

豚への大豆ミール
Hans H Stein
イリノイ大学畜産学科

要約

大豆はアメリカにおいて重要な作物である。そして熱加工の大豆ミールは、アミノ酸の適切な組成と消化率によって養豚の最も基本的なタンパク質源となっている。体重 20kg 以上の豚であれば、穀類と大豆ミールによって配合飼料ができ、他のタンパク質原料は不要である。大豆ミールは脱皮（ハイプロ）大豆ミールあるいは通常の大豆ミールに分けられ、双方共に養豚飼料に用いることができる。良質の大豆ミールには 7 単位以下のトリプシン抑制因子と、0.20 以下のウレアーゼ活性がある。リジンの粗タンパク質比は 6.0%以上である。これらのパラメーターが合っていないと、予測している成績に満たない。

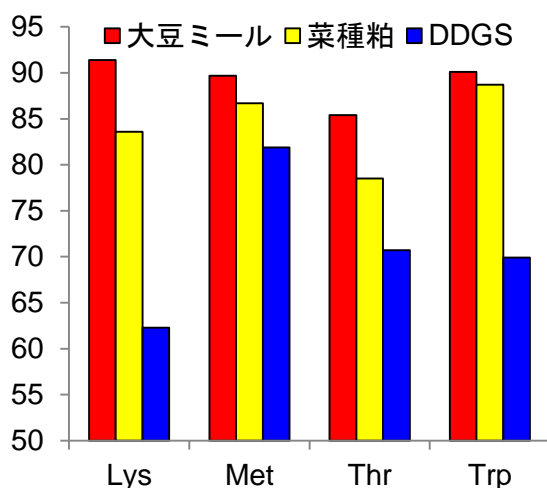
アミノ酸に加えて、大豆ミールはカルシウム、リン源として用いられる。微生物由来のフィターゼが飼料に添加されれば、大豆ミールのリンは十分に消化、吸収される。脱皮大豆ミールの代謝エネルギー(ME)はトウモロコシよりやや高く、現在生産されている大豆ミールの代謝エネルギーは、過去 15 年、20 年前に比べて高くなっている。

はじめに

大豆（学名：*Glycine max*）は、アメリカで 2010 年に 3500 万 ha の農地で栽培された。大豆の多くは搾油会社で処理され、脱脂大豆ミールが結果として出てくる。そして脱皮大豆ミールあるいは通常の大豆ミールとして家禽、豚、他の家畜に給餌される。2009 年にはアメリカで 2700 万トンの大豆ミールが家禽、家畜に給餌された。

生大豆にはトリプシン抑制因子というタンパク質消化酵素のトリプシンを不活化する非栄養因子が含まれている。トリプシンの非活性化によって、アミノ酸の消化率が悪くなり、生大豆を与えた豚の成長も減少する。この問題を防ぐために、大豆製品は豚に与える前にトリプシン抑制因子は

図 1. 主な原料のアミノ酸消化率



熱処理をし、不活化する必要がある。大豆搾油の最終工程で、脱脂大豆ミールは焙煎される。その結果、大豆ミール中のトリプシン抑制因子を不活化する。全脂大豆を給餌する時は、焙煎、エクストルーダー、あるいは何らかの熱処理をしてトリプシン抑制因子を不活化する必要がある。生大豆の平均トリプシン抑制因子の濃度は、35 トリプシン抑制単位であり、この値を 5 単位まで熱処理で下げる必要がある。トリプシン抑制因子濃度はウレアーゼ活性によっても予測できる。ウレアーゼ活性が 0.20 以下であればトリプシン抑制因子も不活化されており、大豆あるいは大豆ミールは適切な熱処理されていることの証明となる。

大豆ミールの栄養価値

大豆には約 35%の粗タンパク質と 19%の油脂が含まれている（表 1）。しかし、搾油後、殆どの油分は取り去られ、大豆ミールの油分は 2%以下となる。生大豆は搾油前に脱皮処理されるために、粗タンパク質 47.5%という脱皮大豆ミールの生産となる。もし搾油前に脱皮されない場合、あるいは後で豆皮を戻す場合は、通常の大豆ミールとなり、粗タンパク質は 43%となる。

