

Effect of Temperature on Survival of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in Livestock Manure Compost

Kyu-Seok Jung^{1,2}, Sung-Gi Heu¹, Eun-Jung Roh¹, Min-Ha Kim¹, Hyun-Ji Gil¹, Na-Young Choi¹,
Dong-Hwan Lee¹, Jeong-A Lim¹, Jae-Gee Ryu¹, 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

(Received: September 25 2013, Accepted: December 9 2013)

Animal manure compost is a commonly used fertilizer in organic vegetable and fruit production in Korea. However, livestock manure compost produced from animal feces can contain a lot of the non-pathogenic and pathogenic bacteria. Of particular concern are bacteria causing human food-borne illness such as *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes*. The objective of this study was to investigate effect of temperature on survival of *E. coli* O157:H7 and *L. monocytogenes* in livestock manure compost. Commercial livestock manure compost (manure 60%, sawdust 40%) was inoculated with *E. coli* O157:H7 and *L. monocytogenes*. 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. *E. coli* O157:H7 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 120 days at 35°C, respectively. *L. monocytogenes* persisted for up to 1 day in livestock manure compost at 55°C and 140 days at 10°C, 70 days at 25°C, and 40 days at 35°C, respectively. The results indicated that *E. coli* O157:H7 and *L. monocytogenes* persisted longer under low temperature condition. *E. coli* O157:H7 survived longer than *L. monocytogenes* at three different temperatures (10, 25, and 35°C). The results are being used to develop guidelines on the management of manure to reduce the risks of *E. coli* O157:H7 and *L. monocytogenes* transmission to foods produced in the presence of animal waste.

Key words: Livestock manure compost, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, Survival

Decimal reduction time (DRT) for *E. coli* O157:H7 and *L. monocytogenes* in livestock manure compost at 10, 25, 35°C.

| Pathogens | Treatment | Regression equation | R ² | DRT (days) |
|-------------------------|-----------|--|----------------|------------|
| <i>E. coli</i> O157:H7 | 10°C | $\text{Log}_{10}A = -0.0034t + 7.997$ | 0.34 | 294.1 |
| | 25°C | $\text{Log}_{10}A = -0.0383t + 8.5464$ | 0.90 | 26.1 |
| | 35°C | $\text{Log}_{10}A = -0.0509t + 6.7447$ | 0.82 | 19.6 |
| <i>L. monocytogenes</i> | 10°C | $\text{Log}_{10}A = -0.0079t + 8.4848$ | 0.30 | 126.5 |
| | 25°C | $\text{Log}_{10}A = -0.0867t + 7.197$ | 0.88 | 11.5 |
| | 35°C | $\text{Log}_{10}A = -0.1199t + 6.1628$ | 0.75 | 8.3 |

*Corresponding author : Phone: +82264902689, Fax: +82222144030, E-mail: johnkim@uos.ac.kr

§Acknowledgement: This work was supported by a grant from the Agenda Program (PJ0085132013), Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

식중독 발생은 생활수준이 높은 선진국에서조차 계속해서 증가하는 추세에 있고 인간의 건강을 해칠 뿐 아니라 막대한 경제적인 손실을 야기하고 있다. 우리나라 또한 국가 경제가 발달하고 1인당 국민소득이 향상됨에 따라 급식, 외식 산업이 증가하고 매년 다수의 식중독 사고가 발생하고 있다. 신선 채소류나 샐러드 제품은 대부분 별도의 조리과정 없이 바로 섭취하기 때문에 원료에서 유래된 식중독균에 쉽게 노출될 수 있어 전 세계적으로도 과일 및 채소류에서 비롯된 식중독 사고가 증가하고 있는 추세이다 (Jo et al., 2011). 부패 미생물과 효모, 곰팡이 등이 야채나 과일에서의 우세한 미생물로서 존재하지만 식중독을 야기하는 병원성 미생물의 오염도 최근 다수의 보고에 의하여 관찰되었다 (Beuchat et al., 2001). 병원성 및 부패 미생물은 과일과 채소에 여러 가지 원인에 의하여 오염될 수 있는데, 수확하기 전의 오염 원인으로는 토양, 분변, 관계용수, 곤충, 가축을 포함한 동물, 사람의 취급 등을 들 수 있고 수확 후의 오염 원인으로는 분변, 사람의 취급, 수확 시 이용되는 기구, 이동 컨테이너, 먼지, 세척용수, 얼음, 가공 및 수송 시 이용되는 시설 등을 들 수 있다 (Burnett et al., 2001).

