ISSN 0367-6315 (Print) / ISSN 2288-2162 (Online)
Korean J. Soil Sci. Fert. 46(6), 469-473 (2013)
http://dx.doi.org/10.7745/KJSSF.2013.46.6.469

Article

Survival of *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* in Chicken and Pig Manure Compost

Kyu-Seok Jung[1], Sung-Gi Heu, Eun-Jung Roh, Min-Ha Kim, Hyun-Ji Gil, Na-Young Choi, Dong-Hwan Lee, Jeong-A Lim, Jae-Gee Ryu, and Kye-Hoon Kim[1]*

National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-707, Korea
[1]Dept. of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

(Received: September 25 2013, Accepted: November 18 2013)

Livestock manure is a valuable source of nutrients and organic matter for plant. Thus, livestock manure compost is commonly used fertilizer in organic vegetable and fruit production in many countries. However, contaminated or inadequate manure compost can give negative effect to soil microorganisms. This study was conducted to investigate the survival difference of *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* in chicken and pig manure compost under the selected environmental conditions. Commercially available manure compost (pig, chicken) was inoculated with *S. enterica* and *L. monocytogenes*. Manure compost was incubated at 25℃ and consistent moisture content. Samples had been collected during 200 days depending on the given conditions. *S. enterica* survived for 130 days in pig manure compost and over 200 days in chicken manure compost, respectively. *L. monocytogenes* persisted for 120 days in pig manure compost and over 200 days in chicken manure compost, respectively. It is noted that the number of *S. enterica* and *L. monocytogenes* gradually decreased over time. The results indicate that *S. enterica* survived longer than *L. monocytogenes* in manure compost at 25℃. *S. enterica* and *L. monocytogenes* survived longer in chicken manure compost than in pig manure compost. Increased knowledge of pathogen behavior in agricultural environments is a valuable part of future work on improving risk evaluations and, in a longer perspective, in providing data for guidelines regarding safe handling of pathogen-contaminated manure compost and soil.

Key words: Livestock manure compost, Salmonella enterica, Listeria monocytogenes, Survival

Decimal reduction time (DRT) for *S. enterica* and *L. monocytogenes* in chicken and pig manure compost at 25℃.

Pathogens	Treatment	Regression equation	R^2	DRT (days)
S. enterica	Chicken manure compost	$\text{Log}_{10}A = -0.0211t + 9.5621$	0.87	47.3
	Pig manure compost	$\text{Log}_{10}A = -0.0622t + 9.1384$	0.96	16.0
L. monocytogenes	Chicken manure compost	$\text{Log}_{10}A = -0.0365t + 8.757$	0.96	27.3
	Pig manure compost	$\text{Log}_{10}A = -0.0589t + 8.8832$	0.90	16.9

*Corresponding author : Phone: +82264902689, Fax: +82222144030, E-mail: johnkim@uos.ac.kr
§Acknowledgement: This work was supported by a grant from the Agenda Program (PJ0087512013), Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

채소류는 토양에서 생산되기 때문에 자연적으로 토양에 존재하는 다양한 미생물학적 위해에 노출되어 있다 (Beuchat et al., 2001). 건강 기능학적 가치가 뛰어난 채소류는 식품의 품질을 중시하는 현대 소비자의 식품 소비 트렌드 변화에 따라 웰빙 식품으로 각광받고 있다 (Sakai, 1995). 신선한 과일과 채소 등 신선 농식품의 소비가 증가되면서 최근 신선 과일 및 채소로 인한 식중독 발생이 증가하고 있다 (Sivapalasingam et al., 2004). 병원성 미생물은 과일과 채소를 씻는 과정에서도 제거되지 않아 식중독사고와 관계가 있는 것으로 알려져 있으며 (Beuchat, 1996), 다양한 종류의 병원성 미생물이 식중독을 야기할 수 있지만 이중 *Shigella* spp., *Salmonella*, *E. coli* O157:H7, *Campylobacter* spp., *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Yersinia enterocolitica*, *Bacillus cereus*, *Clostridium botulinum*, viruses 등은 과일과 채소와 같은 신선 농산물과 관련하여 식중독 사고 및 국민의 건강상의 문제와 크게 상관성이 있는 것으로 보고되었다 (Burnett and Buechat, 2001).

