KJOAS

ISSN (Print) : 2466-2402
ISSN (Online) : 2466-2410

Nutrition and feed approach according to pig physiology

Sangwoo Park[1†], Byeonghyeon Kim[1†], Younghoon Kim[3†], Sheena Kim[1], Kibeom Jang[1], Younghwa Kim[2], Juncheol Park[2], Minho Song[1*], Sangnam Oh[3*]

[1]Department of Animal Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea
[2]National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Cheonan 31000, Korea
[3]Department of Animal Science, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

*Corresponding author: mhsong@cnu.ac.kr, osangnam@jbnu.ac.kr

Abstract

The use of antibiotics in Korean swine production has been changing to a restricted use of in-feed antibiotics. These antibiotics, which are also growth promoters, are powerful for disease control. Due to this issue, the swine industry is consistently looking for any kind of alternatives to antibiotics such as new feed ingredients, feed additives, feed formulation practices, or feeding methods to improve pig health and performance. In general, dietary factors provide bioavailable nutrients and/or affect physiological activity to modify the physiological condition, immune system, or microbial population of pigs to improve their performance and health. Thus, it is suggested that dietary factors may be important components in the growth and health management of pigs. Using an alternative grain feed such as rice, barley, and oats, low protein diets or low-high energy diets can be used as solutions to manage the effect of stress factors that cause growth and health problems at specific time points during the stages of pig production. Several studies support that these alternative feeds and dietary factors may improve pig growth and health by changes in intestinal conditions, immunity, or other physiological conditions compared with typical feed ingredients and diet management in pig production. Therefore, feed ingredients, low protein levels, and different energy contents in swine diets were reviewed to better understand how these dietary factors can contribute to improved pig performance and health under different physiological conditions.

Keywords: dietary factors, growth, health, pig

CrossMark
click for updates

OPEN ACCESS

Citation: Park SW, Kim BH, Kim YH, Kim SN, Jang KB, Kim YH, Park JC, Song MH, Oh SN. 2016. Nutrition and feed approach according to pig physiology. Korean Journal of Agricultural Science 43:750-760.

DOI: https://doi.org/10.7744/kjoas.20160078

Editor: Dinesh Dharshaka Jayasena, Uva Wellassa University, Sri Lanka

Received: October 5, 2016

Revised: November 10, 2016

Accepted: November 13, 2016

Copyright: ©2016 Korean Journal of Agricultural Science.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

†Park, Kim and Kim contributed equally to this work as the first authors.

Introduction

축산업의 발달과 더불어 돼지산업은 더 높은 수익성을 얻기 위한 여러 노력들로 계속 발전해 왔으며, 생산성과 상품성에 무관심했던 과거와는 달리, 현재는 시설화와 규모화를 통해 효율적인 생산과 동시에 일정수준 이상의 성적을 안정적으로 유지하고 있다(Fredeen and Harmon, 1983; Hollis and Curtis, 2001).

하지만, 잘 갖춰진 시설환경에도 불구하고 미 발달된 이유자돈의 소화체계와 복합적인 스트레스 요인들은 장내 균총 변화를 유도하고, 유해미생물에 대한 저항력을 감소시켜 이유시기의 설사 및 폐사는 여전히 발생하고 있다(Lallès et al., 2007; McDonald et al., 2001; Heo et al., 2009;

Song et al., 2015a). 한편, 상대적으로 시설투자가 많지 않은 육성비육돈의 경우 여름철의 고온 환경과 함께 체내 발생한 대사열이 복합적으로 작용하여 나타나는 식욕저하와 더불어 겨울철의 저온 환경에 의한 부정적인 영향들로 전반적인 생산성저하 현상이 지속적으로 나타나고 있다(Verstegen et al., 1982; Kelley, 1983).

이처럼 생리적,환경적인 특성상 필연적으로 발생할 수 밖에 없는 내·외부적인 스트레스 요인들은 여전히 질병발생 가능성을 높이고, 성적저하를 야기하는 문제들의 원인으로 작용하고 있기 때문에 불가피한 스트레스 상황에서 돼지 생리에 맞춘 영양, 사료적 접근을 통해 개선 가능성이 있는 방안들을 소개하고자 한다.

Control of feed composition and pig health

대체 곡물 사료

다양한 곡물 중 주로 이용되는 원료사료인 옥수수와 밀 등은 주로 전분으로 이루어져 있어 소장에서의 소화 및 흡수, 이용이 쉽기 때문에 이유자돈의 에너지 공급원으로써 주로 이용되고 있으나, 그 외의 곡물들은 일반적으로 소화가 어려운 비전분성다당류(NSP)를 비교적 많이 함유하고 있어 이용이 제한적이다(Table 1).

Table 1. Comparison of the nutrient composition of grains (NRC, 2012).

Items	Corn	Wheat	Sorghum	Rice
Dry matter (%)	88.31	88.67	89.39	87.78
Crude protein (%)	8.24	14.46	9.36	7.87
Crude fiber (%)	1.98	2.57	2.14	0.52
Ether extract (%)	3.48	1.82	3.42	1.30
Starch (%)	62.55	59.50	70.05	75.19
ME, kcal/kg	3,395	3,215	3,532	3,627
Indispensable amino acid (%)				
Lysine	0.25	0.39	0.20	0.35
Methionine	0.18	0.22	0.16	0.25
Threonine	0.28	0.40	0.30	0.23
Tryptophane	0.06	0.17	0.07	0.11

NSP는 소장을 통과하여 대장에서 미생물 발효의 주된 재료가 되는데(Jørgensen et al., 1996; Choct, 1997), 생리적인 면에서의 효과를 인정받아 식이섬유라 불리기도 한다. 발효과정에서 장내 미생물들의 분해 정도는 섭취하는 사료의 주된 탄수화물에 의해 크게 영향을 받게 되며, 발효 생산물들 또한 유익균 활동에 적합한 환경을 제공하기 때문에, 이용하는 곡물의 영양적 조성에 따라 소화생리 및 장내 균총에 영향을 미치는 수준이 달라진다(Bach Knudsen, 2001). 따라서, 현재 이용되고 있는 주원료 사료의 대체를 통해 장 조직의 발달과 균총 안정화로 장 건강을 향상시키고, 이유자돈의 설사발생을 감소시킬 수 있는 가능성을 살펴보고자 한다.

