

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.4.404>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Persistence of *Salmonella enterica*, *Escherichia coli* O157:H7, and *Listeria monocytogenes* in Soil and Compost Amended Soil

Kyu-Seok Jung*, Seung-Mi Seo, Hye-Jin Jeon, Bo-Reum Jeong, Eun-Jung Roh, Jae-Gee Ryu, and Kyoung-Yul Ryu
National Institute of Agricultural Science, Jeonju 55365, Korea

*Corresponding author: win258@korea.kr

ABSTRACT

Received: August 13, 2018

Revised: November 30, 2018

Accepted: December 3, 2018

Addition of animal manure to soil can provide opportunity for bacterial pathogens contamination of soil, water, and food. This study was conducted to investigate the survival of *Salmonella enterica*, *Escherichia coli* O157:H7, and *Listeria monocytogenes* in soil and compost amended soil under the selected environmental conditions. Soil and compost amended soil were inoculated with *S. enterica*, *E. coli* O157:H7, and *L. monocytogenes*. Soil and compost amended soil were incubated at 25°C and consistent moisture content. Samples had been collected during 200 days depending on the given conditions. *S. enterica* and *E. coli* O157:H7 survived over 200 days in soil and compost amended soil. *L. monocytogenes* persisted for 80 days in soil and for 160 days in compost amended soil, respectively. *S. enterica* and *E. coli* O157:H7 survived longer than *L. monocytogenes* at soil and compost amended soil. It is noted that *S. enterica*, *E. coli* O157:H7, and *L. monocytogenes* survived long in soil and compost amended soil. *S. enterica*, *E. coli* O157:H7, and *L. monocytogenes* survived longer in compost amended soil than in soil. Results from these studies provide useful information in identifying manure handling practices to reduce the risk of *S. enterica*, *E. coli* O157:H7, and *L. monocytogenes* transmission to foods produced in the presence of animal waste.

Keywords: Soil, Compost, Foodborne pathogens

Decimal reduction time (DRT) for *S. enterica*, *E. coli* O157:H7, and *L. monocytogenes* in soil and compost amended soil at 25°C.

Treatment	Pathogens	Regression equation	R ²	DRT (days)
Soil	<i>S. enterica</i>	$\text{Log}_{10}A = -0.0333t + 8.6594$	0.92	30.0
	<i>E. coli</i> O157:H7	$\text{Log}_{10}A = -0.0276t + 8.7453$	0.96	36.2
	<i>L. monocytogenes</i>	$\text{Log}_{10}A = -0.0769t + 7.618$	0.94	13.0
Compost amended soil	<i>S. enterica</i>	$\text{Log}_{10}A = -0.0176t + 8.5789$	0.92	56.8
	<i>E. coli</i> O157:H7	$\text{Log}_{10}A = -0.0234t + 8.032$	0.94	42.7
	<i>L. monocytogenes</i>	$\text{Log}_{10}A = -0.0355t + 7.4629$	0.93	28.1



Introduction

건강에 대한 관심이 고조되면서 채소 등 별도의 가공처리 없이 섭취하는 신선 농산물에 대한 소비가 꾸준히 증가하고 있다 (Ahn et al., 1999). 최근 신선 채소류, 과일류, 비멸균 주스 등으로 인한 식중독 사고는 증가하고 있다 (Beuchat, 2001). 식중독균은 식물체 표면에 존재하고 특정한 환경조건에서는 식물체에 부착하거나 생존할 수 있다 (Bernstein et al., 2007). 외국에서 멜론, 망고, 새싹, 로메인 상추, 토마토, 시금치, 고추 등 농산물에 의한 식중독 사고는 최근 빈번히 발생하고 있다 (CDC, 2018). 영국에서는 부추에 존재하는 *E. coli* O157:H7에 의한 식중독 사고로 74명이 입원하였고 1명이 사망하였다 (Powell, 2011). 병원성 대장균에 오염된 상추로 인한 식중독 사고도 미국에서 발생하였다 (Ackers et al., 1998). 오염된 미생물은 수확 후 소비되기 전의 저장기간 동안 신선 농산물에서 증식하여 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 (Burnett et al., 2001). 특히 부숙이 충분히 되지 않은 가축분 퇴비는 재배단계의 농산물 오염의 가장 큰 오염원이다 (Solomon et al., 2002). 농산물 중 근채류와 엽채류는 미부숙 퇴비에 의한 식중독균 오염에 가장 취약할 수 있다 (Buck et al., 2003).

