

닭사료의 섬유소 정량분석방법 개발에 관한 연구

성 창 한 · 남 기 흥¹
대구대학교 축산학과

A Study on the Development of a Quantitative Analytical Method of Chicken Dietary Fiber

C. H. Sung and K. H. Nahm¹

Department of Animal Science, Taegu University
Gyungnsan, Korea 713-714

ABSTRACT

A study was conducted to develop a new analytical method to quantitate chicken dietary fiber (CDF). Four types of grain diets and 2 types of forages were used. Three broiler chicks at eight weeks of age were used in the Latin square design to estimate the *in vivo* digestibility. Six quantitative analytical methods(Southgate method, total dietary fiber or TDF, acid detergent fiber or ADF, neutral detergent fiber or NDF, crude fiber or CF) including CDF were compared in this study. ADF, NDF and CF contained the lowest amount of the unavailable carbohydrate(UC). The value of TDF was higher than the values of ADF, NDF and CF and lower than CDF and the Southgate method. The value of NDF showed the lower values than the CDF, Southgate fiber and TDF. The recovery rate of the fiber in the feces was high in the TDF, ADF, NDF and CF, while CDF and Southgate fiber showed lower recovery rates. TDF, NDF, ADF, or CF can replace chromium in the digestibility test, while the CDF and Southgate fiber can not replace chromium. The digestibility of TDF, NDF, ADF and CF in the chicken showed negative values or values close to zero depending on the types of feed but the digestibility of CDF and Southgate fiber showed relatively high positive values.

(Key words : chicken dietary fiber, NDF, ADF, TDF, unavailable carbohydrate)

서 론

약 100년 전 독일에서 처음으로 조섬유(crude fiber, CF)라는 개념과 그 정량 방법이 소개된 이래 지금까지도 영양학 실험실에서 사료를 일반 분석할 때 이 CF의 정량분석이 이루어지고 있다. 그러나 이 CF

는 그 정량과정 중에서 거쳐야 하는 약산과 약알칼리 용액에서의 끓이는 과정 때문에 hemicellulose는 약 80% 그리고 lignin은 50~80%정도가 용해되어 사라져 버리기 때문에 실제적인 CF의 정량치는 섬유소의 함량과는 거리가 먼 수치가 되어 버리는 것이다(Ferreira 등, 1983).

이러한 모순점을 제거하기 위하여 Van Soest 등(1963, 1967)은 세척제를 이용하여 NDF(neutral detergent fiber)와 ADF(acid detergent fiber)정

¹ To whom correspondence should be addressed.

량 방법을 개발하였다. NDF와 ADF정량 방법은 그 과정이 간단하고 간편하며 정확도가 높아서 현재 전세계적으로 많이 이용되는 정량 방법이다. 그러나 이 방법은 목초 내에 함유되어 있는 섬유소 함량(세포벽, cell wall, CW)을 정량하는 데 그 목적이 있기 때문에 전분질 함량이 높은 곡류사료에 대한 NDF와 ADF함량을 정량해 내는 데에는 전분질을 분리해 내는 것이 어려워져 많은 오차를 유발하는 실정이었다(McQueen과 Nicholson, 1970). 이러한 오차를 제거하기 위한 많은 연구들은 대부분 내연성이 강한 α -amylase를 NDF용액(McQueen과 Nicholson, 1970; Van Soest 등, 1991; Nahm, 1992)에 첨가함으로써 곡류 중에 함유된 NDF의 함량을 정량하는 데 이용되고 있다. 최근에는 곡류 중에 함유된 ADF를 정량하는 데에도 α -amylase를 첨가함으로써 오차를 줄일 수 있다는 보고도 있었다(Nahm, 1992).

인체(人體) 영양학 분야에서도 섬유소의 정량 방법은 여러가지로 연구되어 왔다. Southgate(1969)는 섬유소의 각 성분을 항목별로 분리해 내는 방법을 개발한 바 있으며, Trowell 등(1972, 1976)의 정의에 따르면 “식품 중에 함유된 섬유소(dietary fiber, DF)란 사람의 소화기 내에서 소화 효소에 의하여 분해되지 않는 식물성 다당류와 리그닌(lignin)을 의미한다”라고 했다. 그 이후 섬유소 정량 방법은 여러가지 형태로 그 방향이 변화되어 갔다. 그 이유는 섬유소 내에는 hemicelluloses, celluloses 그리고 lignins 외에도 nondigestible oligosaccharides, pectin, gums, waxes 등이 더 포함되어 있기 때문이다(Prosky 등, 1984).

이처럼 변화된 섬유소에 대한 정의를 기반으로 하여 Prosky 등(1984, 1985)은 총섬유소 함량(total dietary fiber, TDF)을 정량하는 방법을 새로이 개발하게 되었다. Termamyl (heat-stable α -amylase), protease 그리고 amyloglucosidase 등을 TDF정량에서 이용함으로써 식물 세포 내와 세포벽에 함유되어 있는 각종 전분질과 질소 화합물 그리고 각종 탄수화물들을 분해해 냈던 것이다. 현재 인체 영양학 연구실에서는 이 TDF정량 방법이 많이 이용되고 있다.