쌀은 기존의 원료사료들과 비교하여 전분의 함량이 많고 식이섬유의 함량이 비교적 적기 때문에 이유자돈 사료 내 에너지공급원으로써 옥수수 대체 할 곡물 사료로 주목 받고 있다(Stein and Kil, 2006). 쌀을 주원료로 사용하여 비교한 실험에서는 옥수수를 주원료로 사용한 사료보다 높은 일당증체량과 소화율을 보였다(Li et al., 2002; Vicente et al., 2008). 이는 대부분의 탄수화물이 소화되어 소장에서 흡수 되고, 더 적은 양의 NSP가 대장을 통과하여, 유해 미생물을 포함한 장내 미생물에게 주어지는 영양 공급이 감소되어 나타난 결과로 볼 수 있다.이와 관련하여 실험적으로 돼지에게 이질(dysentery) 또는 대장균(*E. coli*)을 감염시킨 뒤 관찰 하였을 때, 식이섬유의 함량을 적게 급여한 돼지들에서 대장 내 유해 미생물의 수가 감소하였다(Pluske et al., 1996; McDonald et al., 1999). 이것은 사료 내에 있는 식이섬유(soluble NSP)와 저항성 전분(resistant starch)이 돼지의 소화기관 내 유해 미생물의 수 증가와 관련된 능력과

매우 밀접한 관계를 지니고 있다는 것을 보여준다.

최근 연구에서는 주원료 사료인 옥수수를 쌀밥(cooked rice)으로 대체 급여시 돼지의 성장 성적 및 폐사율이 유사하거나 개선되는 결과를 보였다(Che et al., 2013). 또한 이유자돈 사료에서 쌀밥으로 주로 구성된 사료는 익힌 옥수수(cooked corn) 또는 익힌 귀리(cooked oats)보다도 높은 성장률을 보이며, 설사율도 감소되었다(Vicente et al., 2008; Parera et al., 2010).하지만 쌀밥과 소화계 질병에 대한 관계를 정확하게 규명하기 위해서는 쌀밥 급여가 이유자돈의 장 건강 및 미생물균총에 작용하는 원리와 관련하여 추가적인 연구가 필요하다.

또한곡류의 특정 식이섬유인 베타글루칸(Table 2)은 미생물 활성 감소, 살균효과, 면역세포 및 관련물질 조절능력 증가 등 항미생물적 기능(Kaiser and Kernodle, 1998; Liang et al., 1998)과 식균능력 및 질병저항성 증가(Estrada et al., 1997; Yun et al., 2003) 등의 기능이 있다고 알려져 있어 베타글루칸 함량이 높은 곡물사료 급여시이유자돈 설사의 감소를 기대하고 있다(Medel et al., 1999; Paulicks et al., 2000; Garry et al., 2007; Lynch et al., 2007).주원료 사료로 이용되고 있는 옥수수와 밀은 각각 0.8 - 1.7%, 0.5 - 1% 수준으로 베타글루칸을 함유하고 있으나 귀리와 보리에는 각각 3 - 7%, 5 - 11% 높은 수준의 베타글루칸을 함유하고 있다(Skendi et al., 2003; Pieper et al., 2008; Khoury et al., 2012).이와 같이, 귀리와 보리 등 곡류사료에 다량 함유되어있는 베타글루칸은 장내 유익균 수의 증가를 유도하고, 악취 및 암모니아의 생성을 감소 시키며, 단쇄지방산의 생성을 증가시켜 돼지 장 건강에 이로운 효과를 준다고 알려져 있다(Li et al., 2002; Garry et al., 2007).

Table 2. The content of β-glucan in grains (DM basis) (Skendi et al., 2003; Pieper et al., 2008; Khoury et al., 2012).

Grains	β-glucan (%)
Barley	5 - 11
Oat	3 - 8
Corn	0.8 - 1.7
Wheat	0.5 - 1.0
Sorghum	1.1 - 6.2
Rye	1.3 - 2.7
Rice	0.13

귀리와 보리의 식이섬유 조성의 유사함에도 두 곡물간의 베타글루칸 분자량과 기타 다당류의 조성 및 구조의 영향으로 장내 미생물에 유도되는 효과는 차이가 있을 수 있지만, 두 원료사료 모두 결과적으로는 대장 내 미생물 발효를 통한 단쇄지방산 증가로 pH감소, 물과 전해질의 흡수, 장내 유익균의 우점을 유도하여 돼지 설사 빈도를 감소할 것이라 기대되고 있다(Lindberg, 2014).베타글루칸과 같은 특이 식이섬유의 급여를 통한 이유시기의 즉각적인증체 효과는 옥수수에 비해 미비하지만, 장내 환경을 개선하고 면역적 기능을 개선시켜 소화계통의 질병으로부터 보다 건강하게 관리한다면, 보다 안정적이며 지속적인 양돈생산을 유도할 수 있을 것이다.

