

## 국내 양돈장의 차단방역 수준에 대한 역학적 연구: 돼지생식기호흡기증후군 위험요인 분석

김규욱 · 박선일<sup>1</sup>

강원대학교 수의과대학 및 동물의학종합연구소

(Accepted: January 20, 2015)

### An Epidemiological Study on Biosecurity Practices on Commercial Pig Farms in Korea: Risk Factors for Porcine Reproductive Respiratory Syndrome Virus Infection

Kyu-Wook Kim and Son-II Pak<sup>1</sup>

College of Veterinary Medicine and Institute of Veterinary Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

**Abstract :** Although researches have highlighted the important role of enhanced farm biosecurity to reduce the severity and prevalence of diseases in livestock, to date there has been little study in Korea on farmers' adoption of biosecurity measures to control porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) infection. To mitigate the risk of PRRSV infection in pigs, the risk factors by which PRRSV is introduced in pig farms must be determined. The primary aim of this study was to investigate pig producers' perceptions about on-farm biosecurity practices. We also analyzed data obtained from a cross-sectional study on 196 farrow-to-finish farms conducted between March 2013 and February 2014 to identify risk factors for PRRSV infection at farm level. Standardized questionnaires with information about basic demographical data and management practices were collected in each farm by on-site visit of trained veterinarians. Farms were classified as negative or positive through the use of infection profiles that combined data on PCR positive pigs and serological testing including antibody titer, sero-conversion pattern at each age category, and vaccination status. Data on biosecurity practices, farm management and environmental characteristics were analyzed using multivariate ordinal logistic regression. Generally, the biosecurity level in the pig farms included in this study were insufficient to reduce/prevent the risk of PRRSV infection given the high pig density areas and the considerable extent of vehicle movement. Factors associated with PRRSV infection were those where owners used on-farm vaccination programs had a lower risk of infection (OR = 0.19, 95% CI 0.06-0.61). The results from the analysis may guide to tailor biosecurity measures in the reduction or prevention of PRRS to the specific circumstances of pig farms in different localities of the world. To the best knowledge of the authors, this is the first study to report information on the biosecurity practices currently implemented on Korean pig farms.

**Key words :** biosecurity, pig farm, risk factor.

## 서 론

돼지생식기호흡기증후군(porcine reproductive and respiratory syndrome, PRRS)은 Arterivirus 속(genus) Arteriviridae 과 (family)의 PRRS virus (PRRSV)에 의한 감염증으로(8) 임신돈에서 유산, 사산 및 조산 등의 번식장애와 다양한 일령의 돼지에서 간질성 폐렴 등 호흡기 증상을 유발하고 세균성 질병에 대한 감수성 증가와 이유 후 높은 폐사율을 특징으로 한다(18). PRRSV가 전파되는 경로는 정액, 사람, 차량, 사체, 사료, 음용수, 분변, 장비, 작업복, 축산물, 곤충, 설치류, 공기전파 등 매우 다양하다(5,15-19,22,23,30,32,33). 이러한 전파양식은 양돈장 내부로 병원체가 유입되는 경로

가 되는 동시에 일단 농장으로 유입된 병원체가 농장 외부로 전파되는 경로가 되며 이를 차단하지 못한다면 광범위한 지역으로 2차 확산이 발생하여 막대한 경제적 손실을 초래할 수 있다. PRRS 발생에 의한 경제적 피해는 우리나라의 경우 연간 1,000억 이상으로 추정되고 있으며, 미국의 경우 포유돈과 육성-비육돈에서의 호흡기 질병에 기인하여 6억 달러 이상의 손실을 유발하는 것으로 보고되었다(9).

