, window door/porte fenetre)로 균질화(speed 7, 1 min)한 후, 상층액을 10 mL 취해서 실험에 사용하였다. pH는 pH meter(Orion 420A, Orion Research Inc., USA)를 이용하여 3회 반복 측정하였고, 산도는 AOAC 법(1990)에 따라 시료 용액 10 mL에 pH meter 전극을 담그고 0.1 N NaOH로 pH가 8.3이 될 때까지 적정하여 중화시키는데 소요된 NaOH량(mL)을 lactic acid 함량(%)으로 환산하여 총 산 함량을 표시하였다.

5. 당도

당도는 요구르트 시료 5 g에 증류수 5 mL를 균질화 한 후 원심분리(3,000 rpm, 20 min)하여 상층액을 취하여 당도계(N-1E Brix 0~32%, Atago, Japan)를 사용하여 측정하였다.

6. 점도

점도는 시료 50 mL를 비커에 담아 Brookfield DV-II+ Viscometer(Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Middleboro, MA, USA)의 4번 spindle을 사용하여 10 rpm에서 1분 간격으로 점도를 측정하였다.

7. 색도

색도는 시료 10 g을 페트리 디쉬(50×12 mm)에 담아 색차계(Digital color measuring/difference calculation meter, Model ND-1001 DP, Nippon Denshoku Co. LTD., Japan)를 사용하여 Hunter L 값(명도), a 값(적색도), b 값(황색도) 및 ΔE 값(색차지수)를 측정하였다. 이 때 표준색은 L 값 90.45, a 값 0.15, b 값 3.36, ΔE 값 0.00 인 calibration plate를 표준으로 사용하였다.

8. 유산균수 및 대장균군

유산균수는 요구르트 1 g을 멸균수 9 mL에 넣고 균질화

(Bagmixer 400, Timer 1min, Speed 7)한 후 멸균 생리식염수 (0.85% NaCl)로 희석하여 각각의 배지에 시료를 분주하여 표준 평판 배양법에 따라 시험하였다. 유산균 측정을 위한 배지는 Man Rogosa Sharp(MRS) broth(Difco, Sparks, MD 21152, USA)와 agar powder(Daejung Chemicals & Metals Co., Korea)를 혼합하여 만든 배지를 사용하였고, 35~37°C 배양기에서 48시간 배양한 다음 colony수가 30~300개 사이의 평판을 선택하여 산출하였으며, 유산균은 황색의 집락으로 계측하고 미생물수는 시료 1 g당 colony forming unit(CFU)로 나타내었다.

대장균군은 EMB agar(Difco, Sparks, MD, USA) 배지를 사용하였고, 요구르트 원액을 분주하여 35~37°C 배양기에서 48시간 배양한 다음 나타난 colony 중 흑녹색의 집락을 계수하였다. 또한, 미생물 수는 시료 1g 당 colony forming unit (CFU)로 나타내었다.

9. DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 라디칼 소거능

시료 0.3 g에 methanol 10 mL를 넣은 후 5분간 잘 교반하여 3,000 rpm으로 4°C에서 10분간 원심 분리한 후 얻어진 상등액을 evaporator로 용매를 휘발하여 추출물만 얻었다. 추출물 50 mg 당 1 mL methanol을 첨가하여 50 mg/mL 농도의 추출물 용액을 제조하였다. 제조된 시료용액을 1.5×10^{-4} M DPPH 용액에 30분간 반응시켜 515 nm에서 흡광도를 분광광도계로 측정하였다.

10. Hydroxyl Radical 소거능

DPPH 라디칼 소거능 실험과 동일한 방법으로 추출된 시료 용액 0.15 mL에 buffer 0.35 mL, 3 mM deoxyribose, 0.1 mM ascorbic acid, 0.1 mM EDTA, 0.1 mM FeCl₃, 1 mM H₂O₂ 용액 0.1 mL를 넣어 잘 교반한 후 37°C에서 1시간 동안 반응시켰다. 반응이 끝난 후 2% TCA 용액과 1.0% TBA 용액을 잘 섞은 후 100°C에서 20분간 반응한 후 실온으로 냉각하여 원심 분리한 뒤, 상등액을 취하여 분광 광도계를 이용하여 532 nm에서 흡광도를 측정하였다.

