Copyright ©2003, Japan Poultry Science Association

日本家禽学会誌，*40*：*J1-J12*，*2003*

常温ならびに高温環境条件下における飼料へのフィターゼ添加がブロイラーの飼育成績とミネラルの利用性に及ぼす影響

陶　暁栄[1)]・鎌田寿彦[2)]・竹村勇司[2)]・田中治夫[2)]
菅原邦生[3)]・板橋久雄[2)]・菅野　茂[2)]

[1)] 東京農工大学大学院連合農学研究科，府中市幸町 183-8509
[2)] 東京農工大学農学部，府中市幸町 183-8509
[3)] 宇都宮大学農学部，宇都宮市峰町 321-8505

高温（30℃）一定の条件において，飼料への微生物由来フィターゼ添加がブロイラーの飼育成績およびミネラルの利用性にどのような影響を及ぼすかについて調べるために，トウモロコシ，大豆粕を主体とする飼料を基礎飼料として，3水準の飼料中非フィチンリン（NPP）含量（0.20，0.40，0.60%），2水準のフィターゼ添加条件（無添加，1,000 U/kg 添加），および2水準の恒温環境条件（20℃，30℃）を組み合わせることにより12の処理区を設け，1区当たり5羽の22日齢のブロイラーに飼料を27日間自由摂取させた．増体量，飼料摂取量，飼料要求率，ならびに脛骨灰分含量，およびリン（P），カルシウム（Ca），マグネシウム（Mg），亜鉛（Zn），銅（Cu）の排泄量，蓄積率，脛骨灰分中含量，血漿中濃度を測定した．その結果，常温下に比べて高温下で，増体量および飼料摂取量の減少がみられたが，フィターゼ添加は影響を及ぼさなかった．フィターゼ添加は高温下でZnの排泄量を有意に低減し，総P，Ca，Mgの排泄量もある程度低減した．高温下で，いずれのミネラルの蓄積率もフィターゼ添加によって増加した．このことは脛骨と血漿の結果とも関連していた．高温下で，肥育後期のブロイラーにおける飼料へ1kgあたり1,000単位のフィターゼを添加することは飼育成績を改善するには至らなかったが，常温下と同様にミネラルの利用性を改善できる効果があったと考えられた．

キーワード：ブロイラー，環境温度，フィターゼ，飼育成績，ミネラル利用性

緒　　言

植物性飼料原料中に含まれるリン（P）の約3分の2はフィチン酸塩であるフィチンリンの形で存在しているので，単胃動物においては利用性が低いため，ほとんど吸収されずにそのまま排泄される（Simons *et al.*，1990）．植物性飼料原料中に多く存在するフィチンリンを家畜，家禽に如何に有効に利用させ，排泄物中へのP排泄量を抑えて環境にやさしい畜産を推進するかは，とくに養鶏，養豚界において，近年の重要課題となっている．その対策としてはフィチンリンを加水分解して無機Pに転換する酵素であるフィターゼを飼料に添加する方法がある．

2001年7月10日受付　2002年12月9日受理
連絡者：陶　暁栄
〒183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8
東京農工大学農学部畜産学研究室，Tel 042-367-5679

これまでに，肥育前期のブロイラー飼料にフィターゼを添加することにより飼育成績が改善され，Pの利用性が高まり，排泄物中へのP含量の低減の効果があったことが認められている（Simons *et al.*，1990；Broz *et al.*，1994；Denbow *et al.*，1995；Mitchell and Edwards,1996 a；Yi *et al.*，1996 a；Yonemochi *et al.*，2000）．

また，飼料中フィチン酸塩はカルシウム（Ca），マグネシウム（Mg），亜鉛（Zn），銅（Cu）などのミネラルとも結合し，これらの消化吸収を阻害する（Oberleas，1973）が，飼料へのフィターゼ添加はブロイラーにおけるP，Ca，ZnおよびCuの蓄積率を増加した（Sebastian *et al.*，1996 a；Yi *et al.*，1996 b）と報告されているので，フィターゼを利用する時はP以外のミネラルへの影響も注目する必要がある．

ところで，改良されたブロイラーの特徴は，著しい成長速度と，それを可能とするための飼料利用性にある．それゆえ，ブロイラーの生産性は暑熱の影響を受けやす

Copyright ©2003, Japan Poultry Science Association

く，肥育後期のブロイラーで，体重および飼料摂取量は気温21℃を境にして減少し始めて28℃以上になると大きく減少し（伊藤，1991），20℃条件下で飼育した場合と比べ，30℃では増体量および飼料摂取量が著しく減少する（Donkoh, 1989）．高温下でのミネラルの利用性については，肥育後期のブロイラーにおいて，飼育温度24℃と比べ35℃ではP，Caなどの蓄積量が減少する（Belay and Teeter, 1996）との報告がある．

これらのことから，暑熱ストレスがブロイラーの生産性およびミネラルの利用性に悪影響を与えることは明らであり，このような高温下においても飼料中へのフィターゼ添加がブロイラーの飼育成績やPおよび他のミネラルの利用性に良い効果をもたらすかを確かめることは重要と考えられる．

そこで，本研究では，常温（20℃）および高温（30℃）一定の条件下において，非フィチンリン（NPP）含量の異なるブロイラー飼料中に微生物由来のフィターゼを添加することにより，肥育後期（22～50日齢）のブロイラーの飼育成績およびミネラル（P，Ca，Mg，Zn，Cu）の利用性にどの程度の効果があるかについて検討を行った．