가축분뇨의 퇴비화와 액비화는 가축분뇨의 생물학적인 공정을 통하여 생산되는 안전한 자원이나 병원성 미생물에 의해 오염된 가축분뇨를 사용할 경우 작물에 의해 수확된 신선 농산물에 병원성 미생물이 전이될 가능성이 있다 (Brackett, 1999). Murinda et al. (2002)은 소의 분변에서 *Salmonella*가 검출된다고 하였고 Hutchison et al. (2004)은 가축분변에서 *Escherichia coli* O157, *Salmonella*, *Listeria* 등이 검출된다고 보고하였다. 축산 분뇨는 부숙 시 많은 미생물이 사멸하나 동물의 분뇨 혹은 사체와 같은 유기물을 이용한 퇴비의 제조과정에서 적정한 숙성과정을 거치지 않고 비료로 사용할 경우 토양을 오염시키고, 병원성 미생물이 배양되며 그 결과 농산물 오염의 원인이 될 수 있다. 영양성분이 높은 퇴비를 사용한 토양에서 자란 신선 농산물에서 병원성미생물의 오염이 있을 수 있으며 비료, 토양, 신선 농산물에 병원성미생물이 생존 할 수 있다 (Franz et al., 2005). Maule (2000)은 *E. coli* O157:H7가 토양에서 130일 동안 생존할 수 있다고 하였으며, 가축분 퇴비 및 슬러리에 *S. Typhimurium*은 장기간 생존할 수 있다고 보고하였다 (Himatbongkham et al., 1999).

가축분 퇴비나 토양에서 병원성 미생물의 생존에 영향을

미치는 요인으로는 온도, 습도, 식물의 존재유무, 토양종류, UV의 노출유무, 초기 균수, 원생동물 등이 있다 (Jacobsen et al., 2012). 본 연구는 국내에서 유통되는 가축분 퇴비를 대상으로 퇴비화 과정을 거친 후 보관단계에서 오염이 되었을 때 온도가 병원성 미생물 (*E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*)의 생존에 미치는 영향을 알아보고 농산물의 안전성을 확보하기 위하여 안전한 가축분 퇴비의 생산과 이용에 도움을 주고자 수행하였다.

Materials and Methods

사용 균주 및 시료채취 국내 축산의 주요 축종인 돼지의 분뇨를 주원료로 생산, 유통되는 가축분 퇴비를 수집하였고 접종 균주로 *E. coli* O157:H7와 *L. monocytogenes* ATCC 15313를 사용하였다. 사용된 균주는 Tryptic Soy Broth (Difco Co., Detroit, MI, USA)에 접종하여 37°C 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) 20 mL을 가한 후 washing 과정을 2회 실시한 다음 세균수가 약 10⁸ CFU mL⁻¹이 되도록 농도를 맞추어 사용하였다. 멸균된 퇴비 각각 500 g을 멸균된 polypropylene box (2.3L, Locknlock co., Korea)에 넣고, 여기에 준비해 놓은 각각의 균주별 접종액 50 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 10, 25, 35, 55°C의 incubator (VS 1203 PFC, Vision Science, Korea)에서 140일 동안 배양하면서 매주에 1회씩 주기적으로 시료를 채취하여 시험을 실시하였다. 시험에 사용한 퇴비의 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

유해미생물의 분리 및 동정 *E. coli* O157:H7와 *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 균질화하였다. 균질화 된 시료는 buffered peptone water (Difco)를 이용하여 10배씩 연속 희석하였다. *E. coli* O157:H7와 *L. monocytogenes*의 정량적 분석을 위해서 앞에서 준비한 시료 1 mL를 Macconkey sorbitol agar (Difco)와 Oxford