PRRSV는 RNA 바이러스로 유전적인 변이 가능성이 높고 동일한 유전형 내에서도 바이러스 간 항원형에 많은 차이가 있으며(8,18,28,30), 유전형에 따라 품종 간 감수성에도 차이를 보인다(2). 한국에서는 1993년 Type II 바이러스(North American type)가 처음으로 분리된 이후(13) 대부분의 양돈장에서 이 바이러스가 분리되고 있을 뿐만 아니라 Type I 바이러스(European type)도 분리되어(20) 이들 2종의 유전형에 복합적으로 감염된 농장이 다발하고 있다(12). 또한 바이

<sup>1</sup>Corresponding author.  
E-mail : paksi@kangwon.ac.kr

러스가 제거된 이후에도 재감염되는 사례가 많아(5) 효과적인 예방대책 수립을 더욱 어렵게 하고 있다. PRRSV 감염에 대한 백신접종은 호흡기 증상의 중증도와 발생 빈도를 경감시키지만(4) 사육밀도가 높고, 유병률이 높은 국내 상황을 고려할 때 감염 농장에서 바이러스를 완전히 제거하는 것은 매우 어렵기 때문에 대안으로 백신접종과 더불어 사양관리 개선을 통하여 적절한 수준으로 관리하는 정책이 보다 현실적일 수 있다. 질병은 단일 요인에 의하여 발생하기도 하지만 많은 경우 농장주의 의식수준을 비롯하여 병원체, 숙주, 환경 등 다양한 복합적 위험요인들이 상호 연관되어 발생하기 때문에(web of causation) 이러한 역학적 연관 고리를 차단하는 수단으로 차단방역(biosecurity)의 중요성이 강조되고 있다(3,6,14,26). 차단방역의 개념은 다양한 분야에서 포괄적인 용어로 사용되고 있지만 축산분야에서는 일반적으로 “병원체의 유입과 확산 위험을 경감시키는데 필요한 조치를 개발하고 이행하는 과정”으로 정의하고 있으며(1,7,25), 동물복지를 고려한 농장의 차단방역 수준은 생산성과 관련성이 높은 것으로 보고된바 있다(9,11,21,27).

농장단위에서 질병 유입 가능성을 선제적으로 예방하고, 비용-효과적인 감시활동 전략을 수립하기 위해서는 질병발생과 관련된 위험요인(risk factor)을 확인하는 연구가 필수적이다(31). PRRSV 감염은 돈군의 크기, 인근 양돈장과의 거리(5,18), 농장 및 돼지사육 밀도, 정액구입(19), 외부 양돈장에서 돼지 구입(32) 등 매우 다양한 위험요인이 관련되어 있는 것으로 보고되었다. 이에 반하여 국내 양돈장을 대상으로 PRRSV 감염증의 위험요인과 차단방역 수준에 대한 체계적인 연구는 수행된바 없으며 일부 양돈장에 대한 표본조사를 수행한 결과에 의하면 차단방역의 중요성에 대한 농장주의 인식 수준이 매우 낮아 질병 발생 위험이 매우 높은 것으로 알려져 있다(24). 본 연구는 국내 양돈장에서 다발하고 있는 PRRSV 감염의 위험요인을 평가함으로써 차단방역의 중요성을 제기하고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 자료

본 연구에서는 농림축산식품부의 돼지소모성질병지도지원사업 정책에 의거하여 2013년 3월부터 2014년 2월까지 전국 247개 표본 양돈장에 대한 질병 실태조사를 통하여 수집된 자료 중 종돈장과 AI센터를 제외하고 설문항목에 대한 분석이 가능하고 혈액검사 결과가 제공된 196개 자료를 대상으로 분석하였다. 차단방역 수준을 평가하기 위한 설문조사표는 농장 환경 및 차단방역 시설, 농장 방문객 및 출입차량 관리, 외부 도입돈 및 사료관리, 농장 및 돈사관리, 농장 질병관리 및 예방, 농장 관련 정보 등 6개 범주 총 176개 항목이며, 모든 자료는 농림축산식품부와 방문조사 계약을 체결한 양돈 전문 수의사가 농장을 직접 방문하여 면접조사를 수집되었다.

