

# 養豚飼料における有効リンの活用

誌名	畜産の研究 = Animal-husbandry
ISSN	00093874
著者名	大成,清
発行元	養賢堂
巻/号	64巻9号
巻号補足	
掲載ページ	p. 884-894
発行年月	2010年9月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 養豚飼料における有効リンの活用

大成 清\*

### 1. リンの利用性に関係する因子

リンの利用性に関係する因子を、H. T. Peeter (1972) はつぎのように述べている。

飼料の種類、化学的形態、カルシウム：リン比、動物の年齢、脂肪またはエネルギーの水準、栄養の状態、環境、ホルモン、病気、寄生虫、給与飼料の蛋白質含量、微量ミネラルとキレート剤、リンの物理的形態、飼料中の粒子の大きさ、飼料の加工（高温処理、圧縮）。

リンの利用性を高めるため、種々な加工法が試みられている。

カナダのゲルフ大学の Bayley と Thompson (1969) は、飼料中のリン含量が 0.35% と 0.56% の飼料を、ミールとペレットに加工し、リンの蓄積量と摂取量に対する蓄積率をみている。

リン 0.35%、マッシュ区 (1 区) の蓄積量は 1 日 0.63g、蓄積率は 20.9%、リン 0.35%、ペレット区 (2 区) は蓄積量 0.97g、蓄積率 27.7%、リン 0.56%、マッシュ区 (3 区) の蓄積量は 1.62g、蓄積率は 28.8%、リン 0.56%、ペレット区 (4 区) の蓄積量は 1.40g、蓄積率は 25.0% で、リン含量の低い飼料をペレット化した場合、リンの利用率が増加することが認められた。

パーデュ大学の Harmon, Jensen と Baker ら (1970) は、上記と同じような条件で、供試豚の体重 (15kg, 80kg) の影響をみている。

まず体重 15kg 豚の場合をみると、リン 0.35%、ミール区 (1 区) の場合は、リンの吸収量は 38.7%、蓄積率は 38.3%、リン 0.35% ペレット区 (2 区) は 40.8%—40.4% で、ペレット処理の効果が認められた。

リン 0.57% ミール区 (3 区) は 59.8%—55.4%、リン 0.57% ペレット区 (4 区) は 56.2%—55.2% で、ペレット化の効果はみられなかった。

供試豚の体重が 80kg の場合、1 区は 23.3%—22.9%、2 区は 31.4%—30.8% で、ペレット化の効果は大いにあった。

3 区は 47.0%—40.9%、4 区は 44.1%—37.7% で、ペレット化の効果は認められなかった。

体重 15kg 豚と 80kg 豚を比較すると、吸収率も蓄積率も 15kg 豚が優れた。

何故ペレット化が有効なのか、この当時はそのメカニズムが十分に解明されていなかった。

ペレット化の際の蒸気で、穀類中のフィチン酸が分解され、リンが利用され易くなるのではないかということである。事実、蒸気を用いないペレット化の場合は、リンの利用率は向上していない。

NS 研究所の D. L. Frape ら (1979) は、育成豚を用いて小麦フスマのリンの利用率を研究している。

この結果、第 2 リン酸カルシウム中のリンを 100 とすれば、小麦フスマのリンは 77 である。

第 2 リン酸カルシウム中のリンの真の消化率は 61%、フスマ 15% の場合は 59%、フスマ 30% の場合は 36% であった。

試験 4, 5 はフスマの水浸処理 (3 倍量の水に平均 11 時間)、炭酸カルシウム添加 (0%, 1%, 3%) や、糖蜜添加 (11%) などした。

この結果、水浸処理によりリンの消化率と蓄積量が増加した。

飼料中のカルシウム含量が多いと、リンの消化率は減少の傾向があり、糖蜜の添加もリンの消化率を減少させた。フスマのリンの真の消化率は 53% であった。

試験 6 は水浸時間とリンの溶解性の関係は、水浸時間 0 の場合はリンの溶解性は 10.1%、2 時間は 18.4%、4 時間は 24.6%、24 時間は 42.8% である。この理由は水浸の結果、リンに加水分解が起こるものと解される。

### 2. フィチン態リンと高水分トウモロコシ

ミネソタ栄養会議 (1974) で、植物性フィチン態リンについて論議され、Kasteric と Forbs (1961) の研究が言及された。

\*家畜栄養コンサルタント (Kiyoshi Onari)

両氏の研究では、フィチン態リンは家禽に全く利用されず、豚ではその一部が利用され、反芻家畜には完全に利用されるとした。

ラルストーン・ピュリナ社（現パーデュ大学）の B. G. Harmon は、ANRC（Animal Nutrition Research Council）の 1976 年の年次大会で、「養豚用飼料原料中のリンの利用率」について講演、その要旨は業界誌に発表されている。

トウモロコシ穀粒中、胚芽の占める割合は 12%、胚乳部が 82%、皮が 6% である。胚芽中のリンは 82%、うちフィターゼは 88% で、このほか Ca, Zn, Fe, Mn, Cu, Mg, K など含有している。

小麦穀粒中胚芽の占める割合は 3.5%、胚乳部が 70.5%、糊粉部が 23%、皮が 3% である。

リンの最も多く含まれているのは糊粉部で、リン中 87% はフィターゼ態のリンである。ミネラルの成分は表 1 のとおりで、Odell と deBoland (1972) の発表したものである。

フィチン態リンの大部分は、フィチン酸の K, Mg 塩の形で存在するが、Fe, Zn, Cu, Mn も少量含まれている。

飼料中のフィチン酸含量は原料によりかなり異なり、DeBoland ら (1975) によると、穀類にはおよそ 1% (トウモロコシ、ハイブリッド種 0.89%、同オパーク種 0.99%、小麦 (軟質) 1.15%、米ヌカ 0.89%) 大豆粕 0.89%、ゴマ粕には 5.18% もあり、大きな幅が認められる。

Harmon と Comelins (1974) は、高水分トウモロコシと乾燥トウモロコシに対する、リン源の給与効果を比較している。

表 1 トウモロコシと小麦のミネラル成分の分布 (%)

	トウモロコシ			小麦			
	胚芽	胚乳	外皮	胚芽	胚乳	糊粉	外皮
穀粒中の%	12	82	6	3.5	70.5	23	3
P	82	14	3	14	19	76	0.7
フィチン態P	88	3	0.5	13	2	87	0
Ca	17	33	50	14	32	36	18
Zn	67	29	6	16	21	57	6
Fe	62	31	7	12	22	62	5
Mn	60	26	14	25	11	53	10
Cu	43	36	21	10	32	46	12
Mg	90	7	4	12	8	78	2
K	71	18	4	8	22	68	2

O'dell and deBoland. 1972.

