

家畜用蛋白質飼料原料についての考察

Robert A. Swick

American Soybean Association, Singapore

Technical Director-Animal Nutrition

緒言

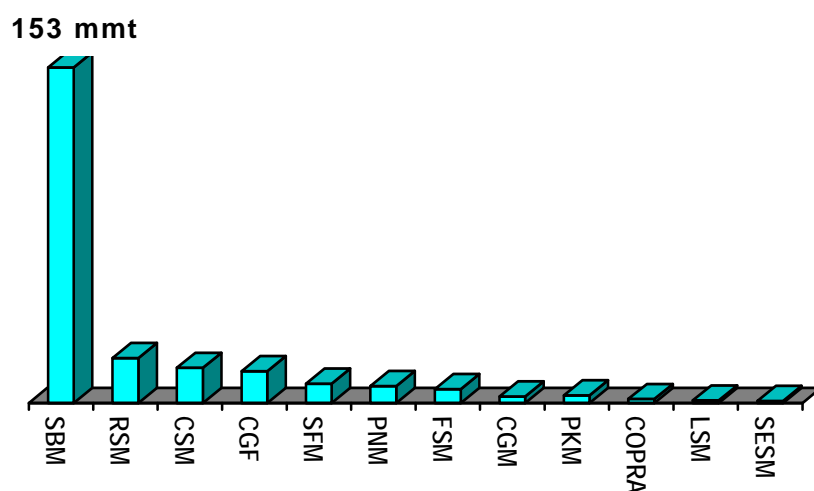
1980年代中期以降、飼料産業は急激な成長を遂げた。高品質の原料はしばしば供給不足となっている。この結果、飼料配合に当たって、品質や栄養素の利用性を十分検討することにより安価な蛋白質飼料原料を使用することを余儀なくされている。利益を追求する飼料メーカー間の競争が、経費抑制のさらなる圧力となっている。一般的に蛋白質源は単位コストが高いため、その方策としては、従来の高品質の大豆粕や魚粕をより安価な菜種粕、ヒマワリ粕、落花生粕、コブラ粕、ゴマ粕やより低品質の魚または動物性蛋白質で部分的に代替することが多い。安価な蛋白質飼料原料を使用することによって飼料コストは抑えられ、それなりの利点も得られると考えられるが、それは適切な配合が行われる限りにおいてである。原料費、生産国、栄養素レベル、生物学的有効率、栄養阻害因子、嗜好性、ペレット化したときの状態および動物の成長や生産性への影響などについて考察しなければならない。本報告書の目的は、家禽用飼料として広く用いられている蛋白質飼料原料について、それらを使用する際に考慮すべきポイントを提示することである。

大豆粕

大豆粕は世界で最も多く生産されている油種子粕であり、2002年の生産量は約127百万トンである(図1)。最大の生産国は米国(29%)で、以下、ブラジル(15%)、中国/台湾(14%)、アルゼンチン(13%)、インド(3%)の順である(Mielke, 2002)。飼料メーカーのある国のほとんどは大豆粉碎施設を有するが、その規模や運営方法には大きな差があり、生産国によって最終産物に差がある。一般的なブロイラーまたは豚用育成飼料におけるアミノ酸要求量の75%までが大豆粕で賄える点を考慮するならば、この重要な原料の品質管理および仕様については経済的観点からも慎重であるべきである。飼料に用いられる大豆粕にはいくつかの種類があり、溶媒抽出大豆粕(皮を含む)がもっとも一般的である。脱皮大豆粕の多くは米国産で、ブラジル産やアルゼンチン産も出回っている。全脂肪大豆粕は、小規模工場で圧搾法または乾燥焙煎により製造されている。

図 1. 2007 World Production of Protein Meals, million metric tonnes.

source: USDA, 2007



豆の蛋白質含量、加工後の油脂残留量ならびに脱皮の有無により大豆粕中の蛋白質およびエネルギー含量には差がある。脱皮粕の蛋白質含量は 47.5~49%以上、非脱皮粕では 40~50% (平均 44%) である (表 1)。

表 1. Selected Nutrient Levels of Protein Meals.

Ingredient	Protein	Fat	Fiber	DM	Ca	P av	Na
Soybean meal 44	44	2.5	6.0	89	.32	.25	.02
Soybean ml, dehulled	48	1.3	3.1	89	.39	.25	.02
Rapeseed meal, solvent	37	2.0	11.5	89	.70	.25	.04
Canola meal	38	3.7	11.1	91	.68	.25	.04
Cottonseed meal, solvent	47	3.5	7.8	89	.25	.25	.05
Corn gluten meal 60	60	3.0	1.5	90	.05	.10	.02
Sunflower meal 34	34	1.5	23.0	90	.30	.22	.03
Fishmeal 60	60	9.0	-	92	6.20	2.50	.98
Peanut meal, solvent	49	1.3	10.0	91	.20	.20	.03
Copra meal 21	21	1.50	15.5	91	.14	.18	.04
Palm kernel meal	17.5	1.80	18.0	88	.26	.18	.02
Sesame meal 45	45	3.00	7.2	90	2.2	.33	.02
Lupin meal	30	5.0	13.0	90	.22	.20	.04
Peas	24	2.0	6.0	90	.17	.16	.01

Adapted from: RPAN Nutrition Guide, 1993

NRC, 1994

Novus Raw Material Compendium, 1994.