材料と方法

1. 供試鶏

民間のブロイラー孵化場から孵化日に導入した雄ブロイラー（銘柄チャンキー）を，21日齢まで予備飼育して用いた．この間の環境条件はブロイラーの管理手順（伊藤，1991）にしたがって制御し，市販ブロイラー前期飼料（粗蛋白質（CP）：23%，代謝エネルギー（ME）：3,200 kcal/kg，総P：0.55%以上，Ca：0.70%以上）と水を自由に摂取させた．

2. 実験処理区

3水準の飼料中NPP含量（0.20，0.40，0.60%），2水準のフィターゼ添加条件（無添加，1,000 U/kg添加；フィターゼノボCT，酵素活性：2,500 U/g，ノボノルディスクバイオインダストリー（株）），および2水準の恒温環境条件（20℃，30℃）を組み合わせることにより12の処理区を設定した．

注：（フィターゼの1U：1フィチン酸分解力単位：37℃，pH 5.5で0.0015モルフィチン酸ナトリウムより1分間に1マイクロモルのリン酸を遊離させる酵素量）

3. 飼料

飼料はトウモロコシ，大豆粕を主体とし，P，Ca以外の栄養素が，日本飼養標準・家禽（農林水産省農林水産技術会議事務局，1997）の要求量に準拠するように調製した（表1）．NPP含量は3段階とし，それらに応じてCa含量を調節した．なお，Pの要求量としてNPP含量0.40%が前掲の飼養標準に示されているので，NPPがこの量でフィターゼ無添加条件を対照として表中に示した．

4. 実験手順

予備飼育した22日齢の雄ブロイラー雛を平均体重がほぼ同一になるように各処理区にそれぞれ5羽づつ配分し，個別にケージに収容した．各区に，3段階のNPP条件とフィターゼ添加条件を変えた6種類の供試飼料のいずれかを49日齢まで給与した．飼料と水は自由摂取とし，飼料摂取量と排泄物量を毎日測定，記録した．光線管理は23時間照明，1時間消灯（23L：1D）とした．50日齢時に心臓穿刺により全供試鶏から採血した後，屠殺し，脛骨を採取した．

分析用試料として，排泄物は1週間分を集めて混合したものを，血漿は採取した全血を遠心分離して得たものを，脛骨は左側脛骨を105℃で24時間乾燥した後600℃で6時間灰化したものを，それぞれ用いた．排泄物，血漿および脛骨灰分中のCa，Mg，ZnおよびCuは原子吸光法（HITACHI Z-8100）を，また，Pは比色法（SHIMADZU UV-1200）を用いて測定した．

なお，環境制御室の関係で20℃と30℃の実験は日を改めて実施した．

5. 指標

飼育成績の指標として，増体量，飼料摂取量および飼料要求率を算出し，ミネラルの利用性の指標には脛骨灰分含量，各ミネラルの排泄量と蓄積率（＝（摂取量-排泄量）/摂取量×100），および各ミネラルの脛骨灰分中含量ならびに血漿中濃度を用いた．

6. 統計分析

飼料中NPP条件とフィターゼ添加条件および環境温度を要因とした3元配置分散分析を行ったのち，最小有意差法により各要因間の有意差検定を行った．また，常温下および高温下における，実験開始時の供試鶏の体重（22日齢）の平均値が異なっていたため，統計分析を行う際に，増体量，飼料摂取量およびミネラルの排泄物中含量は22日齢の体重に基づいた修正値（数値/22日齢の体重×100）を用いた．

結果

1. 飼育成績

各処理区毎の増体量，飼料摂取量および飼料要求率とそれらの3元配置分散分析結果を表2に示した．

増体量において，飼料中NPP条件と環境温度との間の交互作用がみられた．増体量の常温に対する高温での低下割合は低NPP（L），中NPP（C），高NPP（H）の各条件下でそれぞれ，31.4%，49.0%，37.0%であり，交互作用についての分析の結果，増体量は常温下に比べて高温下で減少し，とくに中NPP条件でその減少度合が

Copyright ©2003, Japan Poultry Science Association

表 1.　供試飼料の組成

Table 1.　Percentage composition of experimental diet

飼料成分	Diet Ingredients	処理区（Treatment） 低 P Low phosphorus	対照 Control[1]	高 P High phosphorus
		L-0, L-1000	C-0, C-1000	H-0, H-1000
二種混合飼料[2]	Corn and fish meal	56.00	56.00	56.00
大豆粕[3]	Soybean meal	22.00	22.00	22.00
魚粉	Fish meal	2.91	2.91	2.91
コーンスターチ	Cornstarch	15.12	13.51	11.91
粉末油脂	Animal fat	1.95	2.64	3.32
食塩	Salt	0.50	0.50	0.50
$CaCO_3$	Calcium carbonate	0.82	0.65	0.48
$Ca_3(PO_4)_2$	Dicalcium phosphate	0.00	1.09	2.18
ミネラル混合剤[4]	Mineral mixture	0.20	0.20	0.20
ビタミン混合剤[5]	Vitamin mixture	0.20	0.20	0.20
DL-メチオニン	DL-Methionine	0.30	0.30	0.30
代謝エネルギー（kcal/kg）	ME	3,202	3,202	3,202
粗蛋白質（%）	CP	18.2	18.2	18.2
非フィチンリン（%）	Non-phytate phosphorus ; NPP	0.20	0.40	0.60
総リン（%）	Total phosphorus	0.40	0.60	0.80
カルシウム（%）	Calcium	0.56	0.84	1.12

[1] この飼料に含まれる P の含量は日本飼養標準・家禽（1997）に基づいた.
This treatment contains the phosphorus content based on the Janpanese Feeding Standard for Poultry (1997).

