

ANIMAL

Effect of inoculation of *Lactobacillus plantarum* isolated from swine feces on fermentation characteristics of hulless barley

Yong Dae Jeong^{1†}, Jung Jae Lee^{1†}, Kuk-Hwan Seol¹, Doo Wan Kim¹, Ye Jin Min¹, Dong Jo Yu¹, Kyu Ho Cho¹, Young Hwa Kim^{1*}

¹Swine Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Cheonan-si, 31000, Republic of Korea

*Corresponding author: yhkims@korea.kr

†These authors contributed equally to this work as the first authors.

Abstract

This study was conducted to determine the effect of inoculation of microorganism isolated from pig feces on nutrient contents of fermented hulless barley. The microbial flora in feces of a total of four crossbred piglets (Landrace × Yorkshire × Duroc) was analyzed by 16S rRNA sequencing. The most abundant strain was then selected for fermentation of hulless barley. *Lactobacillus plantarum* (*L. plantarum*) was dominant (64.56%) in intestinal microbial flora in the pig feces. The selected candidate strain showed significantly higher survival rate at pH 7 than at pH 2.5 and 3.0 ($p < 0.05$). Incubated culture containing the candidate strain showed an increased growth rate with lower pH levels after 7.5 h incubation compared to initial incubation period ($p < 0.05$). When compared with commercial multiple probiotics which were used as control, the selected strain showed faster growth rate at 5 h post-incubation ($p < 0.05$). During the fermentation period, neither inoculated nor non-inoculated control hulless barley showed any change in pH value. Crude fat, fiber and ash contents were lower ($p < 0.05$) in hulless barley inoculated by the selected strain compared to control. However, moisture, energy, NDF and ADF were not affected by the inoculation of strain or fermentation period. Lactic acid was increased and acetic acid was decreased in the hulless barley inoculated with the selected strain during the fermentation period ($p < 0.05$). Taken together, our results suggest that *L. plantarum* derived from the pigs could be utilized as a new microorganism for manufacturing fermented feed stuffs.

Keywords: candidate microorganism, growth characteristics, fermentation trait, suckling piglets

Introduction

2012년 개정된 양돈 NRC (2012)에 약 120종의 사용 가능한 원료사료들이 수록되어 있으나 국내에서 활용되고 있는 원료사료들은 기호성 및 성장에 효과적인 옥수수 및 대두박을 주로 이용하고 있다(Park et al., 2016). 맥류 원료사료인 보리는 영양소가 균형적으로 포함되어 있는 우



OPEN ACCESS

Citation: Jeong YD, Lee JJ, Seol KH, Kim DW, Min YJ, Yu DJ, Cho KH, Kim YH. 2017. Effect of inoculation of *Lactobacillus plantarum* isolated from swine feces on fermentation characteristics of hulless barley. Korean Journal of Agricultural Science 44:558-565.

DOI: <https://doi.org/10.7744/kjoas.20170071>

Editor: Heekwon Ahn, Chungnam National University, Korea

Received: August 16, 2017

Revised: November 17, 2017

Accepted: December 8, 2017

Copyright: © 2017 Korean Journal of Agricultural Science.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

수한 원료사료 중 하나이다. 특히, 쌀보리는 껍질이 잘 분리되어 식용으로 사용되는 식량자원이나 탄수화물 섭취량의 감소로 재고량이 증가하고 있다(Ahn et al., 2015). 해결방안으로 동물사료원으로 활용하는 방안이 검토되고 있다. 그러나, 보리는 높은 수분함량으로 인해 저장성이 낮고 내배유와 호분층에 존재하는 베타글루칸(β -glucans)은 영양소 소화 및 흡수를 저해하는 것으로 알려져 있다(Li et al., 1996; Ahn et al., 2015). 옥수수에 비해 보리를 급여한 육성돈의 아미노산소화율은 감소시킨다(Sauer et al., 1997). 따라서, 발효와 같은 가공처리를 통해 저장성 향상과 같은 보리의 사료가치의 증진이 필요하다(Ahn et al., 2015).

