

배합사료 내 식물성 원료 대체원으로 막걸리 부산물이 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*) 치어의 성장 및 체조성에 미치는 영향

최진 · 이상민*

강릉원주대학교 해양생물공학과

Distillers' Dried Grain as a Replacement for Plant-derived Sources in the Diet of Juvenile Muddy Loach *Misgurnus anguillicaudatus*

Jin Choi and Sang-Min Lee*

Department of Marine Bioscience and Technology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 210-702, Korea

We designed a 16-week feeding experiment to test the effects of dietary supplementation with distillers' dried grain (DDG) on the growth, feed utilization, and body composition of juvenile muddy loach *Misgurnus anguillicaudatus*. Seven isonitrogenous and isocaloric diets were formulated to contain 0% DDG (Control); 10%, 20%, and 30% DDG from rice (diets RM10, RM20 and RM30); and 10%, 20%, and 30% DDG from rice and wheat flour (diets RWM10, RWM20 and RWM30), respectively. Three replicate groups of juvenile muddy loach averaging 1.5 ± 0.10 g were fed one of the diets to satiation twice daily. Survival of juvenile muddy loach fed the RWM20 and RWM30 diets was higher than that of the control group ($P < 0.05$), while weight gain tended to decrease when fish were fed diets containing DDG. Weight gain of fish fed the RWM10 diet was greater than that of fish fed other diets, but the RM30 diet resulted in less weight gain than did the control ($P < 0.05$). The feed and protein efficiency ratios of fish fed the RM10, RM20, RM30, RWM10, RWM20 and RWM30 diets were all similar to the control ($P > 0.05$). Neither daily feed intake nor proximate composition of the whole body was affected by dietary DDG ($P > 0.05$). The compositions of isoleucine, leucine, lysine, threonine, and valine were all elevated in fish fed the RM30, RWM10, RWM20 and RWM30 diets relative to those of other groups ($P < 0.05$). In contrast, methionine + cystine and phenylalanine + tyrosine were all lower in fish fed the RM30, RWM10, RWM20 and RWM30 diets, as compared to those of other groups ($P < 0.05$). Our results suggest that DDG is suitable as a partial replacement for soybean meal and wheat flour, and could be used at a rate of up to 20% for rice, or 30% for rice and wheat flour, for optimum growth performance of juvenile muddy loach.

Key words: Distillers' dried grain, *Misgurnus anguillicaudatus*, Growth

서론

미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*)는 국내 농약 등록을 위한 환경생물 독성시험의 시험 종으로 농촌진흥청 고시를 통해 지정되어 있다. 미꾸리과에 속하는 국내 토착 어종인 미꾸리는 동일과에 속하는 미꾸라지에 비해 몸통이 가늘고 원형에 가까운 특징을 지니고 있으며, 우리나라 전역에 분포하고 있다. 최근에 미꾸리에 대한 수요가 높아지고 있지만, 미꾸리 양식에 필

요한 자료는 부족한 실정이다.

어류 양식에서 사료비는 양식 총 생산비 중 가장 많은 부분을 차지하므로 경제적으로 매우 중요한 요인이다. 미꾸리 양식용 배합사료 개발을 위해 영양소 요구량 규명과 같은 기초적인 연구(Kim et al., 2013)가 일부 수행 되었지만, 값비싼 영양소의 첨가 함량을 최소화하여 사료원가를 낮추는 연구와 양식어의 성장 및 품질을 개선시키기 위한 노력도 계속되어야 할 것이다. 최근에 가격이 저렴하고 환경친화적인 면에서 식품가공부산물

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0227>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Kor J Fish Aquat Sci 47(3) 227-233, June 2014

Received 18 March 2014; Revised 7 May 2014; Accepted 13 May 2014

*Corresponding author: Tel: +82. 33. 640. 2414 Fax: +82. 33. 640. 2955

E-mail address: smlee@gwnu.ac.kr

들이 동물 사료 원료로 이용되는 것에 관심이 높아지고 있다.

