

항균성물질이 함유된 세라믹 LDPE필름의 항균효과 및 식품의 저장성

†김 현 수·성 립 식·유 대 식
계명대학교 자연과학대학 미생물학과
(접수 : 2000. 9. 9., 게재승인 : 2000. 10. 23.)

Antimicrobial Activity and Food Storage of LDPE Ceramic Film Containing Antimicrobial Agents

Hyun-Soo Kim†, Lim-Shik Seong, and Tae-Shick Yu
Department of Microbiology, College of Natural Science, Keimyung University, 704-701, Korea
(Received : 2000. 9. 9., Accepted : 2000. 10. 23.)

Low density polyethylene(LDPE) film was fabricated with the addition of synthetic ceramic which contained a natural antimicrobial agents. The antimicrobial agents used were isolated from culture broths of methylotropic actinomycetes strains MO-16 and MO-17, and *Streptomyces* sp. No. 31, which was newly isolated from soils as an antifungal agent. Four-day old culture broth of *Streptomyces* sp. No. 31 showed strong antifungal activity against *Aspergillus niger*, a test strain, and retained antimicrobial activity after heat treatment at 121°C for 15 min. The ceramic LDPE film reduced the growth of total aerobic bacteria in packaged minced pork compared with commercial film. The film revealed a 40 to 50 % growth inhibition of *E. coli* on a contained agar plate. In the storage testing of various packaged foods at room temperature for 30 days, the ceramic LDPE film showed excellent preservation compared with commercial film.

Key Words : antimicrobial agents, synthetic ceramic powder, methylotropic actinomycetes, LDPE film, food storage

서 론

청과물, 정육, 가공육, 선어, 염장식품 등 신선식품의 보존을 위한 선도유지기술이 옛부터 수없이 연구되어 왔으며 최근에 들어 선도유지를 위해 다양한 기능성 재료를 조합하여 흡수, 가스조절, 습도조절, 항균효과 등의 기능을 가진 포장자재가 개발되어 사용이 되고 있다. 신선식품을 대상으로 한 경우 선도유지를 위해 미생물 생육의 억제에 사용되는 방법으로 저온유지와 항균성 포장자재의 사용이 주류를 이루고 있다. 식품에 있어 미생물의 생육은 1차적으로 표면에서 일어나며 생육의 억제를 위해 항미생물제를 직접 포장필름에 첨가하여 식품의 표면과 접촉 또는 발산에 의해 생육을 억제하는 방법이 연구개발되고 있다. 이들 항균제는 식품으로 취급되어 식품첨가물로서 허가되어 있는 합성품 또는 천연물에 한정되어 있다. 최근까지 연구된 항균제의 사용은 Ag의 항균효과를 이용하여 Na이온을 Ag이온으로 치환한 합성 zeolite를 필름에 첨가하여 Ag이온이 식품속으로 서서히 방출하는 효과를 이용한 필름(1)을 비롯하여 합성 또는 천연화합물을 포

장재료에 첨가하여 항균효과를 검토한 결과로서 항진균성 항생물질인 imazalil을 LDPE(low density polyethylene) 필름에 첨가하여 과일과 채소 및 치즈의 포장에 사용하여 곰팡이의 생육억제 효과의 입증(2,3) 그리고 항진균제인 benomyl(4), 유기산인 propionate, benzoate, sorbate(5,6), 와사비 추출물(7) 등을 포장재료에 사용한 연구가 보고되어 있다. 이들 항균제는 경구독성의 정도에 따라 사용의 제한이 있어 국가별로 인정이 되지 않는 경우도 있다. 또한 국내에서의 연구는 김 등이 은의 항균력을 이용한 은을 입힌 세라믹 분말의 항균효과(8) 및 항균세라믹을 첨가한 LDPE필름의 김치저장성의 보고(9), 대황, 황련 등 식물유래의 항균물질을 첨가한 LDPE필름의 저장성 및 항균효과(10,11)에 대한 보고가 있다. 이들 항균성 포장필름에 첨가될 수 있는 항균소재는 위생적으로 안전하며, 필름제조시의 내열성, 식품과의 접촉시 용해성, 뛰어난 항균효과와 넓은 항균 spectrum 등이 필요하며 천연물질의 사용이 우선되고 있다. 따라서 본 연구실에서는 식품과 농작물 등의 보존성을 증진시키기 위해 새로운 기능이 강화된 포장재료의 개발을 위한 일환으로 기존의 세라믹 필름의 물질의 보존성, 유효물질의 흡착 및 방출기능을 이용하여 항균효과가 알려진 Ag(12)와 Mg(13) 등이 함유된 합성 세라믹 분말의 항균효과와 천연 항균성물질의 첨가에 따른 항균력의 상승효과를 시도하였다. 천연 항균성물질로서 토양으로부터 분리한 생리적 특이성을 가진 메탄을 자화방선균으로부터 식품

