한국유기농업학회지 제18권 3호
KOREAN JOURNAL OF ORGANIC AGRICULTURE
Volume 18, Number 3: 401-418, September 2010.

영지버섯에서 추출한 β-glucan이 자돈의 생산능력에 미치는 영향

김종덕* · 심금섭* · 최낙진***** · 김지훈**** · 김용현** ·
권현정** · 김선기*** · 한만덕**

Effect of β-glucan Extracted from Youngji Mushroom on the Growth Performance of Weaning Pigs

Kim, Jong-Duk · Shim, Keum-Seob · Choi, Nag-Jin · Kim, Ji-Hoon ·
Kim, Yong Hyun · Kwon, Hyun-Jung · Kim, Sun-Ki · Han, Man-Deuk

This experiment was selected a β-glucan producing mushroom strain and developed industrial media, and used to β-glucan as an alternative for antibiotics in weaned pigs. Yields of mycelial biomass and extracellular β-glucan from Youngji (*Ganoderma lucidum*) mushroom was 8.52g/L and 4.49g/L respectively. Also, we prepared optimum formula for mushroom cultivations. A total of 144 pigs (8.6±0.9 kg average body weight, weaned 20±3 days of age) were allotted to 4 different treatment groups and replicated 4 times with 8 pigs per replicate in randomized complete block design. Treatments were T1) NC (negative control, basal diet), T2) PC (positive control, basal diet+0.255% antibiotics), T3) NC+0.2% β-glucan and T4) PC+0.2% β-glucan. The T2 and T4 treatments were significantly higher in feed efficiency by antibiotics group ($p<0.05$), however, there was no significant differences in terms of average daily gain (ADG) and average daily feed intake (ADFI) during phase Ⅰ(0~14 days). In phase Ⅱ(15~28 days), Pigs fed with antibiotics and β-glucan (T4) had greater ADG than other treatments ($p<0.05$), while no differences were observed in ADFI and feed efficiency. During the whole experiment period, the ADG of T4 treatment was higher than other treatments. Pigs fed with β-glucan (T3 and T4) had greater diarrhea score and moisture content than other treatments ($p<0.05$). Pigs fed with β-glucan (T3 and T4) had

* 천안연암대학 축산계열
** 교신저자, 순천향대학교 자연과학대학 생명과학과(mdhan@sch.ac.kr)
*** 선바이오
**** 카길애그리퓨리나
***** 전북대학교 동물자원과학부

greater moisture content than other treatments ($p<0.05$). However, there was no significant differences in diarrhea score and mortality of weaned pigs. There was marginal reductions in feed cost measured feed cost per weight gain used in antibiotics and β-glucan added diet during phase Ⅰ. In the second phase, the treatment supplemented with antibiotics had a significantly lower feed cost per weight gain compared to the other treatments. The results from these experiments suggests that β-glucan is likely able to improve the growth performance, and reduce feed cost although they do not have similar effects like antibiotics in weaning pigs.

Key words : β-*glucan, antibiotic, Ganoderma lucidum, growth performance, feed cost*

Ⅰ. 서 론

가축의 성장촉진 및 질병으로부터 방어를 위해 오래전부터 항생제를 사용해 왔으나, 항생제 내성의 증가 및 동물성 식품내 항생제 잔류에 의한 인체 내성을 발생하는 문제가 대두되고 있다(조 등, 2008). 최근에 국내에서도 가축사료 내에 사용할 수 있는 항생제의 종류에 대해 엄격히 규제하고 있으며, 2006년부터 친환경농산물 인증에서도 무항생제 축산물 인증을 추가하여 농가와 사료회사에서 항생제 사용량이 감소하고 있다(조 등, 2008; 장 등, 2009). 따라서 동물산업 분야에서도 항생제를 대체하여 성장촉진, 사료효율 개선 및 면역증진을 목적으로 유용물질을 개발하기 위한 연구가 활발히 수행되고 있다(Wenk, 2000; 2002). 이러한 물질에는 β-glucan(Ha 등, 2006; 조 등, 2008), 생균제(Ahn 등, 2002; 장 등, 2009), 효소(배 등, 1999; 한, 2000), 유기산(Kim 등, 2005; 주 등, 2009), 식물추출물질(Abuel 등, 2006) 등이 있으며, 이에 관한 연구가 국내에서도 최근에 활발히 진행되고 있다.

β-glucan은 효모의 세포벽에서 추출한 복합탄수화물로서 포도당분자가 서로 specific linkage로 연결되어 있고, glucan의 기본구조는 화학적으로 β-1-3-linkage와 β-1-6 linkage로 연결되어 있으며, 이 β-1-3-linkage와 β-1-6 linkage가 질병을 방어하고 성장을 촉진한다(Schoenherr, 1994; Eicher 등, 2006).

β-glucan의 작용은 nonspecific immune response와 specific immune response를 자극하고 inflammantory cytokine response를 줄여 영양소를 성장하는데 이용할 수 있는 기회를 제공하여(Willian 등, 1989; Suzuki 등, 1990; Poutsiaka 등, 1993) 돼지의 성장능력을 개선시킨다(Klasing 등, 1987). 이유자돈에서 β-glucan은 자돈의 능동면역체계를 자극시켜 사료변화와 환경의 변화로 기인되는 스트레스와 각종 병원균의 감염으로 인해 지연되는 성장률을 개선시킬 수 있다(한, 2000).