Table 1. Chemical properties of livestock manure compost used in the experiment.

| pH | C/N ratio | OM | T-N | T-P ₂ O ₅ | T-K ₂ O | T-CaO | T-MgO |
|-----------------|-----------|-------|------|---------------------------------|--------------------|-------|-------|
| ----- (%) ----- | | | | | | | |
| 5.48 | 45.00 | 81.70 | 0.75 | 0.67 | 0.69 | 0.61 | 0.33 |

agar (Difco)위에 각각 도말하여 37°C에서 24~48시간 배양하였다. 배양 후 각 배지 위에 형성된 colony를 계수하여 colony forming unit (CFU) g⁻¹으로 나타내었다. 의심집락은 세균부유액과 반응한 산물의 색변화로 판단하는 API test (bioMerieux, Marcy l'Etoile, France), 항원항체의 응집반응 결과로 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 온도에 따른 *E. coli* O157:H7의 생존 변화 국내에서 유통되는 가축분 퇴비에 *E. coli* O157:H7를 접종하여 온도에 따른 생존 변화양상을 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. *E. coli* O157:H7의 생존양상은 처리온도에 따라서 각기 다른 경향을 나타내었는데 10°C에서 가장 오래 생존하였고, 55°C에서는 하루 만에 사멸하였다. 처리온도 10°C에서 초기농도는 7.84 log CFU g⁻¹이었고 그 이후 140일까지는 거의 변화가 없었다. 처리온도 25°C에서 초기농도는 7.85 log CFU g⁻¹이었고 0~7일까지는 약간 증가하다가 그 이후로 점점 감소하였다. 35°C에서는 0~20일까지 약간 증가한 후 급격히 감소하였고 그 이후 110일까지는 점점 감소하다가 120일에 전부 사멸하였다. 55°C에서는 접종 1일 경과 후에 모두 사멸하였다. 생존기간은 처리온도가 10, 25, 35, 55°C 순으로 높아질수록 빨리 사멸하는 결과를 보

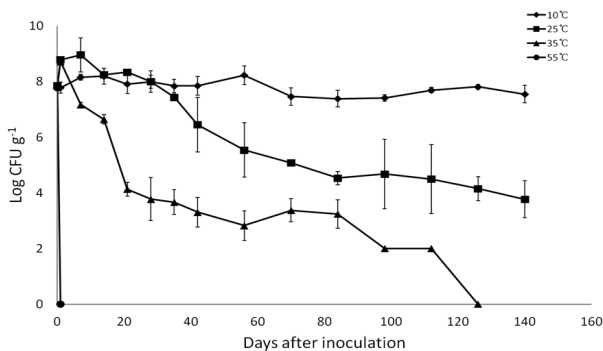


Fig. 1. *E. coli* O157:H7 survival in livestock manure compost under different (10, 25, 35, 55°C) temperatures ($n=9$, error bars=SD).

