

퇴비에서 온도조건에 따른 *Salmonella enterica*와 *Staphylococcus aureus*의 내열성 변화

정규석^{1,2} · 허성기¹ · 노은정¹ · 장미나¹ · 이동환¹ · 최재혁¹ · 이선영³ · 윤종철¹ · 김계훈^{2*}

¹농촌진흥청 국립농업과학원, ²서울시립대학교 환경원예학과, ³중앙대학교 식품공학부

Effect of Temperature on Survival of *Salmonella enterica* and *Staphylococcus aureus*

Kyu-Seok Jung^{1,2}, Sung-Gi Heu¹, Eun-Jung Roh¹, Mee-Na Jang¹, Dong-Hwan Lee¹,
Jae-Hyuk Choi¹, Sun-Young Lee³, Jong-Chul Yun¹, and Kye-Hoon Kim^{2*}

¹National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-707, Korea

²Dept. of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

³School of Food Science and Technology, Chung-Ang University, Anseong 456-756, Korea

Manures contain a variety of pathogenic microorganisms that pose a risk to human or animal. On-farm contaminations through contaminated manure were considered likely sources of the pathogen for several outbreak. Pathogenic microorganisms may survive in low numbers during the composting process and subsequently regrow to high levels under favorable conditions. The objective of this study was to investigate effect of temperature on survival of *Salmonella enterica* and *Staphylococcus aureus* in livestock manure compost. Commercial livestock manure compost (manure 60%, sawdust 40%) was inoculated with *S. enterica* and *S. aureus*. Compost was incubated at four different temperatures (10, 25, 35, and 55°C) for 20 weeks. Samples were taken every week during incubation depending on the given conditions. *S. enterica* persisted for up to 1 day in livestock manure compost at 55°C, over 140 days at 10°C, 140 days at 25°C, and 70 days at 35°C, respectively. *S. aureus* persisted for up to 1 day in livestock manure compost at 55°C and 90 days at 10°C, 70 days at 25°C, and 40 days at 35°C, respectively. The results indicate that *S. enterica* and *S. aureus* persisted longer under low temperature condition. *S. enterica* survived longer than *S. aureus* at three different temperatures (10, 25, and 35°C). This study will provide useful and practical guidelines to applicators of soil in deciding appropriate handling and time frames for land application of livestock manure compost for sustainable agriculture. Results from these studies provide useful information in identifying manure handling practices to reduce the risk of *S. enterica* and *S. aureus* transmission to fresh produce.

Key words: Livestock manure compost, *Salmonella enterica*, *Staphylococcus aureus*, Survival

서 언

최근 삶의 질이 높아지면서 건강에 대한 관심이 고조되고 있으며 웰빙 추세가 먹을거리에도 영향을 미치고 있다. 즉, 우리의 음식문화인 찜과 서구화된 식탁에 등장한 샐러드 등 여러 종류의 채소를 가열, 조리하지 않은 채로 생식하는 일이 많아진 것이다 (Jung et al., 2006). 과일 및 채소와 같은 신선 농산물은 수확하여 소비되는 여러 단계의 과정에서 병원성 미생물을 포함한 다양한 미생물에 오염될 수 있다 (Beuchat et al., 2001). Jung et al. (2006)은 비가열 채

소류의 미생물 오염도를 조사한 결과 치커리에서 *Staphylococcus aureus*와 *Bacillus cereus*가 22%로 가장 많이 검출되었으며 *B. cereus*는 숙갓에서도 많이 검출되었다고 하였다. Kim et al. (2004)은 즉석 섭취용 샐러드 제품의 미생물 오염조사에서 대장균군, 대장균, *S. aureus*, *Salmonella* spp. 등이 검출되었다고 보고하였다. 비 전처리 채소 및 전처리 채소에서 *B. cereus*, *Campylobacter jejuni*, *Vibrio parahaemolyticus*, *S. aureus* 등이 검출되었다고 하였다 (Kim et al., 2008). 이렇게 오염된 미생물은 수확 후 소비되기 전의 저장기간 동안 신선 농산물에서 생존하여 사람에게 식중독을 일으킬 수 있다. 식중독 사고를 일으키는 병원성 미생물은 토양, 오염된 관개수, 가축분변, 먼지, 미숙 퇴비 등에 존재할 수 있고, 수확하기 전 몇 가지 경로로 농산물을 오염시킬 수 있다

접수 : 2012. 7. 5 수리 : 2012. 8. 14

*연락처 : Phone: +82222102605

E-mail: johnkim@uos.ac.kr

(Burnett et al., 2001).