퇴비화는 세계적으로 가축분뇨의 친환경적인 처리와 자원화의 방법으로 가장 많이 활용되고 있다 (Yun et al., 2012). 퇴비는 우수한 비료 자원으로서 비닐하우스, 정원, 경작지 등에서 널리 사용되고 있다 (Lung et al., 2001). 그러나 병원성 미생물이 존재하는 퇴비가 토양에 이용 될 때 지하수와 농산물을 오염시킬 수 있다 (Pell, 1997). 충분히 부숙되지 않은 퇴비는 농산물에 의한 식중독 사고의 오염원이 될 수 있다. 병원성 미생물인 *Salmonella*는 가축분뇨에 존재할 수 있고 토양에서 160～200일까지 생존할 수 있다 (Holley et al., 2006). *E. coli* O157:H7는 오염된 비료에서 뿌리를 통하여 양상추를 오염시킬 수 있으며, 양상추 잎으로 전이될 수 있다고 하였다 (Solomon et al., 2002). 많은 병원성 미생물이 토양에서 오랫동안 생존할 수 있기 때문에 가축분뇨가 농경지에 이용되기 전에 퇴비화 과정을 거치면 병원균 전이의 위험성을 줄일 수 있다 (Bolton et al., 2012). Jung et al. (2011)은 유통되는 가축분 퇴비에서 대장균군, 대장균, *B. cereus* 등이 검출되었고 *S. enterica*와 *L. monocytogenes*는 검출되지 않았다고 하였다. 고온의 퇴비화 과정을 거치므로 가축분 퇴비에서 병원성 미생물이 검출될 확률은 극히 낮지만 충분한 부숙과정을 거치지 않거나 비위생적인 보관환경일 경우 병원성 미생물이 검출될 가능성이 있다.

우리나라는 계분퇴비와 돈분퇴비가 주로 생산되고 있지만 병원성 미생물에 오염되었을 때 어떤 종류의 퇴비가 더 위험성이 있는지 연구할 필요가 있다. 병원성 미생물의 생존에 유리한 퇴비 종류는 농산물 안전성을 향상시키기 위해 제조 시 또는 사후 관리에 더욱 주의할 필요가 있을 것이다. 본 연구는 국내에서 유통되는 가축분 퇴비를 대상으로 퇴비 종류에 따른 병원성 미생물 (*S. enterica*, *L. monocytogenes*)의 생존능 및 생존기간을 비교, 분석하고 안전한 농산물 생산을 위한 퇴비의 안전한 생산과 이용에 필요한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

Materials and Methods

사용 균주 및 시료채취 국내 축산의 주요 축종인 돼지와 닭의 분뇨를 주원료로 생산, 유통되는 가축분 퇴비를 수집하였고 접종 균주로 *S. enterica* ATCC 13311와 *L. monocytogenes* ATCC 15313를 사용하였다. 사용된 균주는 Tryptic Soy Broth (Difco Co., Detroit, MI, USA)에 접종하여 37℃ shaking incubator (VS 8480, Vision Science, Korea) 250～280 rpm에서 18시간 배양하였다. 배양액은 10,000 rpm에서 2분간 원심분리하여 상층액은 버리고 0.1% Buffered Peptone Water (Difco Co., Detroit, MI, USA) 20 mL을 가한 후 washing 과정을 2회 실시한 다음 세균수가 약 10^8 CFU mL^{-1}이 되도록 농도를 맞추어 사용하였다. 멸균된 퇴비 각각 300 g을 멸균된 polypropylene box (2.3 L, Locknlock co., Korea)에 넣고, 여기에 준비해 놓은 각각의 균주별 접종액 30 mL을 가한 후 균질화하였다. 사전 실험을 통해 polypropylene box (Locknlock)의 수분손실이 거의 일어나지 않는 것을 확인하였고, 같은 수준의 퇴비 수분함량으로 실험을 하였다. 가축분 퇴비에 유해미생물 접종 후 수분손실을 막기 위하여 밀봉상태를 유지하면서 25℃의 incubator (VS 1203 PFC, Vision Science, Korea)에서 200일 동안 배양하면서 매주 1회씩 주기적으로 시료를 채취하여 시험을 실시하였다. 시험에 사용한 가축분 퇴비의 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

유해미생물의 분리 및 동정 *S. enterica*와 *L. monocytogenes*의 분리는 채취한 시료를 균질화한 뒤 3 g을 취해서 buffered peptone water (Difco) 27 mL에 접종한 후 stomacher (easyMIX, AES CHEMUNEX, France)로 2분 동안 균질화하

Table 1. Chemical properties of chicken and pig manure compost used in the experiment.