大豆粕の加工では、原料大豆粕中の栄養阻害因子を分解するために加熱処理が行われる。この栄養阻害因子が非活性化されないと、動物の栄養素利用率が低下する。主な因子はプロテアーゼインヒビター（消化酵素であるトリプシンおよびキモトリプシンに結合し、阻害する）である。コングリシニンや β -コングリシニンなどのアレルギー誘発性蛋白質も重要であり、これらは子豚などの若齢動物において利用性を低下させ、下痢を増加させる。加工が不十分であった場合に大豆粕中およびその他の蛋白質飼料原料中に存在する栄養阻害因子を表 2 に示す。

表 2. Anti-Nutritional Factors of Protein Meals

Ingredients	Anti-nutritional factor
Soybean meal	Protease inhibitors*, allergens*, oligosaccharides, phytin, lipoxygenase*, lectins*, saponin
Rapeseed meal	Erucic acid, glucosinolates, sinapine, tannins, pectins, oligosaccharides
Canola meal	Glucosinolates, sinapine, pectins, oligosaccharides
Cottonseed meal	Gossypol, cyclopropenoid fatty acids, tannins
Corn gluten meal	Mycotoxins (high xanthophyll)
Sunflower meal	Chlorogenic acid, fiber
Fish meal	Oxidized fat, high minerals, biogenic amines
Peanut meal	Mycotoxins, tannins, oligosaccharides, protease inhibitors*, lectins
Copra meal	Fiber, mannans
Palm Kernel meal	Fiber and sharp shells, galactomannans
Sesame meal	Phytate, oxalate
Lupin meal	Quinolizidine alkaloids, pectins, oligosaccharides, high manganese, saponin
Peas	Protease inhibitors, tannins, lipoxygenase

* destroyed during proper heat processing

大豆粕はリジン、トリプトファンおよびスレオニンを豊富に含むが、メチオニンは不足している（表 3）。合成メチオニンを僅かに添加し、トウモロコシ蛋白質と大豆蛋白質を配合するだけで家禽にとってはアミノ酸バランスのとれた飼料ができる。適切な加工を行った大豆粕の場合、リジンおよびメチオニンの消化率は 89%以上である（表 4）。公表されている情報は少ないが、大豆粕の総アミノ酸含量の差は、魚粕、カノーラ（菜種）粕およびその他の蛋白質飼料原料よりも少ないと考えられる（表 5）。

表 3. Total Content of Selected Amino Acids of Protein Meals

	Lys	Met	Cys	Arg	Trp	Thr
Soybean meal 44	2.70	.63	.70	3.43	.63	1.70
Soybean ml, dehulled	3.07	.68	.69	3.66	.66	1.94
Rapeseed meal, solvent	2.03	.75	.89	2.13	.43	1.53
Canola meal	2.06	.78	.99	2.38	.42	1.63
Cottonseed meal,	1.70	.76	1.05	4.83	.62	1.66
solvent	1.07	1.51	1.07	2.00	.31	2.13
Corn gluten meal 60						
Sunflower meal 34	1.18	.72	.55	2.68	.45	1.21
Fishmeal 60	4.49	1.51	.54	3.47	.62	2.42
Peanut meal, solvent	1.70	.50	.62	5.68	.50	1.28
Copra meal 21	.73	.41	.34	2.79	.15	.68
Palm kernel meal	.72	.30	.37	2.61	.17	.56
Sesame meal 45	1.10	1.27	1.01	5.34	.61	1.53
Lupin meal	1.47	0.21	.61	3.00	.22	1.13
Peas	1.67	0.22	.34	2.23	.20	.83

Adapted from: RPAN Nutrition Guide, 1993
 NRC, 1994
 Novus Raw Material Compendium, 1994.

表 4. Digestibility Coefficients of Selected Amino Acids in Protein Meals.

Ingredient	Lysine		Methionine		Cystine		Arginine		Threonine	
	Poultry	Swine	Poultry	Swine	Poultry	Swine	Poultry	Swine	Poultry	Swine
Soybean meal 44	90	85	91	86	82	76	87	90	87	78
Soybean ml, dehulled	92	86	94	87	92	77	92	90	92	77
Rapeseed meal, solvent	80	73	89	84	75	75	91	82	78	69
Canola meal	73	71	90	86	71	75	90	80	76	67
Cottonseed meal, solvent	67	82	73	84	73	73	87	88	71	78
Corn gluten meal 60	88	73	97	90	86	88	96	85	92	80
Sunflower meal 34	84	76	93	87	78	74	93	91	85	75
Fishmeal 60	88	91	92	91	73	78	92	91	89	88
Peanut meal, solvent	83	82	88	84	78	78	84	95	82	77
Copra meal 21	58	50	83	80	48	54	85	84	58	52
Sesame meal 45	88	72	94	88	82	83	92	94	87	71
Lupin meal	92	66	86	54	88	70	96	88	91	69
Peas	87	82	89	77	78	62	89	86	88	71

Poultry: True digestibility estimates

Swine: Apparent ileal digestibility estimates.

Source: NRC, 1994
 RPAN - Nutrition Guide, 1989

表 5. Variation in Nutrient Levels of Soybean Meal, Fish Meal, Rapeseed Meal and Canola Meal.

Ingredients	%	Protein	Mois	Fat	Fiber	Ash	Lys	Arg	Met	Cys	Trp	Thr
SBM w/hulls (22 samples)	Avg	44.0	11.7	2.5	5.2	6.0	2.64	3.28	.60	.67	.61	1.66
	CV	2.1	6.4	73.5	10.7	11.3	10.9	4.4	10.1	11.0	6.9	10.3
SBM dehulled (15 samples)	Avg	48.4	11.0	1.3	2.9	6.7	3.20	3.70	.70	.73	.69	1.96
	CV	2.1	14.4	28.6	15.9	7.9	5.1	4.2	3.5	3.6	4.6	4.7
Fishmeal (37 samples)	Avg	60.2	8.8	8.9	.8	20.2	4.04	3.67	1.61	.81	.59	2.41
	CV	2.7	21.4	29.4	88.7	13.4	17.9	9.5	18.0	51.6	21.1	9.7
Rapeseed ml, China (5 samples)	Avg	37.4	10.1	2.3	10.7	9.1	1.69	2.09	.73	1.01	.44	1.48
	CV	3.7	5.0	31.9	20.1	25.9	14.0	7.2	8.2	5.9	4.5	4.1
Rapeseed ml, India (7 samples)	Avg	38.0	9.1	0.72	8.4	8.1	1.99	2.53	.69	1.05	1.05	1.5
	CV	1.3	6.6	18.1	7.4	3.7	4.0	3.2	1.4	2.9	1.9	2.0
Canola (28 samples)	Avg	36.3	9.4	3.7	10.7	6.7	2.14	2.31	.75	.94	.48	1.56
	CV	3.1	17.6	26.9	5.8	3.5	3.2	3.4	4.1	6.2	9.7	2.6

Assays conducted by Novus International

大豆粕のエネルギーレベルは、残留油脂、繊維含量および灰分レベルによって異なる。家禽における代謝エネルギーレベルは非脱皮粕に比べて脱皮粕で 120~250 kcal/kg 高い (Novus, 1994; Rhone Poulenc, 1993)。値を表 6 に示す。

表 6. Suggested Energy Levels of Protein Meals for Monogastrics.