가축분변 유래 장내세균의 생존이나 증식은 식물뿌리에서 나오는 유기물 또는 근권 주위의 미생물에 영향을 받을 수 있고 병원균, 토양 미생물, 토양, 식물체 뿌리의 상호작용의 영향을 받을 수도 있다 (Jiang and Shepherd, 2009). 관개수, 퇴비 등의 농자재 등을 통해 식중독세균이 토양으로 유입될 수 있으며, 토양 내에서 오랫동안 생존하여 오염이 발생할 수 있다 (Ibenyassine et al., 2006). Jung et al. (2017)은 배추재배 토양에서 대장균이 검출된다고 하였다. Erickson et al. (2010)은 *E. coli* O157:H7에 오염된 관개수를 토양에 접종한 결과 76일 동안 생존하였다고 하였다. 병원성 대장균은 토양과 퇴비에서 각각 154일, 217일 생존할 수 있다고 하였다 (Islam et al., 2004). *E. coli* O157:H7은 토양에서 생존하고 증식할 수 있으며 가축분 퇴비는 *E. coli* O157:H7의 생존 능력을 더욱 증가시킬 수 있다고 하였다 (Gagliardi and Karns, 2000). Holley et al. (2006)은 가축분 퇴비를 토양에 추가하였더니 *Salmonella* spp.가 더 오래 생존하였다고 하였다. 퇴비가 사용된 토양에서 상추를 재배하였을 경우, *Salmonella*는 231일까지 생존하였고, *S. enterica*는 상추 재배토양에서 63일까지, 파슬리 재배토양에서 231일까지 생존하였다 (Islam et al. 2004). Gagliardi and Karns (2002)은 *E. coli* O157:H7이 휴경 토양에서 47일까지 생존할 수 있고, 호밀 뿌리에서 96일, 알팔파 뿌리에서 92일까지 생존 가능하다고 하였다. 병원성 미생물에 오염된 토양이나 퇴비가 농산물에 접촉되어 사람이 오염 농산물을 섭취하면 식중독이 발생할 수 있다 (Morgan et al., 1988). 본 연구는 국내 토양과 가축분 퇴비가 섞인 토양에서 병원성 미생물 (*S. enterica*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*)의 생존능 및 생존기간을 비교분석하고, 또한 병원성 미생물의 생존기간과 생존에 미치는 퇴비의 영향을 분석함으로써 농산물 안전관리를 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

Materials and Methods

사용균주 및 시료채취 국내 축산의 주요 축종인 돼지의 분뇨를 주원료로 생산, 유통되는 가축분 퇴비를 수집하였고 접종 균주로 ATCC에서 분양받은 *S. enterica* ATCC 13311, *E. coli* O157:H7 ATCC 43895, *L. monocytogenes* ATCC 15313를 사용하였다. 사용된 균주는 tryptic soy broth (Difco Co., Detroit, MI, USA)에 접종한 후 진탕배양기 (VS 8480, Vision Science, Korea)를 이용하여 37°C, 250-280 rpm에서 18시간 배양하였다. 배양액은 10,000 rpm에