11. 관능검사

스피루리나를 첨가한 요구르트의 관능적 특성을 평가하기 위해 식품영양학과 학생 20명의 경험있는 패널을 선발하여 훈련 후 7점 척도법을 사용하여 관능검사를 실시하였다. 평가 항목으로는 스피루리나 냄새(odor)와 맛(taste)에 대하여 특성 차이 검사를 실시하였고, 외관(appearance), 냄새(odor), 맛 (taste), 전체적인 수용도(overall acceptability)에 대한 기호도 검사를 실시하였다. 또한, 구입 의향(buying intention)을 묻는 소비자 수요도 조사를 실시하였다.

12. 통계 처리

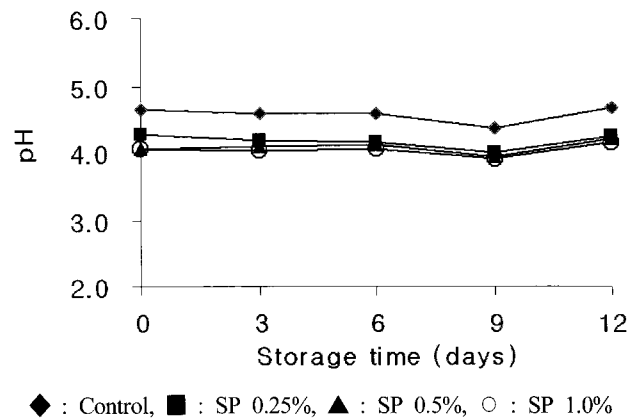
스피루리나 첨가 요구르트의 실험 결과는 Windows SPSS 12.0(Statistical Package for Social Sciences. SPSS Inc., Chicago IL, USA) software package 프로그램 중에서 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 유의성이 있는 경우에 Duncan의 다중 범위 검정(Duncan's multiple range test)으로 시료간의 유의차를 검증하였다. 또한, 일반계와 다수계간의 차이는 *t*-test를 통해 평균값에 대한 유의차를 평가하였다.

결과 및 고찰

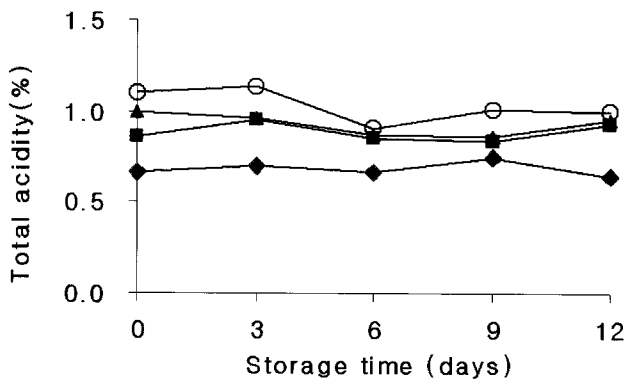
1. pH 및 적정 산도 변화

스피루리나를 농도별(0.25%, 0.5%, 1.0%)로 첨가한 첨가구를 대조구와 함께 4°C에 저장하면서 pH와 산도를 측정된 결과, Fig. 1과 Fig. 2의 결과를 얻었다. 대조구는 저장 0일(pH 4.65)부터 저장 9일까지 pH가 유의적으로 감소하여 4.36에 이르렀고, 저장 완료일인 12일째는 pH가 4.69로 다시 증가하였다. 첨가구에서는 첨가량이 1.0%일 때 저장 9일째에 pH 3.90으로 가장 낮게 나타났으며, 모든 첨가구에서 pH가 서서히 감소하다가 저장 완료일인 12일째는 대조구와 마찬가지로 pH가 상승하여, 스피루리나 0.25%, 0.5%, 1.0% 농도에서 각각 pH 4.24, 4.23, 4.15를 나타냈다.

적정 산도의 경우, 저장 9일째까지 스피루리나 0.25%, 0.5%, 1.0% 첨가군은 각각 0.86%에서 0.95%, 0.86%에서 1.00%, 0.90%에서 0.10%로, 대조구는 0.66%에서 0.75%로 변화하여 저장 기간이 경과함에 따라 첨가구와 대조구 모두에서 산도가 약간 증가하는 경향을 보였다. 그러나 저장 12일째는 다시 산도가 감소하여 대조구 0.64%, 스피루리나 0.25%, 0.5%, 1.0% 농도에서 각각 0.93%, 0.95%, 1.00%를 보였다. 이러한 결과는 저장 9일째까지는 젖산균의 대사 활동이 천천히 진



◆ : Control, ■ : SP 0.25%, ▲ : SP 0.5%, ○ : SP 1.0%
Fig. 1. Change in pH of yoghurt added with spirulina during storage.



◆ : Control, ■ : SP 0.25%, ▲ : SP 0.5%, ○ : SP 1.0%

Fig. 2. Change in total acidity(%) of yoghurt added with spirulina during storage.