	Poultry ME (kcal/kg)	Swine ME (kcal/kg)	Swine DE (kcal/kg)
Soybean meal 44	2325	3025	3410
Soybean ml, dehulled	2525	3250	3580
Rapeseed meal, solvent	1790	2710	2940
Canola meal	2000	3025	3285
Cottonseed meal, solvent	1570	2810	3090
Corn gluten meal 60	3500	4040	4500
Sunflower meal 34	1300	1810	2060
Fishmeal 60	3040	3560	3990
Peanut meal, solvent	2180	3200	3550
Copra meal 21	1280	2700	2820
Palm kernel meal	1340	2620	2720
Sesame meal 45	1930	2770	3090
Lupin meal	2500	3350	3620
Peas	2650	3420	3600

Adapted from: RPAN Nutrition Guide, 1993
Novus Raw Material Compendium, 1994

適正に加工された大豆粕は優れた原料であり、あらゆる動物に対し、蛋白質添加物として単独で無制限に使用することができる（ただし、子豚用飼料（最大 20～25%）とエビ用飼料（15～20%）は例外）。表 7 に、各蛋白質飼料原料の推奨最大含有率を示す。

表 7. Suggested Use Restrictions for Protein Meals in Poultry and Swine Diets.

Ingredients	Suggested maximum limitation (%)	Comments
Soybean meal	no limitation	Limit to 20% in creep piglet feeds unless supplemented with protease enzyme.
Rapeseed meal	2 - 4 %	Depends on glucosinolate level. Swine are more sensitive than poultry.
Canola	9 - 12 %	Depends on glucosinolate level and sulfur content of feed.
Cottonseed meal	2 - 6 %	May result in egg discoloration. Depends on gossypol level and fat content.
Corn gluten meal	10 %	Self limiting by price; lysine level and desired pigmentation. Possible mycotoxin contamination. Feces may turn yellow.
Sunflower meal	10-15 %	Energy limiting. Broilers are more sensitive than young pigs.
Fish meal	2 - 10 %	High variability in nutrient content, high minerals. May be oxidized and contain biogenic amines.
Peanut meal	5 - 10 %	Avoid if contaminated with mold, mycotoxins or rancid fat.
Copra meal	5 -15 %	Growing/finishing swine are more tolerant than broilers. Deficient in lysine and threonine.
Palm Kernel meal	1 - 10 %	Interferes with pellet quality, unpalatable. Poor amino acid digestibility. High NSP and residual shells.
Sesame meal	5 - 10%	May cause soft fat in swine carcasses. Contains phytates and oxalates. Protein may be heat damaged. Unpalatable.
Lupin meal	4 - 20%	Depends on alkaloid content and hulls content. Swine tolerant more tolerant than broilers.
Peas	10 - 20%	Feed must contain adequate methionine and available lysine. Swine more tolerant than poultry. May contain protease inhibitors and lectins.

菜種粕およびカノーラ粕

蛋白質飼料原料のうち、菜種粕の生産量は大豆粕に続いて2位である。Oilworld (2002) の推定に基づく2002年の世界での総生産量は20.5百万トンである。主な生産国は中国、インド、ドイツ、カナダおよび日本である。

中国、インドならびに一部のヨーロッパ産の菜種粕には高レベルのグルコシノレイト、エルシン酸ならびにその他の栄養阻害因子が含まれる。1970年代中期にカナダで開発された新種では、グルコシノレイト (30 μ M 未満) およびエルシン酸 (2% 未満) の含有レベルがきわめて低い。栄養面で優れたこの「double zero」種は、カノーラとして知られている。カノーラは広く普及しつつあり、米国、ヨーロッパおよびオーストラリアでも栽培されている。

菜種 (rapeseed) 粕が濃い褐色をしているのに対し、カノーラ粕はより黄色味を帯びている。黄色のものが *Brassica campestris* 由来であるのに対し、色の濃いものは *B. napus* 由来である。カノーラ粕および菜種粕中のグルコシノレイト含有量を表8に示す。

表 8. Glucosinolate Content of Canola and Rapeseed Meal.

Source	Level μ mol/g
Canola (Canola Council)	11
Canola (Bell and Keith)	21 (7-30)
<i>Brassica napus</i>	72
<i>Brassica campestris</i>	53
Indian rapeseed meal	99 - 144

Signs of glucosinolate intoxication:

Leg problems hemorrhagic livers in hens, poor performance, fishy smell in eggs and meat (esp. in brown egg layers).

No effect level: 1 to 5 μ mol/g in finished feed.

菜種粕の品質には、菜種の品種と油脂の抽出方法によって差が生じる。油脂抽出最適温度は100~105°Cで15~20分である。この抽出過程で、ミロシナーゼ (グルコシノレイトを、甲状腺腫誘発性を有し辛味のある oxazolidone-2-thione およびイソチオシアン酸に転化する酵素) を分解する。加工時の温度が高すぎると必須アミノ酸の消化率が低下する。

カノーラ粕および菜種粕の蛋白質量（全窒素量）およびエネルギー含量は大豆粕に比べて低い。繊維含量が高くエネルギー価が低いのは、ペントサンポリマー（消化率の低い澱粉以外のポリサッカライド）が存在するためである。カノーラおよび菜種は繊維含量が高く、エネルギー価が低いことから、ブロイラー用高エネルギー・高蛋白質飼料に使用することは難しい。菜種およびカノーラは大豆粕に比べてカルシウムとリンを豊富に含むが、リンの約 65%はプチン酸であるため、利用することができない。カノーラ粕および菜種粕は高濃度の硫黄を含むため（大豆粕の 0.4%に対して 1.1%）、脚の異常を惹起する可能性がある（Summers, 1989）。したがって、カノーラ粕および／または菜種粕を使用する場合には、飼料および水中の硫黄レベルを測定する必要がある。総硫黄量ならびに硫黄摂取量（飼料中の硫黄元素として表記）は 0.4%未満とするべきである。

