



유기낙농가 사육환경 중 미생물 및 항생제 내성 분석

설국환 · 김현욱 · 한기성 · 이미정 · 장애라 · 오미화 · 김동훈 · 함준상*

농촌진흥청 국립축산과학원

Analysis of Microorganisms and Antibiotic Resistance in Organic Dairy Farm

Kuk-Hwan Seol, Hyoun Wook Kim, Ki Sung Han, Mi Jung Lee, Aera Jang, Mi-Hwa Oh,
 Dong-Hun Kim and Jun-Sang Ham*

National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 441-350, Korea

ABSTRACT

Recently, antimicrobial resistance of microorganisms has been a major concern of its relation to food safety and national health, therefore, customer's needs to organic animal food is still increasing. In this study, we reviewed the usage of antimicrobials in animal farms and antimicrobial resistance of microorganisms isolated from organic dairy farm environments. The isolates from dairy farms were *Acinetobacter* sp., *A. lwoffii*, *A. johnsonii*, *A. townneri*, *Aerococcus viridans*, *Aeromonas media*, *A. veronii*, *Bacillus pseudofirmus*, *B. pumilus*, *B. licheniformis*, *Corynebacterium glutamicum*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecium*, *Lysinibacillus fusiformis*, *Paenibacillus illinoisensis*, *Staphylococcus epidermidis*, *S. hominis*, *Streptococcus equinus*, *S. lutetiensis*, and *Saccharomyces cerevisiae*. Indicator microorganisms isolated from organic dairy farms were tested for susceptibility to 20 types of antimicrobials. *E. coli* (ATCC 25922) isolated from dairy farm fence showed resistance to 8 types of antimicrobials, such as oxacillin, penicillin, vancomycin, etc., and *E. faecium* isolated from feces showed resistance to 9 types of antimicrobials, such as cephalothin, oxacillin, streptomycin, etc., respectively. However, these results showed less antimicrobial resistance compare with customary dairy farm.

Keywords : organic dairy farm, microorganism, antibiotic resistance

서론

현재 식품 소비 측면에서 유기농 식품(organic foods)에 대한 수요는 소비자들의 건강에 대한 관심과 웰빙(wellbeing) 바람을 타고 빠른 증가 추세를 보이고 있다. 소비자들이 유기농 식품에 관심을 갖는 이유는 식품의 안전성 즉, 산발적으로 발생하는 식품안전사고와도 무관하지 않을 것이며, 그 중에서도 잔류물질, 독소 및 병원성 미생물의 위해요인과 깊은 관련이 있다.

항생제 내성균의 발생은 항생제 사용의 결과로 나타나는

현상으로 미생물 자체의 생존 유지 방법의 하나이다. 일반적으로 유해하지 않은 미생물이 내성을 획득할 경우 별 문제가 없는 것으로 알려져 있지만, 병원균의 경우 인간에게 난치 또는 불치를 일으키는 내성균으로 발전할 가능성이 있어서 문제의 소지가 되고 있다(권 등, 2005). 축산분야에 항생제는 주로 질병치료 및 예방, 성장촉진 등의 목적으로 사용되고 있으며, 우리나라의 경우 2009년 998톤이 사용된 것으로 조사되었다(식약청, 2010). 축산분야에서 항생제 내성균 모니터링 결과, 가축에서 오랫동안 사용한 항생제에 대한 내성률이 비교적 높게 나타나고 있으며, 사람에서 주로 문제가 되고 있는 항생제 내성균은 가축 및 축산물에서는 매우 낮은 빈도로 검출되고 있다(정 등, 2008). 우리나라는 국무조정실 ‘항생제 내성관리 종합대책(2007)’에 근거하여

* Corresponding author: Jun-Sang Ham, National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 441-350, Korea. Tel: +82-31-290-1692, Fax: +82-31-290-1697, E-mail: hamjs@korea.kr

도축장과 농장 등에서 분리한 대장균·장구균 등의 지표미생물, 식중독균(황색포도상구균) 등이 항생제에 나타내는 내성률 검사를 실시하고 있으나, 아직까지 유기낙농가 사육환경 중 미생물의 항생제 내성에 대한 연구는 보고되지 않고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 국내 축산에서의 항생제 및 항생제 내성균 현황과 유기낙농가 사육환경 중 유해미생물 및 항생제 내성균 분석결과에 대해 고찰하고자 한다.