저단백질 사료

체조직 구성, 효소 및 호르몬 전구체, 항체 생성, 에너지 공급 등의 기능을 담당하는 필수영양소인 단백질은 섭취한 형태 그대로 이용되지 않고 아미노산으로 소화된 후 소장에서 흡수되어 이용된다. 그러나 소장에서 흡수되지 못한 단백질은 대장 미생물 성장을 위한 발효기질로 이용된다(Stein, 2007; Heo et al., 2015).

이유(weaning)는 장내 균총의 변화 뿐 아니라 장관 형태 및 생리적으로 중요한 시기이다(Pluske et al.,1997; Rist et al., 2013). 그러나, 이유자돈은 위의 용적이 작고 단백질효소의 발달이 부족한 시기로, 소화능력이 미흡하고 고형사료 자극에 적응이 되지 않은 융모들의 탈락으로 아미노산을 흡수할 수 있는 표면적 마저 감소하게 되어 소장 통과 후, 대장에서 미생물 증식을 위한 발효기질로 이용되는 아미노산 및 소화되지 못한 단백질이 다른 성장시기에 비해 많

다(Ball and Aherene, 1987; Nyachoti et al., 2006). 이때, 소화관에 남아있는 소화물은 pH를 증가시켜 유해 미생물의 증식이 원활한 환경을 제공하고, 병원성 미생물의 활성이 증가되며 장내 균총의 균형이 깨어지게 되어 이유자돈 설사의 원인이 된다(Nyachoti et al., 2006; Stein and Kil, 2006; Wellock et al., 2008a; Song et al., 2015b). 또한 대장에서 단백질이 발효 될 때, 악취유발물질 등의 유해물질들이 발효산물로 생산되면서(Cho et al., 2015) 불안정한 소화환경을 만들고 소화기관 발달을 지연시켜 미소화 영양분이 유지, 증가되는 악순환이 반복되어 이유자돈의 설사를 유도하고 있기 때문에, 저단백질 사료의 급여를 통해 장내 환경 및 균총을 개선시켜 이유자돈의 설사 저감이 가능할 것으로 기대하고 있다(Pluske et al., 2002; Wellock et al., 2008b).

이유자돈에게 단백질수준별 소화효소의 활성 및 발달을 촉진하는 효과에 차이가 없었다는 이전 연구 결과(Opapeju et al., 2009b)는 소화흡수가 원활하지 못한 이유자돈에게 고단백질 사료를 급여하는 것은 이용효율이 높지 않으며, 단백질비용만을 증가시키므로 저단백질 사료의 급여를 제안하였다. 그러나, 저단백질 사료의 급여가 고단백질 사료대비 증체성적이 좋지 못하다는 일각의 의견이 있으므로, 본문에서는 *E. coli*의 구강 투여 시 저단백질 사료의 설사저감 효과에 대해서 언급하고자 한다.

병원성 미생물의 구강투여에도 불구하고 저단백질 사료 급여시 융모 표면에 유익균의 우점을 확인하였고, 또한 융모 손실이 적고 점막 세포의 발달이 왕성함을 확인하였다(Opapeju et al., 2009a, 2015). 이는 대장 내 미소화단백질의 감소로 pH 등 장내 환경이 개선되어 활성이 감소한 병원균들이 점막에 부착하지 못하고 소장을 통과하여 배출되었다고 설명할 수 있다. 고단백질 사료에 비해 저단백질 사료 급여시 직접적인 설사발생 빈도와 설사지수의 개선이 확인되었고(Wellock et al., 2007; Opapeju et al., 2009a; Heo et al., 2015), 이때 이유자돈의일당증체량, 사료섭취량, 사료효율은 단백질 수준에 따라 차이를 보이지 않았다(Opapeju et al., 2009a).

이유 후 육성-비육기에도 단백질 수준과 사양성적에 뚜렷한 차이가 없었다(Corrent, 2013). 이 시기는 소화능력이 완전히 발달되어, 흡수된 아미노산을 이용함에 있어서 과잉 흡수된 아미노산은 에너지로 전환되기 위한 단백질 대사를 진행하는데, 이때 탈아미노화와 요소회로 등의 단백질 대사가 증가하게 되며, 대사산물로 분변량이 증가하기도 한다. 이와 일치하여,고단백질 사료 급여를 통해 일정량 이상 섭취된 단백질은 혈중요소태질소와 질소화합물 배출량을 증가시켰고, 저단백질 사료 급여시요소태질소 수준과 질소화합물 배출량이 줄어들었다(Chen et al., 1999; Bellego et al., 2002; Heo et al., 2015). 추가적으로 고온 환경에서 고단백질 사료의 급여는 저단백질 사료 급여시 보다 사료섭취량 감소 수준이 크게 나타나 저단백질 사료의 사료효율이 개선되는 것을 확인하였다(Bellego et al., 2002).

따라서, 돼지의 아미노산 요구량에 맞춘 상태에서 저단백질 사료 급여시 질소 화합물 및 분변량 감소와 함께 자돈의 설사 발생이 줄어들 것으로 기대된다.

에너지 수준 조정

동물의 유지, 성장, 생산과 같은 일상적인 활동을 위한 최적의 온도는 상 임계온도(Upper critical temperature, UCT)와 저 임계온도(Lower critical temperature, LCT) 사이에 존재하는 구간으로 열중립지대(Zone of thermal neutrality)라 부른다(Table 3). 적정 환경 온도(열 중립지대)에서는 열 발생량이 비교적 안정적이지만, 이 구간을 벗어나면 동물은 환경온도에 의한 스트레스를 받게 되며 동시에 적정체온을 유지하려 한다(Henken et al., 1991; Renaudeau, 2005). 이러한 체온조절의 과정은 에너지 대사의 영향으로 행동적, 물리적, 해부학적인 차이를 발생시킨다(Dauncey and Ingram, 1986; Noblet et al., 2001).