서 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⁻¹이 되도록 농도를 맞추어 사용하였다. 본 실험에서는 경기도 수원에 위치한 서울대 농대 실험포장에서 노지 토양의 0-15 cm 표토 깊이에서 채취한 토양을 사용하였으며 토양은 2 mm (#10 mesh) 스테인레스 체로 걸러 최대한 균질하도록 조성한 다음, 121°C에서 30분간 2회 고압멸균을 하여 멸균상태로 상온에 두었다. 토양과 퇴비는 멸균처리하였으며 멸균된 토양과 가축분 퇴비 (250 g)를 첨가한 토양 각각 500 g을 멸균된 polypropylene box (2.3L, Locknlock co., Korea)에 넣고, 균주현탁액 50 mL을 가한 후 스푼으로 골고루 섞어 균질화하였다. 사전 실험을 통해 polypropylene box (Locknlock)의 수분손실이 거의 일어나지 않는 것을 확인하였고, 같은 수준의 토양 수분함량(15%), 퇴비 수분함량(58%)으로 실험을 하였다. 토양과 가축분 퇴비에 유해미생물 접종 후 수분손실을 막기 위하여 밀봉상태를 유지하면서 25°C의 incubator (VS 1203 PFC, Vision Science, Korea)에서 200일 동안 배양하면서 매주에 1회씩 주기적으로 시료를 채취하여 시험을 실시하였고 시료채취 시 외부오염을 막기 위하여 클린벤치 (CLB-201-04, CHC Lab, Korea)에서 작업하였다. 시험에 사용한 토양과 퇴비의 이화학적 특성은 Table 1, 2과 같다.

Table 1. Chemical properties of the soil used in the experiment.

pH (1:5)	OM (g·kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg·kg ⁻¹)	Exch.(cmol(+) kg ⁻¹)				NH ₄ (mg·kg ⁻¹)	T-N (%)
			K	Ca	Mg	Na		
6.4	14	181	0.22	6.6	2.4	0.1	10	0.11

Table 2. 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

유해미생물 계수 *S. enterica*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*의 분리는 채취한 시료를 균질화한 뒤 3 g을 취해서 buffered peptone water (Difco Co., Detroit, MI, USA) 27 mL에 접종한 후 stomacher (easyMIX, AES CHEMUNEX, France)로 2분 동안 균질화하였다. 균질화 된 시료는 buffered peptone water (Difco)를 이용하여 10 배씩 연속 희석하였다. *S. enterica*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*의 정량적 분석을 위해서 앞에서 준비한 시료 1 mL를 xylose lysine deoxycholate agar (Difco), macconkey sorbitol agar (Difco), oxford 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 응집반응결과로 판단하는 Latex test (Oxoid Ltd., Hampshire, UK)을 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.

$$\text{DRT} = -\log(N_0/N)/t \quad (\text{Eq. 1})$$

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

Results and Discussion

토양에서 유해미생물의 생존변화 토양과 가축분 퇴비에 존재하는 미생물이 병원성 미생물의 생존에 미치는 영향을 배제하기 위하여 토양과 퇴비는 멸균처리 하였다. 토양에 *S. enterica*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*를 접종하여 유해미생물 종류에 따른 생존 변화양상을 조사한 결과 (Fig. 1), 같은 토양과 온도 (25°C)에서 유해미생물의 생존양상은 유해미생물별로 다른 경향을 나타내었는데 *E. coli* O157:H7이 가장 오래 생존하였고, *L. monocytogenes*은 가장 빨리 사멸하였다. *E. coli* O157:H7에서 0-50일까지는 거의 변화가 없었고 그 이후로 200일까지 점점 감소하는 경향을 보였다. Ishii et al. (2006)은 대장균이 25°C 이하 토양에서 30일 이상 생존할 수 있다고 하였고, Maule (2000)은 *E. coli* O157:H7는 토양에서는 130일 동안 생존할 수 있다고 하였다. *S. enterica*에서 0-60일까지는 거의 일정한 수준을 유지하다가 60일 이후부터 200일까지 서서히 감소하였다. 병원성 미생물인 *Salmonella*는 가축분뇨에 발견될 수 있고 토양에서 160-200일까지 생존할 수 있다 (Holley et al., 2006). *L. monocytogenes*에서는 0-30일까지는 급격히 감소하다가 그 이후 60일까지는 약간 감소하였으나 60일 이후부터는 급격히 감소하여 90일 정도에는 전부 사멸하였다. Welshimer (1960)은 *L. monocytogenes*가 토양에서 67일 동안 생존할 수 있다고 하였는데 본 결과에서도 비슷한 생존기간을 나타내었다. 국내 토양에서 3종류의 병원성 미생물 중 *E. coli* O157:H7와 *S. enterica*는 작물 재배 토양에 오염이 되지 않도록 특별한 주의가 필요하다고 생각한다. 작물재배 토양에 병원성 미생물이 존재한다면 장시간 생존할 수 있어 작물이 오염될 수 있다. 오염된 작물을 인간이 섭취하게 된다면 식중독 사고가 발생할 수 있으므로 농산물로 인한 식중독사고를 예방하기 위하여 재배환경을 청결하게 관리하는 것이 중요하다. Burnett and Buechat (2001)은 농산물이 병원성 미생물에 의해 오염될 수 있는데 그 오염원으로는 토양, 가축분뇨, 관개수, 먼지, 미숙퇴비 등이 있다고 하였다. 오염된 관개수를 사용하지 않고 퇴비를 충분히 부숙해서 사용하는 것이 농산물로 인한 식중독 사고를 예방하는 최선의 방법이라고 생각한다. 토양 내 *S. enterica*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*의 DRT (decimal