사료 내 생균제와 같은 미생물의 첨가는 돼지의 생산성을 향상시키며 젖산발효를 통해 장건강에 도움을 주고 궁극적으로 동물의 생산성을 증진시키는 것으로 알려져 있다(Underdahl et al., 1982; Min and Kim, 2002; Altmeyer et al., 2014). 일부 연구에서는 발효된 사료를 직접 급여한 결과 돼지의 성장개선 및 면역기능을 강화시킨다고 하였다(Park et al., 2004; Na et al., 2008; Jeong et al., 2017). 일반적으로 발효에 사용되고 있는 유산균(*Lactobacillus* sp.)은 약 200종이 보고되어 있으며 Federal Department of Agriculture (FDA)와 European Food Safety Authority (EFSA) 의해 안전성이 입증된 유산균은 35종(species)으로 알려져 있다(Euzeby, 1997; London et al., 2014). 이러한 유산균들은 탄수화물이 많은 식물, 사일리지, 우유 그리고 사람 및 동물의 장에서 많이 관찰되며 주변환경이나 사람 또는 동물과 같이 기원이 되는 종에 따라 다양한 유산균이 존재한다(Hammes and Vofel, 1995; Bernardeau et al., 2008). Lee (2012)의 연구에 의하면, 뱀장어 유래 유산균(*L. pentosus* PL11)은 기존의 *L. pentosus* JCM1558T와 99.3% 상동성을 나타냈으나 *L. pentosus* JCM1558T 보다 *L. pentosus* PL11의 급여가 뱀장어의 면역 및 항산화능 증진에 효과적임을 보고하였다. Ahn et al. (2015)은 쌀보리에는 다수의 미생물들이 분포되어 있으며 분포된 미생물들이 포함된 복합미생물이 접종된 쌀보리에서 정상적인 발효과정에서 발생하였다고 보고하였다. 다른 선행연구의 보고서 들개 유래 *L. plantarum*과 *L. acidophilus* (ATCC4356)를 들개에 접종 후 발효기간동안 성장속도 및 pH 저하능을 측정한 결과 들개 유래 *L. plantarum*이 효과적이다(Bae et al., 2016). 그러므로 유산균은 계통(strain)에 따라 유기산과 같은 기능성물질의 생성능 및 성장속도에서도 차이가 나고 필요로 하는 생육환경도 달라 적용하고자 하는 종에 대한 적합성(species compatibility)이 전제되어야 활용 가능하다(Lee, 2012; Kim and Lee, 2013; London et al., 2014; Ahn et al., 2015).

따라서, 돼지에 적합한 발효균주를 선발하고자 포유자돈 분변으로부터 미생물군총을 조사하고 우점한 미생물의 특성과 발효 쌀보리 내 성분변화에 후보균주가 미치는 영향을 구명하고자 본 연구를 실시하였다.

Materials and Methods

후보균주분리

본 시험에서 쌀보리 발효에 이용될 생균제 후보균주를 선발하기 위해 9-10일령 3원교잡종(Landrace × Yorkshire × Duroc) 포유자돈 4마리를 공시하였고 swab법을 이용하여 분변을 채취하였다. 채취한 시료는 0.85% NaCl 용액에서 균질화하고 10배수씩 단계 희석하였다. 시료 내 유산균총 및 일반세균의 분리동정을 위해 MRS agar (BD, Difco, USA)와 Nutrient agar (BD, Difco, USA)에 희석액을 접종하고 각각 혐기 및 호기조건의 37°C 배양기에서 24 h 동안 배양하였다. 배양 종료 후 형성된 colony를 계수하였고 각각의 배지에 형성된 단일 colony를 회수한 뒤 동일한 조건에서 분리배양하였다. 분리된 미생물 균총의 동정을 위해 질량분석법(MALDI-TOF, Bruker Microflex TOF mass spectrometer, Bruker Daltonik GmbH, Bremen, Germany)을 이용하였다. 포유자돈의 장내 우점 미생물은 *L. plantarum*으로 분석되었고 이 균주는 젖산 생성능력이 있는 유산균으로 쌀보리 발효시험에 이용할 후보균주로 선발하였다.

후보균주 내산성 및 유기산 생성능

선발된 균주의 acid tolerance를 확인하기 위해 MRS broth의 pH를 2.5, 3.0 및 7.0으로 각각 조정된 뒤 후보균주 배양액을 1% (v/v) 접종하고 37°C에서 배양하였다. 그리고, 후보균주의 생존성을 확인하기 위해 10배수씩 단계 희석된 용액을 MRS agar에 도말하고 37°C에서 24 h동안 배양한 뒤 colony를 확인하여 내산성을 평가하였다.