효모에서 유래하는 β-glucan을 가축에 이용하였을 때 특이적 또는 비특이적 면역반응에

긍정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Chae 등, 2006; Eicher 등, 2006). 가축 사료에 β-glucan을 첨가 급여 하였을 때 대식세포와 neutrophils의 기능적 활성이 개선되었으며(Lowry 등, 1987), 면역자극 이후에 생성되는 cytokine의 분비량 역시 증가하는 결과(Li 등, 2006)가 보고되었다. Schoenherr(1994)는 자돈시험에서 β-glucan이 첨가된 구의 성장능력이 대조구보다 훨씬 개선되었다고 하였으며, Dritz 등(1995)은 β-glucan의 첨가수준에 따라 증체량과 섭취량의 효과가 달랐다고 하였다. 자돈을 이용한 연구에서 β-glucan 투여는 항체 형성 및 cytokine 생산을 증가 시키는 효과를 내는 것으로 나타났으며, Jung 등(2004)은 5일령 자돈에 효모 유래의 β-glucan을 투여하고 swine influenza virus(SIV)를 접종하였을 때 INF-γ, nitric oxide의 생산이 유의하게 증가하였다고 보고하였다. 수용성 β-glucan을 4개월된 육성돈에 투여한 연구에서 porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) 백신접종이 β-glucan에 의존적으로 INF-γ 생성이 증가하였다고 보고하였다(Xiao 등 2004).

버섯에는 trehalose, mannitol, arabinitrol 등과 같은 사람의 장으로부터 흡수 이용되기 어려운 저분자 당과 β-glucan, heteroglucan, chitin질 등 난소화성 즉 식물섬유소가 주체를 이룬다. 따라서, 식품분석에 의한 식품 계산치보다 저칼로리 소재라고 할 수 있다. 이 가운데 β-glucan은 모든 버섯에서 생산되며, 특히 균사체에서 세포외 다당류로 합성되는 생리활성 다당류이다. β-glucan은 면역증강 효과(Mantovani 등 2007; Suzuki 등 1994), 간 기능 향상, 항암효과, 항산화 효과, 혈중 콜레스테롤 저하 효과(Queenan 등 2007) 등 많은 약리적 활성을 나타낸다. 특히 반응조절물질(BRM; biological response modifiers) 역할을 하는 β-glucan은 항바이러스 작용, 세포증식 억제 작용, 대식세포(macrophage)의 활성, 자연살해 세포(natural killer cell)의 활성화, 항체생성의 촉진 및 암세포 유전자 발현에 조절적 역할을 한다. 이와 같은 β-glucan의 장점은 화학요법제와는 다른 기전에 의해 생리활성을 나타내므로 면역작용 상승을 기대 할 수 있고, 항생제와 같은 화학요법제가 나타내는 약제 내성이 없는 것이 장점이다.

이러한 BRM으로서 β-glucan이 풍부한 생물은 버섯으로 알려져 있으며 여러 담자균류로부터 분리되어 많은 면역활성이 연구되었다. 따라서 본 연구에서는 담자균류 중 항암, 항보체 및 항바이러스 효과가 뛰어난 영지버섯(*Ganoderma lucidum*)에서 추출한 β-glucan을 자돈에 급여하여 항병력을 증가시키고, 생산성을 향상시킴으로서 농가의 소득증대에 기여할 목적으로 수행하였다. 또한 우리나라 양돈농가의 항생제 과다 사용은 돼지의 면역기능 악화 뿐만 아니라 소비자들의 국내 축산물 소비에도 많은 우려를 내포하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 이유자돈사료에서 β-glucan의 항생제 대체효과를 규명하기 위하여 항생제와 β-glucan을 달리하여 급여하였을 때 이유자돈의 성장능력 및 경제성에 대하여 평가하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 균주 및 배지

먼저 β-glucan 생산이 우수한 버섯을 선별하기 위하여 한국버섯균주 은행(Culture collection of DNA bank of mushrooms)에서 *Ganoderma oregonece, Ganoderma applanatum, Phellinus linteus, Laetiporus sulphureus, Ganoderma tsugae, Fomitella fraxinea, Agaricus blazei, Pleurotus eryngii*을 분양 받았으며, *Ganiderma lucidum*은 국내에서 자생하고 있는 영지버섯을 채취하여 분리하여 사용하였다. 균사체 기본배양은 Potato Dextrose Agar(PDA)에서 4℃로 보관하였으며 실험에 사용할 때는 Potato Dextrose Broth(PDB)에서 1주일간 진탕배양한 것을 사용하였다. 우수균주 선별에 사용한 배지는 MCM(mushroom complete medium; Glucose 2.0%, Peptone 0.2%, Yeast extract 0.2%, K_2HPO_4 0.1%, KH_2PO_4 0.46%, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.05%) 배지를 사용하여 선별하였다.

2. 버섯배양

선별된 버섯균주의 기본 배양배지는 2% soluble starch, 0.2% yeast extract, 0.5% K_2HPO_4, 0.01% KH_2PO_4, 0.1% $MgSO_4 \cdot 7H_2O$가 포함된 IYSM배지(Table 1)를 이용하였다. IYSM 배지를 Jar-Fermenter (Kobiotech, BF-7, Korea)에 넣고, pH 6.0으로 조정한 후 broth에서 사전 배양한 버섯 균사체를 10%(v/v) 접종하였다. 이때 working volume은 3L이며, 교반속도는 300 rpm, 통기량은 1vvm으로 하여 27℃에서 6일간 배양하였다. 배양 중 pH 조정은 0.5N NaOH, 0.5N HCl, 소포제로는 silicon resin을 사용하였다.

Table 1. Composition of IYSM medium

Ingredients	Contents(%)
Soluble starch	2.0
Yeast extract	0.2
K_2HPO_4	0.5
KH_2PO_4	0.001
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.1

우수한 β-glucan 생산용 배지를 얻기 위하여 대두분, 전분, Yeast extract, CSL 및 염 등을 이용하여 배합비를 작성하였으며 배양조건은 위의 조건과 동일하게 배양하였다.

3. β-glucan 추출

균사체 배양액에 균체외 β-glucan을 추출하기 위하여 에탄올 추출법을 사용하여 수출하였다. 즉, 배양액을 원심 분리하여 침전물을 버리고 상등액에 3배량의 에탄올을 첨가하여 4℃에서 24시간 냉침한 후 원심 분리하여 균체 외 다당류를 얻었다. 다당류 침전물을 dialysis tube(MW cut off: 10000 Da)에 넣어 흐르는 물에 2일간 투석 한 후 동결건조 하여 최종 β-glucan을 얻었다(Fig. 1).