그러나 아직도 섬유소에 대한 개념과 그 정량 방법

간에는 불분명한 점이 많이 있다. 그 이유는 섬유소의 주축으로 생각되는 식물 세포벽 내에 수용성 물질(water-soluble components)과 비수용성 물질(water-insoluble components)들이 포함되어 있기 때문인데 이들은 정량 과정에서 제거되는 물리 화학적 처리 방법, 각종 효소 처리, 온도 그리고 처리 시간에 따라 정량의 정도는 변화되어지기 때문이었다. (Theander과 Aman, 1979). 또 각종 식품의 종류에 따라서 인체 내에서 나타나는 섬유소의 생리적, 화학적 역할은 다르게 나타나는 것이다. 따라서 섬유소에 대한 복잡한 생리적, 화학적 기능과 정의 때문에 Englyst (1989)에 의하여 비전분성 다당류(Non-starch polysaccharides, NSP)라는 개념으로 섬유소가 다시 정의되기에 이르렀다.

NSP정량에서는 전분질에 의하여 섬유소의 함량에 오차가 생기는 것을 철저히 예방하는 데 주안점을 두었다. 따라서 Englyst 등 (1982)은 NSP함량을 정량하기 위하여 처음에는 GLC를 이용하였으나 전분질의 gelatinization으로 인하여 전분질의 완전 제거가 어려운 것을 발견하였다. 이들은 계속된 연구에서 시료를 끓는 물에 끓인 후 pancreatic amylase로 처리하고 다시 potassium hydroxide나 dimethyl sulphoxide로 처리한 후 여기에 다시 한번 효소 처리(amyloglucosidase나 pancreatic amylase)를 하여서 최종적으로 남을 수 있는 저항성 전분질(resistant starch, RS)과 다른 수용성 탄수화물질을 제거하게 되었다. 그러나 섬유소의 정량 과정 중에 이 RS가 형성되는 데에는 여러가지 요인이 관여되고 있음이 보고되었다. Englyst와 Cummings(1987)는 정량 과정 중에 차이를 보일 수 있는 시료 중의 수분 함량, pH, 열처리 정도, 정량시 처리 온도와 시간, 열처리 횟수, 냉각시간, 냉동 및 건조시간과 정도에 따라 섬유소(dietary fiber, DF) 중에 남는 RS의 양은 차이를 보였다고 보고한 바 있다.

섬유소(dietary fiber)의 개념을 “사람(단위동물)의 소화기 내에서 소화 효소에 의하여 분해되지 않는 식물성 다당류와 리그닌(lignin)이다”(Trowell, 1972, 1976)라고 생각할 때 측정법에 따른 섬유소의 개념도 달라질 수 밖에 없다.

Key 등(1970)과 Verney 등(1984)에 의하면 돼지와 쥐 그리고 토끼 등은 사료 중에 함유된 섬유소의 화학적인 구조와 그 조성에 따라서 섬유소의 일부를 소화 이용할 수 있는 것으로 보고되어 있다. 그러나 가금(닭)의 경우에는 섬유소를 거의 소화시키지 못하는 것으로 보고되어 있다(Antoniou, 1981; Carré와 Leclercq, 1985). 가금에서는 NSP 중에서도 수용성인 부분(water-soluble fraction)만 소화 이용할 수 있으며 불용성 부분(water-insoluble fraction)은 거의 소화를 시키지 못한다(Carré 등, 1990). 그 이유는 섬유소 중에 함유되어 있는 펙틴 물질(pectic substances)이 칼슘 등과 결합하므로서 불용성 물질이 형성되는데 닭의 경우에는 이 펙틴 결합물질들을 소화 이용하지 못하기 때문이다(Thibault, 1980).

본 연구에서는 pH, 온도, 분비되는 소화 효소의 종류, 이들 효소들의 활성 정도, 소화기 내의 chelating agents, 물리적인 운동 능력 등을 가금(닭)류의 소화기 내부와 비슷하게 유지하는 실험실 조건하에서 섬유소(chicken dietary fiber, CDF)를 정량하는 새로운 방법을 개발하고자 그 일차적인 단계로 본 연구를 실시하였다.

재료 및 방법

1. 시료의 종류 및 준비

본 시험에서 사용된 시료들은 증추사료, 분쇄 옥수수, 분쇄 밀, 대두박, 화이트 클로버, 오차드 그래스의 6가지였고, 이들은 Willey mill을 이용하여 분쇄되었으며 그 입자의 크기는 1 mm이었다.

2. 소화율 계산

시료들의 생체내 소화율을 측정하기 위하여 8주령 육계 3마리가 이용되었다. 각 시험 사료는 1%의 Cr₂O₃를 섞은 후 소화를 시험과 섬유소의 회수율 시험에 이용되었다. 예비 시험을 3일, 본 시험을 2일로 하고 본 시험 2일 동안 배설한 분을 전부 채취하였다. 종류의 시험 사료를 3마리의 닭에게 동시에 먹여서 2일 동안 분을 채취한 후 다시 새로운 사료를 먹이는 방법으로 분 채취를 계속하였다.

소화율 계산에 이용된 공식은 아래와 같다.

$$\text{소화율}(\%) = 100 - 100 \times \left[\frac{\% \text{Cr in feed}}{\% \text{Cr in feces}} \times \frac{\% \text{nutrient in feces}}{\% \text{nutrient in feed}} \right]$$

3. 시 약

본 시험에 사용된 시약의 종류와 농도는 다음과 같다.