본 론

1. 국내 축산분야 항생제 사용 현황과 내성균

우리나라 축·수산분야에서 사용되고 있는 항생(항균)제 판매실적을 살펴보면, '01년 1,595톤, '03년 1,439톤, '05년 1,553톤, '07년 1,526톤으로 전체적인 판매실적이 매년 약 1,500톤 정도로 큰 변화가 없었으나, '09년 998톤으로 '08년(1,211톤) 대비 약 18%, '07년(1,527톤) 대비해서는 약 35% 감소하였다(Table 1). 우리나라 축산업 규모는 소가 약 200만두, 돼지 900만 두, 닭은 1억 수를 사육하고, 연간 축산물 생산량은 약 150만 톤으로서 외국에 비하여 축산업 규모로 보아 항생제 사용량은 약 2~10배 이상 많은 것으로 분석

된다.

정 등(2008)은 2003년부터 2007년까지 5년간 우리나라의 가축 및 축산물 유래 항생제 내성균 분포조사를 전국적으로 도축장 및 농장을 대상으로 실시하였으며, 지표세균으로서 가축으로부터 유래한 *E. coli*의 항생제 감수성 분석 결과, tetracycline, streptomycin, ampicillin에 대하여 상대적으로 높은 내성율을 나타내었다고 보고하였으며(Table 2), 식품의약품안전청은 축산환경에서 분리한 *E. coli*의 tetracycline 내성률이 '07년 86%에서 '10년 69%로 감소하였다고 보고하였다(식약청, 2011).

2. 유기낙농가 사육환경 중 미생물 분포 분석

유기낙농가의 사육환경에 분포하는 미생물의 종류와 항생제 내성 여부를 통한 위해가능성을 파악하기 위해 유유사 환경에서 미생물을 분리·동정하고, 그 분포를 분석하였다. 유기낙농가의 시료는 울타리와 물굽음통 및 유방표면에서 스왑법(swab method)으로 채취하였고, 사료와 물, 분변은 각 25 g 또는 mL의 시료를 채취하여 분석하였다. 수집된 시료는 펩톤수를 이용해 단계별로 희석하여 영양배지에 도말하였고, 배양된 호기성균은 집락(colony)별로 Bruker microflex LT mass spectrometer(Bruker Daltonik GmbH)를 이용하여 분

Table 1. Amount of the class of antimicrobials used in animals by active ingredients

(Unit : kg)

Class of antimicrobials	Amount of antimicrobials used in animals					
	2001	2003	2005	2007	2008	2009
Tetracyclines	752,386	723,698	723,476	624,236	470,946	287,712
Sulfonamides	237,012	180,651	200,010	183,209	157,455	92,122
Penicillins	114,466	130,016	229,462	266,968	170,721	150,589
Aminoglycosides	67,088	78,775	71,863	93,727	73,188	51,209
Macrolides	59,370	47,642	55,325	75,342	68,556	88,124
Quinolones	44,645	32,726	52,854	56,585	51,257	37,418
Ionophores	72,900	61,737	63,056	58,744	46,947	51,366
Polypeptides	22,798	24,729	34,133	38,889	43,581	96,532
Phenicol	1,641	9,955	24,918	34,367	35,892	54,543
Pleuromutilins	17,021	15,079	18,170	21,195	20,015	35,025
Quinoxalines	80,990	29,608	15,592	13,070	18,008	4,601
Lincosamides	9,734	9,848	14,433	16,373	12,048	5,674
Cephems	688	9,545	2,169	1,962	2,694	3,163
Streptogramins	6,842	4,253	4,926	4,942	5,081	8,164
Orthosomycins	5,463	5,405	4,039	5,429	5,203	5,566
Glycolipid	4,551	4,940	2,980	2,341	1,971	2,469
Nitrofurans	87,393	63,034	0	0	0	0
Others	9,975	6,892	36,076	29,334	27,053	23,890
Total	1,586,989	1,433,644	1,519,411	1,499,386	1,185,571	976,286