カノーラ粕および菜種粕のアミノ酸組成バランスは比較的良いが、リジンは不足している。アミノ酸消化率は、大豆粕よりも低い（表 4）。したがって、豚および家禽用飼料に菜種粕を使用する場合は、配合飼料のアミノ酸バランスと消化率に特に注意する必要がある。

菜種粕はグルコシノレートを含むため、しばしば成長率の低下と飼料嗜好性の低下の原因となる。レイヤー用飼料中含量が 5%を超える場合は、卵黄が生臭くなるかあるいは風味が低下する。これは、卵黄中へのトリメチルアミンの蓄積を促進するコリンエステル（シナピン）に起因するものである。含量が 10%を超えると、出血性脂肪肝の発現とそれに伴う死亡率の増加がみられる。ブロイラーでは、菜種粕の使用による肉の風味の低下が示唆されている。ブロイラー飼料中含量が 30%を越えた場合、脚部異常の発現が報告されている。飼料中の菜種粕含量が 5%を超えると、特に子豚および育成豚では胸腺、腎臓および肝臓が肥大する場合がある。菜種粕のかわりにカノーラ粕を使用することにより、上記の問題点（シナピン関連物質）はある程度解決される。Canola Council of Canada が推奨する最大含量は、幼雛/中雛/大雛：20%、産卵鶏/種鶏：10%、子豚：8%、育成豚：12%、肥育豚：18%である。

綿実粕

油種子粕のうち、綿実粕の生産量は 3 番目に多い。2002 年の総生産量は 16.0 百万トンであった。主な生産国は中国、インドおよび米国である。綿実の収穫物のうち、粕は 50%、皮は 22%、油脂は 16%である。大豆粕と比較した場合、綿実粕の蛋白質含量はやや低い（41%）が、繊維含量ははるかに高い（11~13%）。加工法の違いにより粕中の残留油脂量が異なり、これによりエネルギー含量も変化する。アミノ酸に関しては、もっとも重要な必須アミノ酸のうち、リジン、メチオニン、スレオニンおよびトリプトファン含量が少ない。これらのアミノ酸の消化率は大豆粕よりも低い。家禽用飼料に綿実粕を使用する場合は、塩酸 L-リジンおよび DL-メチオニンの添加が必要である。

綿実粕は有害物質であるゴシポールを含むため、単胃動物用飼料に用いることはできない。遊離ゴシポールは心筋および肝臓を傷害し、心臓の浮腫、呼吸困難、虚弱および食欲低下を惹起する。飼料中にゴシポールが存在すると、卵内でゴシポールと鉄が化学反応

をおこし、オリーブグリーンのお卵黄ができる。綿実にはシクロプロペン脂肪酸（マルバル酸および sterculic acid）も含む。そのため、レイヤーに与えた場合には卵白がピンク色に変色し、また肝臓代謝の変化によるアフラトキシンの毒性増強が生じる。

ゴシポールのない綿実が開発されており、家禽および豚用飼料にはこちらが適している。しかしながら、この品種は綿生産能力が低いため、入荷量は限られている。従来の綿実粕のブロイラーおよびレイヤー飼料中含量は2%未満とすべきであり、アフラトキシンが問題となる場合にはアヒル用には使用すべきでない。

トウモロコシグルテン粕および飼料

2002年の世界のトウモロコシグルテン粕生産量は推定3.1百万トン、同期のトウモロコシグルテン飼料の生産量は14百万トン以上である。トウモロコシグルテン飼料および粕は、トウモロコシの湿式粉砕により生産される。トウモロコシと水のスラリーを酵素と薬品で処理し、澱粉、フルクトース、コーンシロップおよびコーンオイルを生産する。残留ぬか含量により、2種類の粕が生産される。トウモロコシグルテン飼料の蛋白質含量は20~25%、粗繊維含量は7~10%である。同原料はレイヤー用飼料としても有用（含有量25%未満であれば悪影響はない）であるが、主に反芻動物用飼料に用いられている。トウモロコシグルテン粕の蛋白質含量は40~60%であり、メチオニンおよびキサントフィルを豊富に含むが、リジンが欠乏している。より蛋白質含量の高い原料は、アミノ酸補給および黄色色素源として家禽用飼料に広く用いられている。ただ、高価格であるためにその利用性には限度がある。トウモロコシグルテン粕は原料中に含まれる残留アフラトキシンの汚染と貯蔵中のカビ発生が問題となる。糞の黄色化を防ぐため、豚飼料中のトウモロコシグルテン粕含量は2%以下に制限される場合がある。家禽用としては、価格とリジン含量の低さが問題となる。

ヒマワリ粕

2002年の世界のヒマワリ粕生産量は推定8.9百万トンであった。主な生産国は旧ソ連諸国、EEC、アルゼンチン、米国および中国である。

ヒマワリ粕の栄養成分は、種の品質と油脂の抽出方法により異なる。搾油機で生産されたヒマワリ粕では、溶媒抽出法によって生産されたものに比べて残留油脂が多く、エネルギー含量も高い。品質は油脂抽出前に脱皮を行ったか否かによっても異なる。脱皮ヒマワリ粕の蛋白質含量は40%以上、粗繊維含量は13%以下である。部分脱皮粕の蛋白質含量は30~35%、脱皮を行わなかった粕の粗蛋白質含量は25%である。部分脱皮または非脱皮ヒマワリ粕の粗繊維含量は20%以上であり、このことが家禽および豚の飼料に用いられない主な理由である。脱皮レベルによって品質に大きな差があることが、ヒマワリ粕使用の制限要因となっている。さらに、抽出温度がヒマワリ粕の品質に大きく影響する。リジンや他の有用なアミノ酸の分解を防ぐためには低温で抽出されるほうが望ましい。