1 区はリン無添加, 2 区は第 2 リン酸カルシウム, 3 区は脱フツリン酸カルシウム, 4 区は軟質リン酸をそれぞれ配合し, 35 日間の試験期を設けた。

増体日量をみると、貯蔵前にリン源を添加した高水分トウモロコシの場合は、1 区 0.30kg, 2 区 0.53kg, 3 区 0.50kg, 4 区 0.47kg である。

給与直前にリン源添加の場合は、1 区 0.32kg, 2 区 0.45kg, 3 区 0.48kg, 4 区 0.41kg, 乾燥トウモロコシの場合は 1 区 0.29kg, 2 区 0.46kg, 3 区 0.49kg, 4 区 0.38kg であった。

飼料効率は高水分トウモロコシ (貯蔵前にリン添加) の場合、1 区 0.334, 2 区 0.401, 3 区 0.407, 4 区 0.403, 高水分トウモロコシ (給与直前にリン源添加) は、1 区 0.356, 2 区 0.397, 3 区 0.390, 4 区 0.428 である。

乾燥トウモロコシは 1 区 0.307, 2 区 0.386, 3 区 0.408, 4 区 0.398 である。

リン添加の場合はトウモロコシの水分含量がいずれの場合にも、無添加の場合に比べて勝れた増体日量と飼料効率がえられた。

具体的にいうと、高水分トウモロコシの増体日量は、リン無添加区は 0.31kg, 添加区は 0.47kg, 飼料効率は無添加区 0.345, 添加区は 0.404 である。

乾燥トウモロコシの増体日量は、リン無添加区は 0.29kg, 添加区は 0.46kg, 飼料効率は無添加区は 0.307, 添加区は 0.397 である。

リン無添加の場合は、高水分区は乾燥区に比べ増体日量 (0.31kg : 0.29kg), 飼料効率 (0.345 : 0.307) とも、有意に勝れている。

リン添加の場合は、高水分区と乾燥区の差は少なくなった。増体日量は 0.47kg : 0.46kg, 飼料効率は 0.404 : 0.397 である。

骨の灰分含量をみると、高水分区の場合は 1 区 44.5%, 2 区 55.5%, 3 区 51.5%, 4 区 56.0%, 乾燥区の場合は 1 区 33%, 2 区 54%, 3 区 54%, 4 区 48% で、高水分区が乾燥区よりも高い。

骨のリン含量は高水分区の場合は 1 区 7.0%, 2 区 11.0%, 3 区 11.5%, 4 区 10.5%, 乾燥区の場合は 1 区 6.0%, 2 区 10.0%, 3 区 10.0%, 4 区 9.0% で、やはり前者が高い。

骨のマグネシウム含量は、高水分区の場合 1 区 0.24%, 2 区 0.415%, 3 区 0.40%, 4 区 0.43%, 低水分区の場合は 1 区 0.17%, 2 区 0.41%, 3 区 0.38%, 4 区 0.36%である。

骨のリン含量, マグネシウム含量も同じ傾向で、高水分区が高かったが、リンを添加した場合はトウモロコシの水分含量による差は著しく減少した。

つぎに高水分トウモロコシと乾燥トウモロコシを用い、リン源による出納試験を実施した。

1 区と 4 区はリン無添加区, 2 区と 5 区は第 2 リン酸カルシウム添加区, 3 区と 6 区は脱フツリン酸 3 石灰添加区である。

リンの消化率は 1 区 56.3%, 2 区 67.7%, 3 区 65.3%, 4 区 36.3%, 5 区 59.9%, 6 区 63.2%, である。

リンの蓄積率は 1 区 56.1%, 2 区 60.9%, 3 区 58.9%, 4 区 35.9%, 5 区 54.4%, 6 区 58.2%である。

なお 1~3 区は高水分トウモロコシ区, 4~6 区は乾燥トウモロコシ区であった。

以上のようにリン源を添加すると、トウモロコシの水分に関係なく、リンの消化率と蓄積率が高くなった。

この試験結果で注目すべきは、乾燥トウモロコシ、これは普通に用いられる飼料のタイプであるが、消化率は 36.3%、蓄積率は 35.9%と著しく悪いことである。これをカバーするには、リン源の添加しかない。

マグネシウムの消化率は 1 区 51.5%, 2 区 30.5%, 3 区 46.1%, 4 区 33.6%, 5 区 13.6%, 6 区 14.8%となり、高水分区は乾燥区よりも良いのは判るにしても、リン源を添加すると却って悪くなっている。この傾向は乾燥区の場合に著しい。

マグネシウムの蓄積率は 1 区 39.7%, 2 区 20.6%, 3 区 38.2%, 4 区 12.6%, 5 区 2.9%, 6 区 0.4%と、その傾向は増幅されている。

トウモロコシ中のフィチン態リンの利用率の差異をさらに究明するため、イリノイ大学の研究者は、高水分トウモロコシにリン無添加区 (1 区) リン 0.32%, 2 区はリン 0.42%, 3 区リン 0.52%, 乾燥トウモロコシにリン無添加区 (4 区) リン 0.32%, 5 区はリン 0.42%, 6 区はリン 0.52%とし、体重 50.8kg の肉豚に給与した。

増体日量は 1 区 726g, 2 区 708g, 3 区 689g, 4 区 621g, 5 区 726g, 6 区 735g。飼料効率は 1 区 0.408, 2 区 0.406, 3 区 0.408, 4 区 0.379, 5 区 0.395, 6 区 0.406 である。