### 통계분석

조사 자료는 농장수준에서 수집되었기 때문에 분석의 기본 단위는 농장이 된다. 농장의 감염상황은 항원검사(PRRS

ORF7 RT-PCR, 메디안디노스틱, 한국)와 항체검사(Herd-check, PRRS 3XR, IDEXX)를 통하여 항원 양성 여부, 항체역가 변화 양상, 돼지 일령별 혈청양전 패턴, 백신접종 상황 등을 종합하여 1-5형의 감염유형(profile)으로 분류하였다. 항원 음성이면서 모돈을 포함하여 모든 일령의 돼지에서 항체 음성이고 후보돈에서만 낮은 항체 수준을 보이는 1-2유형을 비감염농장(negative, n = 116), 기타 3-5유형을 감염농장(positive, n = 80)으로 분류하였다. 위험요인 분석을 위하여 회귀계수  $\beta_0$ 와  $\beta_n$ , 독립변수  $X$ 로 이루어진 로지스틱 회귀 모형(logistic regression model)은 다음과 같다.

$$P(Y = 1|X) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)}}$$

로지스틱 회귀분석을 이용한 단변량 분석(univariate analysis)에서 유의수준(P-value)이 0.25 보다 작은 변수를 선정하여 최종 다변량 분석(multivariate analysis)에 투입하였다(31). 연속형 변수의 선형성(linearity)은 동일한 크기의 빈도가 포함되는 범주형 자료로 구분한 후 각 범주의 교차비(odds ratio, OR)를 계산한 결과 선형성이 없는 것으로 판단되는 경우 범주형 변수로 모형에 투입하였다. 기타 범주형 자료는 빈도분포를 고려하여 적절한 범주로 구분하였다. 단변량 분석에서 유의성이 확인된 변수 간 공선성(collinearity)은 Spearman 상관계수가 0.5 이상일 때 상관성이 높은 것으로 판단하였고, 이 경우 단변량 분석에서 유의수준(p-value)이 낮은 변수를 최종 모형에 투입하였다. 최종모형은 단계적 투입법(stepwise)을 이용하였으며, 유의성은 Wald 통계량  $p < 0.05$ 에서 판정하였다. 분석결과 해석의 용이성을 고려하여 상호작용 효과(interaction effect)는 고려하지 않았으며, 최종모형의 적합도(goodness-of-fit)는 Hosmer-Lemeshow 적합성 검정으로 평가하였다(10). 모든 자료는 통계패키지 SAS (version 9.3, SAS Institute, Cary, NC)를 사용하여 분석하였다.

## 결 과

분석대상 196개 양돈장의 규모는 모돈 32-919두 범위였으며, 175개(91%) 농장은 일관사육 농장(farrow-to-finish), 10개(5%)는 번식농장(farrow-to-wean)이었다. 사료 운반, 분뇨 처리, 출하 목적으로 왕래하는 차량을 농장 내부로의 진입을 허용하고, 운전기사가 농장이나 돈사내부로 출입을 허용하는 농장이 많아 방문객에 대한 양돈장의 차단방역 관리 수준이 전반적으로 매우 낮은 것으로 나타났다. 양돈장에서 이행되고 있는 주요 차단방역 내용은 Table 1과 같다. 총 93개의 독립변수 각각의 위험요인에 대한 단변량 분석 결과 31개 변수가 PRRSV 감염과 관련이 있는 것으로 나타났다(Table 2). 단변량 분석에서 유의한 변수 간 다중공선성은 확인되지 않았다. 최종 다변량 모형의 적합도는 충족되었으며( $p = 0.12$ ) 양돈장 자체 백신접종 프로그램을 운용할 경우 PRRSV 감염위험이 약 81% 감소하는 것으로 분석되었다(Table 3).

