

## 박류의 단백질 Bypass 처리가 면양의 광물질 이용효율에 미치는 영향

박 응 렬\*

### Effects of Protein Bypass Treatments in Oilseed Meals on Availability of Mineral in Sheep

Park, Woong Yeoul

The effects of heat and formaldehyde treatments of soybean meal and rapeseed meal on ruminal release of minerals from the meals were studied on three sheep fitted with rumen cannula. Oilseed meals were treated at 133, 143°C for 3h or added with formaldehyde at a level of 3, 5g/kg. The ruminal release of P, Ca, Mg, Cu, Fe and Zn from the oilseed meals was examined using the nylon bag technique. Effective degradabilities of minerals in the oilseed meals were reduced by both treatments. The results suggest that rumen bypass treatments of oilseed meals prevent the release of minerals from the meals during rumen digestion and suppress the availability of minerals for ruminants. Eventually, the increase of heavy metal pollution in soil is anticipated due to the increase of mineral content in the feces of ruminants by ruminal protein bypass treatments.

Key words : *sheep, nylon bag, soybean meal, rapeseed meal, phytate, mineral availability*

## I. 서 언

최근 경제수준이 높아짐에 따라 유제품과 육류의 소비가 증가하고 있다(한국축산연감, 2007/2008). 이와 함께 축산물의 생산성 증대를 위한, 낙농, 비육우등 반추가축 사육규모의 대형화 및 집중화로 인해 이들이 배설한 분뇨로 인한 토양 및 지하수 오염의 우려가 높아지고 있다.

---

\* (주)삼양사 사료 Marketing&Research팀

반추가축의 단백질 공급원으로 Phytate(Myoinositol Hexaphosphate) 함량이 높은 박류(대두박, 채종박 등)가 많이 사용되고 있는데, 이러한 박류에는 Phytate 함량이 높으며, Phytate는 단위가축에 있어서 인의 이용효율을 감소시킨다(Cook 등, 1981; Forbes 등, 1984; Prattley 등, 1982; Thompson과 Erdman, 1984). 그러나 반추가축에서는 반추위 미생물이 분비하는 Phytase에 의하여 Phytate가 완전히 이용 된다고 알려져 왔다(Reid 등, 1947; Raun 등, 1956; Tillman과 Brethour, 1958). 그런데 Park 등(1999, 2000, 2002)의 in situ, in vivo 기술을 활용한 연구결과에 따르면 반추가축의 단백질 이용성을 높이기 위한 단백질 Bypass처리가 박류내의 단백질과 결합 되어있는 Phytate의 이용률을 감소시켰다(Park 등, 1999, 2000, 2002). 사료내의 Phytate는 P 뿐만 아니라 Ca, Mg, Zn, Fe, Cu 등과 같은 양이온 광물질과 결합이 되어 있고, 소화기관내에서 불용성의 결합체를 형성함으로써 본 광물질의 이용성이 저하된다는 보고가 있다(Cheryan, 1980). 즉 반추가축의 단백질 Bypass 처리는 Phytate의 이용성을 저하시켜 반추가축의 광물질 부족뿐만 아니라 분에 의한 배설의 증가가 우려된다.

본 시험에서는 면양을 사용한 Nylon-bag 기술을 이용하여 국내 반추가축의 주요 단백질 공급원인 대두박과 채종박에 대한 단백질 Bypass 처리가 반추위내에서의 광물질의 분해에 미치는 영향을 검토하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 공시동물 및 기초사료

루멘 Cannula를 장착한 평균체중 40kg의 면양(Corriedale 품종과 Suffolk 품종의 잡종) 3두에 체중의 0.95%의 기초사료(티모시건초 60%, 보리 30%, 대두박 혹은 채종박 10%)를 급여하였다.

### 2. 시험사료 제조

- 1) 가열처리 : 대두박과 채종박을 2mm 스크린으로 채로 친 후, 미리 예열한 스테인레스 재질의 쟁반에 담아 건조기에서 133℃, 143℃로 3시간 가열처리하였다.
- 2) 포름알데히드 처리 : 각 사료를 가열처리와 동일하게 2mm 스크린으로 채를 친 후, 포름알데히드(Reagent grade)를 사료에 3(F0.3), 5(F0.5)g/kg을 첨가한 후 비닐백에 3일간 밀봉처리 한 후 시험사료로 사용하였다.

