

食物繊維の飼料への配合が鶏雛の発育および腸管発達に及ぼす影響

小原真理子・山内高円

EFFECTS OF DIETARY FIBER ON GROWTH PERFORMANCE
AND INTESTINAL DEVELOPMENT IN CHICKS

MARIKO OHARA and KOH-EN YAMAUCHI

The aim of this study was to investigate the effect of dietary fiber sources on growth performance and developmental changes of the intestinal morphology in chicks. A total of 140 newly hatched male White Leghorn chicks were randomly divided into following 4 groups; *ad libitum* access to water and 1) a commercial grower mash diet (CP; 21% , ME; 2950 kcal/kg) , 2) 5% dietary cellulose diet, 3) 5% dietary alginic acid (Sodium Salt) diet and 4) 5% dietary pectin diet groups. Until 5-week-old, feed intake was checked every 5 days, and body weight and length, weight and area in each intestinal part were measured every week. At the end of each feeding experimental period, light microscopic samples for intestinal villus height, cell area and cell mitosis in the crypt were fixed with Bouin solution. Scanning electron microscopic samples were fixed with a mix solution of glutaraldehyde and paraformaldehyde.

Compared with the intact controls, dietary cellulose diet did not induce a specific alteration in feed intake, body weight gross and micro anatomical changes in the intestine except for the villus surface morphology showing an atrophic function. In chicks fed a dietary alginic acid diet, feed intake, body weight and gross anatomical morphology in the intestine were decreased. In chicks fed a dietary pectin diet, although body weight was decreased the intestinal villus height and cell area were increased, and villus surface morphology showed a slightly activated function.

Among these dietary fiber sources, alginic acid induced the most decreased feed intake and body weight followed by pectin. On the other hand, pectin induced the most increased villus height and cell area followed by alginic acid.

These facts of increased villus height and cell area in body weight-decreased chicks after feeding a water-soluble dietary fiber such as alginic acid and pectin suggest that the present increased villus height and cell area might be induced by their activated function to make up the deficient nutrient due to a long-term inabsorbable colloidal condition of these ingested dietary fibers in the intestine.

Key words : chick, cellulose, alginic acid, pectin, intestinal villi, scanning electron microscope.

緒 言

鳥類はその系統発生過程において飛翔能力を獲得したことにより、鳥体を軽減するための宿糞の減少や腸管の短縮化が生じた⁽¹⁾。その結果、家禽飼育面では、腸管の短縮化による3~4時間程度の腸管内飼料通過速度の迅速性⁽²⁾は栄養素の吸収に関しては非常に非効率で栄養生理学的にはマイナスの獲得形質と思われる。それ故、摂取した飼料を少しでも長く腸管内に滞留させておくために飼料に食物繊維を配合する試みがなされてきている。一般的に、食物繊維はエネルギー源としては期待できな

いが、腸管内容物が消化管を移動する過程においてその栄養分の消化・吸収を遅延させたり⁽³⁾、飼料に適度な容積を与え腸管運動を促進させる作用⁽⁴⁾や、繊維が腸壁を刺激することにより消化液の分泌およびその腸管内容物への浸潤を活性化させることによる代謝作用の亢進作用があり、不消化有効成分として栄養生理学的に有効飼料成分であると考えられている。

鶏における繊維配合飼料の給与が消化率におよぼす実験では、飼料中への繊維配合割合が5%⁽⁵⁾または10%⁽⁶⁾以上になると他の栄養素の消化率を低下させるという報告に対して、繊維含量が20~30%でも生物価や真のタン

パク質消化率に影響を与えない^(7,8)とする報告も述べられている。また、繊維配合飼料給与ウズラでは、繊維含量の低い餌から高い餌に切り替えると、腸の長さが長くなり、筋胃の重量も増加することが述べられている⁽⁹⁾。このような報告は、飼料への繊維の配合が腸管の機能や形態に影響を及ぼすことを示唆するものと思われる。