후보균주의 배양액을 MRS broth에 1% (v/v) 접종하고 37°C에서 7.5 h동안 배양하였다. 배양시간동안 2.5 h간격으로 배양액을 채취하여 10배수씩 단계 희석 후 MRS agar에 도말하고 37°C에서 24 h동안 배양한 뒤 colony를 확인하여 성장속도를 확인하였다. 0, 2.5, 5.0 및 7.5 h에 채취한 배양액을 원심분리(4°C, 13,000 rpm, 10 min)하고 상층액의 pH를 측정하여 유기산 생성능을 확인하였다. 또한, 후보균주의 내산성과 유기산 생성능을 비교하기 위해 시판 복합생균제(청미락토, (주)청미바이오)는 대조구로 사용하였다.

후보균주의 쌀보리 발효 및 발효물 특성분석

쌀보리(*Hordeum Vulgare L.*)의 발효특성 분석을 위해 *L. plantarum* 배양액($\geq 10^7$ cfu/mL)을 쌀보리에 0.1% 접종하고 밀폐용기에 담아 37°C에서 2일간 배양한 뒤 pH측정하고 10배수씩 단계 희석 후 MRS agar에 도말하고 37°C에서 24 h동안 배양한 뒤 colony를 확인하였다. 균주를 미접종한 쌀보리를 접종한 쌀보리와 동일한 조건에서 배양하여 대조구로 이용하였다.

쌀보리가 발효되는 동안 영양성분의 변화를 측정하기 위해 발효 0, 1, 3, 및 7일차에 발효물의 영양성분을 분석하였다. 분석방법은 AOAC (2005)가 제시하는 방법에 준하여 수분, 조단백질, 조지방, 조섬유, 조회분 함량을 산출하였다. Neutral detergent fiber (NDF)와 acid detergent fiber (ADF)는 Van Soest et al. (1991)의 방법을 사용하여 분석하였다. 에너지수준은 bomb calorimeter (Model 124, Parr Instrument Company, Molin, IL)를 이용하여 제조사에서 제공하는 방법에 의거하여 확인하였다.

통계처리

후보균주 및 발효 쌀보리 특성 구명을 위한 모든 분석은 4반복으로 하였고 반복당 분석횟수는 3회이며 분석치의 평균값을 결과값으로 사용하였다. 수집된 모든 결과는 SAS ver.9.2. (SAS Institute, Cary NC, USA)를 이용해 분산 분석을 실시하였고, 처리구간 유의성은 Duncan's multiple range test을 이용하여 95% 신뢰수준에서 검증하였다.

Results and Discussion

포유자돈의 분변 내 미생물 분포

염기서열분석법을 이용하여 포유자돈의 분변으로부터 유래하는 미생물을 동정한 결과는 Fig. 1과 같다. 호기 및 혐기조건에서 분리된 총 206개의 돼지유래 미생물이 동정되었고 가장 우점한 균종은 *L. plantarum* (n = 133, 64.56%)로 나타났으며 *Escherichia coli* ETEC H10407 (n = 45, 21.84%)이 두 번째로 많이 존재하였다. Uncultured bacteria는 5.83% (n = 12)의 조성을 보였다. 이외 동정된 균주들은 *Enterococcus faecalis* (n = 5, 2.43%), *Shigella flexneri* (n = 4, 1.94%), *Bacillus thuringiensis* (n = 1, 0.97%), *Acidovorax sp.* (n = 1, 0.49%), *Bacillus subtilis* (n = 1, 0.49%), *E. coli* Xuzhou21 (n = 1, 0.49%), *S. epidermidis* (n = 1, 0.49%), *Staphylococcus warneri* (n = 1, 0.49%) 순으로 분석되었다. 분리된 균주 중 젖산을 생산하는 *L. plantarum*을 쌀보리 발효를 위한 후보균주로 선정하였다.