기본적으로 돼지는 땀샘이 잘 발달되지 않았기 때문에, 여러 가지 생리활동을 통해 체내에서 생성된 열을 주로 호흡의 증가를 통해 체외로 방출해야 하는 어려움이 있다(Ingram, 1965). 그에 따라 혹서기의 경우, 높은 온도와 사료의 소화흡수에 의해 발생되는 대사열이 복합적으로 작용하여 고온 스트레스를 야기하고(Close and Mount, 1978; Coffey et al., 1982) 생리적으로 돼지의 식욕을 저하시켜 사료섭취량과 열의 발생을 감소시킨다(Rinaldo and

Table 3. The zone of thermal neutrality of each growth phase (FASS, 2010).

Phase	Lower critical temperature (°C)	Upper critical temperature (°C)
Lactating sow, litter	Sow : 15 Litter : 32	Sow : 26 Litter : -
Prenursery, 3 - 15 kg	26	32
Nursery, 15 - 35 kg	18	26
Growing, 35 - 75 kg	15	25
Finishing, 70 - 100 kg	10	25
Sow, boar	10	25

Dividich, 1991; Quiniou et al., 2000; Quiniou et al., 2001). 이러한 식욕의 저하는 비육성적과 번식성적의 저하를 초래하며 나아가 모돈의 비유량을 감소시켜 자돈의포유체중에도 영향을 미치게 된다. 한편 혹한기의 경우, 사료섭취를 통해 주위 온도의 감소에 직접적으로 대처해 체온을 안정화 시킬 수 있기 때문에 사료섭취량의 증가를 보이긴 하지만, 저온 스트레스와 동시에 섭취하는 사료로부터 얻는 에너지들의 대부분이 성장보다는 유지를 위하여 주로 사용되기 때문에 성장이 지체되어 결과적으로는 전체적인 성적저하의 결과를 초래한다(Verstegen et al., 1982; Verhagen, 1987; Dividich et al., 1991). 더욱이 혹서기에 온전한 사료섭취를 하지 못했던 돼지들에게는 저온 환경이 더욱 부정적으로 작용하게 된다. 위와 같은 요인들은 추가적으로 면역력에도 영향을 주어 여러 질병적인 요소에 취약해질 수 있기 때문에, 돼지의 성적저하를 막기 위해서는 혹서기와 혹한기에 특별한 영양관리가 필수적이라고 할 수 있다.

현재 많은 농가에서 자돈의 경우 온도 관리에 노력하고 있지만 그 외 구간의 경우에는 아직까지도 관리가 부족한 실정이다. 따라서 돈사의 환경이 적정 환경 온도를 벗어나 온도스트레스를 유발하는 경우, 이러한 요인을 고려하지 않은 사료배합성분에 의해 스트레스가 가중되고 성장이 지체되며 결과적으로 전체적인 성적의 저하로 이어질 수 있기 때문에(Coffey, 1982; Verstegen et al., 1982) 각 상황에 따라 고에너지 사료(지방 함량이 높은)와 저에너지 사료(섬유소 함량이 높은)를 이용하는 영양사료적인 접근방법을 살펴보고자 한다.

사료섭취량은 돼지의 성적과 밀접하게 연관되어 있는 요소로서 주변환경의 온도에 맞춰 영양적으로 적절한 사료를 급여할 때, 가장 최적의 결과를 얻을 수 있다(Verstegen et al., 1985). 그러나 일반적으로 이용되고 있는 자율급여(*ad libitum*)의 경우, 돼지들이 주변온도의 변화에 맞춰 사료섭취량을 조절하기 때문에, 혹서기 또는 혹한기와 같은 비정상적인 온도하의 상황에서 고에너지 사료나 저에너지 사료를 적절하게 이용한다면 생산성을 증가시킬 수 있다(Dividich et al., 1987; Giles et al., 1987). 이러한 사료 내 에너지수준의 조절을 통한 접근방법은 에너지의 함량뿐만 아니라 주변온도와 사료간 상호작용을 통한 열 생산 효과로서 설명될 수 있다. 일반적으로 사료의 열 생산 효과는 고에너지 사료와 고전분 사료에서보다 저에너지 사료에서 더 높다(Noblet et al., 1994; Noblet, 2006). 또한 탄수화물 열량을 지방으로 대체하는 경우, 적정 온도 환경에서 에너지 섭취, 증체비율, 사료효율이 증가하는 효과를 기대할 수 있기 때문에(Seerley et al., 1978; Katsumata et al., 1996),고에너지 사료를 통해 열 발생을 줄이고 더위로 인해 감소된 자율적 섭취량을 어느 정도 채워줄 수 있다면 혹서기에 있는 성적의 저하를 어느 정도 개선할 수 있을 것이다. 반대로 추위의 환경에서는 고에너지, 저에너지 사료에서 모두 비슷한 열 생산량의 결과를 보였으며(Noblet et al., 1985), 섬유소 함량이 높은 사료의 영양적 가치는 추위의 환경에서 최대화 된다(Noblet et al., 1989). 이를 통해 낮은 주변온도의 환경에서는 사료의 에너지 밀도가 대사에너지 섭취에 거의 영향을 주지 않을 뿐만 아니라(Stahly et al., 1981; Coffey et al., 1982; Dividich and Noblet, 1986) 생산된 열의 경우 체온조절을 위한 추가적인 열 발생으로 일부 이용될 수 있다고 생각된다.