본 연구에서 탐색한 후보 사료 원료 중에 관심을 둔 것은 우리나라 전통 술인 막걸리의 가공부산물이다. 막걸리는 주로 쌀 또는 쌀과 소맥분 등의 식물성 원료들이 혼합되어 제조되는데, 막걸리를 거르고 남은 막걸리 부산물(주정박) 또한 대량으로 생산된다. 막걸리 부산물은 사용되는 원료의 약 20% 정도가 얻어지는데, 전분과 단백질 외에도, 섬유소, 무기질, 비타민, 알코올과 유기산, 효소, 효모 등의 성분을 함유한 것으로 보고되었다(Cho et al., 1998). 이처럼 막걸리 부산물의 이용 잠재력이 높음에도 불구하고 양돈 사료 원료로 제한적으로 이용되거나 폐기되고 있다. 주정박을 산업적으로 이용하기 위한 연구로 청주박을 이용한 저 식염 고추장의 양조(Lee and Kim, 1991), 고식이 섬유 빵의 제조(Cho and Lee, 1996), 주정박 단백질을 이용한 가식성 필름의 제조(Cho et al., 1998), 주정박을 이용한 효모포자의 생산(Lim et al., 2004), 탁주분말 또는 탁주 주정박을 이용한 제빵특성 및 제빵개량제의 제조(Jeong and Park, 2006), 주정박 첨가에 따른 국수의 품질특성(Kim et al., 2007), 막걸리박의 혈압저하효과(Lee et al., 2009) 등이 있다. 또한, 최근에 사료 내 막걸리 부산물의 첨가가 넙치(*Paralichthys olivaceus*), 감성돔(*Acanthopagrus schlegeli*), 해삼(*Apostichopus japonicus*) 및 조피볼락(*Sebastes schlegeli*)의 성장에 미치는 영향에 대한 연구가 수행되었다(Rahman et al., 2013a, 2013b; Choi et al.,

2013, 2014). 본 연구에서는 미꾸리 양식 기술 개발 일환으로 쌀막걸리 부산물과 쌀 및 소맥분 혼합 막걸리 부산물을 첨가한 배합사료가 미꾸리 치어의 성장 및 체조성에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

실험사료

실험사료의 원료 중 어분, 소맥분 및 막걸리부산물 일반성분 및 아미노산 조성을 Table 1에 나타내었으며, 실험사료의 원료, 일반성분 및 아미노산 조성을 Table 2에 나타내었다. 실험사료의 주 단백질원으로 어분을 사용하였으며, 지질원으로는 오징어 간유를 사용하였다. 그리고 사료 내 막걸리 부산물의 첨가에 따른 미꾸리의 반응을 알아보기 위해, 대조사료(Con)의 조성물 중 식물성 원료(대두박 및 소맥분)의 첨가비를 감소시키면서 쌀막걸리 부산물(RM)을 10, 20, 및 30%씩을 각각 첨가하였으며, 쌀과 소맥분 혼합 막걸리 부산물(RWM)을 10, 20 및 30%씩 각각 첨가하여 총 7개의 실험사료를 설계하였다(Con, RM10, RM20, RM30, RWM10, RWM20 및 RWM30). 실험에 사용된 막걸리 부산물은 60°C dry oven에서 건조시킨 후 분쇄하여 사용하였다. 설계된 사료원료들을 잘 혼합한 후 원료 100 g당 물 30 g을 첨가하여 펠릿 제조기로 압출 성형한 후, 실온에서 24