ヒマワリ粕は高レベルのクロロゲン酸（トリプシン、キモトリプシン、アミラーゼ、リパーゼなどの消化酵素活性を阻害するタンニン様物質）を含有する（Cheeke and Shull,

1985)。クロロゲン酸は濃縮あるいは加水分解されないため、その含量がヒマワリ粕中に合計3~3.5%含まれるフェノール化合物の1%以上を占めていてもタンニン測定法では検出されない。クロロゲン酸の影響を抑えるためにはメチオニンおよびコリンの添加が必要である。クロロゲン酸はオルト-キノン類（植物性酵素ポリフェノールオキシダーゼの作用を介して生じる）の前駆体でもある。これらの物質は抽出中または腸内で重合リジンと反応する。したがって、飼料としてヒマワリ粕を用いる場合は、メチオニンとリジンの添加量を増やす必要がある。

大豆粕と異なり、ヒマワリ粕中にメチオニンは豊富であるが、リジンおよびスレオニンは不足している。したがって、大豆粕とヒマワリ粕を一緒に使用することにより飼料中のアミノ酸バランスは改善する。ヒマワリ粕の割合が多いときには、リジンの添加が必要となる。ヒマワリ粕のアミノ酸消化率は大豆粕に比べて全般的に低い。ヒマワリ粕で大豆粕または魚粕を部分的に代替する場合は、この点を考慮する必要がある。

ヒマワリ粕は繊維が多くエネルギー含量が低いことから、高栄養濃厚飼料への使用は推奨されない。ブロイラーおよびレイヤー用飼料では、合成塩酸L-リジンを添加することにより、最大1/2の大豆粕を高品質のヒマワリ粕で代替することができる。しかしながら、部分脱皮ヒマワリ粕を使用すると、繊維量の増加とエネルギー量の減少により摂餌効率は著明に低下すると考えられる。ブロイラー用飼料では、高品質の脱皮ヒマワリ粕のみが推奨される。

魚粕

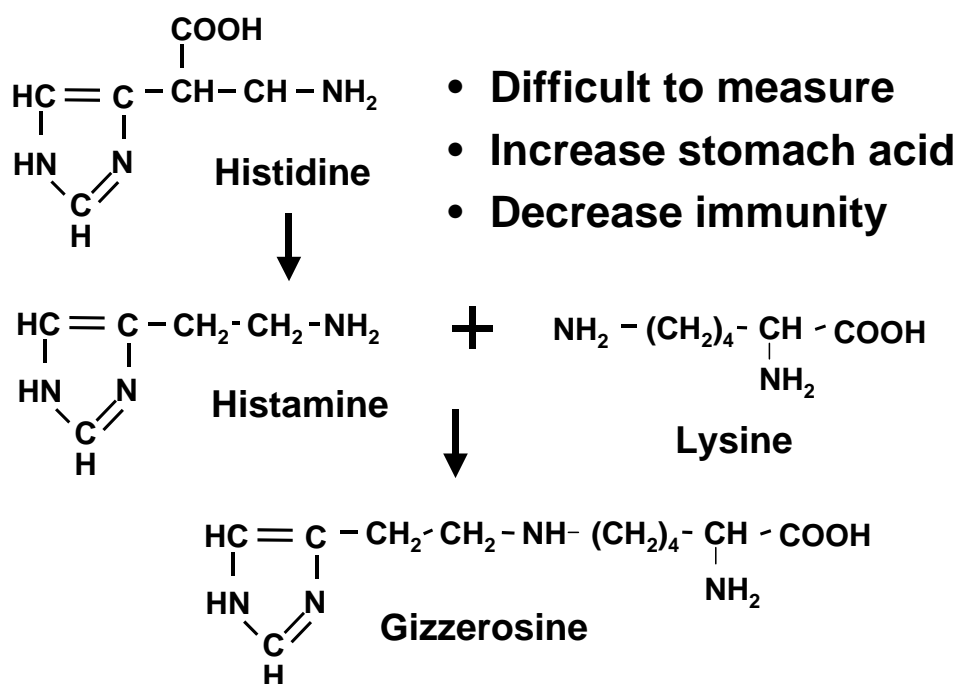
世界の年間漁獲量の約1/3が動物飼料用魚粕の生産に充てられている。2002年の世界の魚粕生産量は推定6.3百万トンであり、2000年の7.2百万トンに比べて著明に減少している。漁獲量は1年ごとに変動し、長期的には減少傾向にある。主な生産国は米国、ペルー、チリおよびデンマークである。魚粕の生産では多くの場合、クッキング、圧縮による油脂と水分の除去、圧縮物の乾燥が行われる。除去した液体は、濃縮後に粕に戻されることもある。その他にも多くの加工法がある。白身魚のように脂肪が少ない魚では、圧縮過程を省く施設も存在する（Barlow and Windsor, 1984）。地方産の魚粕では浜で日干した魚が用いられることもあり、缶詰工場の廃棄物中には乾燥/粉砕されたマグロなどの複数の種類の魚の頭部、尾およびあらが含まれている場合がある。加工法、原料、クッキング法、乾燥、粉砕および貯蔵法の違いにより、魚粕の品質と栄養成分にはきわめて大きな差ができる。

魚粕の多くは褐色の粉であり、高レベルの蛋白質、脂肪およびミネラルを含有する。油脂を抽出していない魚粕の蛋白質含量は50~72%、脂肪含量は2~12%以上、塩分含有量は1.3~4%である。一般的に、魚粕のリジン、アミノ酸および芳香族アミノ酸含量は大豆粕よりも高いが、サンプルによって大きな差がある（表5）。魚粕中の脂肪酸組成は使用した魚の種類によって異なる。 ω -3系脂肪酸含量がもっとも多いのはイワシ粕で、以下、白身魚、カタクチイワシの順である。魚粕中の脂肪酸は酸化されやすく、これによ

り有毒なフリーラジカルが産生され、エネルギー含量が減少する。酸化は貯蔵中の温度上昇の原因ともなり、これによりアミノ酸消化率の低下と、時には自然発火もおきる。

魚粕は生体アミンによる汚染も受けやすい。ジゼロシン、ヒスタミンなどの物質はすでに腐敗した魚の加熱中に生じる。これらの物質は胃酸分泌を過剰にし、家禽の筋胃糜爛およびその他の障害の原因となる (Okazaki et al, 1983)。魚粕中での生体アミン産生の生化学的機序を図 2 に示す。