一方、食物繊維は不溶性食物繊維と水溶性食物繊維に分けられ、ラットでは不溶性食物繊維は結腸に滞留して結腸を肥大させ、水溶性食物繊維は結腸よりも盲腸に滞留して盲腸の肥大を引き起こすことが報告されており⁽¹⁰⁾、不溶性食物繊維と水溶性食物繊維とは腸管に異なる影響を及ぼすことが推察される⁽³⁾。不溶性食物繊維としては、セルロースが挙げられ、各種天然食品中に存在し、 α -グルコースと β グルコースが結合した多糖類である⁽¹¹⁾。水溶性食物繊維ことに粘質多糖類は水を含むと適当な条件下でゲル化して膨潤する性質があり、アルギン酸(アルギン酸ナトリウム)、ペクチンがこれに属する⁽¹²⁾。しかし10%ペクチンを含む蔗糖飼料をラットに投与した後、胃内容物を取り出してその物性を観察したところ、胃内容物はゲル化することなく流動性を保っていたことから、粘質多糖類の栄養効果をそのゲル化作用に求めるのは適当ではなく、むしろゾルの状態で物質の拡散や消化管機能に影響を及ぼしていると考えるのが妥当である⁽¹³⁾。アルギン酸は褐藻類の細胞壁構成成分で栄養的には全く利用されず、ペクチンは果実、野菜等の細胞間物質や細胞膜の構成成分でありノンカロリーのゼリーとして利用されている⁽¹¹⁾。Siriら⁽¹⁴⁾はセルロース末、アルギン酸およびペクチン含有飼料給与鶏の比較では、ペクチンは成長を抑制するが、体重当たりの十二指腸の長さや重量を増加させ、アルギン酸もわずかではあるがこれらを増加させる傾向があることを報告している。

これらの報告により、セルロース、アルギン酸およびペクチンの飼料への配合給与は消化管粘膜の組織にも何らかの影響を及ぼすものと推察されるが、そのような報告はいまだに述べられていない。そこで本研究では、白色レグホーン種雛にセルロース、アルギン酸およびペクチン配合飼料を給与し、鶏雛の成長、腸管の肉眼解剖学的変化、腸管粘膜の微細構造の変化について検討した。

材料および方法

セルロース、アルギン酸、ペクチンの給与による鶏腸管の形態学的変化を調べるために2回の飼料給与試験を行った。飼料給与試験1では鶏雛の成長、肉眼解剖学的変化を観察し、飼料給与試験2では十二指腸粘膜の組織学的な変化を光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡を用い

て観察した。

【飼料給与試験1】単冠白色レグホーン種雄雛100羽を購入し、朝8時から夕方6時までの照明下で、35℃にセットした育雛用四段バッテリーに収容し、その後1週間当たり2℃ずつ減温し5週齢時まで飼育した。孵化後48時間までは水のみを与え3日目に餌付けを行い、給与試験については市販幼雛育成用配合飼料(Table 1)を1mmのフィルターを用いて粉碎した基礎飼料を給与した区を正常飼育区とし、この基礎飼料に5%の割合でセルロース、アルギン酸、ペクチンを配合した区をそれぞれセルロース区、アルギン酸区、ペクチン区とし、各区の平均体重が同じになるように雛を分類した。育雛用四段バッテリーでは各区とも25羽ずつ、上段より正常飼育区、セルロース区、アルギン酸区、ペクチン区の順に収容し、5週齢までの試験期間中は水とともに自由摂食させ、その間、摂食量の測定は5日間隔、体重の測定は1週間間隔で行った。肉眼解剖学的観察用腸管材料については1週間ごとに採取した。