Pepsin : No. P-7000(Sigma Chemical Co.)-이 용할 때까지 실온 보관

0.2 N HCl (pH 2.8~3.0) : HCl 16.6 mL / DW 1 L 잘 섞은 후 pH meter를 이용하여 pH를 8~3.0 으로 조정한다.

0.5 N NaOH : NaOH 20 g / DW 1 L

0.5 N HCl : HCl 41.5 ml / DW 1 L

3% Sodium lauryl sulfate(C₁₂H₂₅OSO₃Na)

α -Amylase 용액 (pH 6.6~6.8) : phosphate buffer(pH 6.6~6.8) ; KH₂PO₄ (3.56g)와 Na₂HPO₄ · 2H₂O (7.22g)를 1L의 증류수 속에서 용해시킨 다음 pH를 6.6~6.8로 조정한다. 후 1.0g의 α -amylase(No. A-3051, Sigma Chemical Co. : 냉동 보관)를 넣어 용해시킨다. 이용 전에는 냉장고 속에서 저장(0~5℃) 하였고 사용 전에 잘 흔들어서 이용한다.

80% ethanol : 20 mL의 증류수와 80 mL의 ethanol을 배합하여 제조

Acetone

α -Amylase 용액 (pH 7.0±0.05) : phosphate buffer (pH 7.0±0.05) ; KH₂PO₄ (3.56g)와 Na₂HPO₄ · 2H₂O (7.22g)를 1L의 증류수 속에서 용해시킨 다음 pH를 7.0±0.05로 조정한다. 후 1.0g의 α -amylase(No. A-3051, Sigma Chemical Co. : 냉동 보관)를 넣어 용해시킨다. 이용 전에는 냉장고 속에서 저장(0~5℃) 하였고 사용 전에 잘 흔들어서 이용한다.

Ethanol

Toluene

8 M urea 용액 : urea 480 g을 증류수 1 L 속에 넣고 잘 용해시킨다.

α -Amylase heat-stable 용액(0.67 %) : 8 M

urea 용액 1L 속에 6.7 mL의 α -amylase heat-stable (No. A-3306, Sigma Chemical Co. : 냉장 보관)을 넣어 잘 섞어 준다. 이용 전에는 냉장고에 저장(0~5°C)하고 사용 전에 잘 흔들어서 이용한다.

Protease(No. P-3910, Sigma Chemical Co. : 냉장 보관)

ADF(acid detergent fiber) 용액 : Van Soest (1963)방법

NDF(neutral detergent fiber) 용액 : Goering 과 Van Soest(1970)방법

0.312 N NaOH : NaOH 12.89 g /DW 1 L

0.255 N H₂SO₄ : H₂SO₄ 7.056 mL /DW 1 L

H₂SO₄ (95~98%, GR)

K₂SO₄

CuSO₄

45% NaOH : NaOH 642 g /DW 1L

4% Boric acid : H₃BO₄ 40 g /DW 1L

1/14 N HCl 표준 용액 : HCl 74 mL /DW 12 L

Tashino's 지시약 : methylene blue 0.414 g과 methyl red 0.625 g을 약 450 mL의 95% ethanol 속에 넣고 잘 용해시킨다. 완전히 녹은 후 나머지는 95% ethanol을 사용하여 500 mL를 맞춘다.

4. 본 연구에서 이용된 각종 섬유소 분석 방법

1) CDF

시료를 250 mL 삼각플라스크에 넣고 pepsin 0.1 g 과 0.2 N HCl (pH 2.8~3.0)을 25 mL 가하고 40°C 의 incubator에서 1시간 동안 진탕시킨다. 0.5 N NaOH를 이용하여 중화(pH 7.0±0.5)를 시킨 후 α -amylase용액(pH 6.6~6.8) 25 mL와 sodium lauryl sulfate를 0.3 g 가한 후 실온에서 하룻밤 동안 둔다. 0.5N HCl을 첨가하여 pH 4.4~4.8로 조정한다. 40°C incubator에서 다시 1시간 동안 진탕시킨다. 위의 과정을 거친 시료를 원심분리용 tube에 넣고 30분 동안 원심 분리 후 glass filter를 이용해서 따뜻한 물로 filtration시킨 후 80% ethanol과 acetone으로 glass filter 내부 벽을 씻어 준다. 시료가 최종적으로

glass filter 에 남아 있는 것을 105°C 건조기에서 하룻밤 동안 말린 후 무게를 측정한다 다음 2개의 시료 (glass filter) 중 1개는 단백질 정량, 다른 1개는 회분 (ash) 정량에 이용된다.

CDF(%)=

$$\frac{\text{mg residues} - [(\% \text{ protein in residues} + \% \text{ ash in residues}) \times \text{mg residues}] - \text{blank}}{\text{mg sample weight}} \times 100$$

Southgate 등(1969)의 방법과 Prosky 등(1984)이 제시한 분석 방법을 대구대학교 가축영양학연구소에서 수정 보완하여 이루어졌다.

기본 원리는 선위에서 소장에 이르는 동안에 생길 수 있는 산도(pH)의 변화를 본 분석 과정 중에 이용하였으며 pepsin과 α -amylase를 첨가하므로서 사료 중의 섬유소가 아닌 부분을 제거하도록 하였다. 3% sodium lauryl sulfate를 가해 주어서 세포 내부에 함유되어 있는 단백질 부위를 용해시켜서 제거하도록 하였다. 또 80% ethanol을 첨가하여 free sugar를 제거하는 데 이용하였다. 계산 공식은 기본적으로 섬유소 계산 공식과 동일하지만 섬유소와 결합되어 있을 수 있는 질소화합물과 광물질 등을 제거하는 부분이 공식에 첨가되어 있다.