Table 2. Antimicrobial resistance of *E. coli* isolated from animals

Antimicrobials	Resistance %					
	Cattle		Pig		Poultry	
	'05 (n=118)	'07 (n=121)	'05 (n=176)	'07 (n=239)	'05 (n=113)	'07 (n=169)
Ampicillin	15.3	17.4	71.6	63.5	68.1	51.8
Amoxicillin/clavulanic acid	0	0	1.1	0.4	10.6	1.2
Cephalothin	5.9	0	11.9	5.8	86.7	2.9
Cefazolin	0.8	1.7	0.6	1.2	21.2	1.8
Cefoxitin	0.8	—	0.6	—	5.3	—
Cefotaxime	0	1.7	1.1	1.2	1.8	0.6
Streptomycin	23.7	46.3	67.6	83.3	71.7	62.4
Gentamicin	0	0	20.5	13.7	19.5	16.5
Amikacin	0.8	—	0.6	—	4.4	—
Neomycin	12.7	14.9	50.0	41.9	23.0	6.5
Ciprofloxacin	4.2	0	17.0	7.1	38.1	37.1
Nalidixic acid	6.8	3.3	36.9	22.8	83.2	72.9
Trimethoprim/sulfamethoxazole	5.9	6.6	48.9	32.4	49.6	41.2
Colistin	0	6.6	0	3.3	0	0
Chloramphenicol	7.6	2.5	44.3	49.8	22.1	9.4
Tetracycline	44.1	44.6	96.0	83.3	92.0	80.6

—, not tested

석으로 동정하였다.

유기낙농가 사육환경에 대한 미생물 분포를 조사한 결과, 다양한 미생물이 분포하고 있음을 알 수 있었으며(Table 3), *E. coli*가 분변, 물공급통, 유방 및 울타리에서, *Enterococcus faecium*은 분변에서 각각 분리되어 분변과 환경시료에서 *E. coli*의 분포가 가장 높았다는 설 등(2010)의 보고와 일치하였다. 또한 이는 가축 사육환경 중 분변에서 대장균이 100% 검출되었다는 이 등(2011)과 권 등(2007)의 보고와도 일치하였다. 대장균은 사람 및 동물의 장내 상재균이나 장관 내외에서 각종 감염증을 일으키고 의학 및 공중위생뿐만 아니라 축산업에서도 중요한 병원균으로서의 위치를 점하고 있다(송 등, 1998).

원활하고 안정적인 낙농을 위해 가장 중요한 것이 착유우의 질병관리와 사양관리이다. Janzen(1979)은 착유우가 유방염에 걸릴 경우 평균 산유량이 5~25% 가량 감소되고, 심할 경우 85%까지 감소한다고 보고하였다. 유방염 원인균 중 가장 심각한 세균은 *Staphylococcus aureus*로 국내 낙농농가에서 가장 흔하게 검출되고 있으나(박 등, 2000) 본 실험에서 시료를 채취한 유기낙농가의 젖소 유방에서는 *S. aureus*는 검출되지 않았고, 일반적으로 비병원성으로 알려진 *S. epidermidis*만 검출되었다.

3. 유우 사육환경 및 원유에서 분리된 병원균에 대한 항생제 감수성 검사

현재 항생제에 대한 감수성 분석법으로는 National Committee for Clinical Laboratory Standard(NCCLS) 지침에 따른 한천희석법(Agar Dilution Method)이나 디스크확산법(Disk Diffusion Method), E-test 같은 전통적인 방식이 사용되고 있으며, 본 연구에서는 디스크확산법을 사용하여 유기낙농가 사육환경에서 분리된 지표세균에 대해 20종의 항생제(Table 4)에 대해 내성 여부를 판단하였다. 검사결과, 분리된 *E. coli* ATCC 25922는 vancomycin, penicillin 등 8종의 항생제에 대하여 내성을 나타내었으나, tetracycline에 대해서는 감수성이 있는 것으로 나타났다. 또한 *E. faecium*은 streptomycin, oxacillin 등 9종의 항생제에 대하여 내성을 나타내었으나, vancomycin에 대해서는 감수성을 보였다. 권 등(2007)은 국내 축산환경 중 항생제 내성균 모니터링 결과, 4종류 이상의 항생제에 내성이 있는 다제내성 대장균이 분변과 퇴비, 토양, 하천에서 나타났으며, 항생제별로 tetracycline(TE) 56.3%, cephalotin(CF) 28.9%, streptomycin(S) 27.4%, ampicillin(AM) 25.9%, trimethoprenem/sulfamethoxazole(SXT) 17.8%, enrofloxacin(ENO) 13.2%, norfloxacin(NOR) 12.7%, ciprofloxacin(CIP) 12.2%, chloramphenicol(C) 9.1%, gentamycin(GM) 6.6%의 내성률을 보이고, 4가지