図 2. Formation of Biogenic Amines



高品質の魚粕はアミノ酸バランスの優れた蛋白質、エネルギー、有効態リンおよび微量栄養素（セレンウム、ビタミン B12）の優れた供給源であり、それに伴い高価となる。魚粕の嗜好性は高く、通常、アミノ酸要求量をもっとも高い前期飼料に用いられる。屠殺前は、魚粕中のアミンによって肉が魚臭くなるのを避けるため、魚粕添加飼料は与えるべきではない。レイヤー飼料では魚粕含量が 1~2% を超えると卵が魚臭くなる。育成期ブロイラー用飼料中の魚粕含量は、リンやナトリウムなどのミネラルの過剰摂取を避けるため、品質と組成に基づき 2~10% に抑えるべきである。ミネラル分析が推奨される。

落花生粕

落花生粕は、落花生油抽出に伴う副産物として容易に利用できる蛋白質源である。2002 年の世界総生産量は推定 7.8 百万トンである。主な生産国は中国とインドである。

油脂抽出法の違いにより、落花生粕の栄養成分には大きな差がある。皮の含有量が、繊維ならびにエネルギー含量に直接影響する。油脂抽出後の落花生粕の脂肪含有率は一般的に 1.5% 以下である。搾油機で生産された落花生粕の脂肪含量は油脂抽出の程度により変化する。残留油脂は容易に酸化されるため、熱帯の高温多湿環境下での長期貯蔵では問題となる。これにより嗜好性が低下、毒性が増大、エネルギー価が低下するため、落花生粕の品質は著しく低下する。

大豆粕に比べて、落花生粕ではメチオニン、リジンおよびトリプトファンが少なく、アミノ酸バランスが悪い。さらに、これらのアミノ酸の吸収率も低い（表 4）。したがって、落花生粕を使用する場合には、飼料に結晶アミノ酸を添加する必要がある。

多くのマメ科種子と同様に、落花生はトリプシンインヒビターとプロテアーゼインヒビターを含有する。これらの栄養阻害因子を分解するための適切な処理が必要である。落花生粕で問題となるその他の成分としては、真菌である *Aspergillus flavus*（落花生の収穫前、収穫中および収穫後に感染する）が産生するアフラトキシンが挙げられる。カモやアヒルの雛、七面鳥およびブロイラーの雛はアフラトキシンに対してきわめて敏感である。このマイコトキシンは肝臓、腎臓および胸筋の出血を誘発し、免疫能を低下させる。アフラトキシン B1 レベルが 250 ppb 以上になるとこれらの影響が認められる。ヒトの健康へのアフラトキシンの影響も広く知られるようになり、現在、多くの国で飼料原料および飼料中の許容限度量が設定されている。一例として、米国 FDA が決めた飼料の州間積み出しにおける許容限度量は 100 ppb である。マイコトキシン汚染の心配があるため、一般に若齢家禽用飼料としての落花生粕の使用は推奨されない。高品質の落花生粕であれば、ブロイラーで最大 6%、レイヤーで最大 9% の範囲で使用しても問題はない。

コブラ粕

コブラは、天日干しまたは乾燥機で乾燥させたココナツの実から作られる。主な生産国はフィリピンとインドネシアであり、これらの国で 2002 年の世界総生産量 1.8 百万トンの約 2/3 を生産している。コブラからは、重量の 30~40% のココナツ油が抽出される。この残滓（乾燥した固まり）を粉にしてコブラ粕が作られる。搾油機で搾られたコブラ残滓の残留油脂含量は約 8% である。市場の高い需要に応じて、この残滓からさらに溶媒抽出によって搾油が行われることもある。コブラ粕の問題点として、油脂含量の差が大きいこと、カビによる汚染ならびに難消化性の澱粉以外のポリサッカライドを多く含むことが挙げられる。

売買されるコブラ粕の残留油脂含量は通常 9~16% である。しかしながら、小型の搾油機や貧弱な装置で搾油が行われたコブラ粕での残留油脂含量は 20% 以上、溶媒抽出したコブラ粕の油脂含量は 2% 以下である。残留油脂含量の高いコブラ粕は、豚および家禽の貴重なエネルギー源となる。ココナツオイルの主な成分は中鎖飽和脂肪酸（C12:0 が 50%、C14:0 が 15%）であり、これらは容易に消化され、エネルギー含量も高い。

コブラの乾燥が不十分で水分が多く、貯蔵環境も劣悪な場合、カビによる汚染が増加する。コブラはマイコトキシン産生の理想的な培地である。また、水分が多く貯蔵温度が

高いと残留油脂が酸化しやすく、コブラ粕の嗜好性が損なわれる。コブラ粕は繊維含量が多いため、家禽用飼料への使用は制限すべきである。繊維中に多く含まれるポリマー（マンナン）は消化性が低く、家禽や豚ではしばしば下痢を誘発する。

コブラ粕の蛋白質含量は19～23%であり、大豆粕に比べてはるかに低い。蛋白質の品質は、アミノ酸バランスおよび消化率ともに低い（表4）。加工中の温度が高すぎると、アミノ酸消化率はさらに低下すると考えられる。コブラ粕のアミノ酸組成は、他の蛋白質飼料原料と比較しても劣っている。リジン、メチオニン、スレオニン、ヒスチジンといった重要な必須アミノ酸は不足しているが、アルギニンは豊富である。過剰なアルギニンはリジンの利用性を低下させるため、コブラ粕を多く与えると、豚および家禽の成長に悪影響があると考えられる。したがって、コブラ粕を与える際は、リジンを添加してその不足分を補い、アルギニンによる阻害を軽減することが重要と考えられる。高品質のコブラ粕の場合、家禽用飼料中の含有量は通常3～4%である。