## 고 찰

국내 양돈장에서 지속적으로 문제가 되고 있는 PRRS는

**Table 1.** Frequency distribution of biosecurity measures on 196 Korean pig farms between March 2013 and February 2014

Biosecurity measures investigated	Frequency (%)
Feed supplier vehicle does not enter the farm	6.6
Carcass treatment facility outside the farm	7.8
Off-site location of incoming feed station	9.5
Loading bay outside the farm	13.3
Do not allow slurry removal vehicle into the farm	16.6
Prohibit of finisher truck driver to enter the farm	18.3
Do not allow feed supplier driver to enter the pig unit	21.2
Do not allow visitors to bring personal items with them into the pig unit	29.5
Preventing from access of wild animals in carcass treatment facility	31.3
Use of dedicated equipments and tools for carcass disposal	46.5
Clinical monitoring of pig herds using biosecurity checklist	46.5
Restriction of visitors with foreign travel within 5 days	48.5
Disinfection of loading bay	50.6
Clinical monitoring of introduced sows	53.1
Use of dedicated clothing to enter the farm	57.7
Compulsory registering for the visits	59.7
Fence surrounding the farm perimeter	59.8
Disinfection of all visitors before enter in the farm	61.0
Routine checking for temperature at each pig unit	62.2
Disinfection of equipments and tools for carcass treatment	63.4
Use of a syringe to treat for suckling pigs	68.9
Clinical monitoring of purchased sows during acclimation	70.0
Ask if visitors have been on other farms	70.1
Consultation with veterinarians for choosing vaccine	73.9
Parking lot outside the farm	75.5
Testing for water quality	75.9
Employee education on biosecurity program	76.8
Reviewing for health status record of the source herd prior to purchasing	79.7
Isolation & acclimation of newly introduced sows	83.3
Using a footbath for the entrance of each barn	85.5
Vaccine storage at desirable temperature	89.2
Washing and disinfection ford at the entry of the farm	92.1

Results are expressed in percentages because of the denominator for questionnaire items is not 100.

돼지유행성설사병, 이유후전신소모성증후군, 돼지호흡기복합병과 함께 만성소모성질환으로 분류되며, 이 질병은 다양한 경로로 전파되기 때문에 양돈장에서의 차단방역과 사양관리 개선이 매우 중요하다(31). 본 연구의 최종 모형에서는 양돈장 자체 백신접종 프로그램을 운용할 경우 PRRSV 감염위험이 감소하는 것으로 나타났으며, 단변량 분석에서는 폐사체 처리 전용 장비 사용, 장비 소독, 농장 출입금지 표지판 설치, 외부 방문객 관리 및 소독, 돈사 입구 발판 소독조 설치, 돼지 구입, 돈사 온도 관리, 백신접종 프로그램 운용, 수의사와 상의한 후 백신 선정, 적절한 온도에서 백신보관 등의 변수가 유의하였다( $p < 0.05$ ). 이러한 결과는 문헌상에 보고된 결과와 매우 유사하다. Le Potier 등(17)은 프랑스에서 PRRSV 감염에 기여하는 전파경로를 분석한 결과 감염된 돼지 구입(56.0%), 정액(19.5%), 무생물 매개체(fomite) 21.2%, 기타 불명 3.4%로 보고하여 질병발생 상황이 알려진 농장에서 돼지를 구입하는 것이 매우 중요함을 시사하였다.

Lambert 등(15,16)은 캐나다에서 PRRSV 감염에 기여하는 위험요인을 분석한 결과 농장입구의 차단방역 표지판 설치, 출하 간 트럭 세차 등 차단방역 수준이 낮았으며, 사육규모가 클수록(OR = 10.7), 인근 양돈장과의 거리가 인접할수록(OR = 7.3), 세차시설이 없고(OR = 8.7), 랜더링 차량이 농장 내부로 자유롭게 출입하는 경우(OR = 7.0) 감염의 위험이 높다고 보고하였다. Velasova 등(31)은 돼지 사육밀집도가 높을수록(OR = 2.9), 폐사체를 소각하지 않고 보관하는 경우(OR = 5.6) 감염위험이 증가하고, 이유 일령 21-27일과 비교할 때 28일 이후일 때 감염위험이 감소하는 것으로 보고하였다. 한편 Truong 등(30)은 농장의 지리적 위치가 도축장으로부터 1 km 이내에 위치하거나 가축시장에서 500 m 이내에 위치할 경우, 주 단위 농장 소독을 실시하지 않을 경우, 조리하지 않는 잔반을 급여할 경우, 외부 구입 돼지를 격리하지 않을 경우, 농장 내 다른 동물이 있을 경우, 인근 농장과의 왕래가 빈번한 경우 감염위험이 높은 것으로 보고하였다.