Table 1. Compositions of proximate and essential amino acid of the ingredients

	Ingredients			
	Fish meal	Wheat flour	Distillers dried grain -RM ¹	Distillers dried grain -RWM ²
Proximate composition (% DM)				
Dry matter	95.8	89.3	98.2	98.1
Crude protein	75.3	19.3	19.1	28.4
Crude lipid	8.8	3.9	7.8	3.5
Ash	14.6	2.2	0.5	0.6
Essential amino acid composition (% in protein)				
Arg	6.7	5.7	6.9	7.9
His	2.3	2.9	2.0	2.3
Ile	4.5	2.3	3.6	3.6
Leu	8.3	6.0	8.0	7.9
Lys	8.8	3.7	3.1	3.6
Met + Cys	5.1	2.8	3.4	3.5
Phe + Tyr	8.1	6.8	10.8	10.3
Thr	4.8	3.5	4.7	4.7
Val	4.5	3.2	5.8	5.4

¹Residue obtained by filtration of an aqueous mixture of fermented rice with *Aspergillus oryzae* and yeasts produced from I Makgeolli factory.

²Residue obtained by filtration of an aqueous mixture of fermented rice and wheat flour with *Aspergillus oryzae* and yeasts produced from P Makgeolli factory.

Table 2. Ingredient and chemical compositions of experimental diets

Ingredients (%)	Experimental diets						
	Con	RM10	RM20	RM30	RWM10	RWM20	RWM30
Fish meal	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
Dehulled soybean meal	10.0	9.0	8.0	7.0	6.0	3.0	
Wheat flour	30.0	21.0	12.0	3.0	24.0	17.0	10.0
Distillers dried grain powder-RM ¹		10.0	20.0	30.0			
Distillers dried grain powder-RWM ²					10.0	20.0	30.0
α -potato-starch	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Soybean oil	6.0	5.6	5.2	4.8	5.9	5.8	5.7
Cellulose	1.2	1.6	2.0	2.4	1.3	1.4	1.5
Vitamin premix ³	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Mineral premix ⁴	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Vitamin C (50%)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Choline salt (50%)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Nutrient content (% DM)							
Crude protein	41.7	42.0	42.6	42.7	42.5	42.9	42.5
Crude lipid	9.2	9.2	9.3	9.4	9.2	9.2	8.9
Ash	12.9	11.2	11.0	10.5	11.5	10.7	11.5
N-free extract ⁵	36.2	37.7	37.0	37.4	36.8	37.2	37.1
Essential amino acid composition (% in protein)							
Arg	5.0	5.4	5.8	6.3	5.4	5.7	6.2
His	3.6	3.8	4.0	4.3	3.8	4.0	4.4
Ile	3.8	3.8	4.0	4.1	4.2	4.2	4.2
Leu	10.9	10.3	9.4	8.4	9.2	9.4	8.3
Lys	5.5	5.9	6.5	7.0	6.0	6.6	7.2
Met+Cys	3.9	3.8	3.8	3.9	3.7	3.6	3.7
Phe+Tyr	8.5	8.2	7.9	7.5	8.2	5.9	5.7
Thr	4.2	4.3	4.5	4.7	4.3	4.5	4.7
Val	4.4	4.5	4.8	5.0	4.8	4.9	5.1

¹Residue obtained by filtration of an aqueous mixture of fermented rice with *Aspergillus oryzae* and yeasts produced from I Makgeolli factory.

²Residue obtained by filtration of an aqueous mixture of fermented rice and wheat flour with *Aspergillus oryzae* and yeasts produced from P Makgeolli factory.

³Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg premix): DL- α -tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003.

⁴Mineral premix contained the following ingredients (g/kg premix): MgSO₄·7H₂O, 80.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0; ZnSO₄·7H₂O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl₂·2H₂O, 0.15; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2.0; CoCl₂·6H₂O, 1.0.

⁵Nitrogen-free extract = 100 - (crude protein + crude lipid + ash).

시간 건조하였다. 그리고 실험사료를 실험어가 섭취할 수 있는 크기(직경 1.0 -1.5 mm)의 pellet size로 절단하여 -30°C에 보관하면서 공급하였다.