油ヤシ粕

油ヤシ粕は搾油後の油ヤシ残滓であり、主な生産国はマレーシア、インドネシア、ナイジェリアおよびタイである。2002年の世界総生産量は推定3.5百万トンである。

油ヤシは堅い殻に覆われており、油脂の抽出前には殻を取り除き、蒸気で蒸される。油ヤシ粕の品質は殻の除去の状態に大きく影響される。一般的には搾油機が用いられており、その際の油ヤシ粕中の残留油脂含量は約6%である。溶媒抽出を行った場合の残留油脂含量は1～2%である。油ヤシ粕の蛋白質含量は16～18%であり、すべての油種子粕中でもっとも低い。殻と繊維の除去が不十分であると、蛋白質含量は13%まで減少し、繊維含量は20%以上となる。繊維含量が高いため、特に家禽においては油ヤシ粕のエネルギー含量は低い。油ヤシ粕中の繊維の半分以上は中性デタージェント繊維であり、ガラクトマンナン（ β -(1,4)-D-マンナンなど）を高レベルで含有する（Daud and Jarvis, 1992）。飼料中に酵素を添加することによって油ヤシ粕の栄養価の改善が可能である。

落花生粕やコブラ粕と同様にリジン、メチオニンおよびトリプトファンが不足しており、油ヤシ粕のアミノ酸組成は、アミノ酸バランスおよび消化率ともに低い。家禽におけるリジンとメチオニンの消化率は、大豆粕の90%に対し、59%とされている（表4）。他の必須アミノ酸の消化率も同様に低い。アミノ酸消化率の低さは、炭水化物複合体への蛋白質の結合ならびに油脂抽出過程での高温に起因する。

繊維含量が多く、アミノ酸消化率が低いことから、油ヤシ粕が最も適しているのは反芻動物用飼料と考えられる。蛋白質含量が低く、繊維含量が多く、エネルギー価が低いいため、家禽用飼料としての油ヤシ粕の使用は制限すべきと考えられる。油ヤシ粕中の殻の混入は、家禽の腸壁の傷害の原因になるとの報告がある。

ゴマ粕

ゴマは、アジアで多く生産されているマイナーな油科種子作物である。2002年の世界総生産量は推定0.93百万トン、主な生産国はインド、中国、スーダン、ビルマおよびメ

キシコである。高品質のゴマ粕の栄養成分は大豆粕に匹敵するほど優れるが、品種、脱皮の状態および加工法によって差がある。ゴマでは皮が全体の15~29%を占める。皮は機械または手作業で除去される。ゴマの収穫も多くの場合手作業で行われる。皮を除去することにより繊維含量は約50%減少し、ゴマ粕の蛋白質含量と消化率ならびに嗜好性が向上する。搾油効率を上げるために皮がついたまま粉にされることがあるが、これにより得られたゴマ粕では栄養面で品質が低下する。蛋白質含量は品種により差があり41~58%である。搾油機を用いた場合のゴマ粕の蛋白質含量は平均40%、脂肪含量は5%である。溶媒抽出を行った場合のゴマ粕の蛋白質含量は42~45%、脂肪含量は3%未満である。エネルギー含量は大豆粕よりも低い。これは灰分(10~12%)が多いためと考えられる。

ゴマ粕はメチオニン、シスチンおよびトリプトファンを豊富に含むが、リジンおよびスレオニンはきわめて少ない。ゴマ粕のアミノ酸組成は、他の油種子粕(特に大豆粕)の蛋白質補充用として有用である。試験において、大豆粕/ゴマ粕比を2:1とすることで鶏の成長が改善したと報告されている。ゴマ中の蛋白質の約80%が消化可能である。加工または粉ひき中に長時間加熱されるとアミノ酸の利用率は著しく低下する。高温でゴマを加工するとシスチンが破壊され、含硫アミノ酸不足となる。

ゴマは高レベルのシュウ酸(35 mg/100 g)およびフィチン酸(5%)を含有する。これらの栄養阻害因子は赤ゴマに比べて黒ゴマで多い。シュウ酸とフィチン酸はミネラル代謝を阻害するため、カルシウム、リン、マグネシウム、亜鉛および鉄の利用率が低下する。さらに、シュウ酸は腎臓疾患を惹起し、その苦味によって嗜好性を低下させる。脱皮によってシュウ酸は除去されるが、フィチン酸はほとんど変化しない。フィチン酸は活性型フィターゼを含む飼料用酵素の使用またはフィターゼを含有する非加工小麦の使用によって分解される。含硫アミノ酸および必須脂肪酸を多く含むゴマ粕は家禽用飼料として広く使用されている。リジン含量が低く、リジンの消化性が低いため、合成リジンの添加が必要である。脱皮粕を用いることにより、嗜好性の問題は解消すると考えられる。

ルーピン粕

ルーピンは主にオーストラリア、カナダならびにヨーロッパの涼しい地方で栽培されている。栄養および栄養阻害因子の含量には大きな差がある。アルカロイドの少ない品種への改良とオーストラリア西部での栽培地拡大により、近年ではアジアでも入手可能となっている。

いくつかの条件が満たされれば、ルーピン粕は比較的良質な蛋白質源であり、飼料用としての使用も可能である。ルーピン粕は、キノリジンアルカロイド含量が低い(0.03%未満)種子から生産すべきである。これらのアルカロイドは神経症状を誘発し、苦味により嗜好性を低下させる。品種によりアルカロイド含量には差がある。甘ルーピンはアルカロイドが少ないが、苦味の多い品種との交雑がおこりやすい。難消化性の皮の混入によるエネルギー低下を防ぐためには、ルーピン粕は脱皮後の種子から生産する。マンガンは脂肪の酸化を促進し、直接的な毒性も有する(Van Kempen and Jansmen, 1994)ことから、マンガンを多く含む(6900 ppm)品種については、注意が必要である。ルーピンはまた、

高レベル（7～12%）で α -ガラクトシドも含有している。腸内に α -ガラクトシダーゼが存在しないと、オリゴサッカライドは小腸で消化されず、盲腸で発酵する。これらの糖が家禽の成長を抑制するか否かに関しては異なる知見が報告されている（Brenes, Trevino, Centeno and Yuste, 1989）。ルーピンの主なポリサッカライドは、D-ガラクトース、L-アラビノース、L-ラムノースおよびガラクトツロン酸からなる β -1-4 ガラクタンである（Van Kempen and Jansmen, 1994）。ルーピン種子の澱粉以外のポリサッカライドの含有率は約 37%、皮の NSP 含有率は約 50%である。これらの成分が wet sticky dropping や wet litter の原因となる場合がある。