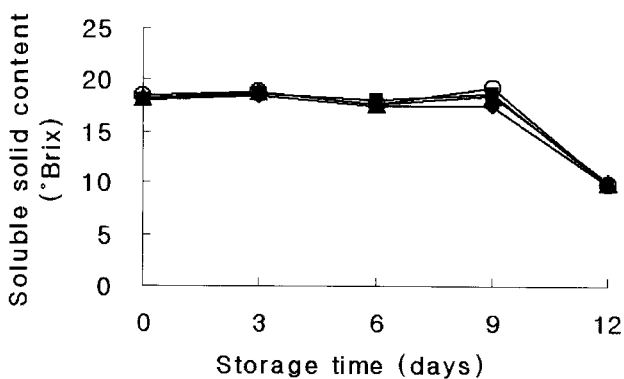
행 되고 있어 산의 생성량이 서서히 증가하였기 때문에 pH가 감소되고 산도가 증가된 것으로 사료된다(Park & Jhon 2006).

2. 당도

스피루리나 첨가 요구르트의 저장중 당도 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 저장 0일째에는 대조구와 스피루리나 0.25%, 0.5%, 1.0% 첨가구의 당도가 각각 18.13, 18.00, 18.27, 18.40 °Brix 이었고, 저장 9일째에는 각각 17.33, 18.67, 18.40, 19.33 °Brix 로 9일째까지는 대조구와 첨가구 모두에서 저장일에 따른 유의적 차이가 나타나지 않았으나, 저장 12일 제에는 당도가 대조구와 첨가구 모두에서 유의적으로 감소하였다.

3. 점도

저장 기간에 따른 스피루리나 첨가 요구르트의 점도는 Fig. 4에 나타내었다. 유동 특성상 요구르트는 비뉴우튼성 유



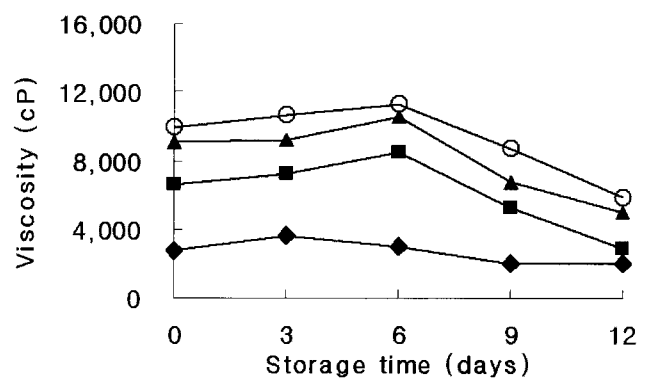
◆ : Control, ■ : SP 0.25%, ▲ : SP 0.5%, ○ : SP 1.0%

Fig. 3. Change in sugar content(° Brix) of yoghurt added with spirulina during storage.

체이며, thixotropic behavior를 갖고 있는 식품(Dannenberg & Kessler 1998)이라 할 수 있는데, 이러한 식품의 층밀립변형력(shear rate)을 비뉴우튼성 유체에 적용하여 겔보기 점도(apparent viscosity)로 표현하게 되며(Hellinga *et al* 1986), 호상 요구르트의 점도는 고형분 함량과 단백질 함량이 늘어날수록, 산 생성력이 증가할수록 겔보기 점도는 증가하게 되며, 유동 거동지수는 낮아지는 것이 일반적이다(Ramaswamy & Basak 1991). 따라서 Fig. 2에 나타낸바와 같이 스피루리나의 혼합율이 높을수록 점도는 증가하였는데, 저장 6일째에 스피루리나 0.25%, 0.5%, 1.0%에서 각각 8433, 10500, 11333까지 증가하였다. 그러나 저장 9일째부터는 서서히 감소하여 저장 12일째 가장 낮은 점도를 나타내었다. 이러한 결과는 사용균주의 점액(slime) 생산 능력과 산 생성 능력이 요구르트의 점도에 영향을 준다는 보고(Ramaswamy & Basak 1991)에서 처럼 저장 9일째 이후에는 산 생산 능력의 감소로 인하여 점도가 떨어지는 것으로 사료된다.