축산분뇨는 각종 다양한 유기물 및 무기물을 포함하고 있어서 퇴비화하여 토양에 환원할 경우 토양을 비옥하게 하고 생산량을 증대시킬 수 있는 좋은 비료 자원이 될 수 있다 (Beadet et al., 1990). 그러나 Turner (2002)는 축산분뇨에는 다양한 병원성 미생물이 포함되어 있고 농산물 오염의 주된 원인이 될 수 있다고 하였다. Beuchat (1996)은 농산물에 의한 식중독 사고는 대부분 축산분뇨와 관련되어 있다고 하였고 Sivapalasingam et al. (2004)은 신선 농산물의 식중독 사고가 최근 증가하였다고 하였다. Unc et al. (2004)는 식중독을 일으키는 병원성 미생물은 장내세균이지만 외부로 노출되었을 때 생존할 수 있다고 하였고 병원성 미생물이 포함된 축산분뇨가 농경지에 환원될 때 토양조건, 퇴비조건, 작물조건에 따라 병원성 미생물의 생존능이 결정된다고 하였다 (Franz et al., 2005). Wang and Doyle (1998)은 8°C 물에서 *Escherichia coli* O157:H7이 91일 동안 생존할 수 있다고 하였고, Mubiru et al. (2000)는 *E. coli* O157:H7이 25°C 토양에서 최소 8주 동안 생존할 수 있다고 하였다. Kudva et al. (1998)은 축분 퇴비에서 *E. coli* O157:H7은 4개월 동안 생존할 수 있다고 하였다.

가축분 퇴비나 가축분 액비에서 병원성 미생물의 생존에 영향을 미치는 요인으로는 온도, 습도, pH, 미생물간 경쟁, 산화환원전위, 부숙기간 등이 있다 (Himathongkham et al., 1999). 본 연구는 국내에서 유통되는 가축분 퇴비를 대상으로 온도에 따른 병원성 미생물 (*S. enterica*, *S. aureus*)의 생존능 및 생존기간을 비교, 분석하고 농산물의 안전성을 확보하기 위하여 안전한 가축분 퇴비의 생산과 이용에 도움을 주고자 수행하였다.

재료 및 방법

사용 균주 및 시료채취 국내 축산의 주요 축종인 돼지의 분뇨를 주원료로 생산, 유통되는 가축분 퇴비를 수집하였고 접종 균주로 *S. enterica* ATCC 13311와 *S. aureus* KACC 13232를 사용하였다. 가축분 퇴비에 유해미생물 접종 후 10, 25, 35, 55°C의 incubator (VS 1203 PFC, Vision Science, Korea)에서 140일 동안 배양하면서 매주에 1회씩 주기적으로 시료를 채취하여 시험을 실시하였다.

유해미생물의 분리 및 동정 *S. enterica*와 *S. aureus*의 분리는 채취한 시료를 균질화한 뒤 3g을 취해서 buffered peptone water (Difco Co., Detroit, MI, USA) 27 mL에 혼합한 후 stomacher (easyMIX, AES CHEMUNEX, France)로 2분 동안 균질화하였다. 균질화 된 시료는 buffered peptone water (Difco)를 이용하여 10배씩 연속 희석하였다. *S. enterica*와 *S. aureus*의 정량적 분석을 위해서 앞에서 준비한 시료

1 mL를 xylose lysine deoxycholate agar (Difco)와 baird-parker agar (Difco)위에 각각 도말하여 37°C에서 24-48시간 배양하였다. 배양 후 각 배지 위에 형성된 colony를 계수하여 colony forming unit (CFU) g^{-1} 으로 나타내었다. 의심 집락은 세균부유액과 반응한 산물의 색변화로 판단하는 API test (bioMerieux, Marcy l'Etoile, France), 항원항체의 응집반응결과로 판단하는 Latex test (Oxoid Ltd., Hampshire, UK) 또는 PCR을 수행하여 동정하였다.