【肉眼解剖学的観察方法】各材料採取日に断頭屠殺後直ちに腸管を採取し、腸管に付着する腸間膜組織および脂肪組織を除去した。その後、腸管各部位すなわち筋胃幽門部から胆・膵管開口部までを十二指腸、胆・膵管開口部からメッセル憩室までを空腸、メッセル憩室から回・盲・直腸結合までを回腸とし、左右一対の盲腸と共にそれぞれを切開し、生理食塩水(0.9%)で腸管内容物を洗浄した。次いで生理食塩水を表面に流したガラス板の上に腸をのせて一端を押さえて保定し、他端を軽く引き伸ばした後、離して静止した時の長さを測定して腸の長さとした。その後、腸の水分を脱脂綿でぬぐい取り、腸の

Table 1 Composition of basal diet (dry basis %)

Ingredients and Nutrients	Starter mash
Ground corn, Milo	65
Soybean meal	27
Fish meal	5
Concentrate mixture	3
Crude protein	21.0
Crude fat	2.0
Crude fiber	5.0
Crude ash	8.0
Calcium	0.8
Phosphorus	0.8
Metabolizable energy (kcal/kg)	2,950.0

重さを測定した。次いで生理食塩水を入れたピーカーに腸を浸し、5℃で2時間放置後、腸の筋肉が弛緩してから取り出し、乾燥厚紙上に腸粘膜面を下にして指で軽く押さえながら広げ、腸の輪郭を紙上に描いた後、切り取って自動面積計（林電工株式会社、AAM-9型）にて面積を測定した。

【飼料給与試験2】単冠白色レグホーン種雄雛40羽を購入し、1週間ごとの肉眼解剖用腸管材料採取を実施しなかったこと以外は飼料給与試験1と同様の方法にて、育雛および飼料給与試験を行った。5週齢までの試験期間終了後、各腸管各部位における光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡による観察用腸管材料を採取した。断頭屠殺後直ちに腸管を摘出し、0.1M カコジル酸緩衝液で調合した3%グルタルアルデヒドと4%パラフォルムアルデヒド等量混合固定液に浸した。その後、十二指腸の中央部に固定液を腸管内腔より注入して、内腔からの浸潤固定を行った。走査型電子顕微鏡用試料については腸管各部位の中央部約1.5cmを切除し、長軸方向に沿って腸間膜結合部位において腸管を開き、腸の内腔面に付着した腸内容物を除去するために、燐酸緩衝液を用いて調合した生理食塩水（PBS, PH7.4）で十分に洗浄した。さらに、底部にパラプラストを流し込んで固めたシャーレに固定液を注入し、その中に腸管各部位を広げて4隅を虫ピンで保定した状態で1時間の固定を行った。

【光学顕微鏡用試料の作製方法】走査型電子顕微鏡用材料の隣接部約1.5cmを採取し、腸管内容物をPBSで十分に洗浄した後、Bouin・HgCl₂固定液にて10日間浸潤固定を行った。固定した組織は、両端を数ミリ切り取った後、70%エタノール希釈ヨードチンキに移し、2日間、脱水銀を行った。次に所定の方法に従ってエタノール系列で脱水し、安息香酸メチルで透徹を行った。その後、パラプラストに包埋し、5μmの横断切片を作製し、ヘマトキシリン・エオシン染色後、ニコン二次元画像解析システムコスモゾーンISを用いて絨毛の高さ、吸収上皮細胞の面積、および陰窩における細胞分裂数の測定を行った。絨毛の高さの測定には、粘膜固有層が鮮明で完全に縦断されている絨毛を選び、1枚の5μm横断切片内で高さが最も高いものを一つ選定し、陰窩上部から絨毛頂部までの長さを測定した。各区当たり60個の絨毛高の測定を行った。吸収上皮細胞の面積には、絨毛頂部において鮮明な単層円柱上皮層を呈し、核および細胞同士の境界が明確な箇所を選び、数個の核を含む上皮層面積を測定し、その値をその領域内に含まれる核の数で割った値を1個の細胞面積とした。各区当たり60個の吸収上皮細胞面積