[2] 二種混合飼料＝98% トウモロコシ＋2% 魚粉，Corn＋fish＝98% corn＋2% fish meal.

[3] 粗蛋白質含量：50.7%，Crude protein of content : 50.7%.

[4] ミネラル混合剤組成（mg/kg 飼料）: It contains 2% Fe, 0.2% Cu, 1.4% Mn, 1.0% Zn and 0.001% I.

[5] ビタミン混合剤組成（g/kg 飼料）: It contains VitaminA 675000 IU, VitaminD_3 50000 IU, VitaminE 2500 IU, VitaminK_3 125 mg, thiamine 500 mg, riboflavin 1375 mg, pyridoxal 775 mg, VitaminB_{12} 2.3 mg, choline 120000 mg,folic acid 138 mg, and biotin 38 mg per kg.

著しいことが認められた.

飼料摂取量には環境温度の主効果がみられ，常温下に対して高温下では相対的に 31.5% の減少を示した.

飼料要求率において，飼料中 NPP 条件と環境温度との間の交互作用がみられた. 飼料要求率の常温に対する高温での増加割合は低 NPP，中 NPP，高 NPP の各条件下でそれぞれ 4.7%，30.7%，11.5% であり，交互作用についての分析の結果，飼料要求率は常温下に比べて高温下で増加し，とくに中 NPP 条件でその上昇度合が著しかった.

いずれの飼育成績の指標においてもフィターゼ添加は両温度条件下で影響を及ぼさなかった.

以上のことから，飼育成績の各指標に対しては環境温度の影響が著しく，一部に飼料中 NPP 条件の影響もみられたが，フィターゼの効果は確認できなかった.

2. ミネラルの利用性

1）ミネラルの排泄量（表 3）

総 P の排泄量において，3 因子の交互作用がみられ，高 NPP 条件の高温下では，フィターゼ添加により 19.7% の有意な減少を示した.

Ca の排泄量において，3因子の交互作用がみられ，高NPP 条件の常温下では，フィターゼ添加により増加した.

Mg の排泄量において，飼料中 NPP 条件と環境温度との 2 因子交互作用がみられ，常温に対する高温での減少割合は低 NPP，中 NPP，高 NPP の各条件下でそれぞれ 45.3%，57.4%，53.4% であり，高温下のとくに中・高 NPP 条件でその減少程度が大きかった.

Zn の排泄量についてみると，主効果はフィターゼ添加条件に，交互作用は飼料中 NPP 条件と環境温度との 2 因子間にみられた. Zn の排泄量はフィターゼ無添加では 13.9（mg/day）であったものが，添加によって 12.1

Copyright ©2003, Japan Poultry Science Association

表 2. フィターゼ添加がブロイラーの増体量，飼料摂

Table 2. The effect of phytase supplementation on body weight gain,

処理区 (Treatment)	増体量 Body weight gain			
環境温度 (Environmental temperature)				
フィターゼ添加水準 (Phytase level)	0		1000	
L	76.2± 9.0[1]	(7.05±0.60)[2]	80.8± 9.1	(7.68±0.75)
C	81.0±11.7	(7.48±0.74)	84.6±11.1	(8.17±1.05)
H	78.8±18.9	(7.28±1.39)	78.6± 5.3	(7.77±1.22)
環境温度 (Environmental temperature)				
フィターゼ添加水準 (Phytase level)	0		1000	
L	46.9± 6.6	(4.72±0.49)	55.2± 5.6	(5.39±0.42)
C	38.4± 6.0	(4.01±1.21)	38.2± 6.3	(3.97±0.91)
H	47.6± 9.9	(4.88±0.86)	44.4± 4.6	(4.60±0.93)

要因 Source of variation	
A (NPP 含量 Non-phytate P content)	NS
B (フィターゼ添加水準 Phytase level)	NS
C (環境温度 Environmental temperature)	**
A×B	NS
A×C	*
B×C	NS
A×B×C	NS

L : 0.20% の NPP を含む飼料 ; C : 0.40% の NPP を含む飼料 ; H : 0.60% の NPP を含む飼料
L : the diet of 0.20% Non-phytate P ; C : the diet of 0.40% Non-phytate P ; H : the diet of 0.60% Non-phytate P
平均値±標準偏差，n=5. Each value indicates the mean±SD.
[1]増体量の絶対値 (the absolute value of Body weight gain) (g/day)
[2] ( ) の中の数値 (%) は増体量/22 日齢の体重×100 として計算したもので，統計分析のために用いた.
The values within parentheses are expressed as Body weight gain (g)/Body weight (22 d) (g)×100 and
[3]飼料摂取量の絶対値 (the absolute value of Feed intake) (g/day)
[4] ( ) の中の数値 (%) は飼料摂取量/22 日齢の体重×100 として計算したもので，統計分析のために用いた.
The values within parentheses are expressed as Feed intake (g)/Body weight (22 d) (g)×100 and are used
* : P<0.05 ; ** : P<0.01 ; NS : 有意差なし Not significant at 5% level.