DRT 측정식 DRT (decimal reduction time)는 미생물이 90% 사멸하는 데 걸리는 시간을 말하고 다음과 같은 식에 적용하여 계산하였다.

$$DRT = -\log(N_0/N) / t$$

N_0 : 미생물의 초기밀도, N : 미생물의 최종밀도, t : 시간

결과 및 고찰

가축분 퇴비에서 온도에 따른 *S. enterica*의 생존 변화 국내 유통되는 가축분 퇴비에 *S. enterica*를 접종하여 온도에 따른 생존 변화양상을 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. *S. enterica*의 생존양상은 처리온도에 따라서 다른 경향을 나타내었는데 10°C에서 가장 오래 생존하였고, 55°C에서는 하루 만에 사멸하였다. 처리온도 10°C에서 초기농도는 7.58 log CFU g^{-1} 이었고 그 이후 점점 감소하기 시작하여 140일에는 4.90 log CFU g^{-1} 였는데 감소폭이 낮았다. 처리온도 25°C에서 초기농도는 7.83 log CFU g^{-1} 이었고 0~60일까지는 급격히 감소하다가 그 이후로 거의 변화가 없었고 140일에는 모두 사멸하였다. 35°C에서는 0~20일까지 급격히 감소하였고 그 이후 60일까지는 일정한 수준을 유지하다가 70일에 전부 사멸하였다. 55°C에서는 접종 1일 경과 후에 모두 사멸하였다. 일정시간 경과 후 사멸하는 이유는 낮은 양분 가용도, 생존에 불리한 온도조건, 독성물질의 존재

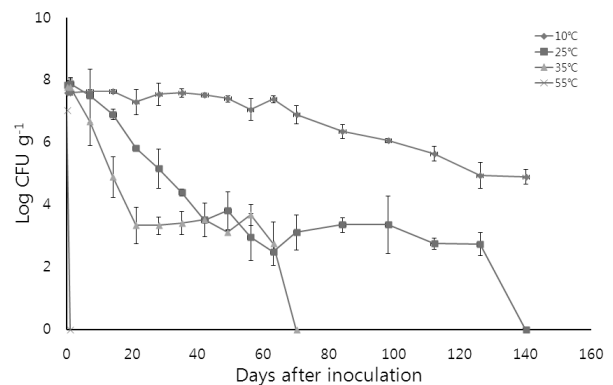


Fig. 1. *S. enterica* survival in livestock manure compost under different (10, 25, 35, 55°C) temperatures.

Table 1. Decimal reduction time (DRT) for *S. enterica* in livestock manure compost at 10, 25, 35°C.

Treatment	Regression equation	R ²	Decimal reduction time (days)
10°C	Log ₁₀ A = -0.0202t + 8.0074	0.87	49.5
25°C	Log ₁₀ A = -0.0446t + 6.8057	0.78	22.4
35°C	Log ₁₀ A = -0.0553t + 6.0348	0.80	18.0