†Corresponding Author : Department of Microbiology, College of Natural Science, Keimyung University 704-701, Korea
Tel : +82-53-580-5284, Fax : +82-53-580-5164
E-mail : hskim@kmu.ac.kr

및 농작물의 보존에 유효한 내열성이 우수한 항균성 물질을 추출하여 합성 세라믹에 흡착시킨 후 필름제조시에 요구되는 온도에서의 내열성검토와 항균효과 등을 보고하였다(14). 본 연구에서는 전보에서 사용한 합성 세라믹에 항세균제 및 새로이 분리한 방선균이 생산한 항진균제를 흡착시켜 제조한 합성세라믹 LDPE 필름의 항균효과 및 식품의 보존성을 검토하였다.

재료 및 방법

공시균주 및 배양조건

본 실험에 사용한 공시균으로 항세균성물질 생산균은 김 등(15)이 분리한 균으로 강력한 항균성 물질을 생산하며 methanol 자화 방선균으로 동정된 *Amycolatopsis* sp. MO-16(16) 및 미동정된 MO-17균을 사용하였다. 공시균은 활성유지를 위해 M배지 (K_2HPO_4 0.3%, NH_4NO_3 0.3%, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.02%, NaCl 0.1%, MeOH 1%, peptone 0.1%, pH 7.0)에 2주에 한번씩 계대배양하였으며, 공시균의 배양은 25 mL의 M배지 (100 mL Erlenmyer flask 사용)에 slant로부터 2백금이 접종한 후 28°C, 150 rpm에서 2일간 전배양한 후 -70°C에 보존하여 전배양균으로 사용하였다. 항균활성을 위한 시험균주로 세균의 경우 LB배지 (peptone 1%, NaCl 0.5%, yeast extract 0.5%, pH 7.0)에서 1~2일 배양하여 4°C에 보존하여 사용하였다. 곰팡이의 생육배지로는 malt extract (Difco Co.) 2%, peptone (Difco CO.) 0.1%, glucose 2%, pH 6.0을 사용하였으며, 각 균주를 평판배지 위에 접종하여 28°C에서 5~7일간 배양한 다음, spore 용액 (10^9 spores/mL)을 제조하여 4°C에서 보존하여 사용하였다.

항진균성 물질 생산균의 분리 및 배양조건

토양시료로부터 40여종의 방선균을 분리하여 그 중 시험균 *Aspergillus niger*에 항균력을 나타내는 방선균 (*Streptomyces* sp. No. 31)을 선발하여 공시균으로 사용하였다. 항균성 물질 생산을 위한 공시균의 전배양 및 본배양은 No. 1배지 (glucose 15 g, soybean meal 15 g, corn steep liquor 5 g, NaCl 5 g, $CaCO_3$ 2 g/L)를 사용하였으며 28°C, 150 rpm에서 1~4일간 배양하였다.

항균성 물질의 항균효과

배양액중에 생산된 항균성 물질의 확인은 agar diffusion법을 사용하였으며, 시험균이 함유된 평판배지 위에 paper disc (\varnothing 6 mm, Whatman Co.)를 얹고 배양액 20 μ L 그리고 배양액의 용매추출물 (2 μ g/20 μ L)을 각각 paper disc에 얹고 용매를 건조시킨 후 28°C (곰팡이) 및 37°C (세균)에서 1~2일간 배양한 다음, clear zone의 유무로서 확인하였다.