**Table 2.** Results of univariate analysis of risk factors associated with porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) status in pig farms ( $p \leq 0.25$ )

Variable name	Categories	PRRS -	PRRS +	OR	p value
Presence of isolation facility for newly introduced sows	Yes	7	1	5.41	0.1191
	No	75	58		
All-in-all-out management in weaners	Yes	44	30	1.75	0.0718
	No	45	43		
Requesting a veterinarian for the diagnosis of carcass with unknown causes	Yes	41	37	0.64	0.1262
	No	75	43		
Disposal method of carcass	Self	16	5	2.40	0.1015
	Consignment	100	75		
Use of dedicated equipments and tools for carcass disposal	Yes	56	55	0.424	0.0049
	No	60	25		
Disinfection of equipments and tools for carcass treatment	Yes	34	41	0.394	0.0021
	No	82	39		
Preventing from access of wild animals in carcass facility	Yes	75	63	0.494	0.0353
	No	41	17		
Presence of livestock farms within 3 km-radius around the farm	Yes	69	39	1.54	0.1439
	No	46	40		
Fence surrounding the farm perimeter	Yes	48	41	0.66	0.1638
	No	67	38		
Presence of a sign forbidding the entrance	Yes	37	43	0.40	0.0022
	No	78	36		
Disinfection of all visitors before enter in the farm	Yes	41	40	0.54	0.0385
	No	74	39		
Compulsory registering for the visits	Yes	39	40	0.50	0.0206
	No	76	39		
Restriction of visitors with foreign travel within 5 days	Yes	56	49	0.58	0.0681
	No	59	30		
Disinfection of loading bay	Yes	102	74	0.53	0.2471
	No	13	5		
Location of incoming feed station	Off site	107	68	2.16	0.1152
	On site	8	11		
Residence of workers on the farm	Yes	38	44	0.39	0.0019
	No	77	35		
Using a footbath for each pig unit	Yes	13	18	0.43	0.0351
	No	102	61		
Use of dedicated tools between pig units	Yes	70	62	0.43	0.0107
	No	45	17		
Designing barn location considering pig flows	Yes	54	47	0.60	0.0869
	No	61	32		
Purchasing of sows	Yes	91	76	0.15	0.0026
	No	24	3		
Clinical monitoring for newly introduced sows	Yes	52	49	0.51	0.0220
	No	63	30		
Isolation & acclimation of introduced sows	Yes	13	17	0.47	0.0567
	No	102	62		
Clinical monitoring of purchased sows during acclimation	Yes	32	31	0.60	0.0966
	No	83	48		
Routine checking for temperature at each pig unit	Yes	32	40	0.38	0.0014
	No	83	39		
Consultation with veterinarians for choosing vaccine	Yes	22	31	0.37	0.0024
	No	93	48		

**Table 2.** (Continued) Results of univariate analysis of risk factors associated with porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) status in pig farms ( $p \leq 0.25$ )

Variable name	Categories	PRRS -	PRRS +	OR	p value
Having on-farm vaccination programs	Yes	8	17	0.27	0.0045
	No	107	62		
Vaccine storage at desirable temperature	Yes	7	16	0.26	0.0044
	No	108	63		
Keeping medical records of treatment and vaccination	Yes	40	20	1.58	0.1625
	No	75	59		
Routine health monitoring of swine herds by blood testing	Yes	29	27	0.65	0.1773
	No	86	52		
Use of a syringe per pen	Yes	34	35	0.53	0.0361
	No	81	44		
Use of a syringe to treat for suckling pigs	Yes	33	32	0.59	0.0881
	No	82	47		

OR: odds ratio

**Table 3.** Results of the final multivariate analysis of risk factors associated with porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) status in pig farms

Variable name	Coefficient	Standard error	Wald $\chi^2$	OR	95% CI
Having on-farm vaccination programs	-1.6801	0.6035	7.75	0.19	0.057-0.6080