4. 색도

스피루리나 첨가 요구르트의 색도는 Table 2에 나타내었다. 저장일이 경과함에 따라 명도는 저장 12일까지 대조구와 스피루리나 첨가구 모두 서서히 증가하였고, 녹색도는 저장 9일까지 대조구가 스피루리나 첨가구에 비해 높은 수치를 나타내었으나, 저장 12일에 스피루리나 1.0% 첨가구의 녹색도가 가장 높은 것으로 나타나 저장일이 경과함에 따라 스피루리나 첨가량이 많을수록 녹색도가 높게 유지되었다. 또한, 황색도는 저장 6일까지 대조구가 스피루리나 첨가구보다 높게 나타났으나, 저장 9일에 대조구의 황색도가 급격히 감소하는 반면에 스피루리나 첨가량이 많아질수록 황색도의 변화가 적은 것으로 나타났다. 이와 같이 스피루리나 첨가 농도가 높아질수록 저장일에 따른 색상 변화가 적게 나타나 제조



◆ : Control, ■ : SP 0.25%, ▲ : SP 0.5%, ○ : SP 1.0%

Fig. 4. Change in sugar viscosity(cP) of yoghurt added with spirulina during storage.

Table 2. Changes in color of yoghurt added with spirulina during storage

		Storage period(days)					F-value
		0	3	6	9	12	
L-value	Control	^B 90.77±0.47 ^a	^{AB} 88.44±2.54 ^a	^{AB} 89.14±0.15 ^a	^A 104.83±1.42 ^a	^A 110.94±2.70 ^a	147.28
	sp 0.25%	^D 73.43±0.14 ^b	^C 75.02±1.13 ^b	^C 74.55±0.12 ^b	^B 85.68±0.52 ^b	^A 90.28±0.17 ^b	666.76
	sp 0.5%	^C 65.91±0.40 ^c	^C 65.70±1.18 ^c	^D 63.01±4.04 ^c	^B 76.94±1.16 ^c	^A 82.80±0.08 ^c	98.33
	sp 1.0%	^C 55.10±0.35 ^d	^C 55.33±0.13 ^d	^C 54.91±1.11 ^d	^B 62.48±0.25 ^d	^A 70.48±0.60 ^d	591.69
F-value		1,0365.82	397.55	201.26	1,364.25	601.45	
g-value	Control	^A 4.84±0.20 ^a	^B 3.98±0.16 ^a	^B 4.14±0.18 ^a	^A 4.89±0.18 ^a	^C 3.11±0.24 ^b	64.86
	sp 0.25%	^A 4.05±0.14 ^c	^C 3.42±0.20 ^b	^C 3.41±0.12 ^c	^B 3.72±0.22 ^b	^D 2.70±0.14 ^c	40.35
	sp 0.5%	^A 4.28±0.15 ^b	^C 3.31±0.28 ^b	^B 3.67±0.11 ^b	^B 3.76±0.28 ^b	^C 3.00±0.34 ^{bc}	20.85
	sp 1.0%	^A 4.36±0.25 ^b	^B 3.57±0.12 ^b	^B 3.81±0.14 ^b	^B 3.79±0.18 ^b	^B 3.61±0.20 ^a	14.14
F-value		18.51	12.40	18.64	27.57	9.80	
b-value	Control	^B 10.76±0.98 ^a	^{AB} 11.36±1.45 ^a	^A 12.48±0.20 ^a	^C 7.23±0.61 ^b	^D 2.89±0.80 ^d	66.79
	sp 0.25%	^C 7.97±0.13 ^b	^B 8.30±0.04 ^b	^A 9.26±0.04 ^c	^D 7.34±0.35 ^b	^E 4.47±0.13 ^c	496.59
	sp 0.5%	^B 8.17±0.03 ^b	^B 7.96±0.10 ^b	^A 9.43±0.32 ^c	^C 7.81±0.18 ^b	^D 5.61±0.08 ^b	307.05
	sp 1.0%	^B 8.36±0.08 ^b	^C 8.87±0.07 ^b	^A 9.97±0.16 ^b	^B 9.72±0.07 ^a	^E 8.19±0.11 ^a	259.98
F-value		41.42	23.91	211.93	40.42	118.00	

^{a-d} Means in the same row with different letters are significantly different at $p < 0.05$.

^{A-E} Means in the same storage period with the same letters are significantly different at $p < 0.05$.

당시의 특유의 색을 유지하는 것을 알 수 있었다.

5. 유산균수 및 대장균수

스피루리나를 농도별(0.25%, 0.5%, 1.0%)로 첨가한 요구르트를 4°C에서 12일간 저장하면서 총 유산균수와 대장균수의 변화를 관찰한 결과는 Table 3과 같았다. Table 3에서 보면 대조군의 총 유산균수는 0일 기준 시료(5.8×10^8 CFU/mL)에 비하여 서서히 감소하여 12일째에는 5.2×10^8 CFU/mL이었다. 반면, 스피루리나 0.25%, 0.5%, 1.0% 첨가구에서는 저장 9일째까지는 계속 유산균수가 증가하여 저장 9일째에는 각각 5.5×10^8 , 3.6×10^9 , 7.4×10^9 CFU/mL로 0.25%와 1.0%에서 최대 균수를 나타내었고 12일째에는 각각 4.5×10^9 , 2.6×10^9 , 4.0×10^9 CFU/mL로 약간 감소하였으나, 기준 시료와 큰 차이 없이 유사한 균수를 유지하였다.