### 3. 소화율 측정 실험

반추위내에서의 광물질의 소실율 측정은 Mehrez와 Ørskov(1977)의 나이론백 시험방법에 준하여 실시하였다. 6개의 나이론백에 5g의 대조구를 포함한 각 시험사료를 루멘 Cannula를 통해 투입한 후 3, 6, 12, 24, 36, 48시간 반추위내에서 배양한 후 각 해당시간에 회수하였다. 회수한 각 샘플은 증류수를 사용하여 투명한 물이 나올 때까지 세척한 후 동결건조하였다. “0” 시간대의 샘플은 반추위 내에서 배양을 하지 않고 단지 증류수로만으로 세척한 샘플을 사용하였다.

나이론백에서의 각 광물질의 소실율(P)과 배양시간(t)간의 상관관계는 Ørskov and McDonald(1979)에서 기술한 다음의 공식을 사용하였다.

$$P = a + b (1 - e^{-kt})$$

: 반추위내 사료의 통과속도(k)는  $0.05^{-1}$ 를 사용하여 계산함.

각 광물질의 반추위내의 실제 Effective degradability(소실율)는 Ørskov와 McDonald(1979)의 모델에 기초를 둔 “Neway” 프로그램(X.B. Chen, Rowett Research Institute, Aberdeen, UK)를 사용하여 계산하였다.

### 4. Phytate 및 광물질 분석

Phytate의 분석은 AOAC(1990)의 방법에 준하여 실시하였다. 분석 광물질 항목은 P, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn의 6가지로, 각 샘플을 습식회화[Nitric acid과 Perchloric acid (5:1, v/v)]를 한 후, ICPS(Inductively coupled plasma emission spectrometer)-1000 [Shimadzu, Kyoto, Japan]를 사용하여 실시하였다(AOAC, 1990).

### 5. 통계분석

모든 통계분석은 SAS Package(1985)를 이용하였으며, 각 광물질의 반추위내의 소실율의 분석은 two-way ANOVA 방법, 각 처리에 대한 유의성 검정은 “P<0.05” 범위 내에서 “Least-Significant Difference Test”를 사용하였다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

Table 1과 2는 대두박과 채종박에서의 반추가축의 단백질 Bypass처리인 가열처리와 포름알데이드처리가 광물질의 반추위내 소실율에 미치는 영향을 보여주고 있다.

Table 1. Effective degradabilities of minerals in soybean meal estimated using the ruminal outflow rate ( $k$ ) of 0.05 ( $\text{h}^{-1}$ )

	Phytate	P	Mg	Ca	Zn	Cu	Fe
Control	80.6 <sup>a</sup>	82.2 <sup>a</sup>	84.7 <sup>a</sup>	45.4 <sup>a</sup>	58.5 <sup>a</sup>	50.2 <sup>a</sup>	75.4 <sup>a</sup>
H133*	74.1 <sup>b</sup>	74.9 <sup>b</sup>	78.2 <sup>c</sup>	28.5 <sup>c</sup>	45.2 <sup>c</sup>	39.9 <sup>bc</sup>	64.7 <sup>b</sup>
H143	66.9 <sup>c</sup>	67.6 <sup>c</sup>	73.6 <sup>d</sup>	18.5 <sup>d</sup>	33.5 <sup>d</sup>	37.0 <sup>c</sup>	56.3 <sup>c</sup>
F0.3	80.8 <sup>a</sup>	78.2 <sup>ab</sup>	82.3 <sup>b</sup>	41.5 <sup>b</sup>	53.0 <sup>b</sup>	42.6 <sup>b</sup>	69.9 <sup>ab</sup>
F0.5	48.8 <sup>d</sup>	49.8 <sup>d</sup>	61.8 <sup>c</sup>	8.3 <sup>c</sup>	18.0 <sup>c</sup>	20.8 <sup>d</sup>	54.7 <sup>c</sup>
SEM	0.38	0.96	0.43	0.51	0.58	0.60	1.13
<i>Significance of effect (P)</i>							
Treat	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
Animal	0.1072	0.4530	0.0289	0.0199	0.0018	0.0242	0.6179

\* H133, heat treated at 133 °C; H143, heat treated at 143 °C; F0.3, formaldehyde treated with 3g/kg; F0.5, formaldehyde treated with 5g/kg.