(mg/day) となり，相対的には 12.9% 減少した．また，常温下に比べて高温下で減少し，その減少割合は低 NPP，中 NPP，高 NPP の各条件下でそれぞれ 47.0%，58.7%，44.4% であり，中 NPP 条件で著しかった．

Cu の排泄量において主効果は環境温度に，交互作用は飼料中 NPP 条件とフィターゼ添加条件との 2 因子間にみられた．Cu の排泄量は常温下に比べて高温下で相対的に 11.7% 減少した．また，フィターゼ無添加に比べて添加で減少し，その減少割合は低 NPP，中 NPP，高 NPP の各条件下でそれぞれ 9.1%，5.9%，28.6% であり，高 NPP 条件で著しかった．

2) ミネラルの蓄積率 (表 4)

P の蓄積率において，飼料中 NPP 条件およびフィターゼ添加条件の主効果がみられた．各 NPP 条件間の相対関係で比べると，低 NPP 条件では中・高 NPP 条件に対して 20.6% と 27.5% の増加となった．一方，フィターゼ無添加では 52.0% であったものが，添加で 57.7% となり，相対的には 11.0% の増加を示した．

Ca の蓄積率については，主効果は環境温度に，交互作用は飼料中 NPP 条件とフィターゼ添加条件との 2 因子

Copyright ©2003, Japan Poultry Science Association

取量および飼料要求率に及ぼす影響（22～50 日齢）

feed intake and feed conversion ratio in broiler chikens (Days 22 to 50)

飼料摂取量 Feed intake				飼料要求率（g：g） Feed conversion ratio	
20℃					
0		1000		0	1000
178.0±16.7[3]	(16.50±1.39)[4]	169.4±10.8	(16.11±0.68)	2.34±0.10	2.10±0.18
170.0±15.0	(15.73±0.58)	180.6±11.5	(17.45±1.48)	2.11±0.16	2.15±0.18
168.3±22.6	(15.65±1.53)	175.8±11.6	(17.30±1.86)	2.19±0.29	2.24±0.18
30℃					
0		1000		0	1000
113.1±17.0	(11.35±0.62)	123.2±11.2	(11.92±0.80)	2.41±0.14	2.24±0.19
103.7±11.0	(10.72±1.19)	102.5± 7.0	(10.57±1.20)	2.85±0.82	2.72±0.34
114.9±17.0	(11.80±1.02)	109.8± 6.5	(11.33±1.68)	2.46±0.28	2.48±0.13
統計分析結果 Statistical Analysis					
NS				NS	
NS				NS	
**				**	
NS				NS	
NS				*	
NS				NS	
NS				NS	

are used for statistical analysis.

for statistical analysis.

間にみられた．常温下に対して高温下で相対的に 9.6% 減少した．また，低 NPP 条件ではフィターゼ無添加で 68.1% であったものが，添加で 79.4% となり，相対的には 16.6% 増加した．

Mg の蓄積率において，3 因子全ての主効果がみられ，全平均値の相対関係で比べると，低 NPP 条件より高 NPP 条件で 14.6% の減少，フィターゼ無添加に比べて添加によって 13.0% の増加，常温下に比べて高温下で 18.6% の減少を示した．

Zn の蓄積率において，フィターゼ添加条件の主効果のみがみられ，フィターゼ無添加では 27.6% であったものが，添加で 37.6% となり，相対的には 36.8% 増加した．

Cu の蓄積率において，フィターゼ添加条件および環境温度の主効果がみられ，全平均値の相対関係で比べると，フィターゼ無添加に比べて添加によって 22.7% 増加し，常温下より高温下で 38.3% 減少した．

3） 脛骨灰分含量および脛骨灰分中ミネラル含量（表5）

脛骨灰分含量についてみると，飼料中 NPP 条件とフィターゼ添加条件の交互作用がみられ，低 NPP 条件ではフィターゼ無添加に比べて添加によって増加した．

Copyright ©2003, Japan Poultry Science Association

表 3. フィターゼ添加がブロイラーの P, Ca, Mg, Zn, Cu の排泄量に及ぼす影響 (22〜50 日齢)

Table 3. The effect of phytase supplementation on excretion P, Ca, Mg, Zn and Cu in broiler chikens(Days 22 to 50)

	ミネラルの排泄量 (Excretion of mineral) (mg/day)									
	P		Ca		Mg		Zn		Cu	
処理区 (Treatment)										
環境温度 (Environmental temperature)	20℃									
フィターゼ添加水準 (Phytase level)	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000
L	255.5± 54.6	184.8± 26.2	157.2±21.3	101.2±24.4	178.5±19.5	169.1±16.7	19.2±4.2	16.3±3.0	1.2±0.1	0.9±0.2
C	467.8±125.3	440.2± 77.7	261.4±65.9	235.1±56.7	205.0±50.5	199.8±33.2	19.1±4.6	17.2±3.0	1.0±0.3	1.0±0.2
H	574.6± 73.6	627.6±100.2	372.0±71.0	430.6±80.4	222.8±25.5	187.3±27.1	17.4±2.6	15.0±2.2	1.2±0.4	0.7±0.1
環境温度 (Environmental temperature)	30℃									
フィターゼ添加水準 (Phytase level)	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000
L	170.3± 39.7	136.3± 23.1	213.0±46.9	144.4±37.6	95.3±11.8	94.9±10.8	9.8±3.1	9.0±1.0	1.0±0.2	1.1±0.2
C	243.5± 43.7	248.7± 25.3	237.2±60.3	248.9±23.8	84.7±12.9	87.7± 4.6	7.8±1.0	7.2±0.6	0.7±0.1	0.8±0.1
H	437.0± 77.7	351.0± 46.7	425.6±96.7	359.2±45.4	102.7±20.6	87.0±17.2	10.1±1.7	7.9±2.0	0.9±0.2	0.8±0.2

要因 Source of variation	統計分析結果 Statistical Analysis				
A (NPP 含量 Non-phytate P content)	**	**	*	NS	NS
B (フィターゼ添加水準 Phytase level)	NS	NS	NS	**	*
C (環境温度 Environmental temperature)	**	*	**	**	*
A×B	NS	NS	NS	NS	*
A×C	**	NS	*	*	NS
B×C	NS	NS	NS	NS	NS
A×B×C	*	*	NS	NS	NS

平均値±標準偏差, n=5. Each value indicates the mean±SD.