2) Southgate 방법

시료를 원심분리용 tube에 넣고 따뜻한 물(80°C) 10mL를 가한 후 80°C incubator에서 30분 동안 진탕시킨 후 원심분리기를 이용하여 5분 동안 원심분리를 시킨 다음 위층의 것을 삼각플라스크에 따로 모으고 같은 방법을 3번 반복한 후 10분동안 boiling water bath(항온 진탕기)에서 끓인다. 실온에서 완전히 식힌 후 5mL의 α -amylase 용액(pH 7.0±0.05)을 넣고 toluene을 2~3방울 떨어뜨린 후 40°C incubator에 하룻밤 동안 둔다. 다시 ethanol 원액을 40 mL 넣고 5분동안 원심분리 후 glass filter를 이용해서 filtration한다. filtration 도중에 따뜻한 물로 3~4회 glass filter 벽을 씻는다. 105°C 건조기에서 하룻밤 동안 말린 후 무게를 측정한다. 2개의 시료 중 1개는 단백질 정량, 다른 1개는 회분(ash) 정량에 이용한다.

3) TDF

시료를 넣은 삼각플라스크 속에 0.67% α -amylase heat-stable 용액을 30mL 넣고 실온에 3시간 30분~4시간 30분 동안 천천히 진탕시킨다. protease를 0.5mg 넣은 후 50°C incubator에서 하룻밤 동안 둔다. glass filter를 이용해서 준비된 시료를 filtration 시킨다. 그 다음 filtration 하면서 따뜻한 물로 glass filter의 벽을 3~4회 씻어준 후 다시 80% ethanol로 씻어 준다. 105°C 건조기에서 말린 후 무게를 측정한다. 그 다음 2개의 시료 중 1개는 단백질, 다른 1개는 회분(ash)을 측정하는 데 이용한다.

4) ADF

Van Soest(1967) 방법

5) NDF

Van Soest 등(1963, 1991) 방법

6) Crude Fiber

AOAC(1980) 방법

6. 통계처리

각 시료는 완전임의법(3반복)에 따라 정량 분석하였다. 이 때 얻은 결과들을 분산 분석하여서 F의 값이 5% 수준에서 유의할 경우 Duncan의 다중 검정(Duncan, 1955)에 따라 상호간의 통계적인 차이를 검정하였다.

Table 1은 닭이 이용하지 못하는 탄수화물(unavailable carbohydrate)의 함량이 섬유소 정량방법 차이에 따라 다르게 나타난 수치들을 보여주고 있다. 각종 사료에 대한 CDF함량은 다른 종류의 섬유소 함량보다 높게 나타나 있다. 그 다음이 Southgate방법에 의하여 얻어진 섬유소 함량들이다. NDF함량이 TDF함량과 비슷한 분석치를 보이는 경향이 있지만 NDF가 유의적으로($P < 0.05$) 높게 나타나 있다. 그 다음이 ADF값이고 가장 낮은 값들은 CF함량들이었다. 단위동물인 쥐나 돼지, 토끼 등은 섬유소의 일부분을 소화시켜서 이용할 수 있지만(Keys 등, 1970; Vernay 등, 1984) 닭의 경우 섬유소의 소화능력이 거의 없으며 특히 섬유소 내에 함유되어 있는 펙틴(pectic substances)은 전혀 소화를 못시킨다(Carré 등, 1985; Carré 등, 1990). 따라서 CDF값은 단위동물인 사람의 소화기관을 기본으로 하여 섬유소 함량을 정량하는 Southgate정량방법이나 TDF정량방법으로 얻어낸 섬유소 함량보다 높을 수 밖에 없다.

TDF함량이 Southgate방법이나 식물 세포벽의 함량인 NDF값보다 낮은 이유는 TDF정량에서는 섬유소 내에 함유되어 있는 질소화합물과 광물질의 함량을 따로 구해서 제거했지만 Southgate방법이나 NDF방법에서는 그러한 과정이 없다는 점이 TDF정량치보다 높게 나타나는 결과가 된 것으로 생각된다. 단위동물에서는 소화기 내에 존재하고 있는 효소에 의하여 소화되지 않는 식물세포내의 모든 물질들을 섬유소(dietary fiber)라고 정의(Trowell 등, 1976)한 점은 단순히 초식가축에서 반추위를 기준으로 하여 얻어낸

결과 및 고찰

Table 1. Unavailable carbohydrate contents in 6 feed samples¹

Samples	CDF	Southgate	TDF	ADF	NDF	CF
Chicken diet	47.92±0.029 ^a	31.55±0.178 ^b	14.48±0.138 ^d	6.64±0.020 ^e	16.71±0.123 ^c	4.20±0.000 ^f
Ground corn	56.00±0.206 ^a	38.43±0.558 ^b	11.60±0.062 ^d	4.04±0.025 ^e	17.89±0.110 ^c	2.44±0.020 ^f
Ground wheat	46.28±0.023 ^a	38.55±0.070 ^b	8.45±0.049 ^d	3.84±0.006 ^e	13.53±0.241 ^c	2.68±0.015 ^f
Soybean meal	33.98±0.483 ^a	21.58±0.195 ^b	14.33±0.498 ^c	8.46±0.019 ^e	12.59±0.019 ^d	5.66±0.064 ^f
Orchard grass	51.61±0.101 ^b	49.55±0.217 ^d	50.58±0.078 ^c	30.91±0.334 ^e	55.76±0.059 ^a	23.97±0.026 ^f
White clover	38.75±0.091 ^a	29.78±0.096 ^b	30.43±0.201 ^b	20.92±0.032 ^d	27.95±0.475 ^c	12.13±0.136 ^e

¹ Means ($\bar{X} \pm SE$) in the same row with no common superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

섬유소(cell wall) 정의와는 서로 다르다는 점(Van Soest, 1963)이 Table 1에서 보여주는 바와 같이 Southgate방법으로 얻은 값은 NDF값보다 높은 결과를 보여 주고 있는 본 실험의 결과와 일치한다고 보겠다. Table 1에 나타나 있는 ADF값은 NDF값에서 hemicellulose량을 제거한 값 (Van Soest, 1967)이고, CF값은 섬유소 내에 함유되어야 할 hemicellulose 함량 중 약 80% 그리고 50~80%에 이르는 lignin함량이 정량분석과정에서 사라져 버리고(Ferreira 등, 1983) 남은 양이다.