この結果、4 区は他区に比べ増体日量が有意に劣った。1 区はリン添加の 2 区, 3 区と同じように優れた増体日量と飼料効率がえられた。

乾燥トウモロコシは 6 区のように、リン水準を高めることにより、1 区なみの成績がえられた。

フロリダ大学の S. M. Abrams ら (1975) は、体重 15kg の子豚を用い、高水分トウモロコシ (1~3 区) と、乾燥トウモロコシ (4~6 区) を給与した。

高水分トウモロコシは乾燥トウモロコシに、水を加えて調整しサイロに貯蔵したものである。

1 区はリン無添加, 2 区は 0.05%添加, 3 区は 0.12%添加, 4 区はリン無添加, 5 区は 0.05%添加, 6 区は 0.12%添加した。

増体日量は、1 区 0.38kg, 2 区 0.43kg, 3 区 0.48kg, 4 区 0.29kg, 5 区 0.41kg, 6 区 0.46kg である。

飼料要求率は 1, 2, 3 区は 2.0, 4 区は 2.5, 5 区は 2.2, 6 区は 2.1 であるが、この結果は前記のイリノイ大学の成績と同じで、最も劣ったのは 4 区の乾燥トウモロコシのリン無添加区である。

血清中のリン含量 (mg, %) は 1 区 5.9, 2 区 7.4, 3 区 8.7, 4 区 4.0, 5 区 6.2, 6 区 8.3, 骨の灰分含量 (%) は 1 区 56.0, 2 区 57.2, 3 区 59.1, 4 区 49.2, 5 区 55.9, 6 区 58.0 で、この場合も 4 区が劣った。

高水分トウモロコシはサイレージとして貯蔵されるわけだが、この結果リンの利用率が高まることになる。

この理由として高水分トウモロコシは、完熟の乾燥トウモロコシに比べ、フィチン酸塩が少ないのではないかと考えられる。フィチン態リンは、穀実の成熟に伴い増加する。

乾燥トウモロコシも乾燥時の高温処理により、フィターゼの分解が起るが、それよりもサイレージ中のフィチン酸の加水分解の方が多し。

また前者の場合の高熱は、フィチン態リンの溶解性を減少させるなどが挙げられている。

これとは別に、水分再調整トウモロコシの場合は、サイロ中の嫌気的な条件が pH の低下を招き、穀類中の成分が溶解され易くなり、リンの利用率も向上すると解されている。

### 3. リン利用率の測定法

リン利用率の測定法にはいくつかある。1 つはパーデュ大学の研究者が、消化率に関する研究をベースにしたもので、低リンの基礎飼料に試料を加えて消化試験を行なう方法である。

内因性のリンを計算に入れない見かけの消化率なので、数値が低くでるといわれている。

2 番目の方法はインビトロの溶解試験で、0.4%の塩酸溶液を用いたり、クエン酸溶液を用いたりする方法が考えられているが、生物学的有効性を正確に反映するものではない。

3 番目は Sullivan の考案した三重反応法 (triple response method) である。

これはトリの脛骨灰分、増体量、飼料効率を3つの反応指数として求めるもので、家禽のリン有効率の判定に用いられる。

4 番目はケンタッキー大学の G. L. Cromwell (1970) が開発した傾斜比定量法 (slope-ratio technique) である。

この方法では、まず低リンの基礎飼料を作成する。これはデキストロースまたはグルコース 65%、脱皮大豆粕 30%、脂肪 3%、リン酸以外のトレスミネラル、ビタミンを配合するが、リン含量は 0.2% と少ない。

対照区 (有効率 100%) には、リン酸 2 水素カリウム ( $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) または、第 1 リン酸ナトリウム ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ) を用いる。

試験は飼料原料たとえばトウモロコシの有効リンを測定する場合は、トウモロコシを段階的にグルコースと置換する。

トウモロコシ量を 0, 21.7, 43.3, 65.0% で置換すると、リン含量は 0, 0.06, 0.12, 0.18% となる。これが試験飼料である。

つぎに同じリン含量添加の対照飼料を、リン酸 2 水素カリウムを添加して作製する。

供試豚は体重 11.3~15.9kg の子豚で、5~6 週間飼育する。試験終了後中手骨と中足骨を採取し、灰分含量と折損強度を測定する。

これらの測定値と飼料中のリンは直線関係を示すので、対照区の傾斜を 100 として有効率を求める。

(図 1 参照)

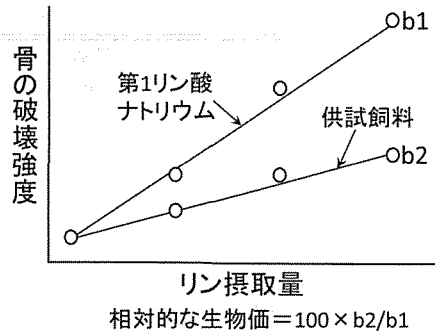


図 1 育成・仕上げ豚の骨の灰分含量に及ぼす、グレン・大豆粕飼料への添加リン量の影響 (Cromwell ら, 1972, 1974)

この方法によるリンの平均有効率は、表 2 に示した。

以上の平均有効率をもとに、主な養豚飼料の有効リンを計算すると、トウモロコシの全リンは 0.25%、有効リンは 0.03%、グレンソルガムの全リンは 0.25%、有効リンは 0.03%、エン麦の全リンは 0.35%、有効リンは 0.08%、大麦の全リンは 0.35%、有効リン 0.12%、小麦の全リンは 0.35%、有効リン 0.17%、小麦フスマの全リンは 1.15%、有効リン 0.33%、小麦ミドリグスの全リンは 0.90%、有効リン 0.31%、米ヌカの全リンは 1.50%、有効リン 0.27%、大豆粕 (脱皮) の全リンは 0.65%、有効リン 0.14%、綿実粕の全リンは 1.0%、有効リン 0% となる。