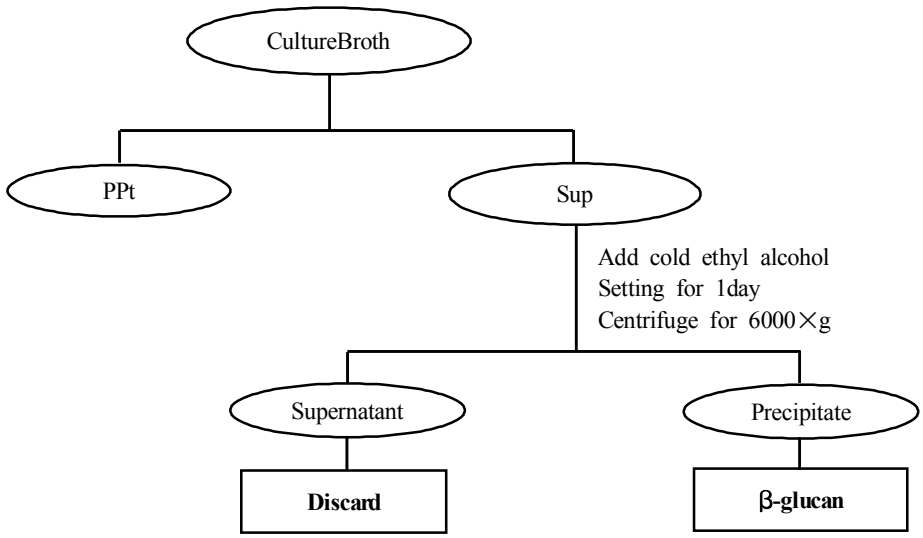

Fig. 1. Purification procedure of β-glucan from mushroom by alcohol precipitation method.

4. 균사체 생장량 및 균체외 다당체(β-glucan)의 측정

균사체의 생장은 배양된 배양액을 x13,000g, 20분간 원심분리한 후 상층액은 따로 모으고, 하층의 균사체는 증류수로 3번 세척한 후 80℃에서 건조하여 건중량을 측정하였다. 상층액은 3배량의(v/v) 95% ethanol을 첨가하여 4℃에서 24시간 침전시켰다. 침전물은 x13,000g, 5분간 원심분리 하여, 75% ethanol로 3번 세척하여 60℃에서 건조하여 건중량을 측정하였으며 다당류의 총량은 페놀-황산법으로 결정하였다.

5. 사양시험

본 시험은 삼원교잡종(Landrace×Large White×Duroc) 이유자돈(8.6kg) 144두를 선발하여 공시하였고 체중의 편차와 암수구분에 의한 오차를 줄이기 위하여 전체 시험돈을 체중과

성별로 4개 군(암컷 2반복, 거세 수컷 2반복)으로 구분하였다. 이유자돈은 평균 생후 20일에 이유한 자돈 144두를 선발하여 3일간의 예비사양 후 28일간(생후 23일~51일령) 시험을 실시하였다.

본 시험의 시험설계는 4처리 4반복의 난괴법 배치로 하였다. 시험구의 처리는 T1(-control)는 무항생제 처리구, T2(+control)는 항생제를 0.255% 첨가한 처리구이며, T3는 무항생제에 β-glucan 0.2%를 첨가한 처리구, T4 처리구는 항생제와 베타 글루칸 0.2%를 첨가한 처리구로 하였다. 본 시험에 급여한 항생제는 테라마이신을 0.055%, 네오마이신을 0.1%, 티아물린을 0.1% 급여하였다.

본 시험에 급여한 기초사료의 배합비 및 성분함량은 Table 2에서 보는 바와 같다. 시험돈은 사료섭취량, 증체량 및 사료효율을 시험개시와 종료시에 각각 측정하였으며, 1일 1두당 섭취량은 시험기간 중 급여량에 시험 종료 후 사료잔량을 측정하여 계산하였으며, 일당증체량은 매 잔량 측정시 이동식 전자저울로 측정하였다. 사료효율은 시험기간 중의 증체량을 사료섭취량으로 나누어 계산하였다.

이유자돈의 분변 상태 조사는 1점에서 5점의 지수로 1=된똥, 2=약간 된똥, 3=정상, 4=약간설사, 5=설사로 기록하였다. 분내 수분함량 측정은 시험 중에 각 처리구에 동일한 시간동안 배설된 분을 10g 채취한 후 105℃에서 건조전후 무게를 측정하여 조사하였다.

모든 자료는 SAS(1999)의 GLM procedure를 이용하여 분산분석을 실시하였고, 유의성 검정은 Duncan's multiple range test로 처리하였다.

Table 2. Formula and chemical composition of basal diet

Item	Phase Ⅰ (0~14days)	Phase Ⅱ (15~28days)
Ingredients, %		
Corn, EP	25.07	44.08
Wheat	12.00	12.00
Dehulled soybean meal	12.00	17.00
Full fat soybean meal	7.00	-
Fermented soy protein	-	3.00
Whey	23.85	4.63
Glucose	-	2.00
White fish meal	5.58	1.00
Soy oil	3.02	1.00
Animal fat	-	4.44
Molasses	-	2.00
Pop gold	3.50	-
Dried Porcine Solubles	-	1.00
Rice protein concentrate	-	3.00
Brewers yeast	1.50	-

Item	Phase Ⅰ (0~14days)	Phase Ⅱ (15~28days)
White sugar	3.00	1.00
Limestone	0.32	0.15
DCP	0.68	1.41
Salt	0.20	0.02
ZnO	0.30	0.25
Vitamin premix[1)]	0.20	0.20
Mineral premix[2)]	0.30	0.30
Lysine 78%	0.32	0.40
Methionine 99%	0.08	0.02
Threonine 98%	-	0.03
OTC 200	0.05	0.05
Tiamulin 38g	0.10	0.10
Anti-oxidant	0.03	0.12
Flavor and sweetener	0.10	0.10
Organic acid	0.50	0.30
Probiotic	0.30	0.30
Choline chloride 75%	-	0.10
Crude protein, %	21.00	20.75
Crude fat, %	6.20	8.45
Crude fiber, %	2.00	2.63
Crude ash, %	5.80	5.61
Ca, %	0.80	0.74
P, %	0.73	0.71
Lysine, %	1.50	1.3
DE(kcal/kg)	3,600	3,550