の測定を行った。陰窩における細胞分裂数の測定については、1枚の5μm横断切片内における全ての陰窩に存在する細胞分裂数をカウントし、各区当たり9枚の切片における細胞分裂数を測定した。

【走査型電子顕微鏡用試料作製方法】上述のごとく、虫ピンで保定した状態で1時間の固定を行った後、固定液を入れたシャーレ内でフェザー剃刀を用いて約3mm×5mmにトリミングし、同固定液を入れた固定瓶中に更に1時間入れ、合計2時間の前固定を室温で行った。前固定終了10分前に固定瓶ごと水冷し、次に、0.1M カコジル酸ナトリウム緩衝液で15分×3回洗浄した後、1%オスミウム酸で2時間の後固定を行った。その後、蒸留水で15分×3回洗浄してから45%エタノールで15時間脱水した。続いて90%、95%エタノールで各1時間脱水した後、臨界点乾燥に取りかかるまで酢酸イソアミルで冷蔵庫内に保管した。臨界点乾燥装置（HLP-1）で乾燥させた試料を銀ペーストでSEM試料台に接着し、1日乾燥させ後、イオンコーター（SR-2）で白金蒸着し、走査型電子顕微鏡（日立S-800）を用いて絨毛表面の微細構造の変化について観察を行った。

結 果

1 鶏の発育

1) 摂食量の変化について

正常飼育区、セルロース区、アルギン酸区、ペクチン区における飼料給与開始後5日目から30日目までの摂食量の変化をFig.1に示した。正常飼育区と比較すると、セルロース区、ペクチン区では目立った摂食量の変化は

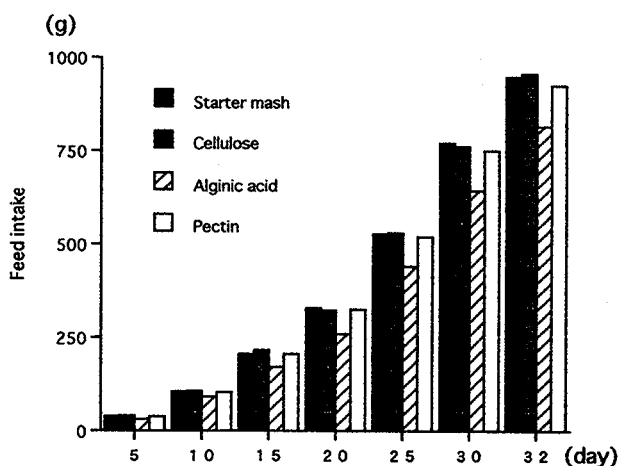


Fig.1 Feed intake of chicks fed starter mash diet and 5% dietary cellulose, alginate acid and pectin diets (n=10).

認められなかったが、アルギン酸区では飼料給与開始後から試験終了時まで顕著な摂食量の減少が認められた。

2) 体重の変化について

正常飼育区、セルロース区、アルギン酸区、ペクチン区における1週齢から5週齢時までの体重の変化をFig.2に示した。正常飼育区と比較すると、セルロース区ではほとんど体重に変化がみられなかったが、アルギン酸区、ペクチン区では1週齢時から5週齢時において顕著に低く、それぞれ5%水準 ($P < 0.05$) で有意差が認められた。またアルギン酸区とペクチン区を比較するとアルギン酸区の体重の方が低い値を示し、1~4週齢において5%水準 ($P < 0.05$) で有意差が認められた。

2 腸管の肉眼解剖学的観察

1) 腸管の長さ

正常飼育区、セルロース区、アルギン酸区、ペクチン区における1週齢から5週齢時までの十二指腸、空腸、回腸、盲腸の長さの変化をFig.3に示した。正常飼育区と比較すると、十二指腸、空腸について、セルロース区とペクチン区では有為差は認められなかったが、アルギン酸区では短くなる傾向がみられ、特に十二指腸では1, 5週齢時に、空腸では2週齢時に5%水準 ($P < 0.05$) で有意差が認められた。回腸、盲腸について、ペクチン区では有為差は認められなかったが、セルロース区、アルギン酸区では短くなる傾向がみられ、特にアルギン酸区では回腸では2, 3週齢時に、盲腸では2, 3, 4および5週齢時に5%水準 ($P < 0.05$) で有意差が認められた。