無機リンの有効率については、Hays (1976) の研究がある。これによると、第 1 リン酸ナトリウムは 100、第 1 リン酸カルシウムも 100、第 2 リン酸カルシウムは 98、蒸製骨粉 95、第 2 リン酸アンモニウムは 95、脱フツリン酸塩 92、キュラ島リン鉱石 69、軟リン鉱石 34 となっている。

有効リン測定の方法は、血漿アルカリフォスファターゼ (AP) 活性による方法で、コーネル大学の R. D. Boyd ら (1983) が研究している。

試験は 3 回行なったが、最初の試験は平均 17kg のヨークシャー種×デュロック種の交雑種 46 頭を用いた。

給与飼料はトウモロコシ・大豆粕飼料で、CP 16%、Ca 0.65%、P 0.20% を含んでいる。

この基礎飼料にリン酸 1 カリウム (P 22.5%) を使い、全リンで、0.28, 0.36, 0.44, 0.52, 0.80% を添加した。

表2 主な養豚飼料のリンの生物学的有効率

研究者 (発表年)	Cromwell			Stahly (1992)	NRC (1988)	
	(1980)	(1989)			範囲	平均
		範囲	平均			
トウモロコシ	12%	9~29%	14%	12%	9~29%	15%
" (高水分)	—	42~58	49	—	42~58	49
" (ペレット)	—	—	12	—	—	—
マイロ	12	12~25	19	12	19~25	22
" (高水分)	—	42~43	43	—	42~43	43
大麦	35	—	31	31	—	31
エン麦	23	23~36	30	23	23~36	30
小麦	48	40~56	50	50	40~56	50
トリチケール	—	—	46	46	—	—
ホミニーフイード	—	—	14	14	—	—
コーングルテンフィード	—	—	59	59	—	—
D. G. W. S <sup>1)</sup>	—	—	71	71	—	—
小麦、フスマ	29	—	35	35	—	35
" ミドリングス	34	34~55	45	45	34~55	45
米ヌカ	18	—	25	25	—	25
大豆粕(脱皮)	22	18~35	25	25	18~35	25
" (CP44%)	—	28~39	35	35	36~39	38
綿実粕	0	0~42	15	1	0~42	21
落花生粕	—	—	12	—	—	12
キャノーラ粕	—	—	21	21	—	—
パーム核粕	—	—	11	—	—	—
ヒマワリ粕	—	—	3	3	—	—
魚粉	—	—	102	102	—	100
ミートボーンミール	—	64~93	76	68	—	93
血粉	—	—	92	92	—	—
乾燥ホエー	—	—	76	76	—	—
アルファルファミール	—	—	>100	—	—	100
大豆皮	—	—	78	—	—	—
第1リン酸カルシウム	—	—	—	90~107	—	—
第1リン酸ナトリウム	—	—	—	100	—	—
第2リン酸カルシウム	—	102~107	105	—	—	100
リン酸3石灰	—	—	—	84	—	—
脱フツリン鉱石	—	83~90	87	87	83~90	87
蒸製骨粉	—	—	82	82	—	82
フィチン態リン	—	—	—	8	—	—
軟リン鉱石	—	—	—	25	—	—

1) D. G. W. S: ジスチラース・グレイン・ウイズ、ソリュブル

各区 8 頭を割当て、28 日間飼育、試験開始時と 28 日に採血し、血漿 AP 活性を測定した。

この結果 AP 活性は飼料中のリン水準が高まるにつれ低下し、0.52% 区で最低となった。またこれ以上の全リンがあっても、変化は見られなかった。

なお AP 活性が最低を示したリン水準の 0.52% は、この当時の NRC 標準の最小要求量である。

飼料中のリン水準が 0.28~0.52% の範囲では、相関係数は -0.984 で直線回帰を示した。

試験 2 は平均体重 14.2kg のヨークシャー種×デュロック種の子豚 35 頭を用い、基礎飼料はトウモロコシ・大豆粕飼料 (CP 16%, Ca 0.65%, P 0.26%) で、これにリン酸 1 カリウムを全リン水準で 0.26, 0.32, 0.38, 0.44, 0.50% 添加の 5 区を設けた。

供試頭数は各区 7 頭、28 日間飼育した。

試験区分は全リン含量で 1 区 0.26%, 2 区 0.32%, 3 区 0.38%, 4 区 0.44%, 5 区 0.50% である。

採血は試験開始時, 7, 14, 21 と 28 日に実施, AP 活性 (IU/l) を調べた。

その結果, 開始日は 147.0~132.0, 7 日は 155.6~125.4, 14 日は 188.0~133.2, 21 日は 220.7~113.0, 28 日は 236.5~150.4 となり, 飼育日数の進むにつれ AP 活性は高くなった。

相関係数は 7 日は -0.828, 14 日は -0.996, 21 日は -0.983, 28 日は -0.913 で, 14 日が最も高かった。

以上の結果, 飼料のリン水準に対する AP 活性パターンは, 供試飼料給与後 14 日目までに確立するものと結論された。

試験 3 は試験 1, 2 の結果をもとに, 水分含量 24.6% の高水分トウモロコシの有効リンを推定した。

供試豚はヨークシャー種×デュロック種 48 頭である。給与飼料は標準曲線用とし, 添加リンは 1 区 0%, 2 区 0.09%, 3 区 0.188% とした。高水分トウモロコシ用の添加リンは, 4 区 0.06%, 5 区 0.12%, 6 区 0.18% とした。

具体的な配合割合は省略するが, デキストロース, 高水分トウモロコシ, コーンオイル, 食塩, 炭カル, リン酸 1 カリウム ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , P 22.5%), ビタミン, トレスミネラルを用いた。

1 区のカルシウムは 0.65%, リン 0.26%, Ca:P 比 2.50, 2 区はカルシウム 0.65%, リン 0.35%, Ca:P 比 1.86, 3 区はカルシウム 0.65%, リン 0.44%, Ca:P 比 1.48, 4 区はカルシウム 0.66%, リン 0.32%, Ca:P 比 2.06, 5 区はカルシウム 0.66%, リン 0.38%, Ca:P 比 1.74, 6 区はカルシウム 0.67%, リン 0.44%, Ca:P 比 1.52 である。