<sup>a,b,c,d,e</sup>Means with different superscripts in the same column are significantly different ( $P < 0.05$ ).

Means for three sheep.

Table 2. Effective degradabilities of minerals in rapeseed meal estimated using the ruminal outflow rate ( $k$ ) of 0.05 ( $\text{h}^{-1}$ )

	Phytate	P	Mg	Ca	Zn <sup>†</sup>	Cu	Fe
Control	67.7 <sup>a</sup>	71.5 <sup>a</sup>	73.8 <sup>a</sup>	44.2 <sup>a</sup>	31.7	21.9 <sup>a</sup>	7.1 <sup>a</sup>
H133*	56.6 <sup>b</sup>	64.4 <sup>a</sup>	65.8 <sup>b</sup>	32.2 <sup>b</sup>	16.6	1.7 <sup>b</sup>	15.8 <sup>b</sup>
H143	51.8 <sup>b</sup>	51.7 <sup>b</sup>	57.6 <sup>c</sup>	26.1 <sup>c</sup>	11.9		
F0.3	53.8 <sup>b</sup>	54.8 <sup>b</sup>	62.3 <sup>bc</sup>	29.4 <sup>b</sup>	17.9		
F0.5	37.6 <sup>c</sup>	44.6 <sup>b</sup>	55.7 <sup>c</sup>	22.7 <sup>c</sup>	13.4		
SEM	0.96	1.03	0.54	0.52		1.80	1.23

	Phytate	P	Mg	Ca	Zn <sup>†</sup>	Cu	Fe
<i>Significance of effect (P)</i>							
Treat	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.0049	0.032
Animal	0.0093	0.1797	0.007	0.436		0.4741	0.905

\*H133, heat treated at 133 °C; H143, heat treated at 143 °C; F0.3, formaldehyde treated with 3g/kg; F0.5, formaldehyde treated with 5g/kg.

<sup>†</sup>One ED was calculated from the mean value of 3 sheep in each incubation time.

<sup>a,b,c,d,e</sup> Means with different superscripts in the same column are significantly different (P<0.05).

본 실험결과 단백질 Bypass 처리가 Phytate 뿐만 아니라, P, Mg, Ca, Zn, Cu, Fe 등의 광물질들의 반추위내에서 소실율을 유의하게 감소시켰다(P<0.05). 본 결과는 Park 등(1999)이 실시한 Phytate을 대상으로 실시한 나이론백 실험결과와 동일한 경향으로, 단백질의 Bypass 처리가 단백질과 결합되어 있는 Phytate 뿐만 아니라 Phytate와 결합되어 있는 광물질들의 반추위내의 소실율 또한 감소시킴을 보여주고 있다. 그리고 본 실험에 사용한 시료는 Konishi 등(1999)과 Park 등(1999)에서의 실험과 동일한 시료로 대두박과 채종박에 대한 가열 처리(133 °C, 143 °C)와 포름알데이드 처리(0.3%, 0.5%)는 단백질과 Phytate 함량에는 영향을 미치지 않았다.

반추가축에 있어서 단백질의 60~80%가 반추위내의 미생물에 의해서 소화가 이루어지며, 이러한 단백질들은 Phytate 및 양이온 광물질들과 강력하게 결합되어 있다(Cheryan, 1980). 또한 Park 등(2000, 2002)의 십이지장 Cannula를 장착한 소화율 실험에서도 단백질 Bypass 처리가 소장으로의 Phytate 유출량이 증가되었다. 즉 이러한 단백질 Bypass 처리는 소장으로의 Phytate와 결합되어 있는 광물질의 유출량증가 및 반추가축에 있어서의 광물질 부족 혹은 분 중 광물질 배설의 증가가 예상된다.