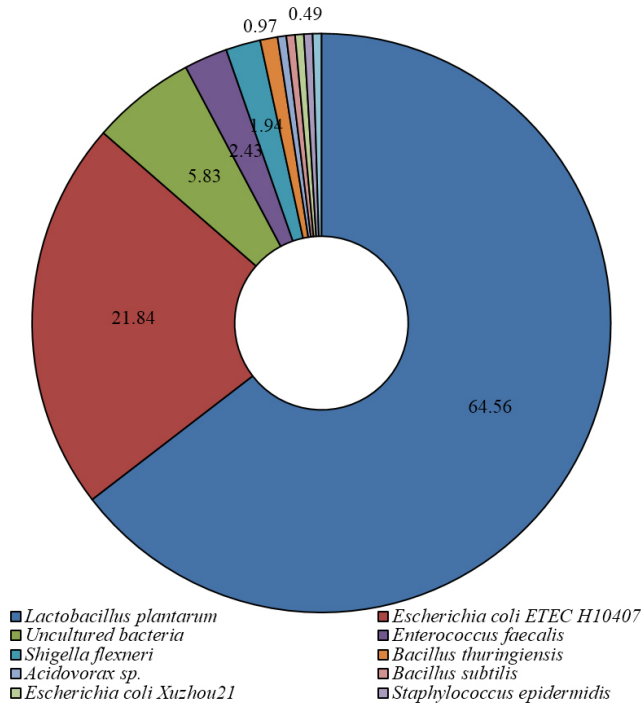


Fig. 1. Microbial flora in feces of suckling piglets determined by MALDI-TOF mass spectrometry (n = 206). *Lactobacillus plantarum* (n = 133), *Escherichia coli* ETEC H10407 (n = 45), *Uncultured bacteria* (n = 12), *Enterococcus faecalis* (n = 5), *Shigella flexneri* (n = 4), *Bacillus thuringiensis* (n = 2), *Acidovorax sp.* (n = 1), *Bacillus subtilis* (n = 1), *Escherichia coli* Xuzhou21 (n = 1), *Staphylococcus epidermidis* (n = 1), *Staphylococcus warneri* (n = 1).

후보균주의 특성분석

자돈 분변에서 분리된 후보균주의 *L. plantarum*의 내산성을 확인하고자 pH에 따른 성장을 Table 1에 나타내었다. 생육 시 pH 7.0에서 colony forming unit (cfu)은 5.48 cfu/mL로 pH 3.0 및 2.5의 4.93과 4.56 cfu/mL보다 증가했다($p < 0.05$). 강산성인 pH 2.5와 3.0에서 계수된 후보균주는 pH 7보다 각각 16.78%, 10.03% 감소된 것으로 나타났다. 그러나 pH 2.5와 pH 3.0간 후보균주 생육수준은 통계적인 차이를 나타내지 않아 후보균주는 약간의 내산성을 가지는 것으로 판단된다.

Table 1. Acid tolerance of *Lactobacillus plantarum* isolated from feces of suckling piglets (n = 4).

Item	pH			SEM ²
	7.0	3.0	2.5	
Growth (cfu/mL)	5.48a	4.93b	4.56b	0.106

a,b: Means with different superscripts in the same row significantly differ at 5% level.

²Standard error of the means.

Table 2는 후보균주와 대조구(시판 복합생균제)의 배양시간 별 pH 및 성장변화를 나타내었다. 후보균주와 대조구의 pH 및 성장은 배양 후 0 h에 비해 7.5 h에서 각각 감소 및 증가를 나타냈다($p < 0.05$). 이는 배양시행동안 문제가 없으며 정상적으로 생육하여 유기산을 생성하였음을 의미한다. 그러나, 후보균주의 배양시간 별 pH는 대조구에 비해 높게 측정되었다($p < 0.05$). 배양시간 5 h 경과 후 후보균주의 성장속도는 대조구에 비해 높았다($p < 0.05$). 일반적으로 미생물의 섭취는 구강을 통해 이루어지면 강산성인 위산과 담즙산이 존재하는 위장과 십이지장을 거

처 장에 도달할 때까지 생존하는 것이 장내 미생물조성에 도움이 된다(Gilliland, 1979; Saarela et al., 2000). 또한, 대조구로 사용된 복합생균제는 단일생균제에 비해 균주들간 상호보완을 통해 균주의 기능을 향상시키는 것으로 알려져 있다(Chapman et al., 2011). 본 연구에서 대조구보다 후보균주는 유기산 생성능은 감소하였으나 성장속도가 빠르며 내산성을 가지는 것으로 측정되어 발효균주로서 활용가능성이 있는 것으로 사료된다.