タンパク質とアミノ酸

大豆中のタンパク質は、豚が要求するアミノ酸の素晴らしいバランスでなっている。大豆タンパク質は、他の植物タンパク質よりも豚にとっての不可欠（必須）アミノ酸のリジンとトリプトファンの濃度がある（表 2、

表 1. US 大豆、大豆ミールの栄養組成

項目	全脂大豆	CP44 大豆ミール	CP48 大豆ミール
乾物 (%)	90.7	88.7	89.6
粗タンパク質 (%)	35.4	43.3	47.8
粗脂肪 (%)	19.36	1.5	1.34
炭水化物 (%)	30.80	37.8	34.51
灰分 (%)	5.14	6.1	5.95

3)。他の必須アミノ酸であるトレオニン、イソロイシン、ヴァリンなども大豆ミールには相対的に多い。これらのアミノ酸は、トウモロコシ、マイロ、小麦、大麦でも制限アミノ酸となる。大豆ミールのアミノ酸は、このような穀類のアミノ酸量を補完し、豚の要求を満たす飼料設計を可能としている。

表 2. タンパク質の品質 (CP に対する割合)

項目	SBM, 48%	Corn	DDGS
CP, %	47.5	8.3	27.5
Lys	6.35	3.13	2.84
Met	1.41	2.05	2
Thr	3.89	3.49	3.85
Trp	1.37	0.72	0.76
Ile	4.55	3.37	3.67
Val	4.78	4.7	4.91

豚に給餌したタンパク質のアミノ酸消化率は標準回腸消化率によって特徴づけられる。大豆中の多くのアミノ酸の標準回腸消化率は、他の植物性タンパク質よりも優れているために、大豆ミールが飼料中に配合された時の飼料中アミノ酸の大部分は吸収される結果となる。大豆ミールのアミノ酸の消化率は、また、豚の糞中に排泄された窒素量を軽減している。脱皮大豆ミールのアミノ酸消化率は、通常の大豆ミールより良く、全脂大豆のアミノ酸消化率は脱皮大豆ミールよりも良い（図 2）。しかし、飼料中に大豆油を添加すると大豆ミールのアミノ酸消化率は上がる（図 3）。

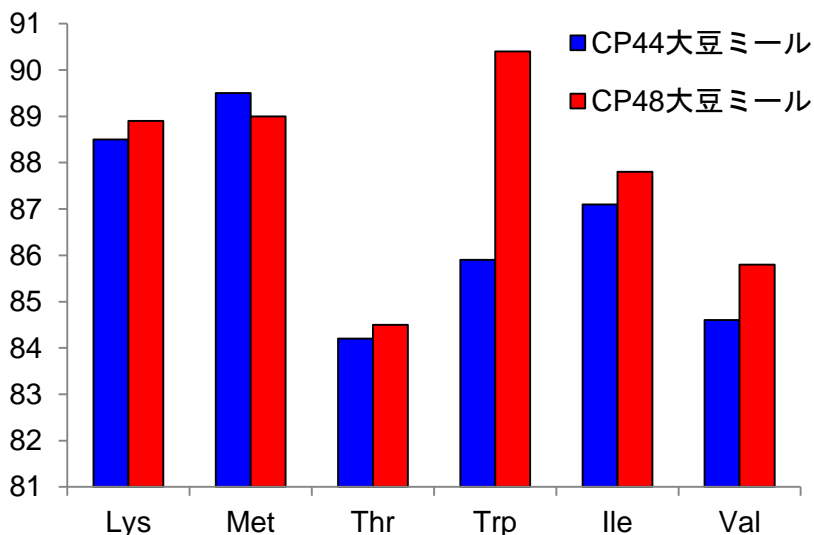
豚に与える飼料は、通常消化アミノ酸の理想比率に基づいて配合し、豚に与える飼料原料としてのタンパク質の有用性は、そのタンパク質源のアミノ酸の理想比率を計算することで特徴付けられる。それは、消化リジン量に対する各アミノ酸量の割合を求め、豚の要求量の比率と比較する。このような比較に基づいて、大豆タンパク質は消化アミノ酸のバランスが良いということになる。