실험어 및 사육관리

실험어는 국립수산물연구원 내수면양식연구센터에서 종묘 생산된 미꾸리 치어를 사용하였다. 실험어는 2주간 실험수조에 순치 시킨 후, 외형적으로 건강한 평균체중 1.5±0.10 g의 미꾸리 치어를 선별하여 총 21개의 40 L 수조에 각각 30마리씩 3반복으로 수용하여 16주간 실시하였다. 사육기간 동안 수온은

24.1±0.23℃ (평균±표준편차)였으며, 각 수조마다 약하게 폭기시켜 산소를 공급하였다. 실험사료는 1일 2회(09:00, 17:00) 손으로 공급하였다. 사육기간 중 죽은 개체는 매일 제거하였으며, 하루에 한번 환수하면서 실험수조를 청소하였다. 일일사료 섭취율과 폐사어 등은 매일 기록하였다.

어체측정 및 성분분석

사육실험 시작시와 종료시에 측정 전일 실험어를 절식시킨 후 tricaine methanesulfonate (MS222, Sigma, St. Louis, MO, USA) 100 ppm 수용액에 마취시켜 수조에 수용된 모든 실험어의 전체무게를 측정하였다. 사료원료, 실험사료, 어체의 일반성분은 AOAC (1995)의 방법에 따라 조단백질 (N×6.25)은 Auto Kjeldahl system (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether 추출법을 사용하였으며, 수분은 105℃ dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였고 회분은 600℃ 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다. 아미노산은 시료를 6 N HCl로 110℃ sand bath 상에서 24시간 가수분해한 후, 감압 농축하고, 아미노산 전용 분석기(L-8800, Hitachi, Column : Ion exchange, Injection Pump : Pressure 0-19.6 Mpa, Flow Rate 0.05-0.99 mL/min, Column Oven : Electrothermal cooling (30-70℃), Reaction Unit : Reaction Column (135℃, 50℃), Photometer : Wavelength 570 nm, 440 nm)를 사용하여 분석하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS Version 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균 간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

16주간의 사육실험이 끝난 후 성장 및 사료이용효율을 Table 3에 나타내었다. 사육기간 동안의 생존율은 RWM20 및 RWM30 실험구가 다른 실험구들보다 유의하게 높았다 ($P<0.05$). 증체율, 사료효율 및 단백질효율은 막걸리 부산물의 첨가량에 따라 실험구간에 유의한 차이가 나타났다($P<0.05$). 증체율은 RWM10 실험구가 가장 높은 값을 나타내었고 ($P<0.05$), RM10, RM20, RWM20 및 RWM30 실험구는 대조구와 유의차가 없었으며, RM30 실험구는 대조구보다 낮았다. 막걸리부산물 첨가구들의 사료효율 및 단백질효율은 대조구와 차이가 없었다($P>0.05$). 일일사료섭취율은 사료의 막걸리 부산물 첨가에 영향을 받지 않았다. 사육실험 종료 후, 전어체의 일반성분 및 아미노산 분석결과를 Table 4에 나타내었다. 전어체의 수분, 조단백질, 조지질 및 회분은 사료의 막걸리 부산물 첨가에 영향을 받지 않았다($P>0.05$). 전어체 아미노산 조성에서, RM30, RWM10, RWM20 및 RWM30 실험구의 isoleucine, leucine, lysine, threonine 및 valine 함량은 다른 실험구보다 높은 값을 나타내었지만, methionine+cystine와 phenylalanine+tyrosine 함량은 다른 실험구보다 유의하게 낮았다($P<0.05$).