Table 2. Change of pH and growth of *Lactobacillus plantarum* isolated from feces of suckling piglets in MAR broth (n = 4).

Items	Treatments ^y	Incubation time				SEM ^z
		0.0 h	2.5 h	5.0 h	7.5 h	
pH	Control	6.13aB	5.79bB	4.78cB	3.81dB	< .01
	<i>L. plantarum</i>	6.41aA	6.12bA	5.33cA	4.82dA	< .01
Growth (log cfu/mL)	Control	6.79b	7.22b	7.98aB	8.38aB	0.16
	<i>L. plantarum</i>	6.42d	7.53c	8.61bA	9.17aA	0.02

a-d: Means with different superscripts in the same row significantly differ at 5% level.

A,B: Means with different superscripts in the same column significantly differ at 5% level.

^yControl is incubated with 0.1% commercial multiple probiotics (ChungmiLacto®, Chungmi Bio); *L. plantarum* is incubated with 0.1% *L. plantarum* isolated from feces of suckling pigs.

^zStandard error of the means.

발효 쌀보리 내 pH 변화

후보균주 접종 및 미접종된 쌀보리의 발효동안 pH 변화는 Table 3에 나타났다. 발효개시일과 발효 1일 및 2일 경과 후 처리구의 pH는 대조구보다 감소하였다($p < 0.05$). 시험기간동안 처리구의 pH는 지속적으로 감소하여 발효가 정상적으로 진행됨을 나타냈다($p < 0.05$). 그러나 대조구도 시험기간동안 지속적으로 pH가 유의하게 감소하였다($p < 0.05$). 본 연구의 이러한 결과는 이전 연구와 일치하였다. Ahn et al. (2015)의 보고에 의하면, 생균제를 미접종한 쌀보리 종실 내 pH는 발효기간에 의한 유의한 감소가 관찰되었다. 쌀보리는 *Staphylococcus*와 *Bacillus*속 미생물을 비롯한 다양한 미생물 분포를 가지는 것으로 알려져 있고 이러한 원인은 재배된 토양에서 유래한 미생물들에 의한 것으로 생각되며 자연발효조건하에서 균주 미접종 쌀보리는 유기산 생성이 가능하다(Suh et al., 2010; Ahn et al., 2015). 따라서, 대조구에서의 pH의 감소는 쌀보리에서 유래한 미생물에 기인하는 것으로 사료된다.

미생물을 이용한 발효사료제조는 발효과정에서 유기산이 생성되어 pH가 저하되며 발효초기에 pH저하를 촉진하여 젖산발효를 유도한다(Seal, 1986; Kim et al., 2009). 본 연구에서 포유자돈 유래 *L. plantarum*을 접종한 발효 쌀보리는 발효초기에 pH 6.11에서 1, 2일차에 pH 4.56 - 4.45로 측정되었다. 이러한 결과는 발효기간동안 젖산을 생산하는 *L. plantarum*의 성장이 정상적으로 이루어 졌음을 나타낸다. 유산균의 초기 성장에는 당류가 중요한데 당류가 부족한 갈조류의 발효물 내 *L. plantarum*의 수가 발효 1일차에 0일차보다 오히려 감소됨을 보고하였다(Gupta

Table 3. Change of pH and growth during fermentation of hullless barley inoculated by *Lactobacillus plantarum* isolated from feces of suckling piglets (n = 4).

Items	Treatments ^y	Fermentation time			SEM ^z
		0 d	1 d	3 d	
pH	Control	6.18aA	4.62bA	4.45c	< .01
	<i>L. plantarum</i>	6.11aB	4.56bB	4.45c	< .01

a-c: Means with different superscripts in the same row significantly differ at 5% level.

A,B: Means with different superscripts in the same column significantly differ at 5% level.

^yControl is incubated with 0.1% commercial multiple probiotics (ChungmiLacto®, Chungmi Bio); *L. plantarum* is incubated with 0.1% *L. plantarum* isolated from feces of suckling pigs.

^zStandard error of the means.

et al., 2011). 그러므로, 발효사료제조에서 고려할 사항은 젖산생성이 가능한 후보균주의 선택적 이용과 후보균주의 성장에 적절한 기질의 사용이 중요하다. 따라서, 쌀보리는 발효를 위한 기질로서 적합한 것으로 판단된다.