항진균성 물질의 열 안정성

분리균이 생산하는 항진균성 물질의 열안정성을 검토하기 위해 배양 1일~4일까지의 배양액을 121°C, 1기압에서 15분간 열처리한 다음 시험균인 *Asp. niger*를 대상으로 하여 잔존 활성을 검토하였다.

항균성 물질의 대량 제조

공시균 MO-16 및 MO-17은 전배양배지에 각각의 포자현

탁액을 100 μ L 접종하여 28°C, 150 rpm에서 2일간 전배양한 후, 각각 5 L의 한국발효기 (Inchon, Korea)를 사용하여 3 L의 M배지를 넣고 전배양균을 3% 접종하여 28°C, 150 rpm에서 통기량을 1 L/min되게 공급하여 4일간 배양하였다. 생산된 항균성 물질은 배양상등액을 2배량의 ethylacetate로 추출하여 Na_2SO_4 로 건조한 다음 진공농축하였다. 또한 No. 31이 생산하는 항진균성 물질은 No. 1배지 (1 L Erlenmyer flask 사용)에 전배양균을 3%되게 접종하여 4일간 배양한 배양상등액을 1.5배량의 ether로 추출하여 건조한 다음 진공농축하여 사용하였다.

항균성 물질이 함유된 세라믹필름의 제조

세라믹필름의 제조는 일반포장재로 널리 쓰이는 LDPE수지를 원재료로 하였으며, 항균성 물질의 흡착 및 안정성보호에 사용한 합성 세라믹은 김 등(14)에 의한 내열성이 우수한 Ce-1을 사용하였다. 공시균 MO-16, MO-17 및 No. 31균으로부터 분리한 항균성 물질 213 mg (MO-16; 123 mg, MO-17; 51 mg, No. 31; 39 mg)을 methanol에 용해하여 500 g의 Ce-1 세라믹에 흡착시켜 조제한 다음 필름제조업체인 (주)청운산업에 의뢰하여 제조하였다. 가열용해한 100 kg의 LDPE 수지에 항균성 물질이 흡착된 세라믹 500 g을 혼합하면서 150°C에서 두께 0.03 mm, 폭 25 cm의 roll상의 필름을 제작하였다.

제조필름의 미생물생육 억제효과

제조 필름의 미생물 생육억제효과는 조분쇄한 돼지고기를 일반(시판)필름 및 제조필름에 밀착되게 포장하여 상온 및 4°C에 방치한 후 1, 4, 6, 8일째에 0.5 g씩 sampling하였다. 각 sample은 멸균수로 희석하여 100 μ L씩 LB plate에 도말한 후, 37°C에서 24시간 배양하여 생성된 colony수를 비교하였다. 고체배양을 이용한 특정세균에 대한 항균효과는 제조 필름 및 시판필름을 잘게 잘라서 각각 0.2 g, 0.4 g씩 LB배지에 첨가하여 고화시킨다음 *E. coli*를 10^5 배 희석하여 100 μ L씩 도말하여 37°C, 24시간 배양한 후 생성된 colony수를 비교하였다.

제조필름의 식품류 저장성 test

제조필름의 식품류 보존성 시험으로 일반필름 및 제조한 세라믹필름에 다양한 식품류 (밀감, 방울토마토, 양배추, 고추, 양송이와 식빵)를 넣고 상온에서 4주간 방치하여 경시적으로 식품의 변화 및 보존성을 육안으로 비교 하였다.

결과 및 고찰

항진균성물질 생산균의 분리 및 열 안정성

전보(14)에서 methanol자화성 방선균 MO-16 및 MO-17은 강력한 항세균효과를 가지나 항진균효과는 미약하였다. 따라서 토양시료로부터 항균성 물질을 생산하는 40여종의 방선균을 분리하여 그 중 시험균 *Asp. niger*에 항균력을 나타내는 방선균 No. 31 (*Streptomyces* sp.으로 추정됨)을 선발하여 공시균으로 사용하였다. 공시균의 배양일수에 따른 항균효과를 검토한 결과 Table 1에서 보는바와 같이 배양 4일째 항균활

Table 1. Residual activity of the antifungal agent from *Streptomyces* sp. No. 31 after heat treatment