등의 환경적인 스트레스 때문이라고 하였다 (Kim et al., 2009). 생존기간은 처리온도가 10, 25, 35, 55°C 순으로 높아질수록 빨리 사멸하는 결과를 보였다. Montville and Mathews (2001)는 고온보다 저온에서 미생물의 대사율이 낮기 때문에 저온일수록 더 오래 생존할 수 있다고 하였는데 본 연구에서도 비슷한 결과를 나타내었다. 가축분 퇴비나 가축분 액비에서 병원성 미생물의 생존에 영향을 미치는 요인으로 온도, 습도, pH, 미생물간 경쟁, 산화환원전위, 부숙기간 등이 있다고 하였는데 (Himathongkham et al., 1999), Tiquia (2005)는 퇴비 내에 존재하는 *Salmonella*의 사멸에 주된 영향을 미치는 요인을 온도라고 하였다. Kim et al. (2010)은 *E. coli*의 생존에 영향을 미치는 요인으로 온도가 습도보다 더 큰 영향을 미친다고 하였다. 완전히 부숙되지 않은 퇴비에는 병원성 미생물이 잔존할 수 있고 이 미생물이 농산물로 전이되어 식중독 사고가 발생할 가능성이 있게 된다. Jung et al. (2011)은 유통되는 가축분 퇴비에서 대장균, 대장균, *B. cereus* 등이 검출되었다고 하였다. Table 1은 퇴비 내 *S. enterica*의 DRT (decimal reduction time)값을 나타낸 것이다. 10°C에서 49.5일, 25°C에서 22.4일, 35°C에서 18.0일이었는데 온도가 높아질수록 낮아지는 결과를 보였다. 가축분 퇴비에서 *Salmonella* spp.는 DRT값이 4°C에서 20.3일, 20°C에서 9.4일, 37°C에서 1.7일이었고, *E. coli* O157:H7은 4°C에서 18.6일, 20°C에서 13.5일, 37°C에서 3.6일이라고 하였는데 (Himathongkham et al., 1999) 본 결과도 이와 비슷한 경향을 보였다.

가축분 퇴비에서 온도에 따른 *S. aureus*의 생존변화

Fig. 2는 가축분 퇴비 내 *S. aureus*의 생존변화를 나타낸 것이다. 10°C 처리온도에서 초기농도 7.87 log CFU g⁻¹이었고 그 이후 점점 감소하기 시작하여 90일에는 전부 사멸하였다. 처리온도 25°C에서 초기농도는 7.70 log CFU g⁻¹이었고 0~15일까지는 급격히 감소하다가 그 이후로 거의 변화가 없었으며 70일에는 모두 사멸하였다. 35°C에서는 0~7일까지 급격히 감소하였고 그 이후 35일까지는 약간 증가 후 감소하는 경향을 보였으며 40일 정도에 전부 사멸하였다. 55°C에서는 접종 후 1일 경과 후에 모두 사멸하였다. 생존기간은 처리온도 10, 25, 35, 55°C 순이었는데 *S. enterica*와 마찬가지로 온도가 높아질수록 사멸속도가 빨라지는 결과를 볼 수 있었다. Wang et al. (1996)은 가축분 퇴비에서 *E. coli* O157:H7이 5°C에서 70일, 22°C에서 56일, 37°C에서

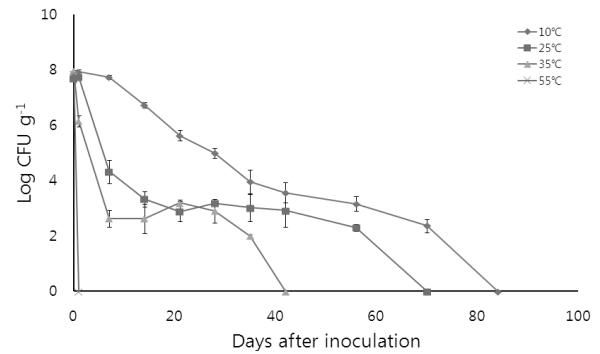


Fig. 2. *S. aureus* survival in livestock manure compost under different (10, 25, 35, 55°C) temperatures.