試験期間 28 日の結果をみると, AP 活性から推定した高水分トウモロコシのリンの利用率は 43.8%, 中足骨強度からみた利用率は 41.3% であった。

両者はよく似た数値であるが, AP 活性で有効リンが判るとすれば, 試験の迅速性と費用の点で, より実用的といえる。

#### 4. リンの給源とその有効性

植物性飼料中のリンの約 1/3 は, フィチン態以外の形で存在している。残りの 2/3 はフィチン態であるので, 消化管内でフィターゼといった酵素を欠くトリヤブタなどの単胃動物は全くこれが利用できない。

無機添加物からのリンや, 動物性飼料原料中のリンは, 一応 100% 有効と考えられ, 植物由来のリンは 30% しか有効リンがないとするのが, 一般的な常識である。

有効でないリンにはフィチン態のほか,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  のピコリン酸カルシウム,  $\beta$ ,  $\gamma$  のメタリン酸カルシウムがある。

リンの有効性については, Gillis, Norris, Heuser がヒナで行なった結果が, M. L. Scott, M. C. Nesheim と R. J. Young 著, 田先威和夫監訳の家禽栄養学 (養賢堂, 初版, 昭 58) P.306 に詳しい。

ネブラスカ大学の T. W. Sullivan (1969) は, 「飼料におけるリンの給源とその生物価」を, 業界誌に発表している。

同博士によると, 1940 年初頭までは飼料用の主なリン源は, 蒸製骨粉, 肉粉, 魚粉, 家畜処理副産物であったが, 第 2 次大戦中に飼料中の蛋白質源が大豆粕に代った。このためリン不足の問題を生じたという。

ネブラスカ大学では, 各種リン源の RBV (相対的生物価, Relative biological Value) について, 数回報告している。

この値を求めるには, 図 2 のようにまず生物価を求める。ついで標準品に対する RBV を求めるわけである。

表 3 は主な飼料用リン源の化学成分を示すものである。これらの中で主に使用されるのは, 脱フツリン酸塩と第 2 リン酸カルシウムである。

$$\text{リンの生物価} = \left( \frac{4\text{週体重 (g)}}{10} \right) + \frac{4\text{週の骨の灰分含量 (\%)}}{10} \times \text{飼料効率}$$

$$\text{飼料効率} = \text{増体量} / \text{飼料摂取量}$$

$$\text{リンの相対的生物価 (RBV)} = \frac{\text{供試リン源の生物価}}{\text{標準品の生物価}} \times 100$$

図 2 リンの生物価と RBV の求め方

表3 主な飼料用リン源と化学成分

飼料名	P	Ca	Na	N
骨つき肉粉	5%	11%	0.5%	8%
魚粉	2~4	3~6	0.6	8~11
蒸製骨粉	14	26	0.4	2
キュラソールリン鉱石	14	34	-	-
リン泥(ソフトロックホスフェート)	9	18	-	-
脱フツリン酸塩	18	31~34	0~5	-
第2リン酸カルシウム	18.5	21~26	-	-
第1リン酸2カルシウム	21	16~22	-	-
第1リン酸カルシウム	24	15~18	-	-
トリポリリン酸ナトリウム	25	-	31.3	-
第2リン酸アンモニウム	22	1	0.3	18~21
第1リン酸アンモニウム*	26	-	-	12
ポリリン酸アンモニウム	15	-	-	10
リン酸	23.7	-	-	-

T. W. Sullivan(1969)

\*:液状

## ○1963年の研究

トウモロコシ・大豆粕飼料を給与、幼七面鳥(0~4週齢)を用いて行なった。

その結果、キュラソールリン鉱石の有効率は90.3~92.2%、脱フツリン酸塩は82.6~98.2%、第2リン酸カルシウムは93.5~102.5%、第1リン酸カルシウムは97.3~103.8%、ポリリン酸アンモニウム(液体)は95.2%であった。

## ○1968年の研究

第1リン酸ナトリウム( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )を標準品とし、0~4週齢の七面鳥を用いて行なった。

その結果、脱フツリン酸塩(A)の有効率は8.60%、同(B)は93.6%、キュラソールリン酸塩は90.4%、第2リン酸カルシウム(P18.5%) (A)は93.5%、同(B)は96.6%、同Cは98.5%、同Dは99.6%、同Eは100.6%、同Fは102.5%であった。

リン酸1・2カルシウム(P21%)の(A)は97.3%、同Bは98.3%、同Cも98.3%、同Dは98.4%、飼料用の第1リン酸カルシウム(P24%)は100.7である。

## ○1969年の研究

第1リン酸カリウム(1水塩)を標準品とした場合、第2リン酸カルシウム(A)は95.7%、同(B)は98.0%、同(C)は98.4%、同(D)は101.0%である。

脱フツリン酸塩(A)は97.1%、同(B)は87.6%、同(C)は92.8%、同(D)は82.6%、同(E)は89.4%である。

リン鉱石は91.2%、ポリリン酸ナトリウムは100.4%であった。

リン酸ナトリウム( $\text{NaH}_2\text{PO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )を標準品とした場合、リン酸1・2カルシウム(A)は101.5%、同(B)は102.0%、ポリリン酸アンモニウム(液体)は95.2%、脱フツリン酸塩は88.7%である。

脱フツリン酸塩は、リン酸ナトリウムにリン鉱石を添加して製造する。この混合物は109°C以上の高温を受けることにより、リン鉱石中のフッ素が除去され結晶化する。

利用率が種々異なるのは、その中に含まれるピロリン酸カルシウム( $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ )—無効、メタリン酸カルシウム( $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$ )—無効、正リン酸カルシウム( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ )の割合が異なるためである。