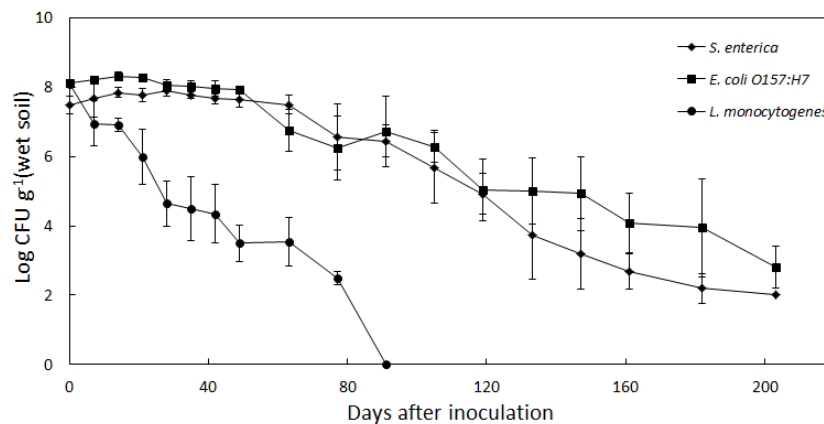


Fig. 1. Survival of *S. enterica*, *E. coli* O157:H7, and *L. monocytogenes* in soil at 25°C ($n = 9$, error bars = SD).

Table 3. Decimal reduction time (DRT) for *S. enterica*, *E. coli* O157:H7, and *L. monocytogenes* in soil and compost amended soil at 25°C.

Treatment	Pathogens	Regression equation	R ²	DRT (days)
Soil	<i>S. enterica</i>	$\text{Log}_{10}A = -0.0333t + 8.6594$	0.92	30.0
	<i>E. coli</i> O157:H7	$\text{Log}_{10}A = -0.0276t + 8.7453$	0.96	36.2
	<i>L. monocytogenes</i>	$\text{Log}_{10}A = -0.0769t + 7.618$	0.94	13.0
Compost amended soil	<i>S. enterica</i>	$\text{Log}_{10}A = -0.0176t + 8.5789$	0.92	56.8
	<i>E. coli</i> O157:H7	$\text{Log}_{10}A = -0.0234t + 8.032$	0.94	42.7
	<i>L. monocytogenes</i>	$\text{Log}_{10}A = -0.0355t + 7.4629$	0.93	28.1

reduction time)값을 나타낸 것에서 *E. coli* O157:H7은 36.2일, *S. enterica*은 30.0일, *L. monocytogenes*은 13.0일이 었다 (Table 3). Jay (2000)는 그람양성균이 그람음성균보다 양분요구도가 크기 때문에 같은 환경조건이라도 그람음성균보다 생존기간이 짧을 수 있다고 하였는데 본 결과에서도 그람음성균인 *S. enterica*와 *E. coli* O157:H7는 생존기간이 길었고 그람양성균인 *L. monocytogenes*는 생존기간이 짧은 경향을 보였다.