본 연구에서 일일사료섭취율은 높은 반면에 사료효율 및 단백질효율이 전반적으로 낮은 값들이 나타나는 것은 실험에 사용된 미꾸리의 먹이 섭취 방식 때문으로 해석된다. 저서유기물질을 섭취하는 미꾸리는 다른 유영 어류나 저서성 어류와 달리 물속으로 공급된 펠릿을 바로 섭취하지 못하고 천천히 섭취하므로, 공급된 사료가 섭취되기 전에 물속으로 풀어지거나, 섭취되지 못한 먹이가 계산되었기 때문이다. 이로 인해 사료 섭취량은 높게 계산되고 사료이용율은 낮게 계산될 수밖에 없다. 따라서 차후 먹이공급에 따른 문제점들을 해결할 수 있는 연구가 필요하다. 이러한 점들을 고려하면, 본 연구에서의 사료에 막걸리 부

Table 3. Growth performances of juvenile muddy loach *Misgurnus anguillicaudatus* fed the experimental diets for 16 weeks¹

Diets	Survival (%)	WG (%) ²	FE (%) ³	DFI (%) ⁴	PER (%) ⁵
Con	51±2.0 ^a	168±10.8 ^b	13.9±2.00 ^{ab}	5.0±0.35	0.34±0.05 ^{ab}
RM10	68±10.5 ^a	172±18.3 ^b	15.9±1.38 ^b	4.5±0.15	0.38±0.03 ^b
RM20	60±5.1 ^a	137±19.6 ^{ab}	13.1±0.85 ^{ab}	5.0±0.07	0.31±0.02 ^{ab}
RM30	67±2.0 ^a	105±12.7 ^a	10.7±0.70 ^a	5.1±0.06	0.25±0.01 ^a
RWM10	61±11.1 ^a	239±19.2 ^c	15.4±1.40 ^b	5.2±0.27	0.37±0.03 ^b
RWM20	92±2.3 ^b	156±12.2 ^{ab}	16.9±1.60 ^b	4.5±0.36	0.39±0.04 ^b
RWM30	91±3.0 ^b	124±15.1 ^{ab}	14.6±0.87 ^{ab}	4.7±0.27	0.35±0.02 ^{ab}

¹Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

²Weight gain = (final fish wt. - initial fish wt.) × 100 / initial fish wt.

³Feed efficiency = wet weight gain × 100 / feed intake.

⁴Daily feed intake = feed intake × 100 / [(initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days reared / 2].

⁵Protein efficiency ratio = (wet weight gain / protein intake).

Table 4. Proximate and essential amino acid compositions of whole body in juvenile muddy loach *Misgurnus anguillicaudatus* fed the experimental diets for 16 weeks¹

	Diets						
	Con	RM10	RM20	RM30	RWM10	RWM20	RWM30
Proximate composition (%)							
Moisture	71.6±0.71	70.8±0.80	70.4±1.25	72.2±0.31	71.4±0.21	71.3±0.20	71.6±0.33
Crude protein	14.9±0.44	15.2±0.20	15.6±0.24	15.8±0.19	16.6±0.44	16.2±0.60	16.1±0.62
Crude lipid	8.4±0.41	8.8±1.43	7.5±0.49	6.8±0.64	8.5±0.44	7.6±0.55	7.9±0.19
Ash	1.9±0.37	2.0±0.07	2.2±0.20	2.5±0.19	2.1±0.18	2.3±0.06	2.3±0.07
Essential amino acids (% in protein)							
Arg	7.9±0.09	7.8±0.12	5.9±1.89	6.8±0.55	6.3±0.10	6.5±0.03	6.4±0.09
His	2.3±0.07	2.5±0.03	2.4±0.12	2.4±0.07	2.6±0.01	2.5±0.07	2.5±0.06
Ile	1.5±0.01 ^a	1.5±0.01 ^a	1.6±0.03 ^a	3.3±0.88 ^b	4.2±0.01 ^b	4.2±0.03 ^b	4.2±0.12 ^b
Leu	6.4±0.06 ^a	6.6±0.07 ^a	6.7±0.07 ^a	7.4±0.40 ^b	7.8±0.05 ^b	7.9±0.06 ^b	7.9±0.03 ^b
Lys	7.3±0.18 ^a	7.8±0.10 ^b	8.0±0.18 ^b	8.5±0.25 ^c	8.8±0.01 ^c	8.8±0.09 ^c	8.8±0.03 ^c
Met+Cys	4.4±0.03 ^b	4.2±0.12 ^b	4.3±0.09 ^b	3.9±0.17 ^a	3.9±0.05 ^a	3.8±0.03 ^a	3.8±0.03 ^a
Phe+Tyr	6.9±0.03 ^b	6.9±0.10 ^b	7.2±0.20 ^b	5.7±0.53 ^a	5.3±0.01 ^a	5.2±0.03 ^a	5.3±0.03 ^a
Thr	3.3±0.06 ^a	3.3±0.03 ^a	3.4±0.06 ^a	4.4±0.55 ^b	4.9±0.01 ^b	4.9±0.01 ^b	4.9±0.03 ^b
Val	1.8±0.01 ^a	1.8±0.03 ^a	1.9±0.01 ^a	3.8±0.97 ^b	4.9±0.01 ^b	4.8±0.06 ^b	4.7±0.07 ^b