第2リン酸カルシウムはフッ素含量の低い炭酸カルシウム(石灰石)を、リン酸液に反応させることにより製造する。

リン酸は硫酸とリン鉱石を反応させることにより生産されるが、フッ素を除去するためナトリウムと珪酸が添加される。

フロリダ大学の Ammerman ら(1963)は、アイソトープ( $\text{P}^{32}$ )を用いて各種リン源の利用率を調べている。

供試豚は子豚25頭(1区5頭)、試験期間は2週間とし、給与飼料はトウモロコシ、大豆粕、タンケージ飼料を用いた。

1区のチリ産リン鉱石(P16.6%)のリンの正味利用率は31.0%、2区の鉄やアルミニウムの多いリン鉱石(P12.9%)は6.7%である。

3区の脱フツリン鉱石(P18.8%)は29.7%、4区の第2リン酸カルシウム(P22.8%)は29.9%、5区の軟リン(P8.9%)は20.1%であった。

## 5. リンの給源とその有効性(2)

アーカンソー州立大学(1971)では、育成・仕上げ豚を用いて、第2リン酸カルシウム(1区)、脱フツリン鉱石(2区)、リン酸3石灰(3区)を比較した。

給与飼料はトウモロコシ・大豆粕飼料で、CP16%、カルシウム0.65%、全リン0.65%、有効リン0.48%である。

試験の結果、増体日量、飼料効率、屠体の品質について、3区間の差はなかった。僅かに差のあったのは、骨の灰分、カルシウム、リン含量で、1区が良くついで2区、3区の順となった。

H. T. Peeter (1972) によると、羊を用いた実験ではリン酸2水素カルシウム ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) の有効率は100、骨粉92、軟リン鉱28、フィチン酸カルシウム66、メタリン酸カルシウム ( $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$ ) 70、ピロリン酸カルシウム ( $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ) 54、メタリン酸ナトリウム ( $\text{NaPO}_3$ ) 97、ピロリン酸水素ナトリウム  $\text{Na}(\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7)$  82、リン酸水素ナトリウム0である。

肉牛による実験では、リン酸カルシウム100、リン酸、骨粉、脱フツリン鉱71~95、軟リン鉱17~88であった。

豚(体重23~41kg)によると、フィチン態リンは20~60%である。

Nelsonら(1968)、O'Dellら(1972)、Lolasら(1976)の研究から、一般的な養豚飼料中の全リン含量(A)、フィチン態リン含量(B)、全リン中のフイ態リンの割合(C)をみてみよう。

トウモロコシはサンプル数12、(A)は0.27%、(B)0.19%、(C)は69%である。

グレンソルガムはサンプル数11、(A)は0.31%、(B)は0.21%、(C)は68%、小麦はサンプル数41、(A)は0.37%、(B)は0.26%、(C)は71%、大麦はサンプル数23、(A)は0.38%、(B)は0.25%、(C)は65%、エン麦はサンプル数28、(A)は0.37%、(B)は0.22%、(C)は60%である。

大豆はサンプル数15、(A)は0.54%、(B)は0.29%、(C)は53%、大豆粕はサンプル数20、(A)は0.61%、(B)は0.37%、(C)は61%、綿実粕はサンプル数5、(A)は1.07%、(B)は0.75%、(C)は70%、小麦フスマはサンプル数9、(A)は1.41%、(B)は1.12%、(C)は80%である。

以上のほか、Nelson(1968)の単独発表を追加すると、ゴマ粕はサンプル数3、(A)は1.27%、(B)は1.03%、(C)は81%、小麦ミドリングスはサンプル数1、(A)は0.47%、(B)は0.35%、(C)は74%、アルファルファミールはサンプル数6、(A)は0.30%、(B)は0%、(C)は0%となっている。

カリフォルニア大学のC. C. Calvertら(1978)は、トウモロコシ、大麦の見かけの消化率を求めるため、26頭の育成豚を用いて2つの試験を行なった。

試験1で全リン含量の0.3%の場合は大麦中のリンの消化率は16.5%、第2リン酸カルシウムは66.3%、全リン含量0.5%の場合は大麦中のリン消化率は41.3%、第2リン酸カルシウムは62.7%であった。

試験2は全リン含量0.3%区だけであったが、トウモロコシ中のリンの消化率は8.3%、第2リン酸カルシウムは64.8%である。

テキサス工科大学のD. L. Tunmireら(1983)は、Y. L. D. Hの交雑種160頭を用い、体重20kgから100kgまで、第2リン酸カルシウムと、ポリリン酸アンモニウムの有効性を比較している。

供試第2リン酸カルシウムはCa 25.0%、P 18.5%、ポリリン酸カルシウムはP 15.5%、炭酸カルシウムはCa 38.0%である。

試験はリン正常区と低リン区に分け、リン源は第2リン酸カルシウムとポリリン酸アンモニウムとした。

また、体重20~60kgの育成用と、60~100kgの仕上げ用を設定、計8区を設けた。

試験区分として1区はポリリン酸アンモニウムを用い育成期のリン量を0.5%、仕上げ期は0.4%、2区は同様に0.4%と0.33%、3区は第2リン酸カルシウム0.5%と0.4%、4区は同じく0.4%と0.33%とした。

1区と3区は高リン区、2区と4区は低リン区である。

供試頭数は1区40頭、2区38頭、3区38頭、4区38頭、開始時体重は1区20.5kg、2区20.4kg、3区20.6kg、4区20.5kgである。

終了時体重は1区100.8kg、2区100.6kg、3区100.3kg、4区102.7kgであった。

増体日量は1区0.66kg、2区0.66kg、3区0.67kg、4区0.67kg、採食日量は1区2.15kg、2区2.16kg、3区2.19kg、4区2.17kg、飼料要求率は1区3.24、2区3.25、3区3.27、4区3.20で差はなかった。

以上のように、リンの添加物として第2リン酸カルシウムの代わりに、ポリリン酸アンモニウムを用いても、増体量、飼料要求率に全く差がなかったわけである。

各区から8頭を選び、第4中手骨、第3中手骨、第1肋骨について、給与飼料の影響をみたが、第4中手骨の長さ、同厚さ、脂肪分除去後の重量、灰分含量に対するカルシウムとリンの量は、試験区間に差はなかった。