생산성과 연관되어있는 성적의 경우에도 온도의 영향을 받는다고 할 수 있는데, 조금 낮은 주변온도에서는 사료전환율이자돈과 육성-비육돈에서 증가하는 결과도 보였지만(Dividich and Rinaldo, 1989), 일반적으로 추위의 환경

에서 일당증체량이 감소하기 때문에 추가적인 사료급여가 생산성적을 위해 필수적이라고 할 수 있다(Close and Mount, 1978). 자율급여를 통해 주변온도에 따라 고에너지 사료와 저에너지 사료를 비교해 보았을 때, 더운 환경에서는 고에너지 사료가 일당증체량과 에너지 효율을 개선하였으나 추위의 환경에서는 두 사료 모두 비슷한 성적을 나타내었다(Coffey et al., 1982).

도체구성 또한 성적과 더불어 온도에 영향을 받게 되는데, 일반적으로 고온 환경에서는 열과 관련한 여러 가지 요인들로부터 자율적인 사료섭취량이 감소함에 따라 도체지방이 감소하는 결과를 나타낸다(Giles et al., 1988; Rinaldo and Dividich, 1991). 또한 사료섭취량의 감소와 함께 간, 신장, 소화관 등의 내장기관의 질량이 감소하고 그 결과로서 도체율의 개선을 보이기도 한다(Lefaucheur et al., 1991). 반면 저온 환경에서 도체지방의 경우, 일관된 사료급여의 상황에서는 지방으로의 에너지 축적이 단백질로의 축적보다 감소하는데, 이러한 추위의 효과는 에너지 제한의 효과와 비슷한 결과로 생각할 수 있고(Dividich et al., 1985; Herpin et al., 1987), 자율 급여시에는 추위의 영향을 거의 받지 않는다고 알려져 있다(Phillips et al., 1982; Dividich and Rinaldo, 1989; Quiniou et al., 2001). Coffey et al. (1982)에 따르면 여름에 사료의 에너지함량이 증가할수록 도체율이 증가하는 결과를 보였으나 살코기부위의 경우 여름과 겨울 모두 에너지함량의 증가와 함께 감소하는 결과를 보였다. 또한 여름과 겨울 모두에서 에너지 함량이 증가할수록 등지방의 비율이 증가하였으며, 겨울에는 지방을 이용해 에너지함량을 증가시켰을 경우 조직 축적을 위한 에너지의 이용효율이 감소하는 것으로 나타났다(Close and Mount, 1978; Seerley et al., 1978). 따라서 적정수준과 관련하여 추가적인 연구가 필요할것으로 생각된다.

돼지가 성장함에 따라 온도와 관련하여 민감성은 줄어든다고 생각하겠지만 여전히 부정적인 요소로 작용하기 마련이다. 고온(더위)과 저온(추위)의 환경 둘 다 문제를 발생시키지만 자율급여의 경우 돼지가 성장함에 따라 더위가 추위보다 더 큰 문제가 된다. 이는 체구성의 변화와 더불어 사료섭취 증가를 통해 어느 정도 체온의 유지가 가능해지기 때문이다(Noblet et al., 2001). 따라서 높은 온도의 주변온도의 경우, 사료배합의 조절을 통해 고에너지(지방첨가) 사료를 이용한다면 고온 스트레스를 완화하고 육성-비육돈에서의 더 나은 성적을 기대할 수 있을 것이다. 반면에, 갓돈이나 이유자돈과 같은 중요한 시기를 제외하고 추위의 경우, 돼지의 성적은 추가적인 사료급여나 돈사의 보온을 통해 어느 정도는 유지될 수 있지만 이들의 선택에는 비용이 필수적이다. 따라서 저에너지(고섬유소) 사료를 이용할 경우, 에너지함량이 적고 소화하기 힘들기 때문에 열 발생량이 증가하여 고온 환경에서는 더욱 스트레스가 되지만, 저온 환경의 경우에는 이러한 대사열이 체온을 유지하는데 이용될 수 있고 저에너지 사료의 이용효율이 최대가 되는 결과들을 바탕으로(Stahly, 1984; Stahly and Cromwell, 1986) 성적의 개선뿐만 아니라 여러 가지 비용절감의 가능성도 기대해 볼 수 있겠다. 결론적으로 우리나라에서 여름과 겨울의 계절적 특성과 심한 일교차를 고려하여 보았을 때 계절별 상황에 맞는 영양관리를 통해 긍정적인 결과를 기대해 볼 수 있기에 이에 관련된 더 많은 연구가 국내에서도 진행되어야겠다.

Conclusion

현재까지 양돈산업에 있어서 규모화와 시설화를 통해 많은 발전을 이루어왔으며, 성적저하의 문제를 발생시킬 수 있는 여러 스트레스 요인들의 관리를 바탕으로 안정적이고 성공적인 생산성을 유지하고 있다.그러나 이러한 현대화에도 불구하고 생리적, 환경적인 특성상 불가피하게 발생되는 내·외부적인 스트레스 요인들은 여전히 질병발생 가능성을 높이고, 성적저하를 일으키는 문제의 원인들로 남아있다.이러한 불가피한 상황에서 발생되는 스트레스의 경우, 기존의 연구를 통해 확립된 양돈 영양사양을 기반으로 하여 좀 더 세밀화된 돼지의 상황과 생리에 맞춘 영양사료적인 해결방법을 모색한다면 기존에 관리하지 못해 발생하던 손실을 방지함과 동시에 비용절감까지도 기대할 수 있기에, 지속적이고 효율적인 생산으로의 발전이 가능할 것으로 기대된다.