1) Supplied per kilogram of diet : Vit A, 10,000IU; Vit D3, 2,000 IU; Vit E, 42IU; Vit K, 5mg; Vit B2, 9.6mg; Vit B6, 2.45 mg; niacin, 49mg; biotin, 0.05mg.
2) Supplied per kilogram of diet: Cu, 140mg; Fe, 179mg; Zn, 179mg; Mn, 12.5mg; Co, 0.25mg; Se, 0.4mg.
3) Calculated values.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 우수균주 선발 및 균주에 따른 균사체 및 β-glucan 수율

우수한 β-glucan 생성균주를 얻기 위해 MCM(mushroom complete medium; Glucose 2.0%, Peptone 0.2%, Yeast extract 0.2%, K_2HPO_4 0.1%, KH_2PO_4 0.46%, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.05%)에 배양한 결과, Table 3과 같이 영지버섯 균사체가 1L당 8.52g의 biomass를 나타내어 가장 우수

한 균사체 생장을 보였으며, 새송이버섯 균사체가 8.39g/L로 우수하였다. 균체 외 다당류의 수율 역시 영지버섯 4.49g/L, 새송이 버섯 4.40g/L의 순으로 얻었다.

Table 3. Yields of mycelial biomasss and extracellular β-glucan on mushroom strains

Strain	Mycelium (g/L)	EPS biomass (g/L)	Final pH
Ganoderma lucidum SCH-1	8.52	4.49	4.36
Ganoderma oregonece	6.17	3.44	5.73
Ganoderma applanatum	5.00	2.36	5.02
Phellinus linteus	4.79	0.42	6.79
Laetiporus sulphureus	7.31	1.35	5.25
Ganoderma tsugae	3.86	0.43	6.13
Fomitella fraxinea	7.63	1.45	5.58
Agaricus blazei	7.39	0.40	5.54
Pleurotus eryngii	8.39	4.40	4.54

[a] Basal medium used mushroom complete medium(Glucose 2.0%, Peptone 0.2%, Yeast extract 0.2%, K_2HPO_4 0.1%, KH_2PO_4 0.46%, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.050%.)
The cultivation was at 28℃, 160rpm for 7 days on a shaking incubator.

2. 산업용 버섯배지 개발

우수한 β-glucan 생성용 배지를 얻기 위하여 다음과 같이 배합비를 작성하였다. 즉, 선발된 영지버섯 균체(*G. lucidum* SCH-1)를 시험균주로, Table 4와 같이 탄수화물과 단백질의 조성을 달리한 6개의 배합비를 설정하여 28℃, 170rpm으로 7일간 shaking incubator(HK-SC25C, Korea)에서 배양한 다음 원심분리기(MEGA 21R, Hanil Science, Korea)를 이용하여 8,000g에서 균사체를 회수하여 적외선 수분분석기(IR moisture determination balance, Kett FD-610, Japan)로 mycelium mass를 측정한 결과는 Fig. 2와 같다.

Table 4. Composition of culture media for *G. lucidum* SCH-1

(Unit : g/100ml)

Item	Formula A	Formula B	Formula C	Formula D	Formula E	PDB
Glucose	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2
Corn starch	1.5		1.5		1.5	
Soybean flour	0.5	0.5			0.5	

Item	Formula A	Formula B	Formula C	Formula D	Formula E	PDB
Yeast extract	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
KH_2PO_4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
$MgSO_4$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Starch, soluble		1.5		1.5		0.4
Skim milk powder			0.5	0.5		
Corn steep liquor					0.4	
Dry matter of media	2.9	2.9	2.9	2.9	3.3	2.4

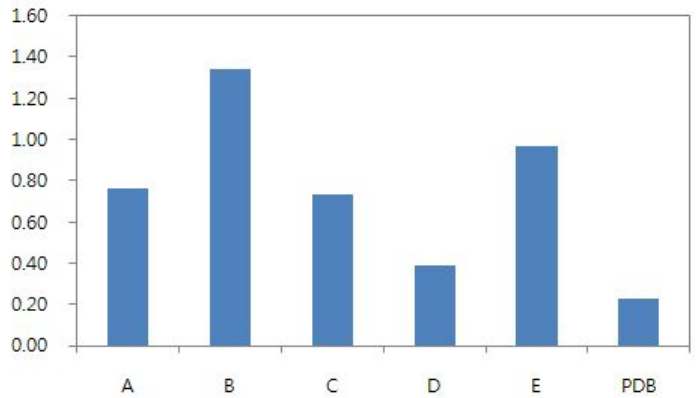

Fig. 2. Mycelium yeilds of various culture media for *G. lucidum* SCH-1.
(unit : % of dried mycelium)

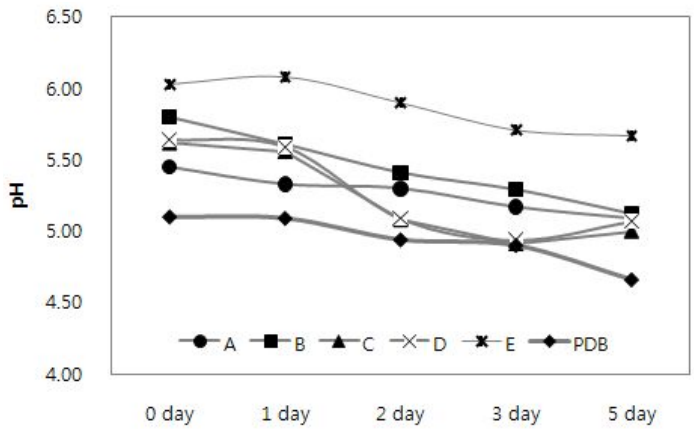

Fig. 3. Changes of pH at various culture media of *G. lucidum* SCH-1.