Heat treatment	Incubation time (days)			
	1	2	3	4
	Inhibitory zone (Ø, mm)			
None	10	12	13	14
Heat	8	9	10	13

Culture broth was treated at 121°C, 1 atm. for 15 min by autoclave. Plate assay with *Aspergillus niger* was used to monitor of antifungal activity

Table 2. Changes in total microbial count on the minced pork packaged in antimicrobial agents-impregnated ceramic LDPE film

Temperature (°C)	Storage time (days)	Samples (0.5 g)	
		A	B
Room temperature	1	3.0×10^3	8.6×10^3
	3	3.5×10^5	2.0×10^6
	6	5.0×10^7	7.0×10^7
	8	1.3×10^8	1.4×10^8
4°C	1	7.5×10^2	1.0×10^3
	3	1.5×10^3	2.1×10^3
	6	4.0×10^6	5.0×10^7
	8	1.0×10^6	6.0×10^7

A : Ce-1 LDPE film containing antimicrobial agents

B : Commercial wrap

* 0 day sample : 26 colony/0.5 g sample

성이 가장 높았다. 항균성 물질의 열안정성을 검토하기 위해 각 배양액을 121°C, 1기압에서 15분간 처리한 다음 시험균인 *Asp. niger*를 대상으로 하여 잔존활성을 검토하였다. Table 1에서 보인 바와 같이 4일간 배양한 경우 처리 전과 비교할 때 안정한 활성을 보이는 점으로 보아 본 항균성물질은 열에 안정하다고 추정되었다.

항균성 물질의 대량 제조 및 세라믹필름의 제조

공시균인 MO-16 및 MO-17이 생산하는 항균성 물질은 jar fermentor를 사용하여 실험재료 및 방법에 따라 4일간 배양한 각 배양상등액 3 L로부터 2배량의 ethylacetate로 추출, 농축하여 각각 123 mg, 51 mg의 항균성물질을 얻었다. 이들 항균성 물질의 생산최적 배지(15,16)를 사용한 fermentor 배양에서의 생산량이 예상외로 적은 결과를 보였으며 대량생산을 위한 최적조건을 확립하기 위해 교반수, 통기량, pH변화와 접종량 등의 검토가 필요하며 현재 이들 최적조건을 수행중에 있다. 방선균 No. 31이 생산하는 항진균성 물질은 4일간 배양한 1 L의 배양상등액을 ether로 추출, 농축하여 39 mg의 추출물을 얻었다. 이들 항균성물질 (MO-16; 123 mg, MO-17; 51 mg, No. 31; 39 mg)을 실험재료 및 방법에서 제시한 필름제조법에 따라 합성 세라믹 Ce-1 500 g에 흡착시켜 roll상의 pink색을 띄는 투명한 세라믹 LDPE 필름을 제조하였다.

세라믹 LDPE필름의 항균성효과

제조필름의 항균성효과를 검토하기 위해 미생물 생육의 억제효과를 조사하였다. 조분쇄한 돼지고기를 일반필름 및 제조한 세라믹 LDPE 필름에 밀착되게 포장하여 상온 및 4°C에 방치한 후 0, 1, 3, 6, 8일째에 0.5 g씩 sampling하여 각

Table 3. Antibacterial test of the ceramic LDPE film by agar plate method using *E. coli* as a test strain

Sample	Control	Addition of Ce-1 LDPE film	
		0.2 g	0.4 g
<i>E. coli</i> colony count	29	18	14
Growth rate (%)	100	62	48

* Control : non-addition of Ce-1 LDPE film

Table 4. Antimicrobial spectra of Ce-1 LDPE film

Test strains	Ce-1 LDPE film
	Inhibitory zone
<i>B. subtilis</i>	±
<i>E. coli</i>	±
<i>Asp. flavus</i>	-
<i>Asp. fumigatus</i>	-
<i>Asp. niger</i>	-
<i>T. mentagrophytes</i>	-
<i>T. rubrum</i>	-