가축분 퇴비가 섞인 토양에서 유해미생물의 생존변화 가축분 퇴비가 섞인 토양에 *S. enterica*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*를 접종하여 유해미생물 종류에 따른 생존 변화양상을 조사한 결과 (Fig. 2), 가축분 퇴비와 토양이 섞여 있는 상태 (25°C)에서 유해미생물의 생존양상은 유해미생물별로 다른 경향을 나타내었다. *S. enterica*에서 0-7일까지는 약간 증가하였고 그 이후부터 200일까지 서서히 감소하는 경향을 보였다. *E. coli* O157:H7에서 0-150일까지는 서서히 감소하다가 150-160일까지는 약간 증가 후 다시 감소하였다. *L. monocytogenes*에서는 0-160일까지는 점점 감소하였고 180일 정도에 모두 사멸하였다. 토양에서 병원성 미생물의 생존기간보다 가축분 퇴비가 섞인 토양에서 병원성 미생물의 생존기간이 좀 더 길어지는 결과를 볼 때 가축분 퇴비가 병원성 미생물의 생존에 유리하게 작용을 한다는 것을 알 수 있다. 퇴비에 포함되어 있는 유기물의 추가로 인해 병원성 미생물이 더 오래 생존했다고 생각한다. 수중에서 호기성균은 유기물이 많은 수질에서 급성장한다고 하였다 (Jang and Nam, 2017). 또한, *S. enterica*, *E. coli* O157:H7보다 *L. monocytogenes*가 가축분 퇴비의 영향이 더 크다는 것도 알 수 있다. 가축분 퇴비가 토양에 섞일 때 병원성 미생물의 수는 더욱 증가한다고 하였고 (Unc and Goss, 2004), *E. coli* O157:H7은 토양에서 생존하고 증식할 수 있으며 가축분 퇴비는 *E. coli* O157:H7의 생존 능력을 더욱 증가시킬 수 있다고 하였는데 (Gagliardi and Karns, 2000), 본 결과와 같았다. 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)은 가축분 퇴비가 포함된 토양에서 *Salmonella* spp.는 332일까지 생존할 수 있다고 하였다. Jone (1986)은 소의 분변이 포함된 토양에서 *Salmonella* spp.가 300일 동안 생존하였고, 가축분뇨가 포함된 토양에서 256일 동안 생존했다고 보고하였다. 본 실험결과 중 약 5개월 이상 생존할 수 있는 결과로 볼 때 병원성 미생물이 우리나라에서 생산한 퇴비와 토양에서도 장기간 생존할 수 있다는 것을 보여주고 있다. 가축분뇨에는 *S. enterica*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes* 등의 병원성 미생물이 존재할 수 있다. 가축분뇨는 퇴비화과정을 거쳐 비료로 사용하고 있는데 충분히 부숙되지 않은 퇴비에는 병원성 미생물이 잔존할 수 있어 농산물 안전차원에서 위험요소가 될 수 있다. 퇴비가 섞인 토양에서 병원성 미생물은 오랜 기간 생존 가능하므로 토양이 병원성 미생물에 오염되지 않도록 하는 것이 중요하다. 부숙퇴비 사용, 오염되지 않은 관개수 사용, 농작업자의 청결한 위생, 야생동물 출입통제 등의 방법으로 오염예방 관리를 해야 한다고 생각한다. Table 3은 가축분 퇴비가 섞인 토양 내 *S. enterica*,

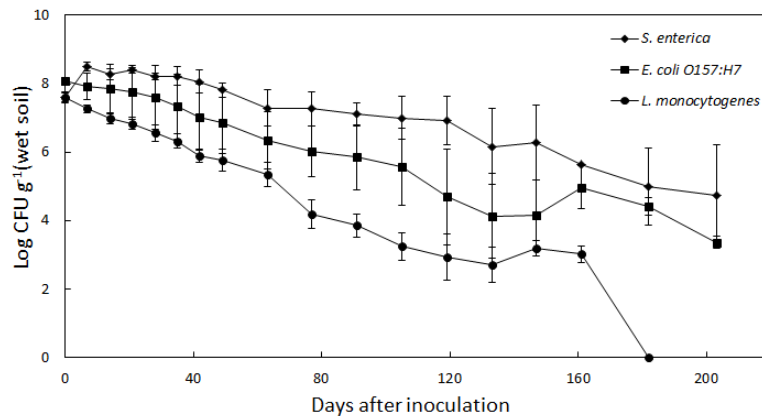


Fig. 2. Survival of *S. enterica*, *E. coli* O157:H7, and *L. monocytogenes* in compost amended soil at 25°C ($n=9$, error bars=SD).