Table 2에 나타나 있는 값들은 증추사료를 위시해서 분쇄한 옥수수 및 그리고 대두박을 따로 닭에게 급여시킨 후 배설된 분을 각 사료 별로 분리 채취하여 각종 섬유소의 함량을 정량해 본 결과들이다. ADF값은 NDF값에서 hemicellulose값이 제외된 값이며 CF값은 앞에서 언급된 바와 같이 상당 부분의 hemicellulose와 lignin이 정량분석과정에서 사라져 버렸기 때문에 가장 낮은($P < 0.05$) 함량을 나타내고 있다. Table 2에 의하면 NDF값은 CDF나 Southgate방법에 의한 정량치나 TDF정량치보다 높게 나타나 있다. 일반적으로 식물성 탄수화물은 크게 2가지로 구분된다. 하나는 저장 전분(the storage polysaccharide starch)으로서 α -glucan으로 분류되며 다른 하나는 세포 벽을 이루는 탄수화물(cell-wall polysaccharides)로

서 소화기 내에 있는 α -amylase의 작용은 받지 않고 반추기축의 제 1위(rumen)나 단위기축의 맹장(cecum) 내에 존재하는 박테리아나 기타 미생물들에 의하여 소화 분해되어진다. 따라서 한번 소화기 계통을 거쳐 나온 분(糞)속에는 사료에 비하여 상대적으로 NDF함량이 높게 나타나는 것은 당연한 일이다. 또 Table 2에서는 단위동물의 소화력보다 낮은 닭의 소화기와 비슷한 여건에서 정량분석한 CDF값이 높게 나타나 있다. 인체의 소화기 여건을 모방하여 정량해 낸 섬유소 값은 옥수수와 밀에서는 Southgate값이 TDF값보다 높게($P < 0.05$) 나타나 있다. 그 이유는 곡류중에 함유되어 있는 불용성 NSP의 함량은 기축의 종류가 다르므로써 차이를 보이기도 하며 사료곡물의 종류에 따라서도 차이를 보이게 되기 때문이다. (Carré, 1991).

Table 3에서는 4가지 종류의 사료에 대한 각각의 섬유소가 분(糞)속에 나타나는 회수율을 표시하고 있다. 본 실험에 나타나 있는 결과들을 보면 사료들에 대한 각종 섬유소류의 회수율은 TDF, ADF, NDF, CF에서 공히 높게 나타나 있다. 이 결과는 닭에서 각종 사료들에 대한 NSP회수율을 78.1~92.1%로 보고한 Carré 등(1990)의 실험 결과와 비슷한 데 이들의 보고에 따르면 강류, 밀, 대두박, lupin을 먹여서 분(糞)으로 배출한 NSP회수율은 밀에서 현저히 낮은($P <$

Table 2. Unavailable carbohydrate contents in fecal samples ¹

Samples	CDF	Southgate	TDF	ADF	NDF	CF
Chicken diet	51.35±0.062 ^a	48.64±0.262 ^a	43.72±2.406 ^b	22.34±0.287 ^c	51.66±0.200 ^a	11.17±0.401 ^d
Ground corn	48.96±0.226 ^b	50.23±0.942 ^b	44.79±1.760 ^c	22.28±0.168 ^d	56.95±0.210 ^a	10.58±0.329 ^e
Ground wheat	49.08±0.528 ^b	50.76±0.059 ^b	50.29±1.838 ^b	23.72±0.074 ^c	57.27±0.142 ^a	11.07±0.015 ^d
Soybean meal	19.44±1.163 ^c	27.97±0.421 ^b	15.94±3.661 ^c	34.06±0.130 ^a	28.15±0.110 ^b	10.32±0.058 ^d

¹ Means($\bar{X} \pm SE$) in the same row with no common superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

Table 3. Recovery rate of dietary fiber in fecal feces¹

Samples	CDF	Southgate	TDF	ADF	NDF	CF
Chicken diet	31.10±0.020 ^a	44.28±0.012 ^b	86.64±4.018 ^b	96.55±0.962 ^d	8.79±0.563 ^c	76.40±2.732 ^c
Ground corn	17.51±0.056 ^d	26.18±0.114 ^d	77.30±2.680 ^b	110.44±0.409 ^c	63.75±0.157 ^d	86.79±1.970 ^{ab}
Ground wheat	23.05±0.238 ^c	28.58±0.021 ^c	129.13±4.084 ^a	134.17±0.170 ^b	91.93±1.392 ^b	89.50±0.293 ^a
Soybean meal	26.09±1.216 ^b	59.15±0.368 ^a	50.10±10.01 ^c	123.77±0.357 ^a	102.02±0.323 ^a	83.26±0.485 ^b

¹ Means($\bar{X} \pm SE$) in the same row with no common superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

0.05) 결과를 보였다고 보고한 바가 있다.

한편 Table 3에 의하면 CF의 회수율은 각 사료들 간에 상당히 유사한 결과를 보였다. 이 실험 결과는 2개의 다른 사료를 닭에게 급여시켰을 때 CF에 대한 회수율이 100.7%와 99.7%로 유사한 결과를 보인 실험과 8주령 육계에서 102.4%와 100.7%의 회수율을 보인 연구결과와 비슷하다(Almquist 등, 1971).