第4中手骨の周囲長は、リンの高レベル区には差がなかったが、低レベル区はポリリン酸アンモニウム区の5.58cmに対し、第2リンカル区は5.35cmと有意に細かった。

灰分含量はリン源を問わず、低レベル区は高レベル区に比べ有意に少なかった。

第3中手骨の長さ、周囲長、破壊強度は区間差がなかった。脂肪除去後の重量と灰分含量は、高レベル区は低レベル区に比べ、有意に大きかった。

第1肋骨の脂肪分除去後の重量、灰分含量は、高レベル区が大で低レベル区は少なかった。

破壊強度(kg)は1区69.7(xy), 2区61.9(y), 3区82.2(x), 4区63.6(y)で、3区(第2リンカル, 高レベル区)が突出して高かった。

以上長々とポリリン酸アンモニウムと第2リン酸カルシウムを比較したが、肉豚のリン源としては両者とも同等の価値があると認められる。

ケンタッキー大学のCromwellとStahlyら(1990)は、脱フツリン鉱石の粒子と、有効率の関係について、3回の試験を行なっている。

試験はH×Yの交雑種を用い、体重14.5kgから32.7kgにいたるまで、35日間実施した。

供試リン源は第1リン酸ナトリウム(MSP)と、脱フツリン鉱石(DFP)である。

給与飼料はCP18%, リジン0.90%のトウモロコシ・大豆粕飼料で、Ca0.38%, P0.34%を含み、これ以外は適量の栄養分を含有している。

試験1区は基礎飼料を、2区は基礎飼料+MSP0.06%添加、3区は基礎飼料+MSP0.12%添加した。4~8区は基礎飼料+DFP0.12%添加した。

DFPの粒子の大きさは4区0.05mm, 5区は0.18mm, 6区は0.50mm, 7区は1.25mm, 8区は2.00mmである。

添加リン量は1区は0, 2区は0.06%, 3~8区は0.12%, 給与飼料中の全リン量は1区0.34%, 2区0.40%, 3~8区は0.46%である。

全カルシウム量は1区0.38%, 2区0.45%, 3~8区0.52%である。

試験結果をみると、増体日量は1区463g, 2区526g, 3区553g, 4区540g, 5区517g, 6区549g, 7区513g, 8区531gである。

採食日量は1区1,198g, 2区1,229g, 3区1,275g, 4区1,275g, 5区1,266g, 6区1,297g, 7区1,266g,

8区1,270gであった。

飼料要求率は1区2.61, 2区2.36, 3区2.31, 4区2.35, 5区2.49, 6区2.35, 7区2.48, 8区2.38である。

以上のようにMSPを添加した場合は、リン添加量に応じて、増体日量、採食日量は直線的に増加し、飼料要求率は直線的に減少した。

3~8区はDFPを5段階の粒子の大きさと給与したわけだが、増体日量、採食日量、飼料要求率に有意差はなかった。

骨の強度のうち中手骨と中足骨は平均でみたが、1区23.1kg, 2区37.2kg, 3区45.8kg, 4区45.8kg, 5区41.7kg, 6区44.5kg, 7区42.6kg, 8区41.3kgである。

大腿骨の強度は1区68.5kg, 2区119.8kg, 3区178.7kg, 4区165.1kg, 5区161.5kg, 6区173.7kg, 7区158.8kg, 8区161.9kgである。

これらの傾向は増体日量と同じものである。

骨の強度とリン摂取量との直線関係を利用した3点傾斜法から、リンの生物学的利用率を調べたが、MSPの利用率を100とした場合はつぎのとおりである。

中手骨、中足骨の強度からみた場合、DFPの生物学的利用率は4区106, 5区87, 6区93, 7区93, 8区85, 大腿骨の強度からは4区88, 5区87, 6区91, 7区84, 8区86である。

平均すれば4区97, 5区87, 6区92, 7区89, 8区86である。

この結果、DFPの粒子の大きさが大きくなるにつれ、リンの利用率は低下する傾向が認められるが、統計的には差がなかった。

結論として、MSPの利用率を100とした場合、DFPの利用率は90とみなされ、DFPの粒子の大きさは関係なしといえる。

バージニア州立大学のKornegayら(1991)は、28日齢、平均体重7.5kgの離乳豚72頭を用い、2回の試験を実施した。

試験期間は42日間である。試験は飼料のpHレベルを5.4, 6.0, 6.7の3段階、リン源は第2リン酸カルシウム(1区)と、脱フッ素リン酸塩(2区)の2種類とし、3×2の要因配置法により実施した。

給与飼料はトウモロコシ・大豆粕飼料である。試験結果は2回の試験をとりまとめ、pHの影響を中心

に検討しているが、筆者は2つのリン源を比較すべく取りまとめた。

増体日量のうち1~3週は1区235g, 2区239g, 4~6週は558g:545g, 全期は373g:372gである。

採食日量の1~3週は1区434g, 2区450g, 4~6週は1,073g:1,073g, 全期は700g:714gであった。

飼料要求率の1~3週は1区1.94, 2区1.92, 4~6週は1.88:1.93, 全期は1.89:1.93である。

以上のようにリン源は増体日量, 採食日量, 飼料要求率に影響を及ぼさなかった。

試験では胃(滴定価, 乾物量), pH(胃, 空腸, 盲腸, 結腸), 塩化物量(胃, 空腸, 盲腸, 結腸)をみたが, 有意差のあったのは乾物量だけで, 1区が有意に多かった。

中手骨, 中足骨の容積(ml), 比重(g/ml), 面積(cm<sup>2</sup>), 強度(kg), ストレス(kg/cm<sup>2</sup>)なども調べている。

この中でリン源で差のあったのは中足骨の比重だけで, 1,178:1,171となり1区が有意に重かった。

以上いろいろ検討したが, 実用的にみて第2リン酸カルシウムと, 脱フツリン酸塩は差のないリン源とみなせる。

## 6. 豚の有効リン要求量

豚の有効リンを含めてカルシウム, 全リンの要求量は, 1988年のNRC標準(第9版)で, ほとんど決定づけられている。

88年版と98年版(10版)とでは, 肉豚の体重区分が異なる。具体的にいうと, 9版の肉豚の50~100kgとしている部分を, 10版は50~80kg, 80~120kgとしている。