* : P<0.05 ; ** : P<0.01 ; NS : 有意差なし Not significant at 5% level.

Copyright ©2003, Japan Poultry Science Association

表 4.　フィターゼ添加がブロイラーの P, Ca, Mg, Zn, Cu の蓄積率（%）に及ぼす影響（22〜50 日齢）

Table 4.　The effect of phytase supplementation on relative retention (%) P, Ca, Mg, Zn and Cu in broiler chikens (Days 22 to 50)

処理区（Treatment）	P		Ca		Mg		Zn		Cu	
環境温度 (Environmental temperature)	20℃									
フィターゼ添加水準 (Phytase level)	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000
L	59.1± 5.4	68.6±4.3	74.6±2.6	82.8±3.8	49.9± 2.5	50.1±3.1	26.1±11.8	33.5±11.7	39.8±4.2	49.8± 8.9
C	47.9±10.6	53.4±7.0	70.8±5.8	74.9±6.7	40.3±11.2	44.9±6.7	23.2±13.2	34.5±8.5	44.1±12.9	46.4± 8.2
H	50.6± 6.0	48.9±5.6	71.9±5.2	69.2±4.3	33.3± 8.8	47.0±4.3	28.1±12.7	41.3±6.0	36.2±18.5	60.9± 5.0
環境温度 (Environmental temperature)	30℃									
フィターゼ添加水準 (Phytase level)	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000
L	54.7± 4.8	68.2±4.6	61.5±5.3	76.0±4.9	34.9±5.3	40.6±5.4	27.4±13.6	37.6± 6.4	19.6± 7.8	23.4± 5.4
C	55.1± 6.3	53.4±6.5	68.9±6.0	66.7±4.0	37.1±7.7	34.0±5.6	36.0± 3.2	39.6± 8.1	33.1±10.0	31.4± 4.7
H	44.8±10.4	53.9±6.7	61.9±7.1	66.4±4.4	30.6±14.5	38.9±12.1	24.5±14.2	39.1±15.6	28.4±16.0	35.0±18.1

要因 Source of variation	統計分析結果 Statistical Analysis				
A（NPP 含量 Non-phytate P content）	**	**	*	NS	NS
B（フィターゼ添加水準 Phytase level）	**	**	*	**	**
C（環境温度 Environmental temperature）	NS	**	**	NS	**
A×B	NS	**	NS	NS	NS
A×C	NS	NS	NS	NS	NS
B×C	NS	NS	NS	NS	NS
A×B×C	NS	NS	NS	NS	NS

平均値±標準偏差，n＝5.　Each value indicates the mean±SD.

* : P＜0.05 ; ** : P＜0.01 ; NS : 有意差なし Not significant at 5% level.

Copyright ©2003, Japan Poultry Science Association

表 5. フィターゼ添加がブロイラーの脛骨灰分含量および灰分中 P, Ca, Mg, Zn の含量に及ぼす影響（50 日齢）

Table 5. The effect of phytase supplementation on the tibial bone content of ash and P, Ca, Mg and Zn in broiler chikens (Days 50)

	灰分含量（Ash）		灰分中ミネラル含量（mineral content in ash）							
			P		Ca		Mg		Zn	
	%		% of ash		% of ash		% of ash		ppm in ash	
処理区（Treatment）										
環境温度 (Environmental temperature)	20℃									
フィターゼ添加水準 (Phytase level)	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000
L	43.9±1.8	47.4±1.6	18.4±1.1	21.8±0.6	38.1±0.8	37.7±1.0	0.7±0.0	0.8±0.1	291±28	289±45
C	49.1±0.9	47.6±0.5	21.8±0.1	21.3±0.6	39.7±2.2	36.9±1.6	0.9±0.1	1.2±0.3	300±45	323±34
H	48.9±0.8	48.7±1.0	21.5±0.3	21.8±0.3	38.7±1.1	36.9±0.8	0.9±0.1	1.0±0.2	319±19	315±21
環境温度 (Environmental temperature)	30℃									
フィターゼ添加水準 (Phytase level)	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000
L	43.8±3.4	48.0±1.6	15.5±0.2	16.1±0.2	34.7±2.2	42.2±6.1	0.7±0.0	0.6±0.1	347±25	321±11
C	45.3±4.6	46.0±2.4	15.8±0.3	16.2±0.5	38.2±7.3	39.6±3.0	0.7±0.2	0.6±0.1	305±21	290±21
H	49.8±2.9	47.5±2.9	15.8±0.2	15.9±0.2	42.1±4.4	40.4±5.9	0.6±0.1	0.6±0.1	279±22	279±26

要因 Source of variation	統計分析結果 Statistical Analysis				
A（NPP 含量 Non-phytate P content）	**	**	NS	**	NS
B（フィターゼ添加水準 Phytase level）	NS	**	NS	NS	NS
C（環境温度 Environmental temperature）	NS	**	NS	**	NS
A×B	**	**	NS	NS	NS
A×C	NS	**	NS	**	**
B×C	NS	**	*	**	NS
A×B×C	NS	**	NS	NS	NS

平均値±標準偏差，n=5. Each value indicates the mean±SD.