OR: odds ratio, CI: confidence interval

국제식량농업기구(FAO)와 세계동물보건기구(OIE)에서는 차단방역의 범주에 대하여 병원체가 농장 내부로 유입되는 경로를 차단하는 외부차단방역(external)과 농장으로 유입된 질병이 농장 내부의 감염되지 않은 개체 혹은 다른 농장으로 확산되는 경로를 차단하는 내부차단방역(internal)으로 구분하고 있다(7). PRRSV 감염의 위험요인으로 보고된 축산 농가 밀집도와 지리적 위치(14,16,30,31)와 같이 농장수준에서 해결하기 어려운 요인에 대해서는 국가가 적극적으로 개입하는 것이 바람직하다. 반면에 농장 입구 차량 소독기 설치, 농장을 출입하는 사람 및 차량 소독, 외부, 방문자 기록 관리, 농장 울타리 설치, 예방접종, 환돈 관리 등과 같은 외부차단방역 요인은 농장주의 의지에 따라 개별 양돈장 단위에서 개선이 가능하지만 본 연구에서는 국내 양돈장의 차단방역 이행 수준은 매우 낮은 수준으로 나타났다. 이러한 결과는 스페인의 양돈장을 대상으로 농장주의 차단방역에 대한 인식수준을 조사한 결과(28)와 매우 유사한데 저자들은 수의사가 평가한 점수에 비하여 농장주가 자신의 농장을 평가한 점수가 더 높게 나타났으며, 질병 유입위험을 최소화하는데 필요한 기본적인 차단방역 원칙을 이행하지 않는 농장이 많은 것으로 보고하였다. 이는 개별 농장 단위에서 실천이 가능한 차단방역의 내용을 계획하는 능력과 인식수준이 낮다는 것을 의미하며 이에 대한 적극적인 교육과 홍보가 필요하다.

본 연구에서 사용한 종속변수는 돼지 일령을 고려하여 농장 당 46두를 채혈한 결과로 항원 검출 여부, 백신접종 상황을 고려한 항체역가 변화 양상과 일령별 혈청양성 패턴 등을 종합하여 판정기준에 따라 감염유형을 5개로 분류하였다. 특히 2-5형의 감염유형과 관련하여 모돈의 항체수준이

낮고 균일하며, 자돈-비육 구간에서 항체 양전이 없고, 일령 증가에 따른 항체역가가 상승하지만 항원 음성인 안정화 농장을 분석의 목적으로 비감염군으로 분류하였다. 이러한 분류체계의 타당성과 분석결과에 미치는 영향에 대해서는 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 양돈장 현지 역학조사 과정에서 일부 설문항목에 대한 농장주의 무응답이 많았는데 이러한 누락치(missing value)가 분석결과에 미치는 왜곡(bias)의 정도에 대한 분석도 필요할 것으로 보인다.