발효 쌀보리 내 화학적 성분 변화

Table 4는 발효기간 별 쌀보리 내 화학적 변화를 나타냈다. 수분함량 및 에너지수준은 발효기간 및 균주의 접종 유무에 따라 영향을 받지 않았다. 조단백질 함량은 처리구간 차이가 없으나 발효기간에 따라 변화를 보였다($p < 0.05$). 그러나, 발효기간 중 후보균주 접종구와 대조구의 조단백질 수준은 4.38 - 4.47%로 유의미한 변화로 판단되지 않는다. 발효 쌀보리의 조지방 및 조섬유는 대조구에 비해 접종구에서 감소하였고 조회분은 후보균주의 접종 및 발효기간에 의한 영향은 없었다($p < 0.05$). Hemicellulose, cellulose, lignin이 주성분인 NDF와 ADF는 후보균주의 접종 및 발효기간에 의해 차이를 나타내지 않았다. 발효가 사료 내 영양성분에 미치는 영향은 이전부터 보고되어 왔다. 생균제(*L. plantarum*, *Bacillus subtilis*) 접종 발효 채종박은 비발효 채종박에 비해 조단백질(58.4 vs. 37.1%), 조지방함량(16.2 vs. 14.8 g/kg)이 증가하며 수분함량(88.1 vs. 93.4%)은 감소하였다(Fazhi et al., 2011). 유산균(*L. plantarum*)에 의해 발효된 들깨 내 조지방수준은 대조구에 비해 유의하지 않지만 증가했다(72.5 vs. 71.93 g/100 g; Bae et al., 2016). Jha et al. (2011)의 연구는 *in vitro* 발효 시 쌀보리의 품종에 따라 건물량(68-80%)에 차이가 있으며 품종에 따라 조단백질수준은 3%의 차이를 나타냈다. 위의 선행연구들은 사료 내 영양성분의 변화가 발효에 의해 야기될 수 있음을 의미한다. 본 연구에서도 조단백질, 조지방, 조섬유수준이 발효 및 접종균주에 의해 차이를 보였으나 언급된 선행연구와 일치하지 않았다. 이러한 차이는 다른 발효기질 및 계통이 다른 유산균 사용에 따른 변화로 판단된다.

발효 쌀보리 내 젖산농도는 발효기간동안 대조구보다 후보균주 접종구에서 통계적으로 증가했다($p < 0.05$; Table 4). 아세트산의 발효 쌀보리 내 수준은 발효기간에 의해 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). 이러한 결과는 본 연구의 발효 쌀보리 내 pH 변화와 일치한다. 발효는 homo형 및 hetero형으로 나누어지며 homo형 발효는 젖산만 생성하는 정상발효로 발효효율이 높고 단백질분해를 저해하여 사료의 가치를 높인다(Seal, 1986; Cho et al., 2012). 반면에 hetero형은 젖산 외 초산 및 에탄올 등을 생성하여 homo형에 비해 정상발효과정에서 중요한 pH감소에 효

Table 4. Change of chemical composition during fermentation period of hullless barley inoculated by *Lactobacillus plantarum* isolated from feces of suckling piglets (n = 4).

Items	Treatment ^y								SEM ^z	P values		
	Control				<i>L. plantarum</i>					Treat	Day	T×D
%	0 d	1 d	3 d	7 d	0 d	1 d	3 d	7 d				
Moisture	56.84	57.58	57.14	57.74	56.35	56.96	56.71	56.52	0.13	0.050	0.153	0.498
Energy (Kcal/kg)	1967	1934	1963	1974	1997	1973	1978	1970	0.02	0.204	0.507	0.658
Crude protein	4.38	4.42	4.47	4.46	4.49	4.44	4.50	4.49	0.09	0.104	0.002	0.639
Crude fat	1.28	1.46	1.92	2.26	1.27	1.28	1.69	1.81	0.04	0.000	0.891	0.780
Crude fiber	2.80	2.73	2.68	2.73	2.40	2.39	2.41	2.45	0.02	0.006	0.194	0.095
Crude ash	1.57	1.61	1.58	1.66	1.53	1.67	1.44	1.45	0.11	0.076	0.205	0.114
Neutral detergent fiber	7.43	7.56	6.71	6.38	7.37	7.42	7.37	7.49	0.03	0.411	0.766	0.852
Acid detergent fiber	2.84	2.87	2.77	2.70	2.75	2.73	2.69	2.75	7.16	0.179	0.796	0.699
Lactic acid (mg/kg)	4174	6343	9039	3392	5390	13370	13006	16054	965.77	0.000	0.000	0.000
Acetic acid (mg/kg)	2706	3308	3862	4695	3488	2460	3594	4401	204.08	0.649	0.020	0.449