Compost	pH	C/N ratio	OM	T-N	T-P_2O_5	T-K_2O	T-CaO	T-MgO
			(%)					
Chicken manure compost	7.82	31.06	67.71	1.43	1.67	1.41	6.24	0.90
Pig manure compost	5.48	45.00	81.70	0.75	0.67	0.69	0.61	0.33

였다. 균질화 된 시료는 buffered peptone water (Difco)를 이용하여 10배씩 연속 희석하였다. *S. enterica*와 *L. monocytogenes*의 정량적 분석을 위해서 앞에서 준비한 시료 1 mL를 xylose lysine deoxycholate agar (Difco) 와 oxford agar (Difco)위에 각각 도말하여 37℃에서 24~48시간 배양하였다. 배양 후 각 배지 위에 형성된 colony를 계수하여 colony forming unit (CFU) g^{-1}으로 나타내었다. 의심집락은 세균부유액과 반응한 산물의 색변화로 판단하는 API test (bioMerieux, Marcy 1'Etoile, France), 항원항체의 응집반응결과로 판단하는 Latex test (Oxoid Ltd., Hampshire, UK) 또는 PCR을 수행하여 동정하였다.

DRT 측정식 미생물이 90% 사멸하는 데 걸리는 시간인 DRT (decimal reduction time) 값은 다음과 같은 식에 적용하여 계산하였다 (Himathongkham et al., 1999). Regression equation은 Microsoft Excel 프로그램을 이용하여 구하였다.

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

N_0: 미생물의 초기밀도, N: 미생물의 최종밀도, t: 시간

Results and Discussion

가축분 퇴비에서 *S. enterica*의 생존변화 국내에서 유통되는 가축분 퇴비에 *S. enterica*를 접종하여 생존 변화 양상을 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. *S. enterica*의 생존양상은 퇴비종류에 따라서 다른 경향을 나타내었는데 계분퇴비에서 오래 생존하였고, 돈분퇴비에서는 사멸속도가 빨랐다. 계분퇴비에서 초기농도는 8.23 log CFU g^{-1}이었고 0~7일까지는 약간 증가하다가 그 이후 점차 감소하였다. 돈분퇴비에서 초기농도는 7.96 log CFU g^{-1}이었고 0~7일까지는 약간 증가하다가 그 이후로 급격히 사멸하였다. Nyberg et al. (2010)는 *S.* Typhimurium과 *E. coli* O157:H7이 우분보다 계분을 포함한 토양에서 더 오래 생존하였고 사멸속도도 느렸다고 하였는데 본 결과도 비슷한 경향을 보였다. 이는 계분에 병원성 미생물이 오랫동안 생존할 수 있는 영양분이 더 많이 포함되어 있기 때문이라고 생각한다. Jones (1986)은 소의 분변이 포함된 토양에서 *Salmonella* spp.가 300일 동안 생존하였고, 가축분뇨가 포함된 토양에서 256일 동안 생존했다고 하였으며 토양에서는 968일까지 생존하였다고 보고하였다. Kudva et al. (1998)은 *E. coli* O157:H7이 소의 분변에서 21개월 동안 생존하였고 분변을 주기적으로 뒤집기하면 생존기간이 4개월 이었다고 하였다. 돈분퇴비와 계분퇴비에 따라 사멸속도의 차이는 있지만 120일까지는 퇴비에서 생존하므로 식품안전을 위협하는 잠재적인 위험 요소가 될 수 있어 철저한 주의가 필요하다. 우리나라에서 유통되는 돈분퇴비와 계분퇴비가 *S. enterica*에 오염되었을 때 장기간 생존할 수 있다는 것을 보여주고 있다. Francis et al. (2003)은 total coliforms이 고온이 발생하는 퇴비화 과정 중에도 14일 이상 생존할 수 있다고 하였고 *E. coli*는 45일 동안 생존할 수 있다고 보고하였다. 이는 가축분뇨가 충분히 부숙되지 못하고 퇴비화한다면 병원성 미생물이 잔존할 수 있고 장시간 퇴비 속에서 생존할 수 있어서 식중독 사고의 원인이 될 수 있다는 것을 의미한다. Kim et al. (2009)은 퇴비 여액에서 *Salmonella* spp.이 7일 동안 증가하였다고 하였는데 *S. enterica*가 돈분퇴비와 계분퇴비에서 접종 직후 증가한 본 실험결과와 흡사하였다. 돈분퇴비와 계분퇴비가 *S. enterica*에 오염되었을 때 증식할 수 있기 때문에 비위생적인 환경에 노출되지 않도록 주의해야 한다고 생각한다. Jones (1986)은 토양에서 *Salmonella* spp.의 생존에 영향을 미치는 요인으로 초기 미생물의 수, 온도, 서리, 수분함량, 습도, 광, 염농도, 토성, 유기물함량, 다른 미생물의 존재유무 등이 있다고 하였는데 돈분퇴비와 계분퇴비는 가축분 원료가 다르므로 *S. enterica*의 생존에 서로 다른 요인이 작용할 것이라고 생각한다. 가축분뇨는 병원성 미생물의 전염 매개체로 우려된다 (Veling et al., 2002). Boes et al. (2005)은 *Salmonella*와 같은 병원성 미생물을 감소시키거나 사멸시키기 위한 방법으로 석회, 암모니아, 요소, 퇴비화 처리 등이 있다고 하였다. 이러한 방법 중 석회처리는 비료적 가치는 적지만 널리 이용되는 방법이라고 하였고 퇴비화는 효과적이지만 시설과 시간을 필요로 한다고 하였으며 (Bolton et al., 2012), 낮은 농도에서 요소와 암모니아 처리는 안전하고 경제적이면서 슬러리의 효과를