## 결 론

국내 양돈장에서 다발하고 있는 돼지생식기호흡기증후군(PRRS)의 위험요인을 분석하고자 196개 표본 양돈장에 대한 질병실태조사 자료를 분석하였다. 단변량 분석에서 PRRSV 감염위험과 직접적인 관련이 있는 차단방역 관련 변수는 31개였으며, 최종모형에서는 양돈장 자체 백신접종 프로그램을 운용할 경우 PRRSV 감염위험이 현저히 감소하는 것으로 나타났다. 돼지 사육밀도가 높고 차량이동이 빈번한 상황을 고려할 때 양돈장에서 이행되고 있는 현행 차단방역 수준이 전반적으로 매우 낮아 대부분의 양돈장이 질병유입 위험에 노출되어 있는 것으로 추정된다. 이러한 결과는 개별 양돈장 단위에서 실천할 수 있는 차단방역 프로그램을 시급히 개발하고 이에 대한 농가 교육과 홍보가 필요함을 시사한다. 본 연구의 종속변수는 항원 및 항체검사 결과에 따라 분류된 감염 유형에 근거하였기 때문에 분석결과와 정확도에 영향을 미칠 수 있음을 감안하여 분류체계의 타당성에 대한 연구와 항원 및 항체검사 결과를 해석하는 표준화된 기준을 마련하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 광역경제권연계협력사업 (Biosecurity 질병감시 및 중앙통제시스템개발 사업), 2014년도 강원대학교 학술연구조성비(과제번호-120140287) 및 강원대학교 동물의학종합연구소의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Amass SF, Clark LK. Biosecurity considerations for pork production units. *Swine Health Prod* 1999; 7: 217-228.
- Badaoui B, Grande R, Calza S, Cecere M, Luini M, Stella A, Botti S. Impact of genetic variation and geographic distribution of porcine reproductive and respiratory syndrome virus on infectivity and pig growth. *BMC Vet Res* 2013; 9: 58.
- Bottoms K, Poljak Z, Friendship R, Deardon R, Alsop J, Dewey C. An assessment of external biosecurity on Southern Ontario swine farms and its application to surveillance on a geographic level. *Can J Vet Res* 2013; 77: 241-253.
- Corzo CA, Mondaca E, Wayne S, Torremorell M, Dee S, Davies P, Morrison RB. Control and elimination of porcine reproductive and respiratory syndrome virus. *Virus Res* 2010; 154: 185-192.
- Evans CM, Medley GF, Creasey SJ, Green LE, A stochastic mathematical model of the within-herd transmission dynamics of porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV): fadeout and persistence. *Prev Vet Med* 2010; 93: 248-257.
- Fahrion AS, Beilage Eg, Nathues H, Dürr S, Doherr MG. Evaluating perspectives for PRRS virus elimination from pig dense areas with a risk factor based herd index. *Prev Vet Med* 2014; 114: 247-258.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Organization for Animal Health/World Bank. Good practices for biosecurity in the pig sector - Issues and options in developing and transition countries. FAO Animal Production and Health Paper No. 169. Rome, FAO, 2010.
- Frossard JP1, Hughes GJ, Westcott DG, Naidu B, Williamson S, Woodger NG, Steinbach F, Drew TW. Porcine reproductive and respiratory syndrome virus: genetic diversity of recent British isolates. *Vet Microbiol* 2013; 162: 507-518.
- Holtkamp DJ, Kliebenstein JB, Neumann EJ, Zimmerman JJ, Rotto HF, Yoder TK, Wang C, Yeske PE, Mowrer CL, Haley CA. Assessment of the economic impact of porcine reproductive and respiratory syndrome virus on United States pork producers. *J Swine Health Prod* 2013; 21: 72-84.
- Hosmer DW, Hosmer T, Le Cessie S, Lemeshow S: A comparison of goodness-of-fit tests for the logistic regression model. *Stat Med* 1997; 16: 965-980.
- Hueston WD, Taylor JD. Protecting US cattle. The role of national biosecurity programs. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2002; 18: 177-196.
- Kim HK1, Park SJ, Rho SM, Han JY, Nguyen VG, Park BK. One year's study of dynamic and evolution of types I and II PRRSV in a swine farm. *Vet Microbiol* 2011; 150: 230-238.
- Kweon CH, Kwon BJ, Lee HJ, Cho JJ, Hwang EK, Shin JH, Yoon YD, Kang YB, An SH, Kim YH, Huh W, Jun MH, Wensvoort G. Isolation of porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) in Korea. *Korean J Vet Res* 1994; 34: 77-83.
- Laanen M, Maes D, Hendriksen C, Gelaude P, De Vliegheer S, Rosseel Y, Dewulf J. Pig, cattle and poultry farmers with a known interest in research have comparable perspectives on disease prevention and on-farm biosecurity. *Prev Vet Med* 2014; 115: 1-9.
- Lambert MÈ, Poljak Z, Arsenault J, D'Allaire S. Epidemiological investigations in regard to porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS) in Quebec, Canada. Part 1: biosecurity practices and their geographical distribution in two areas of different swine density. *Prev Vet Med* 2012; 104: 74-83.