* : P<0.05 ; ** : P<0.01 ; NS : 有意差なし Not significant at 5% level.

Copyright ©2003, Japan Poultry Science Association

Pの脛骨灰分中含量において，3因子の交互作用がみられ，低NPP条件の常温下ではフィターゼ添加によって有意な増加を示した．

Caの脛骨灰分中含量についてみると，フィターゼ添加条件と環境温度の交互作用がみられ，高温下ではフィターゼ添加によって増加した．

Mgの脛骨灰分中含量についてみると，2因子の交互作用が飼料中NPP条件と環境温度，ならびにフィターゼ添加条件と環境温度の間でみられ，常温下に比べて高温下での中・高NPP条件で減少するとともに，常温下ではフィターゼ添加によって増加した．

Znの脛骨灰分中含量において，交互作用は飼料中NPP条件と環境温度との2因子間にみられ，常温下に比べて高温下では，低NPP条件で増加したが，高NPP条件で減少した．

4）血漿中ミネラル濃度（表6）

Pの血漿中濃度についてみると，主効果は環境温度に，交互作用は飼料中NPP条件とフィターゼ添加条件との2因子間にみられた．常温下に比べて高温下で上昇するとともに，低NPP条件ではフィターゼ添加によって血漿中P濃度が上昇した．Caの血漿中濃度において，3因子間の交互作用がみられ，低NPP条件の高温下ではフィターゼ添加によって上昇した．Mgの血漿中濃度において，3因子間の交互作用がみられ，低NPP条件の常温下ではフィターゼ添加によって上昇した．Znの血漿中濃度において，3因子間の交互作用がみられ，高NPP条

表 6.　フィターゼ添加がブロイラーの血漿中P，Ca，Mg，Znの濃度に及ぼす影響（50日齢）

Table 6　The effect of phytase supplementation on the plasma concentration of P, Ca, Mg and Zn in broiler chikens (Days 50)

	P		Ca		Mg		Zn	
	mg of 100 ml		mg of 100 ml		mg of 100 ml		ppm	
処理区（Treatment）								
環境温度 (Environmental temperature)				20℃				
フィターゼ添加水準 (Phytase level)	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000
L	15.9±4.7	35.5±14.0	4.9±1.3	5.9±1.7	1.5±0.3	2.5±0.4	6.9±2.1	5.6±2.3
C	17.7±8.8	13.3± 5.8	4.8±1.6	4.4±1.8	2.0±0.3	1.6±0.5	9.4±2.3	7.0±1.7
H	12.1±4.7	16.2± 3.3	4.2±1.2	4.3±0.6	1.4±0.5	1.7±0.4	7.2±2.9	10.7±2.7
環境温度 (Environmental temperature)				30℃				
フィターゼ添加水準 (Phytase level)	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000
L	39.2±6.0	48.9± 4.2	6.9±1.6	14.8±4.5	1.7±0.1	2.2±0.4	4.3±1.1	6.7±2.7
C	27.3±2.0	27.5± 5.9	11.8±2.6	8.2±2.4	1.4±0.4	1.7±0.4	1.7±0.7	2.7±0.5
H	32.0±6.0	29.0±3.4	7.9±1.0	8.1±1.0	2.2±0.5	2.3±0.5	3.4±1.0	4.1±1.8

要因 Source of variation	統計分析結果 Statistical Analysis			
A（NPP含量 Non-phytate P content）	**	**	*	NS
B（フィターゼ添加水準 Phytase level）	**	NS	**	NS
C（環境温度 Environmental temperature）	**	**	NS	**
A×B	**	**	**	NS
A×C	NS	NS	**	**
B×C	NS	NS	NS	NS
A×B×C	NS	**	*	*

平均値±標準偏差，n＝5．　Each value indicates the mean±SD.

*：P＜0.05；**：P＜0.01；NS：有意差なし　Not significant at 5% level.

Copyright ©2003, Japan Poultry Science Association

件の常温下ではフィターゼ添加によって上昇した.

考　　察

常温下に比べ高温下で増体量と飼料摂取量が低下したことは，発育時期と環境温度がほぼ類似している実験での結果（Donkoh, 1989）と同様であった．この報告には飼料中のNPP含量が示されていないが，本研究の中NPP条件に近いと考えると，増体量と飼料摂取量の常温に対する低下度合が本研究ではそれぞれ49.0%，35.8%であり，Donkohの21.6%，12.9%より大きくなっていた．これは実験開始時の体重がDonkohが用いたものでは641 gであるのに対して，本研究では1,016 gと大きく，高温の影響を受けやすいことが原因であったと考えられた．両温度条件下で飼育成績に対するフィターゼの添加効果が認められなかった．飼料要求率についてフィターゼによる影響がみられなかったことは，以前の常温での報告（Denbow *et al.*, 1995 ; Sohail and Roland, 1999）と一致したが，常温下の増体量，飼料摂取量においてもフィターゼの影響がみられなかったことは肥育前期の鶏を用いて行われた結果（Simons *et al.*, 1990 ; Broz *et al.*, 1994 ; Denbow *et al.*, 1995 ; Mitchell and Edwards, 1996 a, 1996 b）及び6週齢での結果（Sohail and Roland, 1999）とは異なっていた．違いの一因としては加齢に伴い，鶏の飼料中のフィチンリンを利用する効率が高くなる（Sebastian *et al.*, 1998）ためと思われたが，高温下での肥育後期のブロイラーの生産成績に対するフィターゼの添加効果についてはさらに検討の余地があると考えられた．