최대의 mycelium yield (dry matter base)를 나타낸 배합비는 B처리구로서 배양액 100ml 당 1.34g의 수율을 보여 대조구(일반 연구실에서 액상버섯 배지로 흔히 사용하는 Potato Dextrose Broth)의 mycelium 0.23g보다 약 5.8배의 수율 차이를 보였다. 또한 각각의 배지에서 pH의 변화를 조사한 결과 Fig. 3과 같이 배양과정을 거치면서 대부분 pH가 약간 감소하는 비슷한 경향을 보였다. 이 같은 결과에 따라 Table 5와 같이 β-glucan 생성 최적배지를 제조하여 대량 생산에 이용하였다.

Table 5. Optimal medium(SCH-2) for β-glucan production from *G. lucidum*

(Unit : g/100ml)

Ingredients	%
Glucose	0.5
Soybean flour	0.5
Yeast extract	0.1
KH_2PO_4	0.2
$MgSO_4$	0.1
Starch, soluble	1.5
Dry matter of media	2.9

이 실험 결과를 기초로 하여 배합비 B를 산업용 배지로 확정하였으며, Jar Fermenter(KF-7L, Kobiotech, Korea, capacity 7L)를 사용하여 온도, 교반속도, 공기주입량, 배양시간 등 산업용 대량배양에 따른 최적조건을 사전 점검하였으며, 이후 자돈 사양실험에 필요한 β-glucan을 얻기 위해 Industrial fermenter(KF-500L, Kobiotech, Korea, capacity 500L)를 사용하여 액상버섯을 대량 배양하였다.

최적의 배양조건은 working volume 500L, 온도 28℃, 교반속도 160rpm, 공기 주입량은 0.5 vvm, 배양기간은 5일간으로 하였다. 사용한 배양기의 종류는 Fig. 4와 같다. 5일 배양한 균사체를 위상차현미경(Nikon eclipse 80i. Phase contrast, Japan)으로 확인한 결과 Fig. 5과 같이 양호한 것으로 판단되었으며 이후 배양을 완료하였다. 배양이 완료된 후 contineous centrifuge(A-Q2375, Tomoe Co., Japan)를 이용하여 x12,000g로 원심분리하여 mycelium을 회수하였으며, -75℃의 deep freezer에서 냉동시킨 다음 Freeze dryer(OPERON DFC-400CE, Operon Co., Korea)를 사용하여 mycelium을 건조하였다. 배양결과 동결 건조된 균사체 5.0kg을 얻어 mycellium mass의 수율은 1.5%였으며, 이를 분석한 결과 β-Glucan의 함량은 약 32%로서 500L의 배양액에서 약 1.5kg의 β-Glucan을 얻어 실제 수율은 0.3%였다. 위와 같은 정제과정을 거쳐 얻은 β-Glucan을 자돈 사양실험의 재료로 사용하였다.

Fig. 4. *G. lucidum* in jar fermenter.

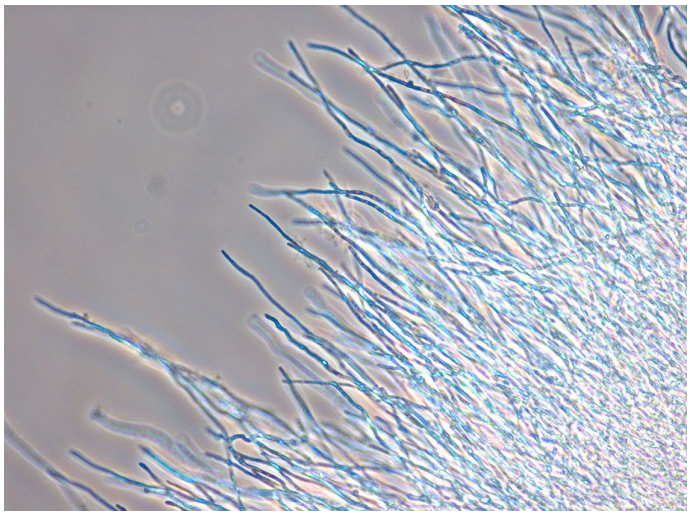

Fig. 5. Mycelium growth of *G. lucidum* SCH-1.

3. 가축 생산성

항생제와 β-glucan 함량을 달리하여 급여한 이유자돈의 시험에서 개시일의 평균 체중은 Table 6에서 보는 바와 같이 8.6kg이었으며, 14일후 평균 체중은 13.4kg이었다. 이유자돈 전기(0일~14일)에서 일당 증체량과 1일 두당 사료섭취량은 처리간에 유의적인 차이가 없었다 ($p>0.05$). 그러나 사료효율은 T1, T2, T3 및 T4 처리구가 각각 0.67, 0.72, 0.68 및 0.73으로 항생제+β-glucan 처리구(T4)가 다른 처리구보다 사료효율이 좋았다($p<0.05$).

Table 6. Effect of β-glucan on the growth performance of weaning pigs

Item	T1	T2	T3	T4	SEM[3)]
0~14 days					
Initial weight, kg	8.6	8.6	8.6	8.6	0.9
Final weight, kg	13.0	13.6	13.1	13.8	1.3
ADG[1)], g	317.3	352.3	320.3	371.1	39.8
ADFI[2)], g	475.9	491.7	474.2	509.3	41.7
Gain/Feed	0.67[a]	0.72[bc]	0.68[ab]	0.73[c]	0.08
15~28 days					
Initial weight, kg	13.0	13.6	13.1	13.8	1.3
Final weight, kg	18.4	20.2	18.8	20.4	1.9
ADG, g	382.6[b]	470.8[a]	408.9[ab]	471.6[a]	59.9
ADFI, g	631.8	731.2	662.7	765.4	82.3
Gain/Feed	0.61	0.63	0.63	0.62	0.07
0~28 days					
Initial weight, kg	8.6	8.6	8.6	8.6	0.9
Final weight, kg	18.4	20.2	18.8	20.4	1.9
ADG, g	349.9[b]	411.6[ab]	364.6[b]	421.4[a]	46.6
ADFI, g	553.5	616.4	558.5	637.4	64.0
Gain/Feed	0.63	0.67	0.65	0.66	0.06

T1=Negative control(NC), non-antibiotic 0.2%, T2=Positive control(PC), antibiotic 0.255%, T3=NC+β-glucan 0.2%, T4=PC+β-glucan 0.2%.