반면에 CDF와 Southgate방법에 의하여 정량된 섬유소의 회수율은 지극히 낮게 나타나 있다. 섬유소의 개념을 식물 세포벽(cell wall)이나 그 주요 부분으로 보는 NDF와 ADF(Van Soest, 1963), CF 또는 TDF(Prosky 등, 1984)와는 달리 소화기 내에서 소화 이용되지 않는 탄수화물(unavailable carbohydrate) 전부를 섬유소로 보는 CDF와 Southgate 정량 방법에서 얻어지는 섬유소 함량들 간에 현저한 차이가 있는 것은 당연하다. 불용성 NSP(water-insoluble, NSP)는 불용성인 식물 세포벽(water-insoluble cell walls, WICW)의 주요물질로서 이 불용성 NSP는 WICW 전함량에 대해 70~95%를 차지한다. 따라서 WICW 중에서 불용성인 NSP를 제외한 나머지는 리그닌(lignin)과 단백질로서 WICW함량은 시료(samples)의 종류에 따라 크게 변화되어진다고 보고되어 있다(Carré와 Brilouet, 1986). 또

TDF(Prosky 등, 1984) 정량방법은 식품 정량 분석 방법에서 이용되는 섬유소 정량 방법으로서 가용성 섬유소(soluble dietary fiber)를 정량 과정에서 완전 제거하기 때문에 CDF나 Southgate방법에서 추구하는 unavailable carbohydrate를 의미하는 것은 아니며 서로들 간에 회수율은 현저한 차이를 나타내는 것으로 생각된다.

Table 4에서는 시험 사료 내에 함유된 chromium의 전량과 분 중에 배설되는 전량을 비교한 후 같은 방법으로 각 사료 내에 함유되어 있는 섬유소 함량과 분(糞) 중에 함유되어 있는 섬유소의 함량을 비교하여 얻을 수치들이다.

Table 4에 나타난 결과도 Table 3에 나타나 있는 결과들과 같이 나타나 있다. Table 4에 나타나 있는 각종 섬유소(TDF, ADF, NDF, CF) 값들은 chromium치와는 비록 통계적인 차이를 보이고는 있지만 같은 경향을 나타내고 있다. 이 뜻은 TDF, ADF, NDF, CF 등은 모두가 불용성 NSP로서 닭의 소화기 내에서 흡수 이용되지 못하는 섬유소들로서 chromium의 대치용으로 이용될 수 있다는 것이다. 본 연구 결과는 Almquist 등(1971)이 보고한 연구 결과와 같은 경향을 보이고 있다. 또 펙틴(pectic substances)은 불용성으로서(Thibault, 1980) 콩과 식물의

Table 4. Ratios of feces to feed(dry basis, ratios from Cr or fibers analyses¹)

Diets	Chromium	CDF	Southgate	TDF	ADF	NDF	CF
Chicken diet	0.310±0.004 ^{de}	0.923±0.001 ^a	0.649±0.000 ^b	0.333±0.016 ^d	0.298±0.003 ^e	0.324±0.002 ^d	0.377±0.014 ^c
Ground corn	0.201±0.003 ^f	1.144±0.004 ^a	0.765±0.003 ^b	0.260±0.009 ^d	0.181±0.004 ^g	0.314±0.001 ^c	0.231±0.005 ^e
Ground wheat	0.273±0.004 ^c	0.943±0.010 ^a	0.760±0.001 ^b	0.169±0.006 ^e	0.162±0.000 ^e	0.236±0.004 ^d	0.243±0.001 ^d
Soybean meal	0.643±0.010 ^{cd}	1.757±0.084 ^a	0.772±0.005 ^{bc}	1.001±0.228 ^b	0.248±0.001 ^e	0.448±0.001 ^{de}	0.548±0.003 ^{cd}

¹ Means($\bar{X} \pm SE$) in the same row with no common superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

Table 5 Apparent digestibility of each diet ¹

Diets	DM	OM	CDF	Southgate	TDF	ADF	NDF	CF
Chicken diet	90.35±0.280 ^b	96.39±0.306 ^a	66.15±0.022 ^c	51.82±0.041 ^d	5.73±4.372 ^f	-5.06±1.048 ^g	3.39±0.612 ^f	-16.87±2.971 ^e
Ground corn	93.04±0.612 ^a	95.66±0.626 ^a	82.44±0.056 ^b	73.75±0.114 ^c	22.51±2.689 ^e	-10.71±0.410 ^g	36.09±0.157 ^d	-12.99±1.975 ^f
Ground wheat	93.36±0.384 ^a	96.40±0.393 ^a	71.06±0.299 ^b	64.07±0.027 ^c	-62.32±5.134 ^e	-68.65±0.213 ^f	-15.55±1.751 ^d	-12.50±0.367 ^d
Soybean meal	87.24±0.387 ^a	94.90±0.424 ^a	63.26±1.712 ^b	16.72±0.521 ^c	29.46±14.094 ^c	-158.73±0.502 ^f	-43.63±0.453 ^e	-17.21±0.681 ^d

¹ Means($\bar{X} \pm SE$) in the same row with no common superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

열매부위에 존재하는 cotyledon의 세포벽 내에 44~71%까지 함유되어 있다(Brillouet와 Carré, 1983). 이러한 이유 때문에 본 실험에서 섬유소 정량(TDF, ADF, NDF, CF)시 대두박은 다른 종류의 곡류에 비하여 높게 나타나 있으며 CDF와 Southgate방법에 의하여 얻어진 섬유소 값은(unavailable carbohydrate) 더 높게 나타나게 되는 것이다(Carré와 Brillouet, 1989).