sample을 멸균수로 희석하여 100 µL씩 LB plate에 도말한 후, 37°C에서 24시간 배양하였다. 생성된 colony의 총균수를 count한 결과, Table 2에서 보인 바와 같이 실온에서 보존 3일까지는 제조필름이 일반 필름보다 미생물의 생육억제효과가 뛰어났으며 일정시간 이상은 다소 우수한 억제효과를 보였다. 4°C에 보존한 경우도 일반적으로 세균의 증식속도가 늦은 점을 고려할 때 총균수는 제조필름을 사용한 경우가 억제되는 결과를 보였다. 또한 사용세라믹과 흡착된 항균성 물질의 방출에 의한 항균효과를 검토하기위해 고체배양법을 시도하였다. 제조필름을 잘게 잘라서 각각 0.2 g, 0.4 g씩 LB배지에 첨가하여 고화시킨 다음 시험균으로 액체배양한 *E. coli*를 희석하여 100 µL씩 도말하여 37°C, 24시간 배양하였다. *E. coli*에 대한 항균(생육억제)효과는 생성된 colony수로 비교하였으며 Table 3에서 보는 바와 같이 필름 미첨가시에 비해 첨가한 제조필름의 양에 따라 생성 colony수가 각각 38%, 52% 감소하여 항균효과가 입증되었다. 실제 *E. coli*의 generation time이 LB배지 같은 최적배지에서 약 20분인 점을 고려할 때 도말 후 배양초기에는 증식하나 시간이 경과할수록 항균성물질의 방출에 의해 생육이 억제되었다고 추정되었다.

세라믹 LDPE필름의 항균 spectrum

*E. coli*에 대한 생육억제 효과로부터 세균 및 곰팡이를 대상으로 제조 세라믹필름의 항균 spectrum을 검토하였다. 제조 필름을 같은 크기 (2 cm × 2 cm)로 잘라 각각의 시험균이 함유된 평판배지에 얹고 28°C에서 48시간 (곰팡이) 및 37°C에서 24시간(세균)에서 배양하였다. 그 결과 (Table 4) *E. coli* 및 *B. subtilis*의 경우 필름의 주위에 미약한 생육억제효과가 확인되었으나 항균력은 아주 미약하였으며, 곰팡이의 경우 거의 생육저해효과가 나타나지 않았다. 이들 결과에서 항균성 물질이 흡착된 세라믹의 직접적인 항균효과(14)와 이를 첨가하여 제조한 필름의 항균효과는 상당한 차이가 있다고 확인되었다. 따라서 본 제조 필름이 식품 표면의 미생물 생육억제효과는 있으나 강력한 항균효과를 위해서는 항균성 물질의 첨가량을 증가시켜야 한다고 판단되며 필름 제조시에 항균성 물질 흡착제의 밀도 및 흡착량이 식품의 포장시에 항

Table 5. Effect of the antimicrobial agents-impregnated ceramic LDPE film on storage of the various foods.

Food	Storage condition		
	Non-packaging	Commercial film	Ceramic LDPE film
Mandarine orange	Dried	Good [*]	Good
<i>Agaricus bisporus</i>	Dried	Decay (100%)	Good
Cabbage	Dried	Decay (10%)	Good
Small tomato	Dried, Decay (30%)	Decay (50%)	Good, Decay (5%)
Red pepper	Dried, Decay (20%)	Decay (30%)	Good, Decay (10%)
Bread	Dried, Growth of fungi (20%)	Good, Growth of fungi (10%)	Good, Growth of fungi (5%)

Packaged foods stored at room temperature for 30 days. Storage condition was designated as 'good' or 'decay rate' by visual observation.