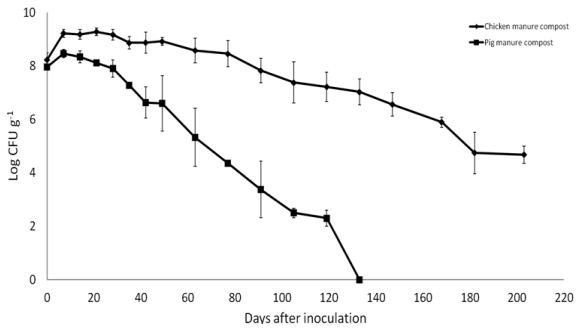

Fig. 1. *S. enterica* survival in chicken and pig manure compost at 25℃ (*n*=9, error bars=SD).

Table 2. Decimal reduction time (DRT) for *S. enterica* in chicken and pig manure compost at 25℃.

Treatment	Regression equation	R^2	DRT (days)
Chicken manure compost	$Log_{10}A$ = -0.0211t + 9.5621	0.87	47.3
Pig manure compost	$Log_{10}A$ = -0.0622t + 9.1384	0.96	16.0

향상시킬 수 있는 방법이라고 하였다 (Ottoson et al., 2008). 우리나라는 퇴비화 처리를 가장 널리 사용하고 있다. Table 2은 퇴비 내 *S. enterica*의 DRT값을 나타낸 것이다. 계분퇴비에서 47.3일, 돈분퇴비에서 16.0일이었는데 계분퇴비에서 더 오래 생존하는 결과를 보였다.

가축분 퇴비에서 *L. monocytogenes*의 생존변화 Fig. 2는 가축분 퇴비 내 *L. monocytogenes*의 생존변화를 나타낸 것이다. 계분퇴비에서 초기농도 8.00 log CFU g^{-1}이었고 0～40일까지는 비슷한 수준을 유지하다가 그 이후로 서서히 감소하였다. 돈분퇴비에서는 초기농도 7.94 log CFU g^{-1}이었고 0～110일까지는 점점 감소 후 120일 정도에 모두 사멸하였다. Table 3은 퇴비 내 *L. monocytogenes*의 DRT값을 나타낸 것으로 계분퇴비에서 27.3일, 돈분퇴비에서 16.9일이었는데 *S. enterica*와 마찬가지로 계분퇴비에서 더 오래 생존하는 결과를 보였다. Table 1에서 보면 계분퇴비가 돈분퇴비보다 질소, 인산, 칼리, 석회, 마그네슘 등의 함량이 2배 이상 많다는 것을 알 수 있다. 돈분퇴비보다 계분퇴비에 많은 양의 양분이 포함되어 있고 병원성 미생물의 생존에 더 유리한 조건이기 때문에 오래 생존할 수 있다고 생각한다. *L. monocytogenes*는 계분퇴비와 돈분퇴비에서 *S. enterica*보다 빨리 사멸하는 결과를 보였는데 이는 *L. monocytogenes*의 퇴비에서의 생존능력이 *S. enterica*보다 낮다는 것을 알 수 있다. Kim et al. (2009)은 퇴비에서 *L. monocytogenes*가 *S. enterica*보다 사멸속도가 빠르다고 하였는데 본 실험결과와 같은 경향을 보였다. *S. enterica*가 돈분퇴비와 계분퇴비에서 접종 직후 증가하는 경향을 보였지만 *L. monocytogenes*는 증가하지 않고 비슷한 수준을 유지하였다.