[1)] Average daily gain.

[2)] Average daily feed intake.

[3)] Standard error of mean.

[a,b,c] Means with different superscripts are significantly different($p<0.05$).

이유자돈 후기(15일~28일)에서 1일 두당 사료섭취량과 사료효율은 처리간에 유의적인 차이가 없었다($p>0.05$). 그러나 일당증체량은 T1, T2, T3 및 T4 처리구가 382.6g, 470.8g, 408.9 g 및 471.6g로 항생제와 β-glucan을 첨가한 처리구(T4)가 가장 높았으며, 무항생제 처리구(T1)가 가장 낮았다($p<0.05$). 시험 전기간(0일~28일)에서도 이유자돈 후기와 마찬가지로 사료섭취량과 사료효율은 처리간에 유의적인 차이가 없었다($p>0.05$). 한편 이유자돈의 일당증체량은 T1, T2, T3 및 T4처리구가 각각 349.9g, 411.6g, 364.6g 및 421.4g로 T2 및 T4처리구

가 다른 처리구보다 많이 증체하였으며 처리간에 유의성도 있었다($p<0.05$). 즉 항생제 처리구가 무항생제 처리구들보다 많이 증체하였으며, β-glucan의 효과는 항생제의 효과보다 적었다.

이유자돈의 증체량은 항생제를 첨가한 구가 첨가하지 않은 구보다 약 17% 많이 증체하여 이는 다른 시험에서와 유사한 경향을 보였다. 한편 β-glucan의 효과는 무항생제에서는 4%의 효과가 있었으며, 항생제 처리구에서는 2%의 증체효과가 있었다. 따라서 β-glucan은 항생제 사료보다 무항생제 사료에서 자돈의 일당증체량 향상에 효과가 좋을 것으로 판단되었다.

Schoengerr(1994)는 자돈시험에서 β-glucan 첨가구의 일당증체량이 대조구 보다 평균 9.97% 증가했고, 최종 체중은 대조구보다 평균 1.4% 증가하여 본시험과 비슷한 경향을 보였다. 한편 Dritz 등(1995)에 의하면 β-glucan을 0.1% 참가하였을 때 증체량 및 사료섭취량을 감소시켰으며, 대두박 위주의 사료에서는 성장을 억제하지 않는다고 하였다. 그러나 이유자돈에서 28일간 β-glucan을 0.025% 첨가하였을 때는 대조구보다 20% 더 높았으며, 체중도 약 2kg 증체하였다고 하여 본 시험과 비슷한 경향을 보였다.

한편 이유자돈 분변의 설사지수는 β-glucan을 첨가한 처리구(T3 및 T4 처리구)가 첨가하지 않은 처리구보다 높았으며(Table 7), 분의 수분함량도 설사지수와 마찬가지로 β-glucan을 첨가한 T3와 T4 처리구가 다른 처리구보다 많아 β-glucan을 첨가함에 따라 이유자돈의 분변이 약간 묽은 경향을 보였다($p<0.05$).

Table 7. Effect of β-glucan on the feces moisture content, diarrhea score and mortality of weaning pigs

Item	T1	T2	T3	T4	SEM[1)]
Moisture, %	64.9[b]	65.8[b]	72.1[a]	71.9[a]	5.0
Diarrhea score, 1-5	2	2	3	3	-
Mortality, %	2.8	0.0	0.0	0.0	2.8

T1=Negative control(NC), non-antibiotic 0.2%, T2=Positive control(PC), antibiotic 0.255%, T3=NC+β-glucan 0.2%, T4=PC+β-glucan 0.2%.

[1)] Standard error of mean.

[a,b] Means with different superscripts are significantly different($p<0.05$)

이상의 이유자돈의 생산성을 볼 때 무항생제 처리구보다 항생제 처리구의 생산성이 우수하였으며, β-glucan은 항생제의 효과보다 적었다. 그리고 β-glucan은 항생제 사료에서의 효과보다 무항생제 사료에서 효과가 높아 무항생제 사료에서 사료첨가제로 효과가 높을 것으로 판단되었다.

4. 경제성

이유자돈에 항생제와 β-glucan을 달리하여 급여한 시험의 경제성 분석은 Table 8에서 보는 바와 같다. 이유전기(0~14일)의 자돈 사료비는 T1, T2, T3 및 T4 처리구가 각각 1,370.0원, 1,374.1원, 1,382.3원 및 1,381.4원으로 처리간의 차이가 1% 이내로 거의 차이가 없었으나 β-glucan을 첨가한 T3 및 T4처리구의 사료비가 높았다. 한편 시험기간 동안 이유자돈의 두당 섭취량을 고려한 1일 두당 섭취량의 사료비는 T1, T2, T3 및 T4 처리구가 각각 652.0원, 675.6원, 655.5원 및 703.5원으로 T4 처리구(항생제+β-glucan)의 사료비가 가장 높았다. 그리고 이유자돈의 증체량을 고려한 증체 1kg당 사료비는 T1, T2, T3 및 T4 처리구가 각각 2,054.8원, 1,917.8원, 2,046.4원 및 1,895.8원으로 T1 처리구(무항생제) 및 T3 처리구(무항생제+β-glucan)의 사료비가 다른 처리구보다 높았다.