- Lambert MÈ, Arsenault J, Poljak Z, D'Allaire S. Epidemiological investigations in regard to porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS) in Quebec, Canada. Part 2: prevalence and risk factors in breeding sites. *Prev Vet Med* 2012; 104: 84-93.
- Le Potier MF, Blanquefort P, Morvan E, Albina E. Results of a control programme for the porcine reproductive and respiratory syndrome in the French 'Pays de la Loire' region. *Vet Microbiol* 1997; 55: 355-360.
- Lunney JK, Benfield DA, Rowland RR. Porcine reproductive and respiratory syndrome virus: an update on an emerging and re-emerging viral disease of swine. *Virus Res* 2010; 154: 1-6.
- Mortensen S, Stryhn H, Sogaard R, Boklund A, Stark KD, Christensen J, Willeberg P. Risk factors for infection of sow herds with porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS) virus. *Prev Vet Med* 2002; 53: 83-101.
- Nam E, Park CK, Kim SH, Joo YS, Yeo SG, Lee C. Complete genomic characterization of a European type 1 porcine reproductive and respiratory syndrome virus isolate in Korea. *Arch Virol* 2009; 154: 629-638.
- Negro-Calduch E, Elfadaly S, Tibbo M, Ankers P, Bailey E. Assessment of biosecurity practices of small-scale broiler producers in central Egypt. *Prev Vet Med* 2013; 110: 253-262.
- Otake S, Dee SA, Moon RD, Rossow KD, Trincado C, Pijoan C. Studies on the carriage and transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus by individual houseflies (*Musca domestica*). *Vet Rec* 2004; 154: 80-85.
- Otake S, Dee SA, Rossow KD, Deen J, Joo HS, Molitor TW, Pijoan C. Transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus by fomites (boots and coveralls). *J Swine Health Prod* 2002; 10: 59-65.
- Pak SI. Latent class analysis to classify pig farms into biosecurity level. *Korean J Vet Res* 2013; 53: 326.
- Permin A, Detmer A. Improvement of management and biosecurity practices in smallholder producers. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations. 2007; 1-55.
- Ribbens S1, Dewulf J, Koenen F, Mintiens K, De Sadeleer L, de Kruif A, Maes D. A survey on biosecurity and management practices in Belgian pig herds. *Prev Vet Med* 2008; 83: 228-241.
- Scott PR, Sargison ND, Wilson DJ. The potential for improving welfare standards and productivity in United Kingdom sheep flocks using veterinary flock health plans. *Vet J* 2007; 173: 522-531.
- Simon-Grifè M, Martín-Valls GE, Vilar-Ares MJ, García-Bocanegra I, Martín M, Mateu E, Casal J. Biosecurity practices in Spanish pig herds: perceptions of farmers and veterinarians of the most important biosecurity measures. *Prev Vet Med* 2013; 110: 223-231.
- Stadejek T, Oleksiewicz MB, Potapchuk D, Podgorska K. Porcine reproductive and respiratory syndrome virus strains of exceptional diversity in eastern Europe support the definition of new genetic subtypes. *J Gen Virol* 2006; 87: 1835-1841.
- Truong VM, Gummow B. Risk factors for porcine reproductive and respiratory syndrome outbreaks in Vietnamese small

- stock farms. *N Z Vet J* 2014; 62: 199-207.
31. Velasova M, Alarcon P, Williamson S, Wieland B. Risk factors for porcine reproductive and respiratory syndrome virus infection and resulting challenges for effective disease surveillance. *BMC Vet Res* 2012; 8: 184.
  32. Weigel RM, Firkins LD, Scherba G. Prevalence and risk factors for infection with Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus (PRRSV) in swine herds in Illinois (USA). *Vet Res* 2000; 31: 87-88.
  33. Wensvoort G, Terpstra C, Pol JM, ter Laak EA, Bloemraad M, de Kluyver EP, Kragten C, van Buiten L, den Besten A, Wagenaar F, Broekhuijsen JM, Moonen P, Zetstra T, Deboer EA, Tibben HJ, Dejong MF, Vantveld P, Groenland GJR, Vangennep JA, Voets MT, Verheijden JHM, Braamskamp J. Mystery swine disease in The Netherlands: the isolation of Lelystad virus. *Vet Q* 1991; 13: 121-130.