大豆ミールの加熱処理はトリプシン抑制因子を不活化する必要があるが、過熱はリジンや他のアミノ酸の消化率を下げる。加熱はまた、消化率を下げるのみならず、リジンの量をも減少させる。特定の大豆ミールが過熱処理されているのを評価するのは、飼料中の粗タンパク質に対するリジン

表 3. 大豆（現物）の粗タンパク質、アミノ酸組成とアミノ酸消化率

項目	組成 (%)			標準回腸消化率 (SID, %)		
	全脂大豆	CP44 大豆ミール	CP48 大豆ミール	全脂大豆	CP44 大豆ミール	CP48 大豆ミール
CP	35.38	43.34	47.26	92.1	84.7	86.9
不可欠（必須）アミノ酸						
Arg	2.73	3.26	3.36	94.9	93.5	94.3
His	0.96	1.21	1.21	89.8	89.8	89.8
Ile	1.62	1.98	2.06	87.1	87.1	87.8
Leu	2.71	3.47	3.56	87.9	86.8	89.2
Lys	2.25	2.87	2.98	89.3	88.5	88.9
Met	0.55	0.65	0.68	88.6	89.5	89
Phe	1.81	2.26	2.19	89.4	87.4	88.2
Thr	1.41	1.78	1.87	84.7	84.2	84.5
Trp	0.42	0.61	0.65	85.7	85.9	90.4
Val	1.71	2.11	2.12	86	84.6	85.8
可欠アミノ酸						
Ala	1.5	1.99	2.8	91.1	82.5	83.4
Asp	4	5.12	5.23	89.7	85.4	85.3
Cys	0.58	0.7	0.68	82.5	82.4	83
Glu	6.32	8.07	8.38	90.7	86.1	87
Gly	1.52	1.92	1.94	89.2	80.8	81.4
Pro	1.78	2.28	2.27	153.7	112.6	112.8
Ser	1.77	2.27	2.29	88.6	85.8	86.9
Tyr	1.3	1.67	1.7	89	88.7	88.8

図 2. 大豆ミールのアミノ酸消化率



量を見ることで比較的簡単である。通常この値は6から6.5である。過熱でダメージを受けている大豆ミールは6.0以下となる。過熱は大豆ミールの色を濃くするので、濃い色の大豆ミールは熱による損傷がある指標となる。

炭水化物

大豆はタンパク質供

給源として用いられるが、相当量の炭水化物を飼料へ持ち込む。大豆中の炭水化物は構造的なものと同非構造的の炭水化物に分けられる。構造的炭水化物には、主にはセルロース、ヘミセルロースであり、計算によりリグニン、ADF、NDFも分析できる（表4）。非構造的炭水化物には、糖類、蔗糖、オリゴ糖とごくわずかの澱粉がある。すべての非構造的炭水化物といくらかの構造的炭水化物は水溶性である。それで、豚においても容易に発酵できる。しかし、他の構造的炭水化物は不溶性であり、発酵も悪くなるため、豚にとってエネルギー価を落とす。

表4. 大豆の炭水化物

項目	全脂大豆	CP44 大豆ミール	CP48 大豆ミール
蔗糖 (%)	7.3	8.14	7.55
ラフィノース (%)	0.73	0.99	1.12
スタキース (%)	4.07	4.51	4.98
ADF (%)	7.46	9.4	4.41
NDF (%)	12.8	13.3	7.42

多くの大豆ミールには5~7%のオリゴ糖（ α ガラクトオリゴ糖とも呼ばれている）が含まれている。オリゴ糖の α 1-6結合を分解する消化酵素を分泌しないが、下部消化器官で発酵する。この発酵によって豚はエネルギーとしてオリゴ糖を利用できる。また、体重が20kg以上になれば、オリゴ糖による問題はなくなる。しかし、若齢豚は効率的にオリゴ糖を利用できないのと、多量に大豆ミールを与えた場合、下痢や胃腸の不快感等の副作用が出ることがある。そのために、離乳子豚への大豆ミール投与は20%以下に抑えられている。