Table 5. Effect of β-glucan on the feed cost of weaning pigs

Item	T1	T2	T3	T4	SEM1
0~14 days					
Total feed cost, ₩/kg	1,370.0	1,374.1	1,382.3	1,381.4	5.3
Feed cost per pig, ₩/intake	652.0	675.6	655.5	703.5	57.9
Feed cost per kg weight, ₩/kg wt	2,054.8^{a}	1,917.8^{ab}	2,046.4^{a}	1,895.8^{b}	103.2
Feed cost per kg weight, Index	100.0	93.3	99.6	92.3	-
15~28 days					
Total feed cost, ₩/kg	452.0	458.4	461.1	467.5	5.7
Feed cost per pig, ₩/intake	285.6^{b}	335.2^{ab}	305.6^{b}	357.8^{a}	44.6
Feed cost per kg weight, ₩/kg wt	746.4	712.0	747.3	758.8	37.7
Feed cost per kg weight, Index	100.0	95.4	100.1	101.7	-

T1=Negative control(NC), non-antibiotic 0.2%, T2=Positive control(PC), antibiotic 0.255%, T3=NC+β-glucan 0.2%, T4=PC+β-glucan 0.2%.

1) Standard error of mean.

a,b Means with different superscripts are significantly different($p<0.05$)

이유후기(15~28일)의 자돈 사료비는 T1, T2, T3 및 T4 처리구가 각각 452.0원, 458.4원, 461.1원 및 467.5원으로 항생제와 β-glucan을 첨가한 T4 처리구의 사료비가 가장 높았다. 시험기간 동안 이유자돈의 두당 섭취량을 고려한 1일 두당 섭취량의 사료비는 T1, T2, T3 및 T4 처리구가 각각 285.6원, 335.2원, 305.6원 및 357.8원으로 T4 처리구(항생제+β-glucan)

의 사료비가 가장 높았다. 그리고 이유자돈의 증체량을 고려한 증체 1 kg당 사료비는 T1, T2, T3 및 T4 처리구가 각각 746.4원, 712.0원, 747.3원 및 758.8원으로 T4 처리구(항생제+β-glucan)의 사료비가 다른 처리구보다 많았다.

이상의 이유자돈 시험의 경제성 결과를 볼 때 이유전기에서는 항생제와 β-glucan을 첨가함에 따라 사료비는 증가하여 많았으나, 섭취량과 증체량을 고려한 사료비에서는 β-glucan을 첨가한 처리구(T3 및 T4)가 첨가하지 않은 처리구(T1 및 T2)보다 감소하여 β-glucan의 효과가 있다. 그리고 이유전기에서는 β-glucan을 급여한 처리구(T3 및 T4)가 대조구보다 0.4~7.5% 낮았으나, 이유후기에서는 대조구보다 0.1~1.7% 높았다. 따라서 β-glucan의 효과는 이유후기보다 이유전기(생후 3~5주)에 효과가 좋을 것으로 판단되었다.

Ⅳ. 요 약

영지버섯에서 추출한 균사체 함량은 배지 L당 8.52g, 균체외 다당류는 4.49g으로 β-glucan 생산능력이 우수한 영지버섯을 선발하였으며, 대두분과 수용성전분 등을 이용한 최적의 산업용 버섯배양배지를 개발하였다. 원심분리와 냉동건조방법으로 제조한 β-glucan을 자돈사료에 첨가하여 이유자돈의 성장능력, 설사, 폐사율 및 경제성을 비교하여 항생제 대체효과를 구명하기 위하여 실시하였다. 삼원교잡종(Landrace×Large White×Duroc) 이유자돈(8.6kg) 144두를 선발하여 28일간 사양시험을 실시하였다. 본 시험은 4처리 4반복의 난괴법 배치로 T1 처리구(-control)는 무항생제, T2 처리구(+control)는 항생제, T4 처리구는 무항생제에 β-glucan 0.2% 첨가, T3 처리구는 항생제와 β-glucan 0.2% 첨가하였다. 이유전기(phase Ⅰ, 0~14일)에서는 일당증체량과 사료섭취량은 처리간에 유의적인 차이가 없었으나 사료효율은 처리간에 차이가 있었다($p<0.05$). 한편 이유후기(phase Ⅱ, 15~28일)와 전 기간(0~28일)에서는 사료섭취량과 사료효율은 처리간에 유의적인 차이가 없었으나 일당증체량은 처리간에 유의적인 차이가 있었다($p<0.05$). 전 기간의 일당증체량의 비교에서 설사지수와 분변의 수분함량은 T3와 T4 처리구가 다른 처리구보다 높았다($p<0.05$). 이유자돈 분변의 수분함량은 T3와 T4 처리구가 다른 처리구보다 높았으나($p<0.05$), 설사지수와 폐사율은 처리간에 유의적인 차이가 없었다. 이유자돈 시험의 경제성분석 결과 이유전기에서는 항생제와 β-glucan을 첨가함에 따라 사료비가 증가하였으나, 섭취량과 증체량을 고려한 사료비에서는 β-glucan을 첨가한 처리구(T3 및 T4)가 첨가하지 않은 처리구(T1 및 T2)보다 감소하여 β-glucan의 효과가 있었다. 그러나 이유후기의 β-glucan의 효과가 이유전기의 효과가 적었다. 이상의 이유자돈시험을 결과를 종합해 보면 기능성 β-glucan은 이유자돈의 증체량, 영양소 소화율 및 경제성에 효과가 있었으며, 특히 항생제 대체제로서 일정 부분 개선효과가 있는 것으로 사료된다.