Table 5에는 각 시료들에 대한 섬유소와 소화율들이 나타나 있다. ADF와 CF에서는 4가지 종류의 사료가 전부 부(-)의 소화율로 나타나 있으며 TDF와 NDF에서는 중추사료 및 분쇄 옥수수 경우 정(+)의 소화율을 보이고 있지만 분쇄 밀과 분쇄 대두박의 경우는 부의 소화율을 나타내고 있다. 반면 CDF와 Southgate방법에 의하여 얻어진 섬유소들은 높은 소화율을 보이고 있다. Antoniou 등(1981)은 닭의 섬유소 소화율이 매우 낮다고 보고한 바 있으며, Carré와 Leclercq(1985)는 닭에서 식물세포벽의 구성물질들(cell-wall components)에 대한 소화율이 0에 가깝거나 부의 소화율을 보인다고 보고하였다. 그러나 TDF와 NDF의 정량과정 중에 아직도 수용성 다당류가 섬유소 내에 존재하므로(Terry와 Outen, 1973) 일부 시료에서는 TDF와 NDF 경우 정(+)의 소화율을 나타내고 있는 것으로 생각된다. Table 5에 나타나 있는 각종 섬유소들에 대한 소화율은 섬유소 종류에 따라서 많은 차이를 나타내고 있다($P < 0.05$).

Carré와 Leclercq(1985)는 어떤 종류의 곡들에서는 배설된 분보다는 사료곡물 속에 더 많이 전분질이 함유되어 있어서 사료와 분 중의 전분질 함량에 일관된 차이를 나타내지 못하고 있어서 섬유소의 소화율은 과장되게 나타나고 있다고 보고하였다. 섬유소(세포벽)의 소화율이 낮은 이유를 닭의 경우 장내에서 섬유소가 머무는 시간이 짧기 때문이다(Sibbald 등, 1980)라고 하는 학자도 있으며 대장과 맹장부위에서 섬유소의 대부분이 맹장으로 돌아가지 못하고 바로 배설되기 때문에 맹장에 존재하는 미생물들의 공격을 받을 기회를 갖지 못하기 때문에 닭의 경우 섬유소의 소화율은 낮은 것으로 생각된다고 보고한 학자도 있다(Björnhagsperber, 1977).

그러나 많은 양의 전분질이 아직도 정량과정에서 남

아 있는 CDF나 Southgate방법에 의해서 얻어지는 섬유소의 소화율은 건물이나 유기물의 소화율에 비해서는 현저히 낮지만($P < 0.05$) 다른 종류의 섬유소들에 비하면 상당히 높은 소화율을 나타내고 있다.

섬유소에 대한 개념은 점점 바뀌어 가고 있다. 더욱이 소화기의 형태에 따라 만추가축, 단위가축, 가금류들에 대한 섬유소의 정의는 이제 확실히 달라져야 할 것으로 생각된다. 또 여러가지 곡류의 형태에 따라 섬유소의 정량결과와는 같은 정량 방법으로도 많은 요인들에 의해 정량치는 달라지고 있다.

본 연구에서 처음으로 실시된 CDF의 개념을 더욱 실용화시키는 단계까지 가기 위해서는 앞으로 본 연구를 시점으로 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

IV. 적 요

닭의 소화기 형태에 알맞는 섬유소의 함량을 정량해 내므로서 사료중에 함유되어 있는 열량의 계산에 더 정확성을 기하고자 본 실험을 실시하였다. 시료로는 곡류사료 4가지(중추사료, 분쇄 옥수수, 분쇄 밀, 분쇄 대두박)를 이용하였고 소화율 측정과 회수율 측정을 위하여 8주령 육계 3마리를 이용하였다. 본 시험 결과에서는 CDF외에 Southgate방법, TDF, ADF, NDF, CF정량방법으로 얻어진 정량치들을 서로 비교한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 불이용성 탄수화물(unavailable carbohydrate, UC)의 함량(dietary fiber)으로 각 섬유소의 함량을 비교해 볼 때 세포벽(cell wall)으로 나타나 있는 ADF, NDF, CF는 현저히 낮고 가용성 탄수화물(soluble carbohydrate, SC)을 제거한 TDF는 위의 3가지 섬유소 함량에 비하여 높지만 UC를 함유한 CDF나 Southgate방법에 의한 섬유소 함량보다 낮게 나타났다.
2. 소화기를 한번 거처나온 분 중에 함유된 UC의 함량은 NDF에서 가장 높았다. 다음이 CDF와 Southgate방법에 의한 섬유소 함량이었으며 TDF의 값도 높은 편이었다. NDF에서 hemicellulose가 제외된 ADF값이나 상당부분의 hemicellulose나 lignin이 정량과정에서 사라지는 CF량은 가장 낮은 값을 나타내었다.