Acknowledgements

본 연구는 2016년도 농촌진흥청 기관고유사업(과제사업:PJ01088202)의 지원에 의하여 수행하였습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

References

Bach Knudsen KE. 2001. Development of antibiotic resistance and options to replace antimicrobials in animal diets. Proceedings of the Nutrition Society 60:291-299.

Ball RO, Aherene FX. 1987. Influence of dietary nutrient density, level of feed intake and weaning age on young pigs. Ⅱ. Apparent nutrient digestibility and incidence and severity of diarrhea. Canadian Journal of Animal Science 67:1105-1115.

Bellego LL, Milgen JV, Noblet J. 2002. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. Journal of Animal Science 80:691-701.

Che TM, Perez VG, Song M, Pettigrew JE. 2013. Effect of rice and other cereal grains on growth performance, pig removal, and anti-biotic treatment of weaned pigs under commercial conditions 1:4916-4924.

Chen HY, Lewis AJ, Miller PS, Yen JT. 1999. The effect of excess protein on growth performance and protein metabolism of finishing barrows and gilts. Journal of Animal Science 77:3238-3247.

Cho S, Hwang O, Park S. 2015. Effect of dietary protein levels on composition of odorous compounds and bacterial ecology in pig manure. Asian Australasian Journal of Animal Science 28:1362-1370.

Choct M. 1997. Feed Non-Starch Polysaccharides: Chemical Structures and Nutritional Significance. Feed Milling International 13-26.

Close WH, Mount LE. 1978. The effects of plane of nutrition and environmental temperature on the energy metabolism of the growing pig. 1. Heat loss and critical temperature. British Journal of Nutrition 40:413.

Coffey MJ, Seerley RW, Funderbucke DW, McCampbell HC. 1982. Effect of heat increment and level of dietary energy and environmental temperature on the performance of growing-finishing swine. Journal of Animal Science 54:95-105.

Corrent E. 2013. Reducing dietary crude protein levels in growing pigs. All about feed. Accessed in http://www.allaboutfeed.net/Feed-Additives/Articles/2013/11/Reducing-dietary-crude-protein-levels-in-growing-pigs-1360231W/ on5 November 2013.

Dauncey MJ, Ingram DL. 1986. Acclimatization to warm and cold temperatures and the role of food intake. Journal of Thermal Biology 11:89.

Dividich JL, Desmoulin B, Dourmad JW. 1985. Influence de la température ambiante sur les performances du porc en croissance-finition en relation avec le même niveau alimentaire. Journées de la Recherche Porcine France 17:275.

Dividich JL, Mormede P, Catheline M, Caritez JC. 1991. Body composition and cold resistance of the neonatal pig from European (Large White) and Chinese (Meishan) Breeds. Biology of the Neonate Journal 59:268.

Dividich JL, Noblet J, Bikawa T. 1987. Effects of environmental temperature and dietary energy concentration on the performance and carcass characteristic of growing-finishing swine fed to equal rate of gain. Livestock Production Science 17:235.

Dividich JL, Rinaldo D. 1989. Effets de l'environnement thermique sur les performances du porc en croissance. Journées de la Recherche Porcine France 21:219.

Dividich, JL, Noblet J. 1986. Effect of dietary energy level on the performance of individually housed early-weaned piglets in relation to environmental temperature. Livestock Production Science 16:255.

Estrada A, Yun CH, Kessel AV, Li B, Hauta S, Laarveld B. 1997. Immunomodulatory activities of oat β-glucan in vitro and in vivo. Microbiology and Immunology 41:991-998.

FASS (Federation of Animal Science Societies). 2010. Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Research and Teaching, Champaign, Illinois, USA.

Fredeen HT, Harmon BG. 1983. The swine industry: changes and challenges. Journal of Animal Science 57:100-118.

Garry BP, Fogarty M, Curran TP, O'Doherty JV. 2007. The effect of cereal type and exogenous enzyme supplementation in pig diets on odour and ammonia emissions. Livestock Science 109:212-215.

Giles LR, Black JL, Dettman EB. 1987. Influence of high temperature and skin wetness on voluntary intake and performance of pigs from 50 to 80 kg live weight. In Proceedings of Inaugural Conference of the Australasian Pig Science Association. p. 140. Albury.

Giles LR, Dettman EB, Lowe RF. 1988. Influence of diurnally fluctuation high temperature on growth and energy retention of growing pigs. Animal Production 47:467.

Henken AM, Brandsma HA, Hel VD, Verstegen MW. 1991. Heat balance characteristics of limit-fed growing pigs of several breeds kept in groups at and below thermal neutrality. Journal of Animal Science 69:2434-2442.

Heo JM, Kim JC, Hansen CF, Mullan BP, Hampson DJ, Pluske JR. 2009. Feeding a diet with decreased protein content reduces indices of protein fermentation and the incidence of postweaning diarrhea in weaned pigs challenged with an enterotoxigenic strain of *Escherichia coli*. Journal of Animal Science 87:2833-2843.

Heo JM, Kim JC, Yoo J, Pluske JR. 2015. A between-experiment analysis of relationships linking dietary protein intake and post-weaning diarrhea in weanling pigs under conditions of experimental infection with an enterotoxigenic strain of Escherichia coli. Animal Science Journal 86:286-293.

Herpin PR, McBride BW, Bayley HS. 1987. Effect of cold exposure on energy metabolism in the young pig. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology 65:236-245.

Hollis GR, Curtis SE. 2001. General Characteristics of the U.S. Swine Industry. In Swine Nutrition (2nd) edited by Lewis AJ, Southern LL. CRC Press LLC.