계열의 서로 다른 항생제에 대하여 내성이 있는 다제 내성균(multi-drug resistant) 또한 19.2%로 나타났다고 보고하였다. 또한 소 축사 주변 환경에서 유래된 *E. faecium/faecalis*에 대하여는 78%가 1가지 이상의 항생제 내성을 가지고 있는 것으로 보고되었다(권 등, 2007). 관행적인 방법으로 사육되는 유우사의 분변으로부터 분리된 대장균이 tetracycline 등 10계열 12종의 항생제에 대하여 내성을 보였던 선행 연구(설 등, 2010)의 결과에 비하여 유기농가 분리균의 항생제 감수성이 상대적으로 양호한 것으로 나타났으며, 유기농 사양의 기간이 증가할수록 축사 환경에 분포하는 미생물의

항생제 감수성은 더욱 개선될 것으로 사료된다.

결론

우리나라 축산업이 비약적으로 발전하였으나 대량사육 방식으로 변하면서 동물의 스트레스 증가와 면역력 저하, 이로 인한 질병 발생의 위험 또한 높아지게 되었다. 결국 항생제의 사용이 증가하면서 항생제 내성균 또한 증가하게 되었고, 국민의 식생활과 국민보건을 위협할 수 있다는 판단 아래 2011년 7월부터 배합사료 내 항생제 첨가가 전면 금지되었다. 또한 소비자의 건강, 안전성 지향, 환경 및 동물복지를 배려한 안전 축산물 생산에 대한 관심과 요구가 증대되고 있어 2001년 7월에 CODEX 가이드라인을 근간으로 친환경 농업 육성법 시행규칙을 제정하였고, 친환경/유기축산물의 생산량은 매년 증가하는 경향에 있다.

국내 축산농가의 병원성 세균 관리수준과 항생제 내성균 모니터링에 대한 연구가 일부 수행되었으나, 아직까지 유기

Table 3. Microorganisms isolated from environment of organic dairy barn

Sample	Number of bacteria	Identification of bacteria
Water bucket	4.25±0.91	<i>Acinetobacter lwoffii</i>
		<i>Aerococcus viridans</i>
		<i>Acinetobacter</i> sp.
		<i>Escherichia coli</i> DH5alpha
Breast	6.30±0.23	<i>Acinetobacter lwoffii</i>
		<i>Aerococcus viridans</i>
		<i>Acinetobacter</i> sp.
		<i>Acinetobacter johnsonii</i>
		<i>Acinetobacter townneri</i>
		<i>Corynebacterium glutamicum</i>
		<i>Escherichia coli</i> DH5alpha
<i>Staphylococcus epidermidis</i>		
Fence	4.06±0.20	<i>Acinetobacter lwoffii</i>
		<i>Acinetobacter</i> sp.
		<i>Acinetobacter johnsonii</i>
		<i>Bacillus pseudofirmus</i>
		<i>Bacillus pumilus</i>
		<i>Escherichia coli</i> ATCC25922
<i>Staphylococcus arlettae</i>		
Water	5.15 / 0.06	<i>Acinetobacter lwoffii</i>
		<i>Aeromonas veronii</i>
		<i>Aeromonas media</i>
		<i>Staphylococcus hominis</i>
Feces	6.64 / 0.06	<i>Bacillus licheniformis</i>
		<i>Escherichia coli</i> DH5alpha
		<i>Escherichia coli</i>
		<i>Enterococcus faecium</i>
		<i>Lysinibacillus fusiformis</i>
		<i>Staphylococcus epidermidis</i>
		<i>Streptococcus equinus</i>
<i>Streptococcus lutetiensis</i>		
Feed	5.21±0.24	<i>Bacillus pseudofirmus</i>
		<i>Bacillus pumilus</i>
		<i>Candida krusei</i>
		<i>Lactobacillus paracasei</i>
		<i>Lactobacillus plantarum</i>
		<i>Lysinibacillus fusiformis</i>
		<i>Paenibacillus illinoisensis</i>
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>		

Table 4. Antimicrobial resistance of microorganisms isolated from environment of dairy barn