E. coli O157:H7, *L. monocytogenes*의 DRT (decimal reduction time)값을 나타낸 것이다. *S. enterica*에서 56.8일, *E. coli* O157:H7에서 42.7일, *L. monocytogenes*에서 28.1일이었다.

Conclusions

본 연구는 국내 토양과 가축분 퇴비가 섞인 토양에서 병원성 미생물 (*S. enterica*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*)의 생존능 및 생존기간을 비교, 분석하고 농산물의 안전성을 확보하기 위하여 안전한 가축분 퇴비의 생산과 이용에도움을 주고자 수행하였다. 토양에 *S. enterica*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*를 접종하여 유해미생물 종류에 따른 생존 변화양상을 조사한 결과, 같은 토양과 온도 (25°C)에서 유해미생물의 생존양상은 유해미생물별로 다른 경향을 나타내었는데 *E. coli* O157:H7이 가장 오래 생존하였고, *L. monocytogenes*은 가장 빨리 사멸하였다. 가축분 퇴비와 토양이 섞여 있는 상태 (25°C)에서 유해미생물의 생존양상은 유해미생물별로 다른 경향을 나타내었는데 *S. enterica*이 가장 오래 생존하였고, *L. monocytogenes*은 가장 빨리 사멸하였다. 토양에서 병원성 미생물의 생존기간보다 가축분 퇴비가 섞인 토양에서 병원성 미생물의 생존기간이 더 길어지는 결과를 볼 때 가축분 퇴비가 병원성 미생물의 생존 능력을 더욱 증가시켰다. 이는 퇴비의 유기물이 병원성 미생물의 영양원으로 작용했기 때문으로 생각한다. 병원성 미생물은 토양이나 퇴비에서 장시간 생존할 수 있고 작물을 오염시킬 수 있으므로 농산물로 인한 식중독 사고를 예방하기 위하여 병원성 미생물이 토양에 존재하지 않도록 관리하는 것이 중요하다.