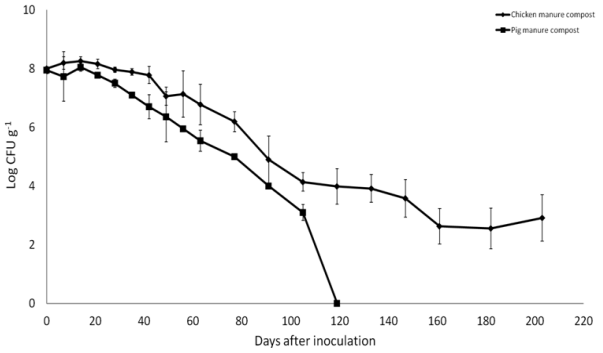

Fig. 2. *L. monocytogenes* survival in chicken and pig manure compost at 25℃ (*n*=9, error bars=SD).

Table 3. Decimal reduction time (DRT) for *L. monocytogenes* in chicken and pig manure compost at 25℃.

Treatment	Regression equation	R^2	DRT (days)
Chicken manure compost	$Log_{10}A = -0.0365t + 8.757$	0.96	27.3
Pig manure compost	$Log_{10}A = -0.0589t + 8.8832$	0.90	16.9

가축분뇨에는 다양한 병원성 미생물이 포함되어 있고 인간과 동물들을 감염시킬 수 있는 중요한 오염원이 될 수 있다 (Maule, 2000). 병원성 미생물에 오염된 토양이나 퇴비가 농산물에 접촉되어 사람이 오염 농산물을 섭취하면 식중독이 발생할 수 있다 (Morgan et al., 1988). Maule (2000)은 병원성 미생물이 토양이나 퇴비에 장시간 생존할 수 있고 인간에게 전이가 되어 감염시킬 수 있다고 하였다. Morgan et al. (1988)은 영국에서 *E. coli* 0157에 의한 최초의 식중독 사고는 토양에 오염된 병원균과 관여되어 있다고 하였는데 당시 24명의 환자 중 1명이 사망하였다. 따라서 농산물에 의한 식중독 사고를 예방하기 위해서는 오염원이 될 수 있는 퇴비와 관개수의 안전한 관리가 중요하다. Larney et al. (2003)은 퇴비화 과정을 통해 가축분뇨를 충분히 부숙한 후에 대장균군이 7～8 log CFU g^{-1}에서 2～3 log CFU g^{-1}로 감소하였고, 병원성 미생물도 검출되지 않았다고 보고하였다. Lung et al. (2001)은 분변에 존재하는 병원성 또는 비병원성 미생물은 퇴비화 과정 동안 발생되는 열에 의하여 감소된다고 보고하였다. 그러므로 안전한 퇴비를 생산하기 위하여 충분한 부숙과정을 거치는 것이 무엇보다 중요하다고 생각한다. 본 연구결과로 볼 때 돈분퇴비와 계분퇴비가 *S. enterica*와 *L. monocytogenes* 같은 병원성 미생물에 오염이 된다면 계분퇴비의 위험성이 더 크므로, 계분퇴비 제조 시 충분한 부숙과정을 거치거나 부숙 후 안전관리에 더욱 각별한 주의가 필요하다고 생각한다.