¹Values (mean±SE of three replications) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

산물 평가는 성장과 체성분 변화에 중점을 두고 고찰하는 것이 합리적이라 판단된다.

본 연구의 성장 결과를 고려하여 볼 때, 미꾸리 치어 사료의 식물성 원료 대체원으로 쌀막걸리 부산물은 20%, 쌀과 소맥분 혼합 막걸리 부산물은 30%까지 첨가가 가능할 것으로 판단된다. 본 연구에서 사용된 막걸리 부산물의 영양소 함량을 소맥분과 비교하면, 막걸리 부산물은 미꾸리 양식을 위한 경제적인 사료원료로서 사용될 수 있을 것으로 전망된다. 넙치 치어 사료에 쌀막걸리 부산물을 28%까지 첨가하여 사육효과를 비교한 기존의 연구에서도 성장 및 사료효율이 대조구와 통계적인 차이를 보이지 않았고(Rahman et al., 2013a), 사료내 식물성원료 대체원으로 쌀막걸리 부산물을 24%까지 첨가하여 감성돔을 사육한 Rahman et al. (2013b)의 연구에서도 성장 및 사료효율이 대조구와 차이를 보이지 않았다. 알코올을 생산하고 나오는 부산물(주정박)의 사료원료 평가에 관한 연구에서, Li et al. (2010)는 사료 내 옥수수 주정박 첨가는 채널메기(*Ictalurus punctatus*)의 성장 및 사료효율을 향상시킨다고 보고하였으며, 나일틸라피아에서(*Oreochromis niloticus*)는 20% (Lim et al., 2007), 채널메기는 30%까지 주정박을 첨가하여도 성장에 부정적인 영향이 없는 것으로 보고되었다(Robinson and Li, 2008). 또한, 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*)의 치어 사료에 어분 대체원으로 30%의 옥수수 주정박과 대두박을 혼합하여 대체 가능하고(Coyle et al., 2004), 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)에서는 사료에 탄수화물원으로 서 대두박을 대체한 옥수수 주정박의 이용성이 보고된 바 있다

(Cheng and Hardy, 2004; Barnes et al., 2012). 이처럼 타 어종에서도 막걸리 부산물과 유사한 건조증류곡물인 옥수수 주정박을 20-30% 첨가할 수 있는 것으로 보고되었는데, 본 연구에서도 쌀막걸리 부산물을 20% 및 쌀과 소맥분 혼합 막걸리 부산물은 30%까지 첨가하여도 미꾸리 성장 및 사료효율에는 부정적인 영향이 나타나지 않았다.