Acknowledgement

This work was supported by a grant from the Agenda Program (PJ012009), Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Ackers, M.L., B.E. Mahon, E. Leahy, B. Goode, T. Damrow, P.S. Hayes, W.F. Bibb, D.H. Rice, T.J. Barrett, L. Hutwagner, P.M. Griffin, and L. Slutsker. 1998. An outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 infections associated with leaf lettuce consumption. *J. Infect. Dis.* 177:1588-1593.
- Ahn, Y.S. and D.H. Shin. 1999. Antimicrobial effects of organic acids and ethanol on several foodborne microorganism. *Korean J. Food Sci. Technol.* 31:1315-1323.
- Bernstein, N., S. Sela, R. Pinto, and M. Loffe. 2007. Evidence for internalization of *Escherichia coli* into the aerial parts of maize via the root system. *J. Food Protect.* 70:471-475.
- Beuchat, L.R., J.M. Farbar, E.H. Garrett, L.J. Harris, M.E. Parish, T.V. Suslow, and F.F. Buck, J.W., R.R. Walcott, and L.R. Beuchat. 2003. Recent trends in microbiological safety of fruits and vegetables. *Plant Health Prog.* Available at: <http://www.plantmanagementnetwork.org/php/2003.asp>.
- Burnett, S.L. and L.R. Beuchat. 2001. Human pathogens associated with raw produce and unpasteurized juices, and difficulties in decontamination. *J. Ind. Microbiol. Biot.* 27:104-110.
- Busta 2001. Standardization of a method to determine the efficacy of sanitizers in inactivating human pathogenic microorganisms on row fruits and vegetables. *J. Food Protect.* 64:1079-1084.
- Centers for Disease Control and Prevention. 2018. Multistate foodborne outbreaks. Available at: <http://www.cdc.gov/outbreaknet/outbreaks.html>. Accessed on June 20, 2018.
- Erickson, M.C., C.C. Webb, J.C. Diaz-Perez, S.C. Phatak, J.J. Silvoy, L. Davey, A.S. Payton, J. Liao, L. Ma, and M.P. Doyle. 2010. Infrequent internalization of *Escherichia coli* O157:H7 into field-grown leafy greens. *J. Food Protect.* 73:500-506.
- Gagliardi, J.V. and J.S. Karns. 2000. Leaching of *Escherichia coli* O157:H7 in diverse soils under various agricultural management practices. *Appl. Environ. Microbiol.* 66:877-883.
- Gagliardi, J.V. and J.S. Karns. 2002. Persistence of *Escherichia coli* O157:H7 in soil and on plant roots. *Environ. Microbiol.* 4:89-96.
- 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.
- Ibenyassine, K., R. Aitmband, Y. Karamoko, N. Cohen, and M.M. Ennaji. 2006. Use of repetitive DNA sequences to determine the persistence of enteropathogenic *Escherichia coli* in vegetables and in soil grown in fields treated with contaminated irrigation water. *Lett. Appl. Microbiol.* 43(5):528-533.
- Ishii, S., W.B. Ksoll, R.E. Hicks, and M.J. Sadowsky. 2006. Presence and growth of naturalized *Escherichia coli* in temperate soils from lake superior watersheds. *Appl. Environ. Microb.* 72:612-621.
- Islam, M., J. Morgan, M.P. Doyle, S.C. Phatak, P. Millner, and X. Jiang. 2004. Persistence of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium on lettuce and parsley and in soils on which they were grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. *Foodborne Path. Dis.* 1:27-35.
- Islam, M., M.P. Doyle, S.C. Phatak, P. Millner, and X. Jiang. 2004. Persistence of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in soil and on leaf lettuce and parsley grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. *J. Food Prot.* 67:1365-1370.
- Jang, G.S. and Y. Nam. 2017. A study on inactivation of pathogenic bacteria for nutrient solution recycling using advanced oxidation process. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50(5):489-496.
- 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.
- Jiang, X. and M. Shepherd. 2009. The role of manure and compost in produce safety, p.149-150. *In* X. Fan, B.A. Niemira, C.J. Doona, F.E. Feeherry, and R.B. Gravani(eds.), Microbial safety of fresh produce. The IFT Press,

Chicago, IL.

- Jones, P.W. 1986. Sewage sludge as a vector of salmonellosis, p. 21-33. In J.C. Block, A.H. Haielaar, and P.L.'Hermitte (ed.), Epidemiological studies of risks associated with the agricultural use of sewage sludge. Elsevier, London, England.
- Jung, K.S., S.M. Seo, H.J. Jeon, S.R. Kim, W.I. Kim, S.R. Kim, E.J. Roh, J.G. Ryu, and S.D. Lee. 2017. Evaluation on microbial contamination in Chinese cabbage cultivated soil in Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 50(6):538-546.
- 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.
- 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* O157 in the UK. Epidemiol. Infect. 101:83-91.
- Powell, D. 2011. *E. coli* O157 linked to leeks sickens 250 and kills 1 in UK; 8-month outbreak only now being made public. Available at: <http://bites.ksu.edu/news/150710/11/10/02/e-coli-o157-linked-leeks-sickens-250-and-kills-1-uk-8-month-outbreak-only-now-b> Accessed on September 13, 2012.
- 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. Microb. 68:397-400.
- Unc, A. and M.J. Goss. 2004. Transport of bacteria from manure and protection of water resources. Appl. Soil Ecol. 25:1-18.
- Welshimer, H.J. 1960. Survival of *Listeria monocytogenes* in soil. J. Bacteriol. 80:316-320.
- 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. Microb. 72:5777-5783.