2) 腸管の重さ

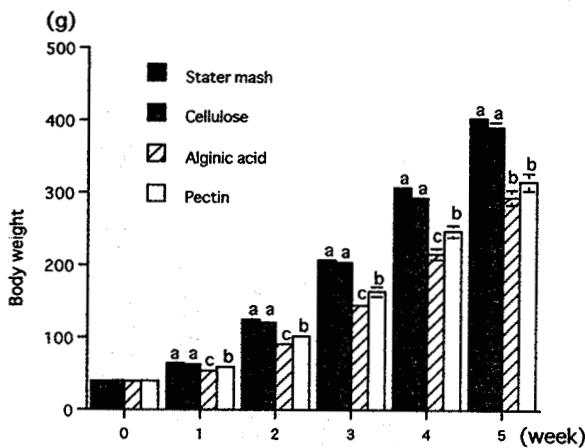


Fig.2 Body weight of chicks fed starter mash diet and 5% dietary cellulose, alginate acid and pectin diets (Mean \pm SE, $n=35$ at start and 5 birds are used every week).

*Bars marked with different superscripts are significantly different from each other ($P < 0.05$).

正常飼育区、セルロース区、アルギン酸区、ペクチン区における1週齢から5週齢時までの十二指腸、空腸、回腸、盲腸の重さの変化をFig.4に示した。正常飼育区と比較すると、十二指腸についてはアルギン酸区で軽くなる傾向がみられた。空腸では、セルロース区でわずかに重く、アルギン酸区で軽くなる傾向がみられた。回腸については、アルギン酸区では軽く、ペクチン区では1週齢時には軽かったが週齢と共に重くなる傾向がみられた。盲腸について、セルロース区、アルギン酸区では有為差は認められなかったが、ペクチン区では顕著に重く、