Table 1과 2의 모든 시험사료의 처리구에서 반추위내 광물질 소실율이 “Mg > P > Fe > Cu > Zn > Ca”의 순서로, Mg과 P이 높았고, “Cu, Zn, Ca”이 낮았다. 즉 반추가축에 대한 단백질 Bypass 처리는 광물질들의 반추위내 소실율을 저하시켰으며, 특히 Cu, Zn, Ca에 강한 영향을 미쳤다.

Table 2의 결과에서 채종박의 Cu와 Fe의 소실율은 너무 낮아 측정이 어려웠다. 이는 반추위내에서 채종박이 발효하는 과정에서 미소화 사료내의 Cu와 Fe의 농도 증가되었음이 예상된다.

광물질의 용해력에 영향을 미치는 여러 요인 중 하나인 Phytate는 반추위내의 환경인 pH 5.5~7.3일 경우 양이온들과 강력하게 결합한다(Reddy 등, 1982). 그리고 본 실험에 사용한 대두박과 채종박내의 Phytate P의 함량은 각각 4.45%와 9.84%로 채종박이 2.2배 높다 (Park 등, 1999). Table 1과 2에서 대두박과 채종박의 Data를 비교할 경우 모든 처리구에서

Phytate의 함량이 높은 채종박이 대두박보다 더 낮은 Phytate와 광물질 소실율의 경향을 보였다. 본 결과는 박류내의 Phytate 함량이 반추위내에서의 광물질의 소실율에 직접 영향을 미쳤음을 시사한다. 본 결과를 보충 설명해주는 근거로 Phytate의 중간 분해산물인 Inositol hexaphosphate와 Inositol pentaphosphate는 양이온들과 강력하게 결합하여 반추위내의 광물질의 용해력을 억제시킨다는 보고를 들 수 있다(Lonnerdal 등, 1989; Persson 등, 1998; Sandberg 등, 1989; Sandberg 등, 1999; Simpson과 Wise 1990; Skoglund 등, 1999). 또한 Nishimuta 등(1973)의 연구결과에 따르면 단백질 Bypass 처리가 섬유소의 분해력을 감소시킨다고 보고하였다. 또한 섬유소는 Ca, Mg, Zn, Fe 등과 같은 양이온들과 결합되어 있다고 하였다 (Camire와 Clydesdale, 1981; Gadrcia-lopez와 Lee, 1985; Lee와 Garcia-lopez, 1985; Torre와 Rodriguez, 1991). 채종박은 대두박보다 조섬유 함량이 2배나 높고(NRC, 1985), 본 연구에서도 채종박이 대두박보다 낮은 광물질의 소실율을 보였다. 이와 같은 결과는 섬유소가 Phytate와 함께 반추위내에서 광물질의 소실율에 영향을 미쳤음이 예상된다.

본 실험에서는 나이론 백을 사용한 반추위 환경에서의 단백질 Bypass처리가 광물질의 소실율에 미치는 영향을 살펴보았는데, 반추가축에서의 더욱 정확한 광물질의 이용성에 관한 정보를 위해서는 반추위를 통과한 하부 소화기관에서의 각 광물질의 이용률과 섬유소와 광물질간의 상호작용에 관한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

우리나라에서 연간 배합사료 생산량은 1,550만톤으로 이 중 젓소와 한우 등의 반추가축이 소비하는 배합사료는 510만톤으로 전체 사료 소비량의 33%나 된다(한국축산연감, 2007/2008). 그리고 한우의 평균 배합사료 효율(1kg 증체에 필요한 배합 사료량)이 7~8로 닭의 1.6~2.5과 돼지 3~3.5에 비하여 현저히 낮다. 또한 한우 및 젓소의 사육농가는 대체적으로 닭이나 돼지농가에 비하여 사육규모가 영세하고 분뇨 처리시설이 미비하며, 분뇨를 인근 논, 밭으로의 살포하는 경우가 많다. 또한 친환경 유기축산을 위해서는 국내에서 생산되는 각종 농작물을 가축에 급여하여 그 분뇨를 다시 토양에 재환원하는 유기적인 순화관계를 유지해야 한다. 그러나 국내 가축 배합사료원료의 70% 이상을 수입에 의존하면서 외국으로 부터 수입된 곡물들의 가축 분뇨로 배설로 인해 국내 토양내의 질소 및 광물질 함량의 증가가 우려된다. 즉 반추가축의 단백질 효율성 향상을 위한 단백질 Bypass 처리는 이러한 광물질의 토양내 배출을 증가시켜 추가적인 토양의 오염이 예상되며, 이러한 오염의 감소를 위해서는 광물질의 소화기관내의 Bypass를 고려한 사료의 가공처리 및 영양설계가 요구된다.