^yControl is incubated without bacterial inoculation; *L. plantarum* is inoculated with 0.1% *L. plantarum* isolated from feces of suckling pigs in naked barley.

^zStandard error of the means.

과적이지 않다(Stockes, 1992; Ahn et al., 2015). 따라서, 본 연구에서 후보균주를 이용한 쌀보리의 발효과정은 homo형 발효로 보인다.

Conclusion

본 연구에서 포유자돈장에서 가장 우점한 미생물을 선발하여 후보균주의 특성을 확인한 결과 내산성을 가지며 시판 복합생균제에 비해 높은 성장속도를 나타냈다. 또한, 대조구에 비해 후보균주를 접종한 쌀보리에서 발효기간 동안 젖산이 증가되는 것으로 분석되어 정상적인 젖산발효가 이루어 졌음을 알 수 있었다. 따라서, 쌀보리는 돼지 유래 *L. plantarum*을 발효사료제조에 적합한 기질로서 활용 가능하다.

Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 연구산업(과제번호: PJ01161703) 및 2017년 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과 정 지원사업에 의해 이루어진 것임.

References

- Ahn HJ, Kim KH, Cho ES, Kim JE, Kim KS, Kim YH, Song TH, Park JH, Kang HK, Jang SS, Oh YK, Cheon DW, Seol KH. 2015. Effect of Microbial flora and inoculation of probiotics on fermenting characteristics of naked barley grain (*Hordeum Vulgare L.*). Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science 35:321-326. [in Korean]
- Altmeyer S, Kröger S, Vahjen W, Zentek J, Scharek-Tedin L. 2014. Impact of a probiotic *Bacillus cereus* strain on the jejunal epithelial barrier and on the NKG2D expressing immune cells during the weaning phase of piglets. Veterinary Immunology and Immunopathology 161:57-65.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official methods of analysis, 18th ed. Arlington, Virginia.
- Bae JJ, Yeon SJ, Park WJ, Hong GE, Lee CH. 2016. Production of sesaminol and antioxidative activity of fermented sesame with *Lactobacillus plantarum* P8, *Lactobacillus aciophilus* ATCC 4356, *Streptococcus thermophilus* S10. Food Science and Biotechnology 25:199-204.
- Bernardeau M, Vernoux JP, Henri-Dubernet S, Gueguen M. 2008. Safety assessment of dairy microorganisms: the *Lactobacillus* genus. International Journal of Food and Microbiology 126:278-285.
- Chapman CM, Gibson GR, Rowland I. 2011. Health benefits of probiotics: are mixtures more effective than single strains?. European Journal of Nutrition 50:111-17.
- Cho SB, Kim DW, Yang SH, Park KH, Choi DY, Yoo YH, and Hwang OH. 2012. Establishment of producing condition of fermentation feed for swine. Journal of Animal Environmental Science 18:137-144. [in Korean]
- Euzeby JP. 1997. List of bacterial names with standing in nomenclature: a folder available on the internet. International Journal of Systematic Bacteriology 47:590-592.
- Fazhi X, Lvmu L, Jiaping X, Kun Q, Zhide Z, Zhangyi L. 2011. Effects of fermented rapeseed meal on growth performance and serum parameters in ducks. Asian-Australasian Journal of Animal Science 24:678-684.
- Gilliland SE. 1979. Beneficial interrelationships between certain microorganisms and humans: Candidate microorganisms for use as dietary adjuncts. Journal of Food Protection 42:164-167.
- Gupta S, Abu-Ghannam N, Scannell AGM. 2011. Growth and kinetics of *Lactobacillus plantarum* in the fermentation of edible Irish brown seaweeds. Food and Bioproducts Processing 89:346-355.
- Hammes WP, Vogel RF. 1995. The genus *Lactobacillus*. In The Genera of Lactid Acid Bacteria. The Lactic Acid