総P，Mg，ZnおよびCuの排泄量は高温下で低下したが，これは高温下での飼料摂取量の減少によるものと考えられた．Caでは高NPP条件のみ，高温下より常温下で排泄量の増加が有意であったが，絶対値の差は大きなものではないと考えられた．

高温下でのフィターゼ添加は常温下と同様にZnの排泄量を低減し，総P，Ca，Mgでは有意な排泄量の減少に至らなかったが，平均値では無添加に対してそれぞれ一割程度低下した．これらのことから，肥育後期のブロイラーにおける飼料への1,000単位のフィターゼ添加は環境へのZnの負荷を軽減でき，総P，Ca，Mgについても若干軽減できるのではないかと考えられた．

常温下に対し，高温下でPとZnの蓄積率は減少しなかったがCa，Mg，Cuでは減少した．Belay and Teeter (1996) によると，4〜7週齢の間，高温（35℃）で飼育したブロイラーは常温（24℃）のものと比較し，P，Ca，Mg，Zn，Cuの蓄積量がそれぞれ相対的に，41.3%，38.9%，55.6%，600%，45.5%減少していた．この原因は，1）飼料摂取量の減少に伴うミネラル摂取量の減少，2）ミネラルの吸収の低下により消化管からのミネラルの吸収量の減少，としている．本研究ではCa，Mg，Cuの蓄積率が常温に対して，それぞれ相対的に，11.5%，16.9%，33.2%減少しており，Belay and Teeter (1996) での程度まで至らなかった．これは高温条件の30℃と35℃の違いにもよると考えられた．

いずれのミネラルに対してもフィターゼ添加によって蓄積率が増加したので，これを高温条件下だけで見てみると，フィターゼ添加はP，Mg，Zn，Cu，低NPP条件のCaの蓄積率をそれぞれ，1割以上改善した．P，Ca，Zn，Cuの蓄積率がフィターゼ添加によって改善されたことは，常温下での肥育前期のブロイラーでのフィターゼ添加がP，Caの蓄積率を上昇した結果（Roberson and Edwards, 1994 ; Simons *et al.*, 1990 ; Sebastian *et al.*, 1996 a, 1996 b ; Yonemochi *et al.*, 2001 ; Yi *et al.*, 1996 a, 1996 b）と同様であった．フィターゼ添加による蓄積率の上昇はミネラルの排泄量を低減したことを示しており，高温下でもフィターゼ添加によって，P，Ca，Mgなどのミネラルがフィチン酸塩から解離され，ブロイラーに効率的に利用され，蓄積率が改善されたと考えられた．すなわち，フィターゼは高温下でも効果があると考えられた．

一方，常温下でフィターゼを用いないときのCaの蓄積率は72.4%であったのが高温下の同条件では64.1%となり，低下したが，これにフィターゼを添加した場合の蓄積率は69.7%であったので，今回のフィターゼ添加は高温によるミネラルの蓄積率低下を完全には回復できないと考えられた．このことからも，高温下でのフィターゼ添加条件について，検討の余地があると考えられた．

なお，本研究で常温条件に限ってみれば，P，Ca，Znの蓄積率がフィターゼ添加によってそれぞれ8.4%，11.0%，41.2%上昇した程度は，肥育前期における添加がそれぞれ12.5%，12.2%，62.3%上昇したとの報告（Sebastian *et al.*, 1996 a）よりやや低かったことは加齢による要因もあると考えられた．

高温下でフィターゼ添加によって脛骨灰分含量，脛骨灰分中ミネラル含量および血漿中ミネラル濃度においていくらかの上昇がみられたことは常温下での肥育前期に関する報告（Mitchell and Edwards, 1996 a., 1996 b ; Qian *et al.*, 1996 ; Sebastian *et al.*, 1996 a, 1996 b ; Yi *et al.*, 1996 a ; Yonemochi *et al.*, 2000）と一致した．高温下で肥育後期においてのフィターゼ添加はミネラルの脛骨への石灰化をある程度改善できたと考えられた．フィターゼ添加区の脛骨と血漿の結果からも鶏がフィチン酸塩から解離されたミネラルを利用したと考えられた．

飼料中NPP条件について見てみると，高温下でのフィターゼ添加によって，総Pの排泄量においては高

Copyright ©2003, Japan Poultry Science Association

NPP 条件下で影響があったが，Ca の蓄積率においては低 NPP 条件下で効果があり，一致した傾向が見い出せなかった．また，飼育成績や脛骨灰分含量および血漿中 P，Ca 濃度においても一致した関係が見られなかったことから，高温下でフィターゼを添加する場合の飼料中 NPP 含量を検討する必要があると考えられた．

以上，高温下での飼料への 1,000 単位のフィターゼ添加は肥育後期のブロイラーの飼育成績を改善できなかったが，ミネラル利用性をある範囲で改善したことから，肥育後期のブロイラーにとっては厳しい高温環境下でのミネラルの利用性に対するフィターゼ添加効果を実証できたと考えられる．

引 用 文 献

Belay T and Teeter RG. Effects of ambient temperature on broiler mineral balance partitioned into urinary and fecal loss. British Poultry Science, 37 : 423-433. 1996.

Broz J, Oldale P, Perrin-Voltz AH, Rychen G, Schulze J and Simoes Nunes C. Effects of supplemental phytase on performance and phosphorus utilization in broiler chickens fed a low phosphorus diet without addition of inorganic phosphates. British Poultry Science, 35 : 273-280. 1994.