49일 동안 생존할 수 있다고 하였고, *Salmonella* spp.는 돈분 슬러리에서 8°C에서 14일, 20°C에서 8일, 37°C에서 8일 미만 생존할 수 있다고 보고하였다 (Mitscherlich and Marth, 1984). 특히 55°C에서는 *S. enterica*와 *S. aureus* 모두 하루 만에 사멸하였는데 이 결과로 보아 퇴비를 생산할 때 최소 55°C, 1일 이상으로 부숙시키면 안전한 퇴비를 생산할 수 있다고 생각한다. 또한 병원균의 생존에 불리하기 때문에 퇴비를 농경지에 이용할 때에는 저온보다 고온 환경 조건을 거치는 것이 더욱 안전한 사용방법이라고 생각한다. *S. aureus*는 모든 처리온도에서 90일 이내에 사멸하는 것으로 나타났는데 90일 이상까지 생존한 *S. enterica*보다 생존기간이 더욱 짧다는 것을 알 수 있다. 이는 그람음성균인 *S. enterica*가 퇴비 내에서 그람양성균인 *S. aureus*보다 더욱 오래 생존할 수 있는 조건을 가졌기 때문으로 생각한다. Jay (2000)는 그람양성균이 그람음성균보다 양분요구도가 크기 때문에 같은 환경조건이라도 그람음성균보다 생존기간이 짧을 수 있다고 하였다. Table 2는 퇴비 내 *S. aureus*의 DRT값을 나타낸 것으로 10°C에서 11.1일, 25°C에서 12.6일, 35°C에서 12.8일로 큰 차이를 보이지 않았는데 이는 25, 35°C에서 10°C에 비해 생존초기에 사멸속도가 매우 빨랐기 때문으로 생각한다.

You et al. (2006)는 병원성 미생물이 가축분 퇴비나 가축분 퇴비가 포함된 토양에서 증식할 수 있다고 하였고, Wang et al. (1996)은 가축분 퇴비에 *E. coli* O157:H7 접종 후 2일 동안 2 log CFU g⁻¹ 증가했다고 보고하였으며 병원균이 접종된 토양에서 *E. coli* O157:H7와 *Salmonella* spp.가 3일 동안 증가했다는 보고가 있다 (Himathongkham et al., 1999). Kim et al. (2009)은 가축분 퇴비여액에서도 *Salmonella*

Table 2. Decimal reduction time (DRT) for *S. aureus* in livestock manure compost at 10, 25, 35°C.

Treatment	Regression equation	R ²	Decimal reduction time (days)
10°C	Log ₁₀ A = -0.0898t + 7.8279	0.96	11.1
25°C	Log ₁₀ A = -0.0793t + 5.9816	0.78	12.6
35°C	Log ₁₀ A = -0.0777t + 5.0270	0.69	12.8

spp., *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* 등이 22°C, 35°C 조건에서 증식할 수 있다고 하였다. Jone (1986)은 소의 분변이 포함된 토양에서 *Salmonella* spp.가 300일 동안 생존하였고, 가축분뇨가 포함된 토양에서 256일 동안 생존했다고 보고하였다. 본 실험결과로 볼 때 만약 가축분 퇴비에 병원성 미생물이 존재한다면 오랫동안 생존할 수 있는 가능성이 있기 때문에 안전한 농산물 생산을 위하여 퇴비제조 시 병원성 미생물이 사멸할 수 있는 부숙과정을 거치거나 부숙 후 퇴비의 위생적인 관리가 필요함을 알 수 있다.

가축분 퇴비는 좋은 비료 자원으로 사용되고 있고 앞으로 더욱 수요가 늘어날 전망이다. 최근 국민들은 농산물의 안전성을 가장 중요하게 생각하고 있는데 그에 따른 방법 중의 하나는 병원성 미생물의 전염 매개체로 우려되는 가축분 퇴비를 안전하게 생산하고 관리하는 것이다. 오염퇴비를 통해서 신선상태의 채소류 등에 전이가 될 경우는 식중독 사고의 잠재적인 위험인자가 될 수 있으므로 퇴비생산 시 충분한 부숙과정을 거치는 것이 무엇보다 중요하다고 생각한다.

요 약

본 연구는 국내에서 유통되는 가축분 퇴비를 대상으로 온도에 따른 병원성 미생물 (*S. enterica*, *S. aureus*)의 생존능 및 생존기간을 조사하고 농산물의 안전성을 확보하기 위하여 안전한 가축분 퇴비의 생산과 이용에 도움을 주고자 수행하였다.