본 연구에서 특히 쌀과 소맥분 혼합 막걸리 부산물 10% 첨가구인 RWM10 사료 섭취구의 성장은 대조구보다 양호하였으며, RWM20 및 RWM30 실험구의 경우에는 생존율이 다른 실험구들보다 높았다. 이러한 긍정적인 결과는 아마도 막걸리 제조과정 중 발효에 의한 효과일 것으로 판단된다. 막걸리는 쌀을 증기로 찐 다음 술밥에 누룩곰팡이(*Aspergillus oryzae*)를 접종하여 전분을 포도당으로 전환시키는 작업이 선행되며 여기에 효모를 접종하여 알코올 발효과정을 거쳐 생산된다. 일반적으로 원료를 발효하는 동안 빛, 열, 산소 및 미생물 등으로 인해 영양소의 손실이 발생할 수 있으나(Jones, 1995), 그 양은 많지 않으며, 오히려 미생물에 의한 유기물의 분해와 합성 과정을 통해 원료의 영양적 가치가 향상된다(Seo et al., 2011). 어류에 있어 발효사료의 효과는 사료 섭취량 증가(El-Saidy and Gaber, 2003), 소화율 개선(Lanari and D'Agaro, 2005) 및 항영양인자 감소(Borgeson et al., 2006)의 효과가 보고되었다. 반면에, 본 연구에서 막걸리 부산물의 함량이 증가할수록 미꾸리의 성장 및 사료효율이 약간 감소하는 경향이 나타났는데, 이는 사료 내 막걸리 부산물의 높은 섬유질 함량의 의한 것으로 판단된다. 이전의 연구에서도 식물성 원료 첨가비율이 높은 실험구에서 성

장이 감소되었는데, 기호성 감소, 소화율 감소, 항영양인자, 높은 섬유소 함량, 낮은 단백질 함량 및 아미노산 불균형 등에 원인을 두고 있다(Francis et al., 2001). 낱치의 경우, 식물성원료인 면실박과 대두박을 *Aspergillus oryzae*로 발효시킨 후 30%의 어분 단백질을 대체할 때 성장이 떨어진다고 보고된 바 있다(Lim et al., 2010).

이상의 결과로부터, 막걸리 부산물은 미꾸리 사료원료로 사용이 가능할 것으로 전망되며, 쌀막걸리 부산물은 20%, 쌀과 소맥분 혼합 막걸리 부산물은 30%까지 미꾸리 치어용 배합사료에 첨가할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 해양수산부 수산실용화학기술개발사업(과제번호 110077-3)에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다. 본 연구의 사육실험에 도움을 주신 국립수산물과학원 내수면양식연구센터 김광석 연구사님, 임상구연구사님 및 한형균 센터장님께 깊은 감사를 드립니다.