表5. 大豆のカルシウム、リン含有量と見かけのリン消化率

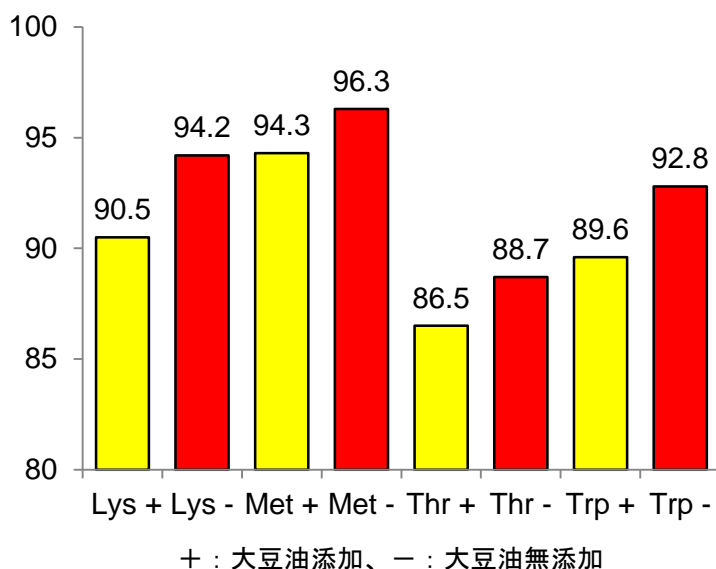
項目	全脂大豆	CP44 大豆ミール	CP48 大豆ミール
総 Ca (%)	0.28	0.32	0.35
総 P (%)	0.56	0.65	0.68
リン消化率 (%)	32	31	38

リンとカルシウム

大豆、大豆ミールには0.50~0.70%の総リンが含まれている。しかしその多くはフィチン酸と結合し

ている（表5）。豚は腸管でフィターゼを分泌しないので、フィチン態リンを利用できないので糞中へ排泄される。大豆ミールのリン消化率は通常40%以下である。しかし、微生物由来のフィターゼを飼料に加えることで、リンの消化率は50~70%に改善される。その結果、糞中へのリンの排泄は減少する。大豆ミールは、豚の要求するリンの総量への寄与は大きい。そして、飼料中に大豆ミールとフィターゼが配合されている場合、第二リン酸カルシウムや第一リン酸カルシウム等の無機リンは低量で済む。

図3. 大豆油を添加した場合のアミノ酸消化率



大豆、大豆ミールには0.25～0.50%のカルシウムが含まれているが、これより高い濃度がしばしば観察される。大豆ミール中のカルシウム消化率は、おおよそ50%である。

エネルギー

大豆から油分を取り除いていないために大豆は大豆ミールよりエネルギー値は高い。脱皮大豆ミールは、通常大豆ミールに含まれる豆皮のエネルギーを利用できないために通常大豆ミールよりエネルギー消化率は優れている。脱皮大豆ミールのDEあるいはME量は、通常大豆ミールより高くなる。しかし、これら両者共に全脂大豆よりはエネルギー値は低い。最近製造されている脱皮大豆ミールのDEあるいはME量は、過去に製造されていた時よりも高い。例として、アメリカ大豆ミールの平均ME値は、過去数年イリノイ大学での分析では4,017kcal/kg DMであった(表6)。これに反して、NRCの値は3,755kcal/kg DMであった。このMEの差は250kcal/kg大豆ミールのエネルギーを高めている。大豆ミールのこのエネルギーが高くなった理由は明らかではないが、アメリカ大豆の栄養素の消化率が良くなったか、アメリカ大豆の新品種の選抜が関係しているかもしれない。もしくは、過去の数値は過小評価されていたかもしれない。

表6. 脱皮大豆ミールのエネルギー量

項目	NRC, 1998	イリノイ大学
現物		
DE kcal/kg	3685	3778
ME kcal/kg	3380	3536
乾物		
DE kcal/kg	4094	4292
ME kcal/kg	3755	4017