였다. Wang et al. (1996)은 소의 분변에서 *E. coli* O157:H7이 5°C에서 63일, 22°C에서 49일, 37°C에서 42일 동안 생존할 수 있다고 하였고, Himathongkham et al. (1999)은 우분 퇴비에서 *E. coli* O157:H7와 *S. enterica*를 5 log CFU g⁻¹ 감소시키기 위해 4°C에서 105일, 37°C에서 45일간의 부숙기간이 필요하다고 하였는데 온도가 높아질수록 사멸속도가 빨라지는 결과는 본 연구결과와 흡사하였다. Kudva et al. (1998)은 양(羊)의 분뇨로 생산한 퇴비에서 *E. coli* O157:H7이 4개월 동안 생존할 수 있다고 보고하였고 You et al. (2006)는 가축분 퇴비가 포함된 토양에서 *Salmonella* spp.는 332일까지 생존할 수 있다고 하였다. 본 실험결과 중 10, 25°C에서 약 5개월 이상 생존할 수 있는 결과로 볼 때 *E. coli* O157:H7이 우리나라에서 생산한 퇴비에서도 장기간 생존할 수 있다는 것을 보여주고 있다. Jacobsen et al. (2012)은 토양에서 *Salmonella* spp.는 온도, 습도, 식물의 존재유무, 토양종류, UV의 노출유무, 초기 균수, 원생동물 등의 영향을 받는다고 하였고 Arrus et al. (2006)은 온도가 일반 환경 내에서 병원성 세균의 생존에 영향을 미치는 중요한 요인이라고 하였으며 Guan et al. (2003)은 돈분 퇴비 내에 존재하는 *Salmonella* spp.의 생존에 영향을 미치는 주된 요인을 온도라고 하였다. Garcia et al. (2010)는 *S. Typhimurium*이 토양이나 퇴비 내에서 15°C, 25°C보다 5°C에서 더 오래 생존할 수 있다고 하였고, Semenov et al. (2007)는 *S. Typhimurium*이 7°C보다 23°C에서 더 빨리 사멸하였다고 보고하였다. 본 연구에서도 온도가 낮아질수록 오랫동안 생존할 수 있는 유사한 결과를 나타내었고 *E. coli* O157:H7의 생존력에 온도가 크게 영향을 미치고 있다는 것을 보여주고 있다. Table 2은 퇴비 내 *E. coli* O157:H7의 DRT 값을 나타낸 것으로 10°C에서 294.1일, 25°C에서 26.1일, 35°C에서 19.6일이었는데 온도가 높아질수록 DRT값이 낮아지는 결과를 보였다. 특히 10°C는 다른 온도와 값의 차이가 컸는데 저온에서 *E. coli* O157:H7가 오염되면 감소하기가 어렵다는 것을 보여주고 있어 관리상 각별한 주의가 요구된다. 우분 슬러리에서 *Salmonella* spp.는 DRT 값이 4°C에서 65.7일, 20°C에서 2.8일, 37°C에서 2.5일이었고, *E. coli* O157:H7은 4°C에서 38.7일, 20°C에서 7.6일, 37°C에서 2.2일이라고 하였는데 (Himathongkham et al., 1999) 온도가 높아지면 DRT값이 감소하는 본 결과와 흡사한 경향을 보였다.

Table 2. Decimal reduction time (DRT) for *E. coli* O157:H7 in livestock manure compost at 10, 25, 35°C.

| Treatment | Regression equation | R ² | DRT (days) |
|-----------|---|----------------|------------|
| 10°C | Log ₁₀ A = -0.0034t + 7.997 | 0.34 | 294.1 |
| 25°C | Log ₁₀ A = -0.0383t + 8.5464 | 0.90 | 26.1 |
| 35°C | Log ₁₀ A = -0.0509t + 6.7447 | 0.82 | 19.6 |

가축분 퇴비에서 온도에 따른 *L. monocytogenes*의 생존변화 Fig. 2는 가축분 퇴비 내 *L. monocytogenes*의 생존변화를 나타낸 것으로 10°C 처리온도에서 초기농도 7.13 log CFU g⁻¹이었고 0~20일까지는 감소 후 점점 증가하여 그 이후 100일까지는 큰 변화가 없었으며 100일 이후에는 점점 감소하였다. 처리온도 25°C 에서 초기농도는 7.36 log CFU g⁻¹이었고 0~15일까지는 감소하다가 그 이후로 약간 증가하였고 그 이후 60일까지는 점점 감소하는 경향을 보였으며 70일 정도에 전부 사멸하였다. 35°C에서는 0~20일까지 급격히 감소하다가 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 순으로 감소했는데 *E. coli* O157:H7와 마찬가지로 온도가 높아질수록 사멸속도가 빨라지는 결과를 볼 수 있었다. 특히 55°C에서는 *E. coli* O157:H7와 *L. monocytogenes*이 하루 만에 사멸하였는데 이 결과로 보아 퇴비를 생산할 때 최소 55°C 이상으로 부숙시키면 병원균을 모두 사멸시킬 수 있다고 생각한다. *L. monocytogenes*는 25°C, 35°C에서 70일 이내에 사멸하는 것으로 나타났는데 120일 이상까지 생존한 *E. coli* O157:H7보다 생존기간이 더욱 짧다는 것을 알 수 있다. 이는 그람음성균인 *E. coli* O157:H7가 퇴비 내에서 그람양성균인 *L. monocytogenes*보다 양분 요구도가 더욱 낮기 때문에 오래 생존한 것으로 보인다 (Jay, 2000). 처리온도 10°C에서는 40일까지 2 log CFU g⁻¹ 정도 증가를 하였는데 이는 *L. monocytogenes*가 저온에서 생존력이 강하고 증식할 수 있는 특성을 가지고 있기 때문인 것으로 생각한다. Kim et al. (2009)은 가축분 퇴비여액에서 *L. monocytogenes* 등이 22°C