Ingram DL. 1965. Evaporative cooling in the pig. Nature 207:415.

Jørgensen H, Zhao XQ, Eggum BO. 1996. The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs. British Journal of Nutrition 75:365-378.

Kaiser AB, Kernodle DS. 1998. Synergism between poly-(1-6)-beta-D-glucopyranosyl-(1-3)-beta-D-gucopyranoseglucan and cefazolin in prophylaxis of staphylococcal wound infection in a guinea pig model. Antimicrobial Agents and Chemotherapy 42:6-9.

Katsumata M, Kaji Y, Saitoh M. 1996. Growth and carcass fatness responses of finishing pigs to dietary fat supplementation at high ambient temperature. Animal Science 62:591.

Kelley KW. 1983. Immunobiology of domestic animals as affected by hot and cold weather. American Society of Agricultural Engineers 834-840.

Khoury DE, Cuda C, Luhovyy BL, Anderson GH. 2012. Beta glucan: Health benefits in obesity and metabolic syndrome. Journal of Nutrition and Metabolism 2012: 28.

Lallès JP, Bosi P, Smidt H, Stokes CR. 2007. Nutritional management of gut health in pigs around weaning. Proceedings of the Nutrition Society 66:260-268.

Lefaucheur L, Dividich JL, Mourot J, Monin G, Ecolan P, Kraus D. 1991. Influence of environmental temperature on growth, muscle and adipose tissue metabolism and meat quality in swine. Journal of Animal Science 69:2844-2854.

Li D, Zhang DF, Piao XS, Han IK, Yang CJ, Li JB, Lee JH. 2002. Effects of replacing corn with Chinese brown rice on growth performance and apparent fecal digestibility of nutrients in weanling pigs. Asian Australasian Journal of Animal Science 15:1191-1197.

Liang J, Melican D, Cafro L, Palace G, Fisette L, Armstrong R, Patchen ML. 1998. Enhanced clearance of a multiple antibiotic resistant *Staphylococcus aureus* in rats treated with PGG-glucan is associated with increased leukocyte counts and increased neutrophil oxidative burst activity. International Journal of Immunopharmacology 20:595-614.

Lindberg JE. 2014. Fiber effects in nutrition and gut health in pigs. Journal of Animal Science and Biotechnology 5:15.

Lynch MB, Sweeney T, Callan JJ, O'Doherty JV. 2007. The effect of dietary barley level on volatile fatty acid concentration and manure ammonia emissions in finishing pigs. Livestock Science 109:236-239.

McDonald DE, Pethick DW, Mullan BP, Hampson DJ. 2001. Increasing viscosity of the intestinal contents alters small intestinal structure and intestinal growth, and stimulates proliferation of enterotoxigenic *Escherichia coli* in newly-weaned pigs. British Journal of Nutrition 86:487-498.

McDonald DE, Pethick DW, Pluske JR, Hampson DJ. 1999. Adverse effects of soluble non-starch polysaccharide (guar gum) on piglet growth and experimental colibacillosis immediately after weaning. Research in Veterinary Science 67:245-250.

Medel P, Salado S, De Blas JC, Mateos GG. 1999. Processed cereals in diets for early-weaned piglets. Animal Feed Science and Technology 82:145-156.

Noblet J, Dividich JL, Bikawa T. 1985. Interaction between energy level in the diet and environmental temperature on the utilization of energy in growing pigs. Journal of Animal Science 61:452.

Noblet J, Dividich JL, Milgen JV. 2001. Thermal Environment and Swine Nutrition. In Swine Nutrition (2nd) edited by Lewis AJ, Southern LL. CRC Press LLC.

Noblet J, Dourmad JY, Dividich JL, Dubois S. 1989. Effect of ambient temperature and addition of straw of alfalfa in the diet on energy metabolism in pregnant sow. Livestock Production Science 21:309.

Noblet J, Fortune H, Shi XS, Dubois S. 1994. Prediction of Net energy value of feeds for growing pigs. Journal of Animal Science 74:344-354.

Noblet J. 2006. Recent advances in energy evaluation of feeds for pigs. In Recent advances in animal nutrition 2005. Garnsworthy PC, Wiseman J, Nottingham University Press, U.K.

NRC (National Research Council). 2012. Nutrient Requirements of Swine, 11thEd. National Academy Press, Washington, DC, USA.

Nyachoti CM, Omogbenigun FO, Rademacher M, Blank G. 2006. Performance responses and indicators of gastrointestinal health in early-weaned pigs fed low-protein amino acid-supplemented diets. Journal of Animal Science 84:125-134.

Opapeju FO, Krause DD, Payne RL, Rademacher M, Nyachoti CM. 2009a. Effect of dietary protein level on growth performance, indicators of enteric health, and gastrointestinal microbial ecology of weaned pigs induced with post weaning colibacillosis. Journal of Animal Science 87:2635-2643.

Opapeju FO, Rademacher M, Nyachoti CM. 2009b. Effect of dietary crude protein level on jejunal brush border enzyme activities in weaned pigs. Archives of Animal Nutrition 63:455-466.

Opapeju FO, Rodriguez-Lecompte JC, Rademacher M, Krause DD, Nyachoti CM. 2015. Low crude protein diets modulate intestinal responses in weaned pigs challenged with *Escherichia coli* K88. Canadian Journal of Animal Science 95:71-78.

Parera N, Lázaro RP, Serrano MP, Valencia DG, Mateos GG. 2010. Influence of the inclusion of cooked cereals and pea starch in diets based on soy or pea protein concentrate on nutrient digestibility and performance of young pigs. Journal of Animal Science 88:671-679.