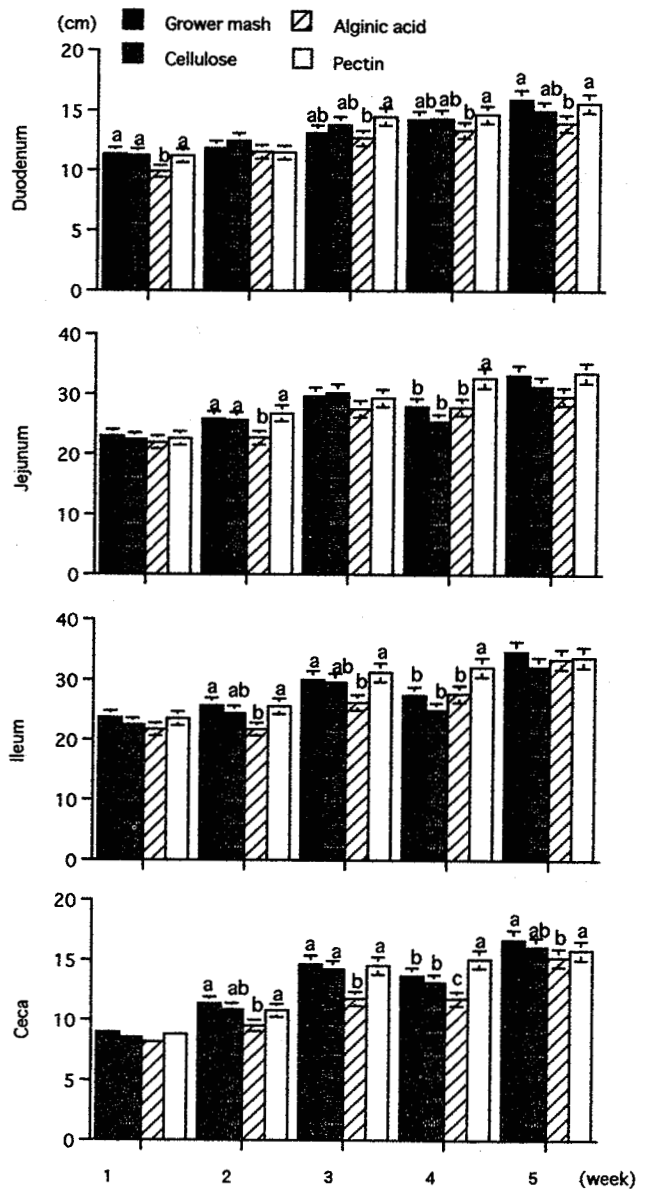


Fig.3 Length of each intestinal segment in chicks fed starter mash diet and 5% dietary cellulose, alginate acid and pectin diets (Mean \pm SE, $n=5$).

*Bars marked with different superscripts are significantly different from each other ($P < 0.05$).

1週齢から5週齢時までの全週齢時において5%水準 ($P < 0.05$) で有意差が認められた。

3) 腸管の面積

正常飼育区, セルローズ区, アルギン酸区, ペクチン区における1週齢から5週齢時までの腸管の面積の変化を Fig. 5 に示した。十二指腸, 空腸, 回腸について正常飼育区と比較すると, セルローズ区では有意差は認められず, ペクチン区では1週齢時には軽かったが週齢を重ねるにつれて大きくなる傾向がみられた。またアルギン酸区では小さくなる傾向がみられ, 特に十二指腸につい

ては4週齢時に有意に減少した。盲腸について正常飼育区と比較すると, セルローズ区ではわずかに小さくなる傾向がみられ, アルギン酸区では顕著に小さくなる傾向がみられ, 特にアルギン酸区については4週齢時に5%水準 ($P < 0.05$) で有意差が認められた。またペクチン区では顕著に大きく, 1週齢から5週齢時の全てにおいて5%水準 ($P < 0.05$) で有意差が認められた。