^{*}Good; No decay and excellent preservation, %; decay rate

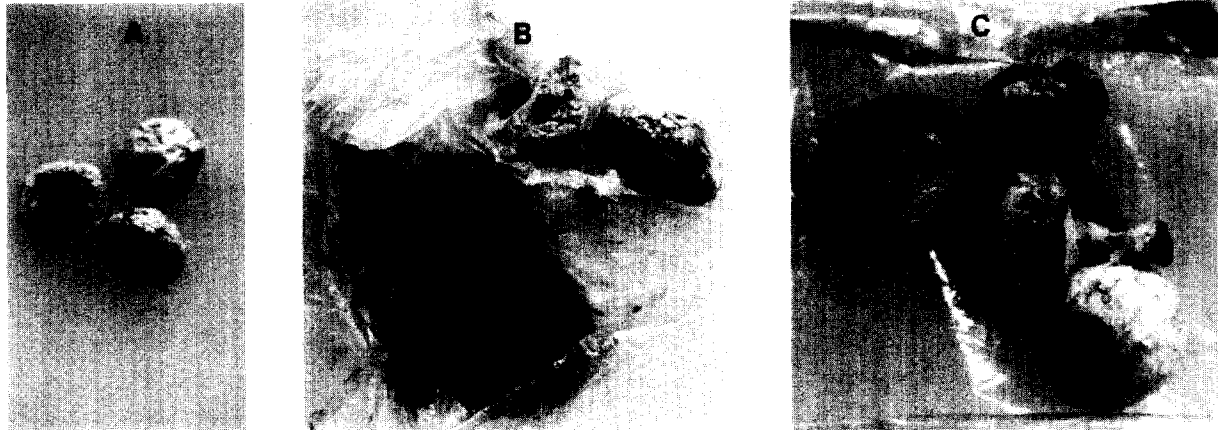


Figure 1. Storage condition of the packaged *Agaricus bisporus* at room temperature for 30 days
A; Non-packaging, B; Commercial film, C; Ce-1 LDPE film

균효과에 영향을 준다고 사료되었다. 현재 이들 factor에 대한 검토를 수행중에 있다.

제조된 세라믹 필름의 식품류 저장성

제조 필름의 식품류 보존성 시험을 위하여 일반 필름 및 제조한 필름에 다양한 식품류 (밀감, 방울토마토, 양배추, 고추, 양송이와 식빵)를 넣고 일반적으로 판매되는 식품과 동일한 형태로 포장하여 상온에서 4주간 방치하였다. 경시적으로 식품의 변화 및 보존성을 관찰하면서 4주 후의 보관상태를 Table 5에 나타내었다. 미포장의 경우는 예상대로 건조되거나 부패하였으며 일반 시판필름에 비해 제조필름의 경우 보존상태가 우수하였으며 방울토마토 및 고추의 경우 일부가 약간 부패하였으나 시판필름에 비해 부패율이 낮았다. 특히 양송이의 저장성은 제조필름의 경우 Figure 1에서 보인 바와 같이 제조필름의 보존효과가 우수하였으며 식품류에 따라 다소 다른 효과를 보였다. 이들 식품의 보존성으로부터 식품의 종류에 따라 제조필름의 밀도, 통기량, 필름의 제조원료가 영향을 미친다고 판단되었다(10,11). 항균제가 함유된 필름의 경우 식품의 수분함량에 따라 필름과의 밀착에 의한 항균성 물질의 용출 및 항균효과가 우수할 것으로 판단되며, 밀착이 되지 않는 식품의 경우 항균제인 와사비 추출물의 방출(7)에 의한 항균효과를 가진 필름과 같은 기능의 항균제가 유효하다고 판단되었다. 이들 결과로부터 본 제조필름은 다양한 종류의 식품에 대한 저장성은 양호하다고 사료되며 보다 강한 항균효과를 위해 항균제의 첨가량과 통기량 조절기능 및 수분 방출기능이 다양한 필름의 제조가 필요하다고 판단되었다.

요 약

다양한 식품의 미생물에 의한 변패를 억제하고 저장성을 높일수 있는 포장필름을 개발하기 위하여, 미생물이 생산하는 천연 항균성 물질을 흡착시킨 합성 세라믹을 첨가하여 세라믹 LDPE 필름을 제조하였다. 천연 항균제로는 methanol자화 방선균 MO-16 및 MO-17균이 생산한 항세균제와 새로이 분리한 방선균 No. 31이 생산한 항진균제를 사용하였다. 방선균 No. 31이 생산한 항진균성 물질은 배양 4일째 항균효과가 우수하였으며, 121℃에서 15분간 열처리시에도 항균력이 유지되는 내열성이 확인되었다. 제조한 세라믹 LDPE 필름의 미생물 생육 억제효과를 검토한 결과 조분쇄한 돈육의 경우 포장하여 실온 및 4℃에서 보존시 시판필름에 비해 미생물 생육 억제효과가 우수하였다. 고체배지에 제조필름을 첨가하여 *E. coli*에 대한 항균효과를 검토한 결과 첨가량에 따라 항균효과가 우수한 것이 입증되었다. 제조필름으로 포장한 6종류의 식품에 대한 저장성을 검토한 결과 시판필름에 비해 저장성이 우수한 것이 확인되었으며 특히 양송이에 대한 저장효과가 우수하였다.