西オーストラリア産のルーピン（*Lupinus angustifolius*）の代謝エネルギーは、家禽では大豆粕よりも低い。同様に、ルーピン粕中の蛋白質含有率（30%）も大豆粕より低い。ルーピンの蛋白質にはリジンとメチオニンが少ないが、スレオニンは豊富である。ルーピンのアミノ酸消化率は豚よりも家禽で高い（表 4）。

推奨される脱皮甘ルーピン粕含有率は、ブロイラー用前期飼料で 4%未満、ブロイラー用育成期飼料で 6%未満、ブロイラー用後期飼料およびレイヤー用飼料で 7%未満である。

エンドウ

涼しい地方で栽培されたサヤエンドウが飼料用として使用されることがある。エンドウは搾油用として粉碎されることはなく、通常、皮付きのまま粉にされる。生エンドウ中のトリプシンインヒビターレベルは丸大豆の約 1/10 であるため、エンドウでは加熱処理が行われず、このことが問題となることがある。エンドウはタンニンと、アミノ酸消化を抑制する他のポリフェノールも含有する。エンドウは低レベルのリポキシゲナーゼも含有する（Savage, 1989）。

エンドウ中のメチオニンはきわめて少ないが、エネルギー量は豚および家禽用として不足はない。栄養阻害因子の問題があるため、飼料中のエンドウ含有率は 10～20%に制限される。エンドウを使用する場合は、最終飼料のペレット化が容易と考えられる。

結論

飼料製造コストの節約のために、より安価な蛋白質飼料原料が使用されている。これまでに示したとおり、蛋白質飼料原料の適否の評価においては、元素分析および総アミノ酸分析だけでは不十分である。以下のポイントに従って、より広範な評価基準が必要である。

1. 産地と加工法

代替蛋白質源の品質のばらつきは大豆粕よりも大きいため、その産地と加工法を知っておくことが重要である。最適な栄養価のものを使用し、同時に各原料のデメリットについても知っておくことが、動物の成長を損なうことなくコスト節約を実現するポイントである。

2. アミノ酸バランスと消化率／利用率

これらの指標は、蛋白質効率あるいはアミノ酸利用率の決定において重要である。これに関する情報は未だ少ないが、過去の知見から推定することも可能と考えられる。

3. 栄養阻害因子

原料の産地と品質が特定されないと、この評価は困難である。分析費用は高価であり、分析ができる施設も少ない。新品種の開発、加工法の改良ならびに飼料用酵素の添加によって、将来的には栄養阻害因子の影響は少なくなるものと考えられる。

4. 畜産物への飼料原料の影響

これは、蛋白質飼料原料を含め、新規飼料原料の試験においてしばしば見落とされているポイントである。豚肉、鶏肉あるいは卵のにおい、色、味および風味が損なわれ、それらの市場性に悪影響が生じれば、その飼料の許容性は著しく低下する。また、最終産物の品質に関し、求められるものが国によって異なるという点も念頭に置くべきである。

REFERENCES

- Barlow, S.M and M.L. Windsor. 1984. Fishery By-Products. International Association of Fishmeal Manufacturers. Circular No 19, September, Hertfordshire, England.
- Bell, J.M. and M.O. Keith. 1991. A survey of variation in the chemical composition of commercial canola meal produced in Western Canadian crushing plants. *Can. J. Anim. Sci.* 71:469-480.
- Brenes, A., J. Trevino, C. Centeno and P. Yuste. 1989. The influence of alpha galactosides extracted from lupin seed on the digestion of dietary starch by growing chicks, In: *Recent Advances of Research In Antinutritional Factors in Legume Seeds. Proc. First Int. Workshop on ANF in Legumes, Wageningen, Netherlands.*
- Cheeke, P.R. and L.R. Shull. 1985. Tannins and polyphenolic compounds. In: *Natural Toxicants in Feeds and Poisonous Plants* pp 332-353. AVI Publishing Company, USA
- Daud, M.J. and M.C. Jarvis. 1992. Mannan of palm kernel. *Phytochemistry* 31:463.
- Mielke, 2002. *Oilworld Statistics 2002*. ISTA Mielke GmbH, Hamburg, Germany.
- Novus. 1994. Oil meal nutrient assays. *Raw Material Compendium, A Compilation of Worldwide Data Sources*, pp 319-321. Novus International, St. Louis, Missouri, USA.
- NRC. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry, 9th Edition*. National Academy Press, Washington DC.

- Okazaki, T., T. Noguchi, K. Igarashi, Y. Sakagami, H. Seto, K. Mori, H. Naito, T. Masumura, and M. Sugahara. 1983. Gizzerosine, a new toxic substance in fishmeal causes severe gizzard erosion in chicks. *Agric. Biol. Chem.* 47:2949-2952.
- Rademacher, M., W.C. Sauer and A.J.M. Jansman. 1999. Standardized ileal digestibility of amino acids in pigs. Degussa-Hüls, Frankfurt, Germany.
- Rhone Poulenc. 1993. Composition of Raw Materials In: Rhodimet Nutiriton, 2nd edition. Rhone Poulenc Animal Nutrition, Antony Cedex, France.
- Savage, G.P. 1989. Antinutritive factors in peas, In: Recent Advances of Research In Antinutritional Factors in Legume Seeds. Proc. First Int. Workshop on ANF in Legumes, Wageningen, Netherlands.
- Summers, J.D. 1989. Interaction of sulphur and calcium in Canola meal diets. 10th Project Report #90-16 Part B, Canola Council of Canada.
- Van Kempen, G.J.M and A.J.M. Jansman. 1994. Use of EC produced oil seeds in animal feeds. In: Recent Advances in Animal Nutrition, pp 31. Ed: P.C. Garnsworthy and D.J.A. Cole. University of Nottingham.