- Bacteria, eds. Wood, B.J.B. and Holzapfel, W.H. Vol. 2. pp. 19-54. Glasgow: Blackie Academics & professional.
- Jeong YD, Lee JJ, Kim JE, Kim DW, Min YJ, Cho ES, Yu DJ, Kim YH. 2017. Effects of dietary supplementation of fermented wheat bran on performance and blood profiles in weaned pigs. *Korean Journal of Agricultural Science* 44:409-415. [in Korean]
- Jha R, Bindelle J, Rossnagel B, Van Kessel A, Leterme P. 2011. In Vitro evaluation of the fermentation characteristics of the carbohydrate fractions of hullless barley and other cereals in the gastrointestinal tract of pigs. *Animal Feed Science and Technology* 163:185-193.
- Kim JG, Ham JS, Chung ES, Park HS, Lee JK, Jung MW, Choi KC, Jo NC, Seo S. 2009. Evaluation of fermentation ability of microbes for whole crop barley silage inoculant. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science* 29:235-244. [in Korean]
- Kim HR, Lee JH. 2013. Selection of acid-tolerant and hetero-fermentative lactic acid bacteria producing non-proteinaceous anti-bacterial substances for Kimchi fermentation. *Korean Journal of Microbiology and Biotechnology* 41:119-127. [in Korean]
- Min BJ, Kim IH. 2002. Effect of dietary probiotics supplementation to feed for monogastric animals. *Korean Journal of Organic Agriculture* 10:48-61. [in Korean]
- Lee JS. 2012. Optimal dosage and development of probiotics by using *Lactobacillus pentosus* PL11 isolated from Japanese eel (*Anguilla japonica*). Ph.D. dissertation, Kyungpook National Univ., Daegu, Korea.
- Li S, Sauer WC, Huang SX, Gabert VM. 1996. Effect of β -glucanase supplementation to hullless barley- or wheat-soybean meal diets on the digestibilities of energy, protein, β -glucans, and amino acids in young pigs. *Journal of Animal Science* 74:1649-1656.
- London LEE, Price NPJ, Ryan, Wang L, Auty MAE, Fitzgerald GF, Stanton C, Ross RP. 2014. Characterization of a bovine isolate *Lactobacillus mucosae* DPC 6426 which produces an exopolysaccharide composed predominantly of mannose residues. *Journal of Applied Microbiology* 117:509-517.
- Na SH, Choi SH, Renchinhand G, Bae HC, Nam MS. 2008. Effects of feeding fermented colostrum feed on the growth to piglets. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 28:355-362. [in Korean]
- NRC (Nutrient requirements of swine). 2012. 11th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Park DS, Lee KH, Moon CJ, Son WG, Shin TK. 2004. Supplementation with fermented *Opuntia ficus-indica* fruit powder increases growth rate of weaned pigs. *Korea Journal of Veterinary Public Health* 28:23-28. [in Korean]
- Park SK, Cho ES, Jeong YD, Sa SJ. 2016. Digestibility of nitrogen and dry matter of oilseed meals and distillers dried grains supplemented in swine diets. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:769-776.
- Saarela M, Mogensen G, Fondn R, Mtt J, Mattila-Sandholm T. 2000. Probiotic bacteria: Safety, functional and technological properties. *Journal of Biotechnology* 84:197-215.
- Sauer WC, Stothers SC, Phillips GD. 1997. Apparent availabilities of amino acids in corn, wheat and barley for growing pigs. *Canadian Journal of Animal Science* 57:585-597.
- Seal DR, 1986. Bacterial inoculants as silage additive. *Journal of Applied Bacteriology* 61:9s-26s.
- Stockes MR. 1992. Effects of an enzyme mixture, an inoculant, and their interaction on silage fermentation and dairy production. *Journal of Dairy Science* 75:764-773.
- Suh JS, Noh HJ, Kwon JS, Weon HY, Hong SY. 2010. Distribution map of microbial diversity in agricultural land. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 43:995-1001. [in Korean]
- Underdahl NR, Torres-Medina A, Dosten AR. 1982. Effect of streptococcus faecium C-68 in control of Escherichia coli-induced diarrhea in gnotobiotic pigs. *American Journal of Veterinary Research* 43:2227-2232.
- Van Soest PV, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74:3583-3597.