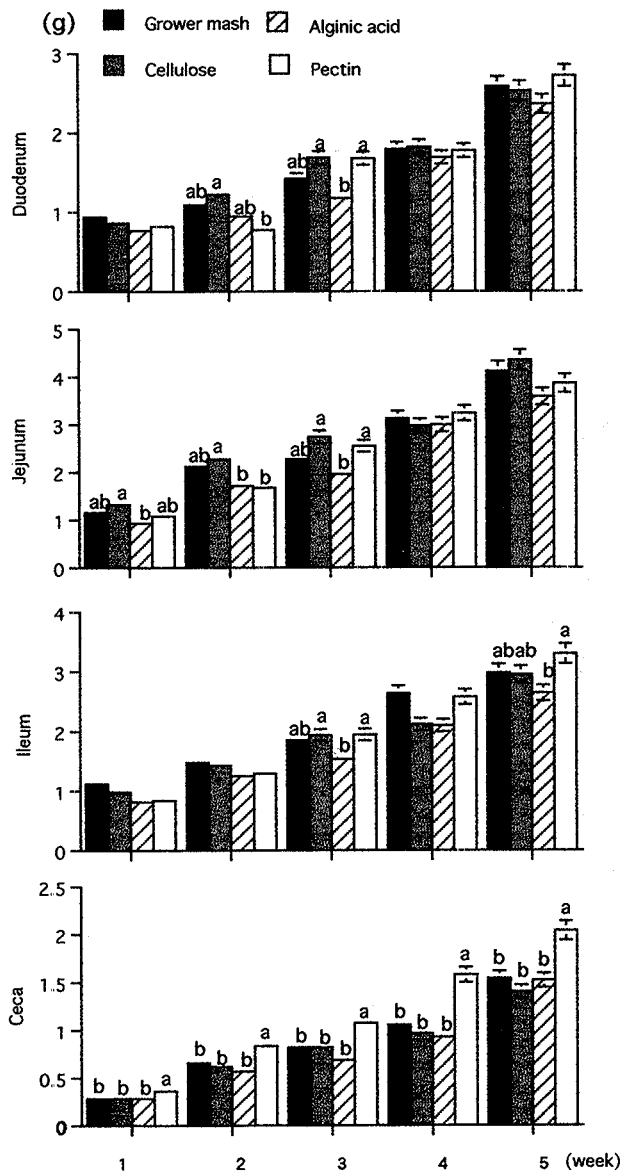


Fig.4 Weight of each intestinal segment in chicks fed starter mash diet and 5% dietary cellulose, alginate and pectin diets (Mean \pm SE, n=5).
^{a,b}Bars marked with different superscripts are significantly different from each other ($P < 0.05$).

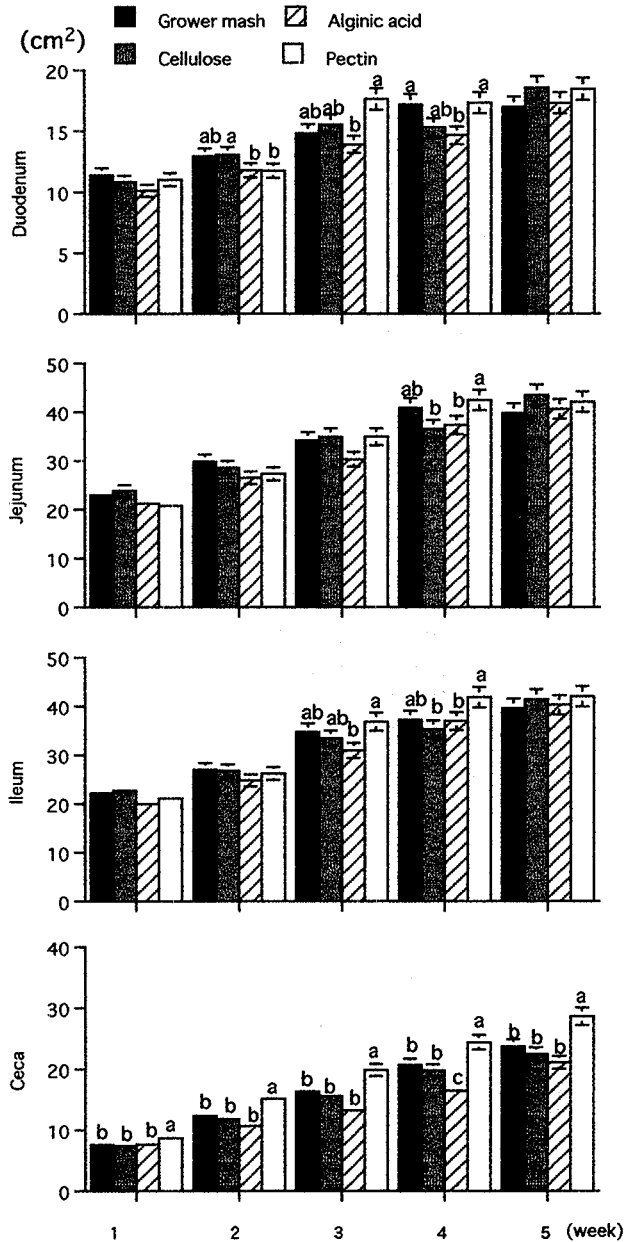


Fig.5 Area of each intestinal segment in chicks fed starter mash diet and 5% dietary cellulose, alginate and pectin diets (Mean \pm SE, n=5).
^{a,b,c}Bars marked with different superscripts are significantly different from each other ($P < 0.05$).