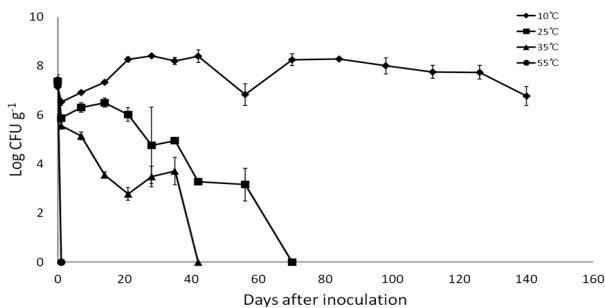


Fig. 2. *L. monocytogenes* survival in livestock manure compost under different (10, 25, 35, 55°C) temperatures (n=9, error bars=SD).

Table 3. Decimal reduction time (DRT) for *L. monocytogenes* in livestock manure compost at 10, 25, 35°C.

| Treatment | Regression equation | R ² | DRT (days) |
|-----------|---|----------------|------------|
| 10°C | Log ₁₀ A = -0.0079t + 8.4848 | 0.30 | 126.5 |
| 25°C | Log ₁₀ A = -0.0867t + 7.197 | 0.88 | 11.5 |
| 35°C | Log ₁₀ A = -0.1199t + 6.1628 | 0.75 | 8.3 |

조건에서 증식할 수 있다고 하였다. Bajard et al. (1996)은 *L. monocytogenes*가 0°C 이하의 온도에서도 증식할 수 있다고 하였고 Mclaughlin et al. (2011)은 토양에서 25°C, 30°C 보다 8°C에서 *L. monocytogenes*가 더 오래 생존하였고 저온에서는 물질대사율이 낮아지기 때문에 온도스트레스에 대한 저항성이 커진다고 하였다. *L. monocytogenes*는 퇴비의 저온보관에서 특별한 주의가 필요한 병원성 미생물이라고 생각한다. Table 3는 퇴비 내 *L. monocytogenes*의 DRT 값을 나타낸 것으로 10°C에서 126.5일, 25°C에서 11.5일, 35°C에서 8.3일로 온도 증가에 따라서 사멸속도가 빨라지는 결과를 보였다.

퇴비를 사용하여 안전농산물을 생산하기 위해서 가장 중요한 것은 병원성 미생물이 존재하지 않는 퇴비를 제조하는 방법이다. 안전한 퇴비를 생산하기 위해서는 부숙조건, 병원성 미생물이 사멸할 수 있는 부숙온도, 부숙시간 등을 준수해야 한다. 퇴비 부숙 시 최소 부숙온도를 55°C, 최소 부숙기간을 1일 이상으로 하면 병원성 미생물이 모두 사멸할 수 있어 안전한 퇴비를 생산할 수 있다고 생각한다. 또한 충분히 부숙된 퇴비가 야생동물에 의해 오염될 가능성이 있으므로 철저한 위생 관리가 필요하다고 생각한다.