본 실험의 결과를 보면 스피루리나 첨가 요구르트를 4°C에서 12동안 저장하였을 때 저장 초기의 유산균수와 차이를 나타내지 않았는데, 이는 5°C와 10°C에서 16일 동안 (Lee et al 1991) 저장 중 초기 유산균수에 비해 약간 감소하는 경향을 보였으나 유의적 차이는 없었다는 연구 결과와 일치하는

것으로 나타났다. 현행 우리나라의 축산물의 가공 기준 및 성분 규격에 의하면 농후 발효유의 총 유산균수는 1.0×10^8 CFU/mL 이상이다. 따라서 본 실험에서 스피루리나 첨가 요구르트의 경우, 4°C 저장시 12일까지 법적 유산균수를 모두 충족하는 것으로 나타났다.

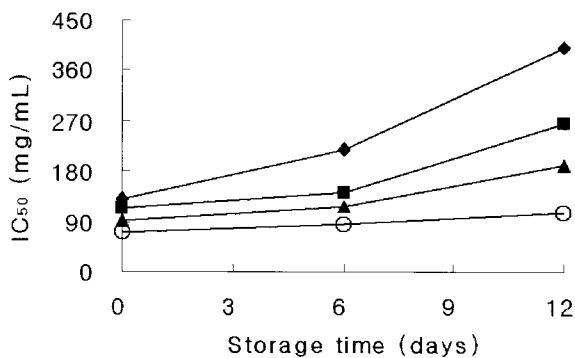
한편, 저장 12일 동안 대조구와 스피루리나 첨가구 모두에서 대장균군은 검출되지 않아, 시료 제조시 살균이 적절하고 모든 실험 과정이 무균적으로 수행되었음을 알 수 있었다.

Table 3. Changes in lactic acid (CFU/mL) of yoghurt added with spirulina, during storage

	Storage period (days)				
	0	3	6	9	12
Control	5.8×10^8	4.2×10^8	2.2×10^8	3.1×10^8	5.2×10^8
SP 0.25%	6.3×10^8	6.9×10^8	1.5×10^9	5.5×10^8	4.5×10^9
SP 0.5%	1.5×10^9	8.4×10^8	1.5×10^9	3.6×10^9	2.6×10^9
SP 1.0%	3.4×10^9	1.3×10^9	2.1×10^9	7.4×10^9	4.0×10^9

6. DPPH 라디칼 소거능

스피루리나 첨가 요구르트의 저장일에 따른 기능성 변화를 검토하기 위하여 상징액의 항산화 활성을 DPPH법인 전자공여능으로 측정된 결과는 Fig. 5와 같다. DPPH법은 tocopherol, ascorbate, flavonoid 화합물, 방향족 아민류, Maillard형 갈변 생성 물질, peptide 등의 항산화 활성을 나타내는 생리활성 물질에 의해 환원됨으로써 짙은 자색이 탈색되는 정도에 따라 항산화 효과를 측정하는 방법으로 항산화 물질 탐색에서 가장 일반적으로 사용되는 항산화 측정 방법으로 알려져 있다. 대조구의 경우, 저장일이 경과함에 따라 DPPH 라디칼 소거능의 IC₅₀(DPPH 라디칼을 50% 소거시키는데 필요한 농도)값이 0일째에 130.9 mg/mL이었던 것이 저장 12일째 40,116 mg/mL로 급격히 증가하여 항산화력이 크게 떨어졌으나 스피루리나 0.25%, 0.5%, 1.0% 첨가구는 저장 0일째 각각 111.63, 93.43, 71.03 mg/mL이었던 것이 저장 12일째 264.35, 192.96, 105.40mg/mL로 DPPH 라디칼 소거능의 IC₅₀이 제조 당시와 비슷한 수준인 것으로 항산화력이 유지되는 것을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 스피루리나가 항산화 작용을 하는 베타카로틴이 다른 채소보다 월등히 함유되어 있고 vitamin E와 항산화 효소가 함유되어 있기 때문에 저장 기간 동안에 급격한 항산화능 저하를 방지하는 것으로 사료된다. Bae *et al*(2005)은 구기자 추출액 첨가 요구르트의 항산화 활성은 물 추출물보다 methanol 추출물에서 더 높은 항산화력을 보였고, 특히 구기엽 추출액 첨가 요구르트에서 83.85%의 높은 항산화력을 보였다고 하였으며, 단감 분말을 첨가한 요구르트의 항산화 활성은 대조구로 사용한 시판 항산화제 BHT 0.005%보다 약간 높게 나와 생리적 유용성을 활용할 수 있는 가능성이 있다고 보고하였으며, Cho *et al* (2003)은 단감 분말 첨가 요구르트의 항산화 활성이 대조구보다 높게 나타났다고 보고하였는데, 본 연구의 결과도 기존의 연구 결과와 비슷한 경향을 나타내었다.