#### IV. 적 요

본 연구는 반추가축에 있어서 단백질 Bypass처리가 광물질의 체내이용에 미치는 영향을

조사하기 위하여 실시하였다. 반추위 Cannula를 장착한 면양 3두에 나이론백 실험방법을 이용하여 사양시험을 실시하였다.

시험사료로는 대두박과 채종박을 사용하였으며, 본 시험사료에 가열(133°C, 143°C) 처리와 포름알데이드(0.3%, 0.5%)처리를 하고 나이론 백을 사용하여 반추위내에서 배양한 후 Phytate와 P, Ca, Mg, Cu, Fe, Cu에 대해 각 항목의 반추위내의 소실율을 구하였다.

시험결과에 의하면 대두박과 채종박에 대한 단백질 Bypass처리는 Phytate를 포함한 모든 광물질에서 단백질 Bypass 처리의 강도가 높아짐에 따라 반추위내의 각 광물질의 소실율이 유의하게 감소하였다( $P < 0.05$ ). 그리고 각 광물질간의 비교에서 Cu, Zn, Ca의 소실율이 타 광물질에 비하여 낮은 경향을 보여 특히 본 광물질의 이용성 감소가 예상된다.

이상의 결과로 반추가축에 있어서 이용률이 매우 높은 것으로 알려진 Phytate는 단백질 Bypass처리를 함으로써 Phytate와 결합되어 사료내에 존재하는 광물질의 반추위내의 분해율을 감소시켜 반추가축에 있어서의 광물질 부족 및 분으로의 배설 증가로 인한 토양의 오염증가가 예상된다.

[논문접수일 : 2008. 8. 4. 논문수정일 : 2008. 8. 21. 최종논문접수일 : 2008. 8. 26.]

## 참 고 문 헌

1. 한국축산연감. 2007/2008. 농수축산신문. 103-107
2. 한국축산연감. 2007/2008. 농수축산신문. 356
3. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
4. Camire, A. L. and F. E. Clydesdale. 1981. Effect of pH and heat treatment on the binding of calcium, magnesium, zinc and iron to wheat bran and fractions of dietary fiber. J. Food Sci. 46: 548-551.
5. Cheryan, M. 1980. Phytic acid interactions in food systems. CRC. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 13: 297-335.
6. Cook, J. D., T. A. Morck, and S. R. Lynch. 1981. The inhibitory effect of soy products on nonheme iron absorption in man. Am. J. Clin. Nutr. 34: 2622-2629
7. Forbes, R. M., H. M. Parker, and J. W. Erdman. 1984. Effects of dietary phytate, calcium, and magnesium levels on zinc bioavailability to rats. J. Nutr. 114: 1421-1425.
8. Garcia-Lopez, J. S, and K. Lee. 1985. Iron binding by fiber is influenced by competing