養豚飼料へ大豆ミールの配合

前述したように、離乳子豚は、大豆ミール中のオリゴ糖と抗原の存在により相当量の大豆ミールが入った飼料に対応できない。子豚飼料への大豆ミール配合は、多くの場合20%以内である。しかし、離乳後数週間でこの配合割合は増加し、体重が20kgを超えれば、すべてのタンパク質源は大豆ミールでも問題はない。同様に、肥育豚の飼料では、大豆ミールのみがタンパク質原料でも良い。トウモロコシを肥育豚に与えている場合は、アメリカ脱皮大豆ミールを28～30%配合することで必須アミノ酸の要求を賄えることになる。日齢がいった豚では、アミノ酸要求量が減少してくるので大豆ミールの配合割合は20～26%まで減らすことが可能である。妊娠母豚は、とうもろこしを使っている場合、アメリカ脱皮大豆ミールを14%配合し、母乳の要求が増え、母乳生産のためのアミノ酸が増える授乳母豚では25～28%の脱皮大豆ミールの配合が必要である。トウモロコシを用いている場合は、これらの配合割合で全ての必須アミノ酸を供給できる。大麦、小麦、あるいはマイロを

主体とした飼料を作る場合は、穀類の必須アミノ酸含量が違うために脱皮大豆ミールの配合割合も変わってくる。また、大豆の産地によっても栄養素成分が変わってくる(表7)。同時に分析の場所によっても栄養素の内

表7. 大豆産地による栄養素の違い

	アメリカ	インド	アルゼンチン	ブラジル
n	3	4	4	3
CP	54.0	51.4	51.8	52.0
NDF	7.9	12.3	8.1	7.4
蔗糖	7.9	5.0	7.5	6.1

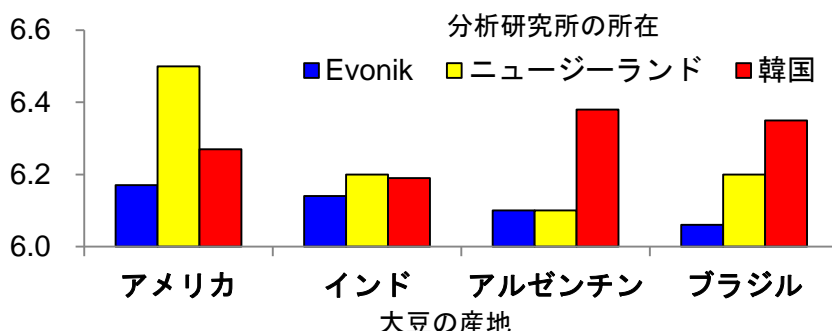
容に変化がある。これらを踏まえたうえで、飼料配合設計を行わなければならない。

まとめ

脱皮、あるいは通常の大
豆ミールは、大豆タンパク質
に含まれる必須アミノ酸の
バランスが取れているため
に豚にとって素晴らしいタ
ンパク質源である。大豆タン
パク質のアミノ酸消化率は、
他の植物タンパク質に比較
して良い。また、大豆油を加

えることで、消化率がより良くなる。大豆ミールは熱による損傷を受けることもあるが、粗タンパク質に対するリジンの比率が損傷の度合いを示すものとなる。過熱されていない大豆ミールは、この比率が6%以上である。大豆ミールは、同時に炭水化物をも提供するが、油分は低い。カルシウム、リンの量は大豆ミール中には高く存在するが、フィターゼを用いることで、無機リンの添加量を低めることが可能である。アメリカ大豆ミールは肥育豚、母豚に必要なアミノ酸を十分に供給できるが、体重 20kg 以下の子豚では大豆ミールの配合割合を 20%以下に制限すべきである。

図4. 大豆産地と分析場所による
リジンの CP に対する割合



参考資料

要望があれば、お知らせします。

(このペーパーは 2012 年アトランタで行われたポर्टリーショウでの USSEC のセミナーにおいて発表された)