◆ : Control, ■ : SP 0.25%, ▲ : SP 0.5%, ○ : SP 1.0%

Fig. 5. DPPH radical scavenging activity of yoghurt added with spirulina during storage.

7. Hydroxyl Radical 소거능

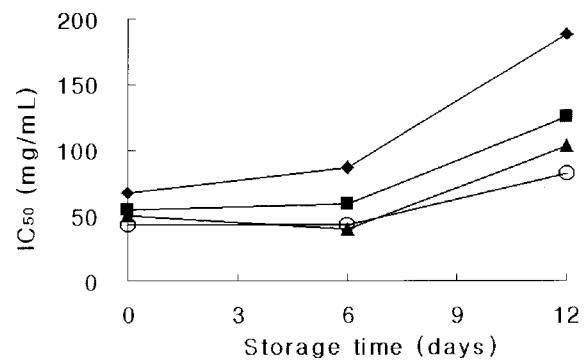
스피루리나 첨가 요구르트의 저장일에 따른 항산화 활성을 hydroxyl radical 소거능으로 측정된 결과는 Fig. 6으로 DPPH 라디칼 소거능 측정 시험과 거의 유사한 결과를 나타내어 IC₅₀이 대조구가 58.1 mg/mL에서 저장 12일째 188.5 mg/mL로 증가하여 항산화능이 급격히 떨어졌고, 스피루리나 0.25%, 0.5%, 1.0% 첨가구는 각각 53.7, 49.5, 43.0 mg/mL에서 저장 12일째 125.7, 103.0, 82.3mg/mL로 DPPH 라디칼 소거능의 IC₅₀이 증가하였으나 대조구에 비해 증가폭이 낮아 항산화능이 더 오래 지속됨을 알 수 있었다.

8. 요구르트의 관능적 특성

요구르트 저장 중 관능검사 결과는 Table 4에 나타내었다. 스피루리나 맛과 향기는 저장 12일째에 좀더 강하게 느껴졌으나, 1.0%를 제외하고는 유의적 차이를 보이지 않았다. 외관, 맛, 향에 대한 기호도 검사 역시 저장 기간이 지나면서 초기에 비해 좀더 낮게 평가되었으나, 유의적 차이를 보이지 않았다. 전반적인 수용도는 0일째에 대조구가 4.7점, 스피루리나 0.25%, 0.5%, 1.0% 첨가구가 각각 5.2, 4.0, 3.7점에서 저장 6일째에 각각 4.6, 5.1, 4.4, 3.5점으로 0일째와 크게 달라지지 않았다. 구입 의사 또한 수용도와 비슷한 경향을 나타내었다. 이상의 결과를 보면 스피루리나 0.25%를 첨가하였을 때 저장일이 지나도 기호도와 수용도의 변화가 적게 나타난 것을 알 수 있었다.

요약 및 결론

스피루리나 고유의 색과 냄새로 인한 관능적 품질 저하를 개선하고, 영양성이 풍부하며 기능성이 뛰어난 스피루리나 첨가 요구르트를 개발하여 상업화 하기 위한 기초 자료로 활용하고자 우유와 탈지분유에 스피루리나를 0%, 0.25%, 0.5%,



◆ : Control, ■ : SP 0.25%, ▲ : SP 0.5%, ○ : SP 1.0%

Fig. 6. Hydroxyl radical scavenging activity of yoghurt added with spirulina during storage.