- minerals. *J. Food. Sci.* 50: 424-428.
9. Konishi, C., T. Matsui, W. Y. Park, H. Yano, and F. Yano. 1999. Heat treatment of soybean meal and rapeseed meal suppresses rumen degradation of phytate phosphorus in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 80: 115-122.
  10. Lee, K. and J. S. García-López. 1985. Iron, Zinc, Copper and Magnesium Binding by Cooked Pinto Bean(*Phaseolus vulgaris*) Neutral and Acid Detergent Fiber. *J. Food Sci.* 50: 651-653.
  11. Lönnerdal, B., A. S. Sandberg, B. Sandstrom, and C. Kunz. 1989. Inhibitory effects of phytic acid and other inositol phosphates on zinc and calcium absorption in suckling rats. *J. Nutr.* 119: 211-214.
  12. Mehrez, A. Z. and E. R. Ørskov. 1977. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *J. Agric. Sci.* 88, 645-650.
  13. National Research Council. 1985. *Nutrient Requirements of Sheep*, 6th revised ed., 54-72. Washington, DC: National Academy Press.
  14. Nishimuta, J. F., D. G. Ely, and J. A. Boling. 1973. Nitrogen metabolism in lambs fed soybean meal treated with heat, formalin and tannic acid. *J. Nutr.* 103: 49-53.
  15. Ørskov, E. R. and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci.* 92: 499-503.
  16. Park, W. Y., T. Matsui, C. Konishi, S. W. Kim, F. Yano, and H. Yano. 1999. Formaldehyde treatment suppresses ruminal degradation of phytate in soybean meal and rapeseed meal. *Br. J. Nutr.* 81: 467-471.
  17. Park, W. Y., T. Matsui, F. Yano, and H. Yano. 2000. Heat treatment of rapeseed meal increases phytate flow into the duodenum of sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 88: 31-37.
  18. Park, W. Y., T. Matsui and H. Yano. 2002. Post-ruminal phytate degradation in sheep. *Feed Sci. Technol.* 101: 55-60.
  19. Parttley, C. A., D. W. Stanley, and F. R. van de Voort. 1982. Protein-phytate interactions in soybeans. II. Mechanism of protein-phytate binding as affected by calcium. *J. Food. Biochem.* 6: 255-271.
  20. Persson, H., M. Türk, M. Nyman, and A. S. Sandberg. 1998. Binding of  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ , and  $\text{Cd}^{+2}$  to inositol tri-, tetra-, penta-, and hexaphosphates. *J. Agric. Food. Chem.* 46: 3194-3200.
  21. Raun, A., E. Cheng, and W. Burrouhgs. 1956. Phytate phosphorus hydrolysis and availability to rumen microorganisms. *J. Agric. Food Chem.* 4: 869-871.



22. Reddy, N. R., S. K. Sathe, and D. K. Salunkhe. 1982. Phytate in legumns and cereals. In: Chichester, C. O., Mark, E.M and Stewart, G. F. (Eds.), *Advances in Food Research*. Academic Press, New York. 28: 1-92.
23. Reid, R. L., M. C Franklin, and E. G. Hallsworth. 1947. The utilization of phytate phosphorus by sheep. *Aust. Vet. J.* 23: 136-140.
24. Sandberg, A. S., M. Brune, N. G. Carlsson, L. Hallberg, E. Skoglund, and L. Rossander-Hulthén. 1999. Inositol phosphates with different numbers of phosphate groups influence iron absorption in human. *Am. J. Clin Nutr.* 70: 240-246.
25. Sandberg, A. S., N. G. Carlsson, and U. Svanberg. 1989. Effects of inositol tri-, tetra-, penta- and hexaphosphates on In vitro estimation of iron availability. *J Food Sci.* 54(1): 159-161.
26. Simpson, C. J. and A. Wise. 1990. Binding of zinc and calcium to inositol phosphates (phytate) in vitro. *Br. J. Nutr.* 64: 225-232.
27. Skoglund, E., B. Lönnerdal, and A. S. Sandberg. 1999. Inositol phosphates influence iron uptake in caco-2 cells. 47: 1109-1113.
28. Statistical Analysis Systems (SAS), 1985. *SAS User's Guide*. SAS Institute Inc., Cary, NC.
29. Thompson, D. B. and J. W. Erdman. 1984. The effect of soy protein isolate in the diet on retention by the rat of iron from radio-labeled test meals. *J. Nutr.* 114: 207-311.
30. Tillman, A. D. and J. R. Brethour. 1958. Utilization of phytin phosphorus by sheep. *J. Anim. Sci.*, 17: 104-112.
31. Torre, M., A. R. Rodriguez, and F. Saura-Calixto. 1991. Effects of dietary fiber and phytic acid on mineral availability. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 1(1): 1-22.