3. 분으로 회수되는 각종 섬유소의 함량을 비교해 본 결과 가용성 탄수화물이 함유되어 있지 않은 TDF, ADF, NDF, CF값이 현저히 높게 나타나 있으며 반대로 가용성 탄수화물이 많이 함유되어 있는 CDF와 Southgate 섬유소의 함량은 낮게 나타나 있다.
4. 가용성 탄수화물이 함유되어 있지 않은 TDF와 ADF, NDF, CF는 chromium대용으로 이용이 가능하지만 CDF나 Southgate 섬유소는 chromium 대치가 불가능한 것으로 나타났다.
5. 섬유소의 소화율은 TDF, ADF, NDF, CF에서 부의 소화율을 나타내거나 시료의 종류에 따라서 아주 낮은 소화율을 나타내었다. 반면 CDF와 Southgate에 대한 소화율은 건물이나 유기물 소화율에 는 미치지 못하였으나 상당히 높게 나타나 있다.
(색인 : 닭사료 섬유질, NDF, ADF, TDF, 불이용성 탄수화물)

인용문헌

- Almquist HJ, Halloran HR 1971 Crude fiber as a tracer in poultry nutrition studies. Poultry Sci 50:1233~1235.
- Antoniu TC, Marquardt RR 1981 Isolation, partical characterization, and antinutritional activity of a factor(pentosans) in rye grain. J Agric Food Chem 29:1240~1247.
- Björnhag G, Sperber I 1977 Transport of various food components through the digestive tract of turkeys, geese and guinea fowl. Swed J Agric Res 7:57~66.
- Brillouet JM, Carré B 1983 Composition of cell walls from cotyledons of *pisum sativum*, *vicia faba* and *Glycine max*. Phytochem 22:841~847.
- Carré B, Leclercq B 1985 Digestion of polysaccharides, protein and lipids by adult cockerels fed on diets containing a pectic cell wall material from white lupin(*Lupinus albus* L.)cotyledon. Brit J Nutr 54:669~680.
- Carré B, Brillouet JM 1989. Determiration of water-insoluble cell walls in feeds: Interlaboratory study. J Assoc Off Anal Chem 72:463~467.
- Carré B 1991 Factors affecting the digestibility of non-starch carbohydrate in monogastric animals. Proc November 19~21 Georgia Pages 20~32.
- Carré B, Derouet L, Leclercq B 1990 Digestibility of cell-wall polysaccharides from wheat (bran or whole grain), soybean and white lupin meal in cockerels, Muscovy ducks and Rats. Poultry Sci 69:623~633.
- Carré B, Brillouet JM 1986 Yield and composition of cell wall residues isolated from various feedstuffs used for non-ruminant farm animals. J Sci Food Agric 37:341~351.
- Duncan DB 1955 Multiple range and multiple F test. Biometrics 11:1~42.
- Englyst H 1989 Classification, measurement of plant polysaccharides. Anim Feed Sci Technol 23:27~42.
- Englyst H, Wiggins HS, Cummings JH 1982 Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. Analyst 107:307~318.
- Englyst H, Cummings JH 1987 Resistant starch, a "New" food component : a classification of starch for nutritional purposes. In : Morton ID ed, Cereals in a European Context. Ellis Horwood, Chichester, Pages 221~233.
- Ferreira AM, Kerstens J, Gast CH 1983 The study of several modifications of the neutral detergent fiber procedure. Anim Feed Sci Technol 9:19~28.
- Goering HK, Van Soest PJ 1970 Forage Fib-

- er Analysis (apparatus, reagents, procedures, and some application). ARS U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402.
- Keys JE, Van Soest PJ, Young EP 1970 Effect of increasing cell wall content on the digestibility of hemicellulose and cellulose in swine and rats. *J Anim Sci* 31:1172~1177.
- McQueen RE, Nicholson JWG 1970 Modification of the Neutral-detergent fiber procedure for cereals and vegetables by using α -amylase. *J Assoc Off. Anal Chem* 82:676~680.
- Nahm KH 1992 A Study on the development of the new techniques of fiber analysis for grain feed. *Korean J Anim Nutr Feed* 16:79~85.
- Prosky L, Nils-Georg Asp, Furda I, Devries JW, Schweizer TF, Harland BF 1984 Determination of total dietary fibre in foods, food products and total diets: Interlaboratory study. *J Assoc Off Chem* 67:1044~1052.
- Prosky L, Nils-Georg Asp, Furda I, Devries JW, Schweizer TF, Harland BF 1985 Determination of total dietary fibre in foods, products : Collaborative Study. *J Assoc Off Chem* 65:677~683.
- Sibbald IR, Price K, Barrett JP 1980 True metabolizable energy values for poultry of commercial diets measured by bioassay and predicted from chemical data. *Poultry Sci* 59:808~811.
- Southgate DAT 1969 Determination of carbohydrates in food II. Unavailable carbohydrates. *J Sci Fd Agric* 20:331~335.
- Terry RA, Outer GE 1973 The determination of cell-wall constituents in barley and maize. *Chem* 23:1116~1117.
- Theander O, Åman P 1979 Analysis and chemical characterization of water-soluble and water-insoluble dietary fibers. *Swed J Agri Res* 9:97~106.
- Thibault JF 1980 Les substances pectiques. Ed. B. Monties and Costes. Pages 232~251. Paris, Gauthier-Villars-Bordas.
- Trowell H 1972 Ischemic heart disease and dietary fiber. *Amer J Clin Nutr* 25:926~932.
- Southgate DAT, Wolever TMS, Leeds AR, Gussell MA, Jenkins DJA 1976 Dietary fiber redefined. *Lancet* 1:967~971.
- Van Soest PJ, Wine RH 1967 Use of detergents in the analysis of fibrous feed. IV. Determination of plant cell wall constitution. *J Assoc Offic Anal Chem* 50:50~511.
- Van Soest PJ 1963 Use of detergents in the analysis of fibrous feed. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *J Assoc Offic Agr Chem* 46:829~834.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA 1991 Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 74:3583~3597.
- Vernay M, Marty J, Moatti JP 1984 Absorption of electrolytes and volatile fatty acids in the hind-gut of the rabbit. *Brit J Nutr* 52:419~428.