Conclusions

본 연구는 국내에서 유통되는 가축분 퇴비를 대상으로 온도에 따른 병원성 미생물 (*E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*)의 생존능 및 생존기간을 조사하고 농산물의 안전성을 확보하기 위하여 안전한 가축분 퇴비의 생산과 이용에 도움을 주고자 수행하였다. 국내 유통되는 가축분 퇴비에 *E. coli* O157:H7와 *L. monocytogenes*를 접종하여 온도에 따른 생존 변화양상을 조사한 결과, 처리온도에 따라서 다른 경향을 나타내었는데 10°C에서 가장 오래 생존하였고, 55°C에서는 하루 만에 사멸하였다. 생존기간은 처리온도가 10, 25, 35, 55°C 순으로 높아질수록 빨리 사멸하는 결과를 보였다. 고온일수록 사멸속도가 빠르기 때문에 퇴비를 고온처리를 하여 사용하면 농산물의 안전에 큰 도움이 될 것이라고 생각한다. 가축분뇨의 부숙은 병원체의 사멸에 중요한 절차이기 때문에, 충분한 부숙과정을 거치지 않은 퇴비의 경우 여러 가지 병원성 미생물 및 기생충들이 채소나 과일에 오염되기가 쉬우므로 부숙의 중요성이 많이 강조되고 있다. 또한 충분히 부숙된 퇴비가 야생동물에 의해 오염될 가능성이 있으므로 철저한 위생적인 관리가 필요하다고 판단된다.

References

Arrus, K.M., R.A. Holley, K.H. Ominski, M. Tenuta, and G. Blank. 2006. Influence of temperature on *Salmonella* survival in hog manure slurry and seasonal temperature profiles in farm

- manure storage reservoirs. *Livest. Sci.* 102:226-236.
- Bajard, S., L. Rosso, G. Fardel, and J.P. Flandrois. 1996. The particular behaviour of *Listeria monocytogenes* under suboptimal conditions. *Int. J. Food Microbiol.* 29:201-211.
- 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.
- Brackett, R.E. 1999. Incidence, contributing factors, and control of bacterial pathogens in produce. *Postharv. Biol. Technol.* 15:305-311.
- 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.
- Garcia, R., J. Baelum, L. Fredslund, P. Santorum, and C. S. Jacobsen. 2010. Influence of temperature and predation on survival of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium and expression of *invA* in soil and manure amended soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 76:5025-5031.
- Guan, T.Y. and R.A. Holley. 2003. Pathogen survival in swine manure environments and transmission of human enteric illness: a review. *J. Environ. Qual.* 32:383-392.
- 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.
- Hutchison, M.L., L.D. Walters, S.M. Avery, B.A. Synge, and A. Moore. 2004. Levels of zoonotic agents in British livestock manures. *J. Appl. Microbiol.* 39:207-214.
- Jacobsen, C.S. and T.B. Bech. 2012. Soil survival of *Salmonella* and transfer to freshwater and fresh produce. *Food Research International* 45:557-566.
- 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.
- Jo, M.J., A.R. Jeong, H.J. Kim, N.R. Lee, S.W. Oh, Y.J. Kim, H.S. Chun, and M.S. Koo. 2011. Microbiological quality of fresh-cut produce and organic vegetables. *Kor. J. Food Sci. Technol.* 43:91-97.
- 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.
- Maule, A. 2000. Survival of verocytotoxigenic *Escherichia coli* O157:H7 in soil, water and on surfaces. *J. Appl. Microbiol.* 88:71-78.
- McLaughlin, H.P., P.G. Casey, J. Cotter, C.G.M. Gahan, and C. Hill. 2011. Factors affecting survival of *Listeria monocytogenes* and *Listeria innocua* in soil samples. *Arch Microbiol.* 193:775-785.
- Murinda, S.E., L.T. Nguyen, S.J. Ivey, B.E. Gillespie, R.A. Almeida, F.A. Draughon, and S.P. Oliver. 2002. Molecular characterization of *Salmonella* spp. isolated from bulk milk and cull dairy cow fecal sample. *J. Food Prot.* 65:1100-1105.
- Semenov, A.V., A.H.C.V. Bruggen, L.V. Overbeek, A.J. Termorshuizen, and A.M. Semenov. 2007. Influence of temperature fluctuations on *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar Typhimurium in cow manure. *FEMS Microbiol. Ecol.* 60:419-428.
- 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.