국내 유통되는 가축분 퇴비에 *S. enterica*를 접종하여 온도에 따른 생존 변화양상을 조사한 결과, 처리온도에 따라서 다른 경향을 나타내었는데 10°C에서 가장 오래 생존하였고, 55°C에서는 하루 만에 사멸하였다. 처리온도 10°C에서 초기농도 7.58 log CFU g⁻¹이었고 그 이후 점점 감소하기 시작하여 140일에는 4.90 log CFU g⁻¹였는데 감소폭이 낮았다. 처리온도 25°C에서 초기농도는 7.83 log CFU g⁻¹이었고 0~60일까지는 급격히 감소하다가 그 이후로 거의 변화가 없었고 140일에는 모두 사멸하였다. 35°C에서는 0~20일까지 급격히 감소하였고 그 이후 60일까지는 일정한 수준을 유지하다가 70일에 전부 사멸하였다. 55°C에서는 접종 1일 경과 후에 모두 사멸하였다. 생존기간은 처리온도 10, 25, 35, 55°C 순이었는데 고온일수록 빨리 사멸하는 결과를 보였다.

가축분 퇴비 내 *S. aureus*의 생존변화를 실험한 결과, 처리온도 10°C에서 초기농도 7.87 log CFU g⁻¹이었고 그 이후 점점 감소하기 시작하여 90일에는 전부 사멸하였다. 처리온도 25°C에서 초기농도는 7.70 log CFU g⁻¹이었고 0~15일까지는 급격히 감소하다가 그 이후로 거의 변화가 없었으며 70일에는 모두 사멸하였다. 35°C에서는 0~7일까지 급격히 감소하였고 그 이후 35일까지는 약간 증가 후 감소하는 경향을 보였으며 40일 정도에 전부 사멸하였다. 55°C에서는 접종 1일 경과 후에 모두 사멸하였다. 생존기간은 처리온도 10, 25, 35, 55°C 순이었는데 *S. enterica*와 비슷하게 온도가 높아질수록 사멸속도가 빨라지는 결과를 볼 수 있었다.

오염퇴비를 통해서 신선상태의 채소류 등에 전이가 될 경우는 식중독 사고의 잠재적인 위험인자가 될 수 있을 것이므로 퇴비제조 시 병원성 미생물이 사멸할 수 있는 부숙과정을 거치거나 부숙 후 퇴비의 위생적인 관리가 필요하다고 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청의 지원 (PJ008751)에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

- Beadet, R., C. Gagnon, J.G. Bisailon, and M. Ishaque. 1990. Microbiological aspects of aerobic thermophilic treatment of swine waste. *Appl. Environ. Microbiol.* 56:971-976.
- Beuchat, L.R. 1996. Pathogenic microorganisms associated with fresh produce. *J. Food Prot.* 59:204-216.
- Beuchat, L.R., J.M. Farbar, E.H. Garrett, L.J. Harris, M.E. Parish, T.V. Suslow, and F.F. Busta. 2001. Standardization of a method to determine the efficacy of sanitizers in inactivating human pathogenic microorganisms on row fruits and vegetables. *J. Food Prot.* 64:1079-1084.
- Burnett, S.L. and L.R. Beuchat. 2001. Human pathogens associated with raw produce and unpasteurized juices, and difficulties in decontamination. *J. Industrial Micro. & Biotech.* 27:104-110.
- Franz, E., A.D.V. Diepeningen, O.J.D. Vos, and A.H.C.V. Bruggen. 2005. Effects of cattle feeding regimen and soil management type on the fate of *Escherichia coli* O157:H7