감사의 글

본 연구는 1999, 2000년도 산학연 공동기술개발 컨소시엄 사업으로 수행된 결과의 일부이며 공동연구자인 (주)한국바이오세라믹과 필름제조에 협조한 (주)청운산업에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Hotchkiss, J. H (1995), Safety Considerations in Active Packaging. In *Active Food Packaging*. Rooney, M. L.(Ed.), Blackie Academic & Professional, London, England, p.238
2. Hale, P. W., W. R. Miller, and J. J. Smoot (1986), Evolution of a Heat-shrinkable Copolymer Film Coated with Imazalil for Decay Control of Florida Grapefruit. *Tropical Science*, **26**, 67-71
3. Weng, Y. -M. and J. H. Hotchkiss (1992), Inhibition of Surface Molds on Cheese by Polyethylene Film containing the Antimycotic Imazalil. *Journal of Food Protection*, **9**, 29-37
4. Halek, G. W. and A. Garg (1989), Fungal Inhibition by a Fungicide Coupled to an Ionomeric Film. *Journal of Food Safety*, **9**, 215-222
5. Weng, Y. -M. (1992), Development and Application of Food Packaging Films containing Antimicrobial Agents. Ph.D. Dissertation, Cornell University, Ithaca, NY.
6. Weng, Y. -M. and J. H. Hotchkiss (1993), Anhydrides as Antimycotic Agents added to Polyethylene Films for Food Packaging. *Packaging Technology and Science*, **6**, 123-128
7. Koichiro, Y. (1993), Maintenance of Freshness by Antimicrobial Packaging Material using a Component of Horseradish. *Food and Science*, **35**, 102-107 (in Japanese).
8. Kim, K. S., H. S. Sun, K. W. Bae, and C. Y. Park (1997), Disinfecting Effect and Growth Enhancement of Silver coated Ceramic Powder in Vegetable. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.*, **12**, 35-39
9. Kim, K. S., Y. K. Kang, J. D. Kim, J. B. Eun, and C. H. Park (1998), Storage of Kimchi in LDPE Film containing Antibiotic Ceramic. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **30**, 811-816
10. An, D. S., Y. I. Hwang, S. H. Cho, and D. S. Lee (1998), Packaging of Fresh Curled Lettuce and Cucumber by using Low Density Polyethylene Films Impregnated with Antimicrobial Agents. *J. Korean Soc. Food Sci. Nur.*, **27**, 675-681
11. Chung, S. K., S. H. Cho, and D. S. Lee (1998), Modified Atmosphere Packaging of Fresh Strawberry by Antimicrobial Plastic Films. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **30**, 1140-1145
12. Oya, A., M. Kimura, T. Sugo, and A. Katakai (1994), Antibacterial Activated Carbon Fiber Derived from Methyl Methacrylate-grafted Phenolic Resin Fiber. *Carbon*, **32**, 107
13. Sawai, J. H. Kojima, ricidal Action of MagnesiN. Ishizu, M. Itoh, H. Igarashi, T. Sawaki, and M. Shimizu (1999), Bacteam Oxide Powder. Proceedings of *Journal of Inorganic Biochemistry*, p.443
14. Kim, H. S., L. S. Seong, and T. S. Yu (2000), Adsorption and Thermostability of Natural Antimicrobial Agents on Synthetic Ceramic Powder. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* (ibid.)
15. Kim, H. S. and J. S. Lee (1998), Isolation and Production Conditions of Antimicrobial Compound from Methylotrophic Actinomycetes Strain M-17. *J. Inst. Nat. Sci.*, **17**, 75-84.
16. Kim, H. S. and J. S. Lee (1999), Purification and Production Conditions of Antimicrobial Compound from Methylotrophic Actinomycetes Strain MO-16. *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **27**, 391-398.