Table 4. Change in sensory evaluation scores of yoghurt added with spirulina during storage

		Storage period(days)			F-value	
		0	6	12		
Intensity	Spirulin odor	Control	1.7±1.3 ^b	1.7±1.3	1.9±1.2	0.031
		sp 0.25%	1.9±1.2 ^{ab}	2.1±1.1	2.9±1.1	0.84
		sp 0.5%	2.3±1.3 ^{ab}	2.7±1.3	3.5±1.2	0.97
		sp 1.0%	^B 3.0±1.3 ^a	^{AB} 3.4±1.2	^A 3.8±1.4	0.49
	F-value		2.07	1.09	1.39	
	Spirulina taste	Control	1.7±1.3 ^b	1.7±1.3	2.2±1.1	0.19
		sp 0.25%	2.2±1.4 ^{ab}	2.3±1.3	2.9±1.4	0.29
		sp 0.5%	2.8±1.6 ^{ab}	2.9±1.5	3.5±1.6	0.23
		sp 1.0%	3.3±1.6 ^a	3.6±1.7	4.0±1.2	0.24
	F-value		2.32	0.93	1.01	
Acceptability	Appearance	Control	5.0±1.3 ^a	4.7±1.3	4.7±1.2	0.09
		sp 0.25%	5.2±1.2 ^a	5.0±1.3	5.0±1.2	0.04
		sp 0.5%	3.8±1.0 ^b	4.3±0.8	3.8±1.0	0.30
		sp 1.0%	3.1±1.1 ^b	3.2±0.9	3.1±1.1	0.01
	F-value		7.15	1.54	1.76	
	Flavor	Control	4.6±1.0	4.5±0.9	4.3±0.8	0.12
		sp 0.25%	4.9±1.1	5.0±1.1	4.9±1.1	0.01
		sp 0.5%	4.2±0.6	4.5±0.5	4.2±0.6	0.29
		sp 1.0%	4.1±0.6	3.7±1.0	3.7±0.7	0.66
	F-value		1.90	1.06	1.07	
Taste	Control	4.9±1.6 ^a	4.4±1.2	4.4±1.3	0.20	
	sp 0.25%	5.2±1.3 ^a	5.2±1.2	5.2±1.3	0.00	
	sp 0.5%	4.0±1.2 ^{ab}	4.8±0.9	4.0±1.1	0.63	
	sp 1.0%	3.6±1.4 ^b	3.7±1.1	3.6±1.4	0.00	
F-value		3.02	1.00	0.85		
Overall acceptability	Control	4.7±1.3 ^a	4.6±1.2	4.5±1.2	0.03	
	sp 0.25%	5.2±1.1 ^a	5.1±1.0	4.8±1.1	0.15	
	sp 0.5%	4.0±0.9 ^b	4.4±0.8	4.0±0.9	0.23	
	sp 1.0%	3.7±1.4 ^b	3.5±1.1	3.5±1.4	0.04	
F-value		3.19	1.24	0.72		
Buying intention	Control	5.8±1.7 ^a	5.7±1.6	5.4±1.7	0.06	
	sp 0.25%	6.0±1.4 ^a	6.0±1.4	6.0±1.4	0.00	
	sp 0.5%	4.5±0.7 ^b	5.2±0.8	5.1±0.9	1.40	
	sp 1.0%	4.1±1.5 ^b	4.1±1.3	3.9±1.5	0.02	
F-value		4.76	1.22	1.18		

^{a,b} Means in the same row with different letters are significantly different at $p < 0.05$.

^{A,B} Means in the same storage period with the same letters are significantly different at $p < 0.05$.

1.0%의 농도로 첨가하여 40℃에서 12시간 발효시켰다. 그후 키위푸레와 올리고당을 첨가하여 요구르트를 제조한 후 12일간 4℃에서 저장하면서 이화학적, 미생물학적, 관능적 특성 및 항산화성을 측정하였다. pH는 저장 9일째까지 서서히 감소하다가 12일째 유의적으로 증가하였고, 산도 역시 9일째까지 유의적으로 증가하다가 12일째 감소하였다. 당도는 저장 9일째까지 초기 당도(약 18 brix)를 유지하다가, 저장 12일째 그 값이 저하되었으며, 점도는 저장 6일까지 점점 증가하다가 그 이후부터는 서서히 감소하였다. 생균수에서 대조구는 저장기간에 따라 유산균수가 감소하였고, 반면에 스피루리나 첨가구는 저장 9일째까지 증가하다가 12일째 다시 감소하였으나, 초기 균수와 큰 차이를 보이지 않았다. 항산화능 역시 저장기간이 지날수록 감소하였으나, 대조구에 비해 첨가구에서 그 감소 폭이 적게 나타나 더 높은 항산화능을 보였다. 관능검사 결과 역시 스피루리나 맛과 향은 저장 12일째까지 증가하였으나 유의적 차이를 보이지 않았고, 맛, 향, 외관에 대한 기호도와 수용도, 구입 의사 역시 저장일에 따라 조금 감소하였으며, 0.25% 첨가 농도에서 그 감소 변화가 적게 나타났다. 따라서 스피루리나 첨가 요구르트의 제조에 있어 최적 첨가량은 스피루리나 0.25% 첨가인 것으로 사료되며, 스피루리나 첨가 요구르트는 4℃ 냉장 온도에서 9일까지 유통이 가능한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 BK21 사업의 일환으로 교육인적자원부와 (주)이에스바이오텍의 지원에 의해 수행된 것이므로 이에 감사료를 포함합니다.