References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, U.S.A.
- Barnes ME, Brown ML and Rosentrater KA. 2012. Initial observations on the inclusion of high protein distillers dried grain into rainbow trout diets. *Open Fish Sci J* 5, 21-29.
- Borgeson TL, Racz VJ, Wilkie DC, White LJ and Drew MD. 2006. Effect of replacing fishmeal and oil with simple or complex mixtures of vegetable ingredients in diets fed to Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquacu Nutr* 12, 141-149. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2006.00394.x>.
- Cheng ZJ and Hardy RW. 2004. Nutritional value of diets containing distiller's dried grain with solubles for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *J Appl Aquac* 15, 101-113. http://dx.doi.org/10.1300/J028v15n03_08.
- Cho MK and Lee WJ. 1996. Preparation of high-fiber bread with soybean curd residue and Makkolli (rice wine) residue. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 25, 632-636.
- Cho SY, Park JW and Rhee C. 1998. Edible films from protein concentrates of rice wine meal. *Korean J Food Sci Technol* 30, 1097-1106.
- Choi J, Rahman MM and Lee SM. 2013. Distillers dried grain from makgeolli by-product is useful as a dietary ingredient for growth of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicas*. *Fish Aquat Sci* 16, 279-283. <http://dx.doi.org/10.5657/FAS.2013.0279>.
- Choi J, Rahman MM and Lee SM. 2014. Distillers dried grain as a partial replacement for wheat flour in the diet of juvenile rockfish *Sebastes schlegeli*. *Fish Aquat Sci* 17, 85-93. <http://dx.doi.org/10.5657/FAS.2014.0085>.
- Coyle SD, Mengel GJ, Tidwell JH and Webster CD. 2004. Evaluation of growth, feed utilization, and economics of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*, fed diets containing different protein sources in combination with distillers dried grains with solubles. *Aquacult Res* 35, 365-370. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01023.x>.
- Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple *F*-tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- El-Saidy DMSD and Gaber MMA. 2003. Replacement of fish meal with a mixture of different plant protein sources in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets. *Aquacult Res* 34, 1119-1127.
- Francis G, Makkar HPS and Becker K. 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199, 197-227.
- Jeong JW and Park KJ. 2006. Quality Characteristics of Loaf Bread Added with Takju powder. *Korean J Food Sci Technol* 38, 52-58.
- Jones ID. 1995. Effect of processing by fermentation on nutrients. In: *Nutritional Evaluation of Food Processing*. (Harris, RS. and E Karmas, eds), Avi. Publ. Co. Inc., Westport, Connecticut, U.S.A., 324.
- Kim KS, Lim SG, Bang IC, Choi J and Lee SM. 2013. Optimal dietary protein and lipid levels for growth of juvenile muddy loach *Misgurnus anguillicaudatus*. *Kor J Fish Aquat Sci* 46, 378-383.
- Kim SM, Yoon CH and Cho WK. 2007. Quality characteristics of noodle added with Takju (Korean turbid rice wine) lees. *Korean J Food Culture* 22, 359-364.
- Lanari D and D'Agaro E. 2005. Alternative plant protein sources in sea bass diets. *Italian J Animal Sci* 4, 365-374.
- Lee HS, Hong KH, Kim JY, Kim DH, Yoon CH and Kim SM. 2009. Blood pressure lowering effect of korean turbid rice wine (Takju) lees extracts in spontaneously hypertensive rat (SHR). *Korean J Food Culture* 24, 338-343.
- Lee KS and Kim DH. 1991. Effect of sake cake on the quality of low salted Kochuzang (in Korean). *Kor J Food Sci Technol* 23, 109-113.
- Li MH, Robinson EH, Oberle DF and Lucas PM. 2010. Effects of various corn distillers by-products on growth, feed efficiency, and body composition of channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Aquacult Nutr* 16, 188-193. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00650.x>.
- Lim C, Garcia JC, Yildirim-Aksoy M, Klesius PH, Shoemaker CA and Evans JJ. 2007. Growth response and resistance to *Streptococcus iniae* of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed diets containing distiller's dried grains with solubles. *J World Aquac* 38, 231-237. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00093.x>.
- Lim SJ, Kim SS, Pham MA, Song JW, Cha JH, Kim JD, Kim JU

- and Lee KJ. 2010. Effects of fermented cottonseed and soybean meal with phytase supplementation on gossypol degradation, phosphorus availability, and growth performance of olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Fish Aquat Sci* 13, 284-293. <http://dx.doi.org/10.5657/fas.2010.13.4.284>.
- Lim YS, Bae SM and Kim K. 2004. Production of yeast spores from rice wine cake. *Kor J Microbiol Biotechnol* 32, 184-189.
- Rahman MM, Choi J and Lee SM. 2013a. Influences of dietary distillers dried grain level on growth performance, body composition and biochemical parameters of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquacult Res*, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1111/are.12157>.
- Rahman MM, Choi J and Lee SM. 2013b. Use of distillers dried grain as partial replacement of wheat flour and corn gluten meal in the diet of juvenile black seabream *Acanthopagrus schlegeli*. *Turkish J Fish Aquat Sci* 13, 699-706.
- Robinson EH and Li MH. 2008. Replacement of soybean meal in channel catfish *Ictalurus punctatus* diets with cottonseed meal and distiller's dried grains with solubles. *J World Aquac Soc* 39, 521-527.
- Seo JY, Shin IS and Lee SM. 2011. Effect of dietary inclusion of various plant ingredients as an alternative for *Sargassum thunbergii* on growth and body composition of juvenile sea cucumber *Apostochopus japonicas*. *Aquac Nutr* 17, 549-556.