Conclusions

본 연구는 국내에서 유통되는 가축분 퇴비를 대상으로 퇴비종류에 따른 병원성 미생물 (*S. enterica, L. monocytogenes*)의 생존능 및 생존기간을 비교, 분석하고 안전한 농산물을 생산하기 위하여 퇴비의 안전한 생산과 이용에 기초자료를 제공하고자 수행하였다. 국내 유통되는 가축분 퇴비에 *S. enterica*와 *L. monocytogenes*를 접종하여 퇴비종류에 따른 생존 변화양상을 조사한 결과, *S. enterica*의 생존양상은 퇴비종류에 따라서 다른 경향을 나타내었는데 계분퇴비에서 오래 생존하였고, 돈분퇴비에서는 사멸속도가 빨랐다. *L. monocytogenes*의 생존변화를 실험한 결과, 돈분퇴비보다 계분퇴비에서 더 오래 생존하는 결과를 보였다. *S. enterica*와 *L. monocytogenes*은 계분퇴비에서 생존력이 높기 때문에 계분퇴비 생산 시에 더욱 주의가 필요하다고 생각한다. 퇴비를 생산할 때 충분한 부숙기간을 거치면 고온으로 인해 병원성 미생물이 사멸하기 때문에 충분한 부숙기간을 준수하는 것이 농산물의 안전을 위하여 반드시 필요하다고 판단된다.

References

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.

Boes, J., L. Alban, J. Bagger, V. Mogelmose, D.L. Baggensen, and J.E. Olsen. 2005. Survival of *Escherichia coli* and *Salmonella Typhimurium* in slurry applied to clay soil on a Danish swine farm. Prev. Vet. Med. 69:213-228.

Bolton, D.J., C. Ivory, and D.A. McDowell. 2012. The effect of urea and ammonia treatments on the survival of *Salmonella* spp. and *Yersinia enterocolitica* in pig slurry. J. Appl. Microbiol. 114:134-140.

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.

Francis, J.L, L.J. Yanke, J.J. Miller, and T.A. McAllister. 2003. Fate of coliform bacteria in composted beef cattle feedlot manure. J. Environ. Qual. 32:1508-1515.

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.

Holley, R.A., K.M. Arrus, K.H. Ominski, M. Tenuta, and G. Blank. 2006. *Salmonella* survival in manure-treated soils during simulated seasonal temperature exposure. J. Environ. Qual. 35:1170-1180.

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.

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.

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.

Larney, F.J., L.J. Yanke, J.J. Miller, T.A. McAllister. 2003. Fate of coliform bacteria in composted beef cattle feedlot manure. J. Environ. Qual. 32:1508-1515.

Lung, A.J., C.M. Lin, J.M. Kim, M.R. Marchall, R. Nordstedt, N.P. Thompson, and C.I. Wei. 2001. Destruction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enteritidis* in cow manure composting. J. Food Prot. 64:1309-1314.

Maule, A. 2000. Survival of verocytotoxigenic *Escherichia coli* O157:H7 in soil, water and on surfaces. J. Appl. Microbiol. 88:71-78.

Morgan, G.M., C. Newman, S.R. Palmer, J.B. Allen, W. Shepherd, A.M. Rampling, R.E. Warren, R.J. Gross, S.M. Scotland, and H.R. Smith. 1988. First recognised community outbreak of haemorrhagic colitis due to verotoxin-producing *Escherichia coli* 0157 in the UK. Epidemiology and Infection 101:83-91.

Nyberg, K.A., B. Vinneras, J.R. Ottoson, P. Aronsson, and A. Albihn. 2010. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella Typhimurium* in manure-amended soils studied in outdoor lysimeters. Appl. soil Ecol. 46:398-404.

Ottoson, J., A. Nordin, D. Von Rosen, and B. Vinneras. 2008. *Salmonella* reduction in manure by addition of urea and ammonia. Bioresour. Technol. 99:1610-1615.

Pell, A.N. 1997. Manure and microbes: Pubic and animal health problem. J. Dairy Sci. 80:2673-2681.

Sakai, S. 1995. Application and development of electrolyzed oxidizing water. Food Ind. 4, 35-41.

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. 67:2342-2353.

Solomon, E.B., S. Yaron, and K.R. Matthews. 2002. Transmission of *Escherichia coli* O157:H7 from contaminated manure and irrigation water to lettuce plant tissue and its subsequent internalization. Appl. Environ. Microbiol. 68:397-400.

Veling, J., H. Wilpshaar, K. Frankena, C. Bartels, and H.W. Barkema. 2002. Risk factors for clinical *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar Typhimurium infection on Dutch dairy farms. Prev. Vet. Med. 54:157-168.

Yun, H.B., Y.J. Lee, M.S. Kim, S.M. Lee, Y. Lee, and Y.B. Lee. 2012. Composting of pig manure affected by mixed ratio of sawdust and rice hull. Korean J. Soil Sci. Fert. 45(6): 1032-1036.