Class	Antimicrobial	<i>E. coli</i> ATCC25922	<i>Enterococcus faecium</i>
Aminoglycosides	Gentamicin	S	S
	Neomycin	S	R
	Streptomycin	S	R
Lincosamides	Clindamycin	R	R
Cephalosporins	Cefazolin	S	R
	Cephalothin	R	R
Peptides	Colistin	I	R
Macrolides	Erythromycin	R	R
	Tylosin	R	I
β -lactam/ β -lactamase inhibitor combinations	Amoxicillin/ clavulanic acid	I	I
Phenicol	Chloramphenicol	S	S
	Ampicillin	S	S
Penicillins	Penicillin	R	S
	Oxacillin	R	R
Tetracyclines	Tetracycline	S	S
Glycopeptides	Vancomycin	R	S
Quinolones	Nalidixic acid	S	R
	Ciprofloxacin	S	S
Glycylcyclines	Tigecycline	S	S
Oxazolidinones	Linezolid	R	I
Folate pathway inhibitors	Trimethoprim/ sulfamethoxazole	S	S

축산농가 사육환경에 분포하는 미생물과 항생제 내성균에 대한 연구는 보고되지 않고 있다. 본 연구는 국내 유기낙농가의 사육환경 중 미생물의 항생제 내성 실태를 파악하는 것을 목적으로 하였다.

유기낙농가 환경 시료는 울타리와 물공급통, 유방표면, 사료, 물, 분변에서 채취하였으며, 분리·동정된 미생물 중 지표세균으로 사용되는 *E. coli*와 *E. faecium*에 대하여 항생제 감수성 분석을 수행하였다. 분변, 물공급통, 유방 및 울타리에서 *E. coli*가, 그리고 분변에서 *E. faecium*이 각각 분리되었으며, 분리된 *E. coli*는 vancomycin, penicillin 등 8종의 항생제에 대하여, *E. faecium*은 streptomycin, oxacillin 등 9종의 항생제에 대하여 내성을 나타내었다. 그러나 유기낙농가 환경에서 분리한 균이 관행농가 환경에서 분리한 균보다 내성율이 낮게 나타나, 항생제 사용량과 관계가 있는 것을 추측할 수 있었다.

참고문헌

1. Janzenn, J. J. 1979. Efficacy of examining rectal swabs to detect swine *Salmonella* carriers. *Americal Journal of Veterinary Research* 31:1509-1516.
2. NCCLS document M100-S5. 1994. Performance standards for antimicrobial disk susceptibility test-fifth edition: approved standard.
3. 권영일, 김태운, 김해영, 장윤희, 곽효선, 우건조, 정윤희. 2007. 국내 축산환경 중의 항생제 내성균 모니터링에 관한 연구. *한국미생물생명공학회지*. 35:17-25.
4. 박준규, 임재향, 서영동, 김내영, 임동영, 윤선종, 최종성, 고희범. 2000. 전남도내 사육중인 젖소유래 *Staphylococcus aureus*의 enterotoxin 생성과 coagulase 아형분석에 관한 연구. *한국가축위생학회지*. 23:313-320.
5. 설국환, 이승규, 김현욱, 함준상, 장애라, 한기성, 김동훈, 오미화. 2010. 유우 사육환경 및 원유의 미생물 및 항생제 내성 분석. *한국유가공기술과학회지*. 28:7-11.
6. 송희중, 채효석. 1998. 가축에서 대장균 감염증. *한국가축위생학회지*. 21:413-429.
7. 식품의약품안전청 ‘식품·축산환경 항생제 내성균 감소 추세’. 2011. <http://news.kukinews.com/article/view.asp?page=1&gCode=kmi&arcid=1301664450&cp=nv>
8. 이지윤, 이주연, 백승희, 황인진, 이경순, 김영수, 김병훈, 김현수, 강수철, 조재진, 박민서, 석희진, 남인식. 2011. HACCP 적용 농장의 병원성 세균 관리수준에 관한 연구. *한국동물자원과학회지*. 53:67-74.
9. 정석찬, 임숙경, 이희수, 정병열, 이지연, 양창범, 신형철. 2008. 동물에 사용되는 항생제 현황과 내성균. *Infection and Chemotherapy* 40:S144-149.

(Received 2011.11.2./Revised 2011.11.23./Accepted 2011.11.25.)