9版のカルシウム, リンの部分を担当したのは, ケンタッキー大学のGary L. Cromwellである。

10版の数値は一般に発表されているが, ここで改めてみると, 体重3~5kg(代用乳)はCa 0.90%, 全P 0.70%, 有効P 0.55%, 体重5~10kg(プレスタター)は0.80-0.65-0.40%, 体重10~20kg(スタター)は0.70-0.60-0.32%, 体重20~50kg(グロワー)は0.60-0.60-0.23%, 体重50~80kg(フィニッシャーA)は0.50-0.45-0.19%, 体重80~120kg(フィニッシャーB)は0.45-0.40-0.15%である。妊娠, 授乳豚は0.75-0.60-0.35%となっている。

以上の数値は最小要求量を示すもので, 安全率が含まれていない。このためアメリカの大学が州内の養豚家に示すガイドブックには, NRC要求量+アロワンスで示すのが普通である。

このアロワンスが問題で, 少し古い調査だが, ケンタッキー大学の1988年の発表によると, 飼料メーカー21社と, 7大学のアロワンスは次のとおりである。

カルシウムについては, 体重1~5kg豚用飼料のアロワンスは, 飼料メーカーは+0.01%, 大学は0%, 体重5~10kg用は+0.03%と+0.04%, 体重10~20kg用は+0.10%と+0.19%, 体重20~50kg用は+0.13%と+0.04%, 体重50~110kg用は+0.12%と+0.08%となっている。

リンについては, 体重1~5kg用は+0.09%と+0.08%, 体重5~10kg用は+0.05%と+0.04%, 体重10~20kg用は+0.07%と+0.05%, 体重20~50kg用は+0.10%と+0.04%, 体重50~110kg用は+0.12%と+0.09%である。

若雌育成豚のカルシウムのアロワンスは, 体重20~50kg用は+0.14%と±0%, 50~110kg用は+0.25%と+0.07%, リンは体重20~50kg用は+0.09%と±0%, 体重50~110kg用は+0.20%と+0.08%である。

若雄育成豚の場合は, カルシウムのアロワンスは体重20~50kg用は+0.22%と+0.08%, 体重50~110kg用は+0.24%と+0.13%である。

リンは体重20~50kg用は+0.11%と+0.05%, 体重50~110kg用は+0.18%と0.11%である。

妊娠豚のカルシウムは+0.18%と+0.09%, リンは+0.16%と+0.08%, 授乳豚用のカルシウムは+0.15%と+0.09%, リンは+0.14%と+0.08%である。

成雄豚のカルシウムは+0.18%と+0.09%, リンは+0.15%と0.08%である。

アメリカ飼料工業界(AFIA)では35の飼料会社, 25の大学について, 1986~1988にわたる調査を, NRC標準(1988)と比較している。

筆者はそのアロワンスを計算したが, その結果はつぎのとおりである。

カルシウムについては, プレスタター(体重7~13kg)は飼料会社は+0.06%, 大学は±0%, スタター(体重13~26kg)は+0.12%と+0.07%, グロワー(体重26~75kg)は+0.14%と+0.06%, フィニッシャー(体重75kg~出荷)は+0.04%と±0%

である。

妊豚用は+0.20%と+0.07%, 授乳豚用は+0.18%と+0.04%, 種牡豚用は0.11%+0.08%である。

リンについてはプレスターターは+0.08%と+0.02%, スターターは+0.09%と+0.04%, グロワーは+0.10%と+0.05%, フィニッシャーは0.12%と0.09%である。

妊豚用は+0.17%と+0.06%, 授乳豚用は+0.16%と+0.03%, 種牡豚用は+0.12%と+0.06%となっている。

以上のようにアメリカの飼料メーカーや大学は、NRC 標準を忠実に守っていることが判る。

アロワンスは大目にとっているとしているが、そのほとんどは0.1~0.2%の範囲であり、1%または2%も大目に設計するようなことはない。

### むすび

家畜におけるリンの研究, とりわけ消化や代謝に関しては、1920年頃から始められたといわれている。以後現在まで90年近く続くわけである。

フィチン態リンの利用率に関する研究は1934年以降多数発表され、豚については Moore (1955), Pierce (1977), Calvert (1977), Miracle (1977) などが著明である。

無機リンについては Taylor (1979) により、現在と変わらぬ数値が発表された。

本稿はこの流れを汲むもので、比較的古い文献について、豚に関する有効リンの研究を綴ってみた。

本稿以後(1991年以降)の新しい研究については、別の機会に執りあげることにしたい。

### 参考文献

- 1) Peeter, H. T. J. Anim. Sci. 35 (3) 695. 1972.
- 2) Harmon, B. G. Feedstuffs 49 (25) 16. 1977.
- 3) ——— Feedstuffs 46 (39) 4. 1974.
- 4) Boyd, R. D., D. Hall. and J. F. Wu. J. Anim. Sci. 57 (2) 396. 1983.
- 5) Cromwell, G. L. Feedstuffs 52 (9) 38, 1980.
- 6) Sullivan, T. W. Feedstuffs 41 (26) 28, 1969.
- 7) Ammerman, C. B. J. Anim. Sci. 22 (4) 890. 1963.
- 8) ——— Feedstuffs 43 (37) 16. 1971
- 9) Cromwell, G. L. Feedstuffs 61 (23) 16. 1989
- 10) Calvert, C. C. J. Anim. Sci. 47 (2) 420. 1978
- 11) Tunmire, D. L., D. E. Orr, Jr. and L. F. Tribble. J. Anim. Sci. 57 (3) 632. 1983.
- 12) Muirhead, S. Feedstuffs 62 (9) 12, 1990.
- 13) Strow, M. L., E. T. Komegay, J. L. Evans. and C. M. Wood. J. Anim. Sci. 69 (11) 4496. 1991.