문헌

- 성낙웅, 한병훈, 김병각, 이상인, 김영민, 김화영, 사이끼 이쿠오, 로버트 헨릭스 (2002) WHO · FAO · UNIDO · UNICEF가 인정한 완전식품 스피루리나. 한가람문화사, 서울. pp 236-241.
- Ahn TS (1999) Loosing the constipation by capsulated yogurt. *Korean J Microbiol* 35: 94-97.
- AOAC (1990) *Official Methods Analysis* 15th ed. Association of official analytical chemists, Inc Virginia USA. pp 918.
- Bae HC, Cho IS, Nam MS (2005) Effects of the biological function of yogurt added with *Lycium chinense* miller extract. *J Anim Sci & Technol* 47: 1051-1058.
- Bae JH, Hong KR, Oh DH, Park JR, Choi SH (2000) Fermentation characteristics of set-type yogurt from milk added with mugwort extract. *Korean J Food Sci Ani Resour* 20: 21-29.
- Cho YS, Cha JY, Kwon OC, Ok M, Shin SR (2003) Preparation of yogurt supplemented with sweet persimmon powder and quality characteristics. *Korean J Food Preserv* 10: 175-181.
- Dannernberg F, Kessler HG (1988) Effect of denaturation of β -lactoglobulin on texture properties of set-style nonfat yoghurt. *Milchwissenschaft* 43: 700.
- de Caire GZ, Parada JL, Zaccaro MC, de Cano MMS (2000) Effect of spirulina platensis biomass on the growth of lactic acid bacteria in milk. *World J Microbiol Biotechnol* 16: 563-565.
- Hellinga C, Somsen DJ, Koenraads PJM (1986) Viscosity of stirred yoghurt modern techniques useful in analysing and improving routine measurements. *Milk Dairy J* 40: 217.
- Kim EA, Baick SC, Chung WH (2002) A study on growth inhibition of *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium* by lactic acid bacteria. *J Anim Sci & Technol* 44: 491-498.
- Kim SB, Lim JW (2000) Studies on the manufacture of adlay yogurt. *Korean J Food Sci Ani Resour* 20: 56-63.
- Kim WY, Park JY (2003) The effect of spirulina on lipid metabolism, antioxidant capacity and immune function in Korean elderlies. *J. East Asian Soc Dietary Life* 36: 287-297.
- Lee JJ, Kim HY, Shin JG, Baek YJ (1991) Studies on the changes of the physical properties and the shelf-life of the liquid yoghurt stored at different temperatures. *Kor J Dairy Sci* 13: 124-131.
- Lee LS, Paek KY (2003) Preparation and quality characteristics of yogurt added with cultured ginseng. *Korean J Food Sci Technol*. 35: 235-241.
- Lee YW (1997) Effect of fermented milk on the blood cholesterol level of Korean. *J FdHyg Safety* 12: 83-95.
- Mahajan G, Kamat M (1995) γ -Linolenic acid production from spirul platensis. *Appl Microbiol Biot* 43: 466-469.
- Park EJ, Jhon DY (2006) Preparation and characteristics of yogurt prepared with salted bamboo shoots. *Korean J Food Culture* 21: 179-186.
- Ramaswany HS, Basak S (1991) Rheology of stirred yoghurts. *J Texture Studies* 22: 231.
- Shin YS, Lee KS, Lee JS, Lee CH (1995) Preparation of yogurt added with *Aloe vera* and its quality characteristics. *J Korean Soc Food Nutr* 24: 254-260.

Sung YM, Cho JR, Oh NS, Kim DC, In MJ (2005) Preparation and quality characteristics of curd yogurt added with chlorella. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 48: 60-64.

Yoon YH, Cho JK, Beak YJ, Huh CS (1999) Antimutagenic

activity of *Lactobacillus* spp. isolated from kefir and yogurt and non-starter strains. *Kor J Anim Sci* 41: 39-44.

(2007년 12월 28일 접수, 2008년 1월 11일 채택)