Denbow DM, Ravindran V, Kornegay ET, Yi Z and Hulet RM. Improving phosphorus availability in soybean meal for broilers by supplemental phytase. Poultry Science, 74 : 1831-1842. 1995.

Donkoh A. Ambient temperature : a factor affecting performance and physiological response of broiler chickens. International Journal of Biometeorology, 33 : 259-265. 1989.

伊藤敏男．家畜の管理（野附　厳・山本禎紀　編）．第 1 版．162-178 頁．文永堂出版．東京．1991.

Mitchell RD and Edwards JrHM. Effects of phytase and 1, 25-Dihydroxycholecalciferol on phytate utilization and the quantitative requirement for calcium and phosphorus in young broiler chickens. Poultry Science, 75 : 95-110. 1996 a.

Mitchell RD and Edwards JrHM. Additive effects of 1, 25-Dihydroxycholecalciferol and phytase on phytate phosphorus utilization and related parameters in broiler chickens. Poultry Science, 75 : 111-119. 1996 b.

農林水産省農林水産技術会議事務局編．日本飼養標準・家禽（1997 年版）．14-15 頁．中央畜産会．東京．1997.

Oberleas D. Phytate. In : Toxicant Occurring Naturally in Foods. 2nd ed. pp. 363-371. National Academy Press, Washington D.C. 1973.

Qian H, Veit HP, Kornegay ET, Ravindran V and Denbow DM. Effects of supplemental phytase and phosphorus on histologoical and other tibial bone characteristics and performances of broilers fed semi-purified diets. Poultry Science, 75 : 618-626. 1996.

Roberson KD and Edwards JrHM. Effects of 1, 25-Dihydroxycholecalciferol and phytase on zinc utilization in broiler chicks. Poultry Science, 73 : 1312-1326. 1994.

Sebastian S, Touchburn SP, Chavez ER and Lague PC. The effects of supplemental microbial phytase on the performance and utilization of dietary calcium, phosphorus, copper, and zinc in broiler chickens fed corn-soybean diets. Poultry Science, 75 : 729-736. 1996 a.

Sebastian S, Touchburn SP, Chavez ER and Lague PC. Efficacy of supplemental microbial phytase at different dietary calcium levels on growth performance and mineral utilization of broiler chickens. Poultry Science, 75 : 1516-1523. 1996 b.

Sebastian S, Touchburn SP and Chavez ER. Implications of phytic acid and supplemental microbial phytase in poultry nutrition : a review. World's Poultry Science Journal, 54 : 27-47. 1998.

Simons PCM, Versteegh HAJ, Jongbloed AW, Kemme PA, Slump P, Bos KD, Wolters MGE, Beudeker RF and Verschoor GJ. Improvement phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. British Journal of Nutrition, 64 : 525-540. 1990.

Sohail SS and Roland DASR. Influence of supplemental phytase on performance of broilers four to six weeks of age. Poultry Science, 78 : 550-555. 1999.

Yi Z, Kornegay ET, Ravindran V and Denbow DM Improving phytate phosphorus availability in corn and soybean meal for broilers using microbial phytase and calculation of phosphorus equivalency values for phytase. Poultry Science, 75 : 240-249. 1996 a.

Yi Z, Kornegay ET and Denbow DM. Supplemental microbial phytase improves zinc utilization in broilers. Poultry Science, 75 : 540-546. 1996 b.

Yonemochi C, Takagi H, Hanazumi M, Hijikuro S, Koide K, Ina T and Okada T. Improvement of phosphorus availability by dietary supplement of phytase in broiler chicks. Japanese Poultry Science, 37 : 154-161. 2000.

Yonemochi C, Takagi H, Okada T, Ina T, Koide K. Reduction of excretory Phosphorus and trace minerals by dietary supplementation of microbial phytase in broiler chicks. Japanese Poultry Science, 38 : 234-241. 2001.

Copyright ©2003, Japan Poultry Science Association

Effects of Phytase Supplementation on Performance and Mineral Utilization of Broiler Chickens under the Normal and High Environmental Temperature

Xiaorong Tao[1], Toshihiko Kamada[2], Yuji Takemura[2], Haruo Tanaka[2], Kunio Sugahara[3], Hisao Itabasi[2] and Shigeru Sugano[2]

[1] United Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo 183-8509

[2] Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo 183-8509

[3] Faculty of Agriculture, Utsunomiya University, Tochigi 321-8505

A 27-day feeding trial during fattening period using 60 male broiler chickens was conducted to study the effects of micro-phytase supplementation on performance and mineral utilization under the high constant environmental temperature. Relative retention of mineral (P, Ca, Mg, Zn, Cu), mineral content in tibia ash, plasma and excreta were measured as mineral utilization indicators. The experimental design was completely randomized with a 3×2×2 factorial arrangement of treatments. The variables included dietary non-phytate phosphorus levels (0.20%, 0.40%, 0.60%), phytase supplementation levels (0 and 1000 units/kg) and the constant environmental temperature levels (20℃ and 30℃). Feed and water were provided *ad libitum* throughout the feeding trial.

Body weight gain and feed intake under the high environmental temperature were less than those in the normal environmental temperature. Phytase supplementation had no effect on growth performance. Phytase supplementation increased relative retention of minerals, decreased excreta content of total P, Ca, Mg, Zn. The results show that phytase supplementation under the high environmental temperature improved mineral utilization of broiler during fattening period.

(*Japanese Poultry Science*, ***40*** *: J1–J12, 2003*)

Key words : Broiler, Environmental temperature, Phytase, Performance, Mineral utilization