Paulicks BR, Roth FX, Kirchgessner M. 2000. Effects of potassium diformate (Formi® LHS) in combination with different grains and energy densities in the feed on growth performance of weaned piglets. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 84:102-111.

Phillips PA, Young BA, McQuitty JB. 1982. Live weight, protein deposition and digestibility responses in growing pig exposed to low

temperature. Canadian Journal of Animal Science 62:95.

Pieper R, Jha R, Rossnagel B, Kessel AGV, Souffrant WB, Leterme P. 2008. Effect of barley and oat cultivars with different carbohydrate compositions on the intestinal bacterial communities in weaned piglets. FEMS Microbial Ecology 66:556-566.

Pluske JR, Hampson D, Williams IH. 1997. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. Livestock Production Science 51:215-236.

Pluske JR, Pethick DW, Hopwood DE, Hampson DJ. 2002. Nutritional influences on some major enteric bacterial diseases of pigs. Nutrition Research Reviews 15: 333-371.

Pluske JR, Siba PM, Pethick DW, Durmic Z, Mullan BP, Hampson DJ. 1996. The incidence of swine dysentery in pigs can be reduced by feeding diets that limit the amount of fermentable substrate entering the large intestine. Journal of Nutrition 126:2920-33.

Quiniou N, Noblet J, Dubois S. 2000. Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. Livestock Production Science 63:245.

Quiniou N, Noblet J, Milgen JV, Dubois S. 2001. Modelling heat production and energy balance in group-housed growing pigs exposed to low or high ambient temperatures. British Journal of Nutrition 85:97-106.

Renaudeau D. 2005. Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Carribbean (Creole) restrictively fed growing pigs. Animal Research 54:81-93.

Rinaldo D, Dividich JL. 1991. Assessment of optimal temperature for performance and chemical body composition of growing pigs. Livestock Production Science 29:61.

Rist VTS, Weiss E, Eklund M, Mosenthin R. 2013. Impact of dietary protein on microbiota composition and activity in the gastrointestinal tract of piglets in relation to gut health: a review. Animal 7:1067-1078.

Seerley RW, McDaniel MC, McCampbell HC. 1978. Effects of sows' dietary energy on source of sows' milk and piglet carcass composition. Journal of Animal Science 47:472.

Skendi A, Biliaderis CG, Lazaridou A, Izydorczyk MS. 2003. Structure and rheological properties of water soluble beta-glucans from oat cultivars of Avena sativa and Avenabysantina. Journal of Cereal Science 38:15-31.

Song M, Jang Y, Kim Y, Park J, Kim Y. 2015b. Effects of pathogenic *E. coli* on diarrhea, growth performance, and blood profile of weaned pigs. Chungnam National University Journal of Agricultural Science 42:201-205.

Song M, Kim S, Kim Y, Park J, Kim Y. 2015a. Value of spray-dried egg in pig nursery diets. Chungnam National University Journal of Agricultural Science 42: 207-213.

Stahly TS, 1984. Use of fats in diets for growing pigs. In Fats in Animal Nutrition edit by Wiseman J. pp. 313-331. Butterworth, London, U.K.

Stahly TS, Cromwell GL, Overfield JR. 1981. Interactive effects of season and year and dietary fat supplementation, lysine source and lysine levels of the performance of swine. Journal of Animal Science 53:1269.

Stahly TS, Cromwell GL. 1986. Responses to dietary additions of fiber (alfalfa meal) in growing pigs housed in a cold, warm or hot thermal environment. Journal of Animal Science 63:1870.

Stein HH, Kil DY. 2006. Reduced use of antibiotic growth promoters in diets fed to weanling pigs: dietary tools, part 2. In Animal Biotechnology 17:217-231.

Stein HH. 2007. Feeding the pigs' immune system and alternatives to antibiotics. In London Swine Conference.

Verhagen JMF. 1987. Acclimation of Growing Pigs to Climatic Environment. Ph.D. dissertation. Wageningen Univ., Wageningen, Netherland.

Verstegen MWA, Brandsma HA, Mateman G. 1982. Feed requirement of growing pigs at low environmental temperatures. Journal of Animal Science 55:88-94.

Verstegen MWA, Brandsma HA, Mateman G. 1985. Effect of ambient temperature and feeding level on slaughter quality in fattening pigs. Netherland Journal of Agricultural Science 33:1.

Vicente B, Valencia DG, Pérez-Serrano M, Lázaro R, Mateos GG. 2008. The effects of feeding rice in substitution of corn and the degree of starch gelatinization of rice on the digestibility of dietary components and productive performance of young pigs. Journal of Animal Science 86:119-126.

Wellock IJ, Fortomaris PD, Houdijk JGM, Kyriazakis I. 2007. Effect of weaning age, protein nutrition and enterotoxigenic Escherichia coli challenge on the health of newly weaned piglets. Livestock Science 108:102-105.

Wellock IJ, Fortomaris PD, Houdijk JGM, Kyriazakis I. 2008a. Effects of dietary protein supply, weaning age and experimental enterotoxigenic *Escherichia coli* infection on newly weaned pigs:performance. Animal 2:825-833.

Wellock IJ, Fortomaris PD, Houdijk JGM, Kyriazakis I. 2008b. Effects of dietary protein supply, weaning age and experimental enterotoxigenic *Escherichia coli* infection on newly weaned pigs: Health. Animal 2:834-843.

Yun CH, Estrada A, Kessel AV, Park BC, Laarveld B. 2003. Beta-glucan, extracted from oat, enhances disease resistance against bacterial and parasitic infections. FEMS Immunology and Medical Microbiology 35:67-75.