[논문접수일 : 2010. 1. 18. 논문수정일 : 2010. 4. 16. 최종논문접수일 : 2010. 4. 28]

참 고 문 헌

1. 배극환·고태구·김지훈·조원탁·한영근·한인규. 1999. 항생제 대체 기능성 물질의 사용효과에 관한 연구. 한국축산학회지 41(1): 23-30.
2. 장영달·오희경·박용국·최현봉·윤진현·김유용. 2009. 항생제 대체제로서 생균제가 이유자돈의 성장능력 및 영양소 이용률, 설시빈도, 면역반응에 미치는 영향. 한국동물자원과학회지 51(1): 25-32.
3. 조병임·유선종·김은집·안병기·백현동·윤철원·장효일·김승육·강창원. 2008. 효모변이균주 유래 β-글루칸과 복합균종 생균제의 혼합급여가 육계의 생산성 및 장내 균총에 미치는 영향. 한국동물자원과학회지 50(1): 89-98.
4. 주지환·YuXin Yang·최재용·최순천·조원탁·채병조. 2009. 다양한 유기산제들의 급여가 이유자돈의 성장과 영양소 소화율에 미치는 효과. 한국동물자원과학회지 51(1): 15-24.
5. 한인규. 2000. 양돈영양과 사료. 서울대학교.
6. Abuel, S. J., J. D. Kim, S. N. Kang, J. W. Youn, and M. S. Kim. 2006. A study on two types of feed additive as an alternative for antibiotics in swine feeds. XIIth AAAP animal Science Congress Proceedings. p. 175.
7. Ahn, Y. T., K. L. Lim, J. C. Ryu, D. K. Kang, J. S. Ham, Y. H. Jang and H. U. Kim. 2002. Characterization of *Lactobacillus acidophilus* isolated from piglets and Chicken. Asian-Aust. J. Ani. Sci. 15(12): 1790-1797.
8. AOAC. 1990. Official Method of Analysis (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
9. Chae, B. J., J. D. lahakare, W. K. Moon, S. L. Lee, Y. H. Park, and T. W. Hahn. 2006. Effects of supplementation of β-glucan on the growth performance and immunity in broilers. Res. Vet. Sci. 80: 291.
10. Dritz, S. S., J. Shi, T. L. Keilian, R. D. Goodband, J. L. Nelssen, M. D. Tokach, M. M. Cheongappa, J. E. Smith, and F. Blecha. 1995. Influence of dietary β-glucan of growth performance nonspecific immunity and resistance to *Streptococcus suis* infection in weanling pigs. J. Anim. Sci. 73: 3341.
11. Eicher, S. D., C. A. McKee, J. A. Carroll, and E. A. Pajor, 2006. Supplemental vitamin c and yeast cell wall beta-glucan as growth enhancers in newborn pigs and as immunom-

dulators after and endotoxin challenge after weaning. J. Anim. Sci. 84: 2352.

12. Ha, C. H., C. W. Yun, H. D. Paik, S. W. Kim, C. W. Kang, H. J. Hwang, and H. T. Chang. 2006. Preparation and analysis of yeast cell wall mannoproteins, immune enhancing materials, from cell wall mutant *Saccharomyces cerevisiae*. J. Microbiol. Biotechnol. 16: 237.
13. Jung K., Y. Ha, S. K. Ha, D. U. Han, D. W. Kim, W. K. Moon, and C. Chae. 2004. Antiviral Effect of *Saccharomyces cerevisiae* b-glucan to swine influenza virus by increased production of interferon-γ and nitric oxide. J. Vet. Med. 51: 72-76.
14. Kim, Y. Y., K. Y. Kil, H. Y. Oh, In K. Han. 2005. Acidifier as an alternative material to antibiotics in animal feed. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 18(7): 1048.
15. Klasing, K. C., D. E. Laurin, R. K. Peng, and D. M. Fry. 1987. Immunologically mediated growth depress in chicks: influence of feed intake, corticosterone and interleukin-1. J. Nutri. 117: 1629.
16. Lowry, K. R., Q. A. Izquierdo, and D. H. Baker. 1987. Efficiency of BETAFIN relative to choline as a dietary methyl donor. Presentation at the Poultry Science Association Annual Meeting-August 10-14, 1987, p. 8.
17. Mantovani M. S., M. F. Bellini, J. P. Angeli, R. J. Pliverira, A. F. Silva, and L. R. Ribeiro. 2007. β-glucans in promoting health : Prevention against mutation and cancer. Mutant. Res. 658: 154-161.
18. Poutsiaka, D. D., M. Mengozzi, B. Sinha, and C. A. Dinarello. 1993. Cross-linkage of the β-glucan receptor on human monocytes results in interleukin-1 receptor antagonist but not interleukin-1 production. Blood. 82: 3695.
19. Queenan K. M., M. L. Stewart, K. N. Smith, W. Thomas, R. G. Fulcher, and J. L. Slavin. 2007. Concentrated oat β-glucan, a fermentable fiber, lowers serum cholesterol in hyper-cholesterolemic adults in a randomized controlled trial. Nutr. J. 6: 1-8.
20. SAS Institute, Inc. 1999. SAS user's guide: Statistics. SAS Inst., Inc., Cary, NC.
21. Schoenherr, W. D., D. S. Pollmann, and J. A. Coalson. 1994. Titration of MacroGrnd^{TM}-S on growth performance of nursery pigs. J. Anim. Sci. 72(Suppl. 2): 57(Abstr.).
22. Suzuki M., F. Takatsuki, Y. Maeda, J. Hamuro, and G. Chihara. 1994. Antitumor and immunological activity of lentinan in compairson with LPS. Int. J. Immunopharmacol. 16: 463-468.
23. Suzuki, I., H. Tanaka, A. Kinoshita, S. Oikawa, M. Osawa, and T. Yadomae. 1990. Effect of orally administered β-glucan on macrophage function in mice. Int. J. Immunopharmacol. 12: 675.

24. Wenk, C. 2002. Herbs and botanicals as feed additives in monogastric animals. Proc. 2002. Int. Symp. On Recent Advances in animal Nutr., New Delhi, India, 22nd Sept. 2002. pp. 14-21.
25. Wenk. C. 2000. Recent advances in animal feed additives such as metabolic modifiers, antimicrobial agents enzymes and highly available minerals. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 13(1): 86.
26. Williams, P. E. V., L. Pagliani, G. M. Innes, K. Pennie, C. I. Harris, and P. Garthwaite. 1987. Effect of a β-agonist (clenbuterol) on growth, carcass composition, protein and energy metabolism of veal calves. Br. J. Nutr. 57: 417.
27. Xiao Z., Trincado, C. A. and Murtaugh, M. P. 2004. β-glucan enhancement of T cell IFN-γ response in swine. Vet. Immunol. Immunopathol. 102: 315-320.