- and *Salmonella enterica* serovar typhimurium in manure, manure-amended soil, and lettuce. *Appl. Environ. Microbiol.* 71:6165-6174.
- Himathongkham, S., S. Bahari, H. Riemann, and D. Cliver. 1999. Survival of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella typhimurium* in cow manure and cow manure slurry. *REMS Microbiol. Letters* 178:251-257.
- Jay, J.M. 2000. Intrinsic and extrinsic parameters of foods that affect microbial growth. p. 35-41. *In* Modern food microbiology. 6th ed. Aspen Publisher, Inc., Gaithersburg.
- Jones, P.W. 1986. Sewage sludge as a vector of salmonellosis, p. 21-33. *In* J.C. Block, A.H. Haielaar, and P.L. Hermite (ed.), Epidemiological studies of risks associated with the agricultural use of sewage sludge. Elsevier, London, England.
- Jung, K.S., S.G. Heu, E.J. Roh, D.H. Lee, J.C. Yun, and K.H. Kim. 2011. Prevalence of pathogenic bacteria in livestock manure compost and organic fertilizer. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(5):794-800.
- Jung, S.H., M.J. Hur, J.H. Ju, K.A. Kim, S.S. Oh, J.M. Go, Y.H. Kim, and J.S. Im. 2006. Microbiological evaluation of raw vegetables. *Korean J. Fd. Hyg. Safety* 21:250-257.
- Kim, J.K., W. Marion, Jr. Shepherd, and X. Jiang. 2009. Evaluating the effect of environmental factors on pathogen regrowth in compost extract. *J. Microb. Ecol.* 58:498-508.
- Kim, J.S., O.K. Bang, and H.C. Chang. 2004. Examination of microbiological contamination of ready-to-eat vegetable salad. *Korean J. Fd. Hyg. Safety* 19:60-65.
- Kim, M.H. and W.S. Shin. 2008. Microbiological quality of raw and cooked foods in middle and high school food service establishment. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 37:1343-1356.
- Kim, M.K., M.Y. Kim, C.M. Choi, B.G. Ko, S.I. Kwon, and H.Y. Weon. 2010. Pathogenic *E. coli* inactivation in upland soils to a change of soil moisture content and temperature. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(1):90-95.
- Kudva, I.T., K. Blanch, and C.J. Hovde. 1998. Analysis of *Escherichia coli* O157:H7 survival in ovine or bovine manure and manure slurry. *Appl. Environ. Microbiol.* 64:3166-3174.
- Mitscherlich, E. and E.H. Marth. 1984. Microbial survival in the environment. Springer-Verlag, New York.
- Montville, T.J. and K.R. Matthews. 2001. Principles which influence microbial growth, survival, and death in foods. *In* M.P. Doyle, L.R. Beuchat, and T.J. Montville (ed.) Food microbiology: Fundamentals and frontiers. 2nd ed. ASM Press, Washington, DC.
- Mubiru, D.N., M.S. Coyne, and J.H. Grove. 2000. Mortality of *Escherichia coli* O157:H7 in two soils with different physical and chemical properties. *J. Environ. Qual.* 29:1821-1825.
- Sivapalasingam, S., C.R. Friedman, L. Cohen, and R.V. Tauxe. 2004. Fresh produce: a growing cause of outbreaks of foodborne illness in the United States, 1973 through 1997. *J. Food Prot.* 76:2342-2353.
- Tiquia, S.M. 2005. Microbiological parameters as indicators of compost maturity. *J. Appl. Microbiol.* 99:816-828.
- Turner, C. 2002. The thermal inactivation of *E. coli* in straw and pig manure. *Bioresour. Tech.* 84:57-61.
- Unc, A. and M.J. Goss. 2004. Transport of bacteria from manure and protection of water resources. *Appl. Soil. Ecol.* 25:1-18.
- Wang, G. and M. P. Doyle. 1998. Survival of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in water. *J. Food Prot.* 61:662-667.
- Wang, G., T. Zhao, and M.P. Doyle. 1996. Fate of Enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in bovine feces. *Appl. Environ. Microbiol.* 62:2567-2570.
- You, Y., S.C. Rankin, H.W. Aceto, C.E. Benson, J.D. Toth, and Z. Dou. 2006. Survival of *Salmonella enterica* serovar newport in manure and manure-amended soils. *Appl. Environ. Microbiol.* 72:5777-5783.