3 光学顕微鏡による観察

1) 絨毛の高さ

正常飼育区, セルロース区, アルギン酸区, ペクチン区における5週齢時の十二指腸絨毛の高さの変化をFig. 6に示した. 正常飼育区と比較すると, 各区とも有意差は認められなかったが, 高くなる傾向がみられ, ペクチン区, アルギン酸区, セルロース区の順に高い傾向を示した.

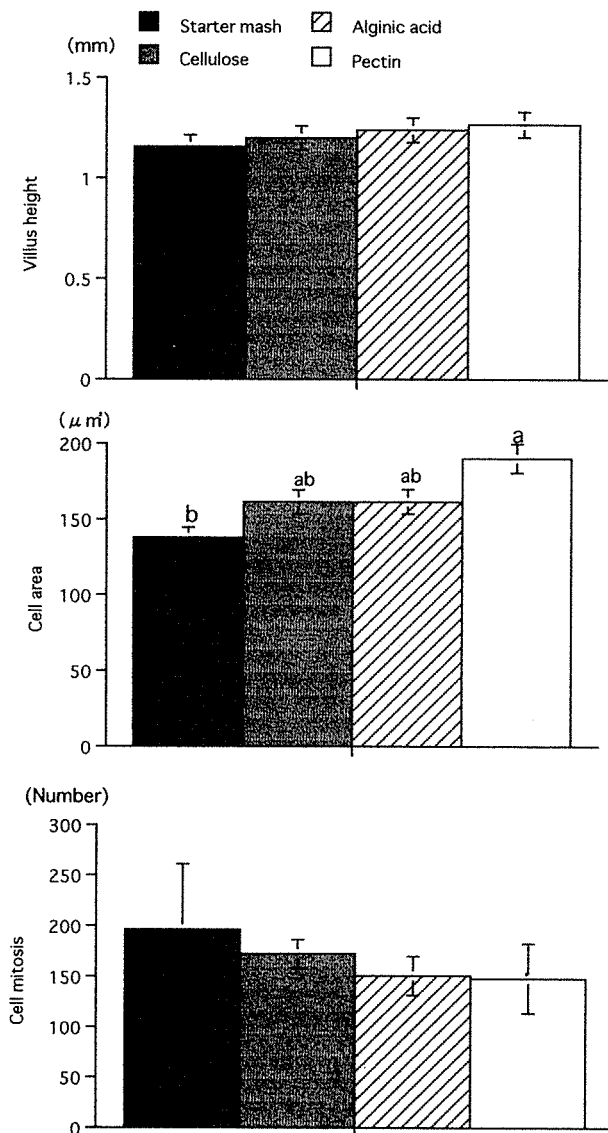


Fig.6 Duodenal villus height, epithelial cell area and cell mitosis of chicks fed starter mash diet and 5% dietary cellulose, alginate and pectin diets (Mean \pm SE, n=3).
^{a-b}Bars marked with different superscripts are significantly different from each other (P<0.05).

2) 吸収上皮細胞の面積

正常飼育区, セルロース区, アルギン酸区, ペクチン区における5週齢時の十二指腸吸収上皮細胞面積の変化をFig. 6に示した. 正常飼育区と比較すると, 各区で細胞面積の増加が認められ, その程度はセルロース区とアルギン酸区で同等, ペクチン区では顕著であり5%水準 (P<0.05) で有意差が認められた.

3) 陰窩における細胞分裂数

正常飼育区, セルロース区, アルギン酸区, ペクチン区における5週齢時の十二指腸の陰窩における細胞分裂数の変化をFig. 6に示した. 正常飼育区と比較すると, 各区で少なくなっており, その程度はセルロース区ではわずかに, アルギン酸区とペクチン区では顕著であったが有意差は認められなかった.

4 走査型電子顕微鏡による腸管絨毛表面の観察

正常飼育区の十二指腸絨毛表面については, 絨毛頂部

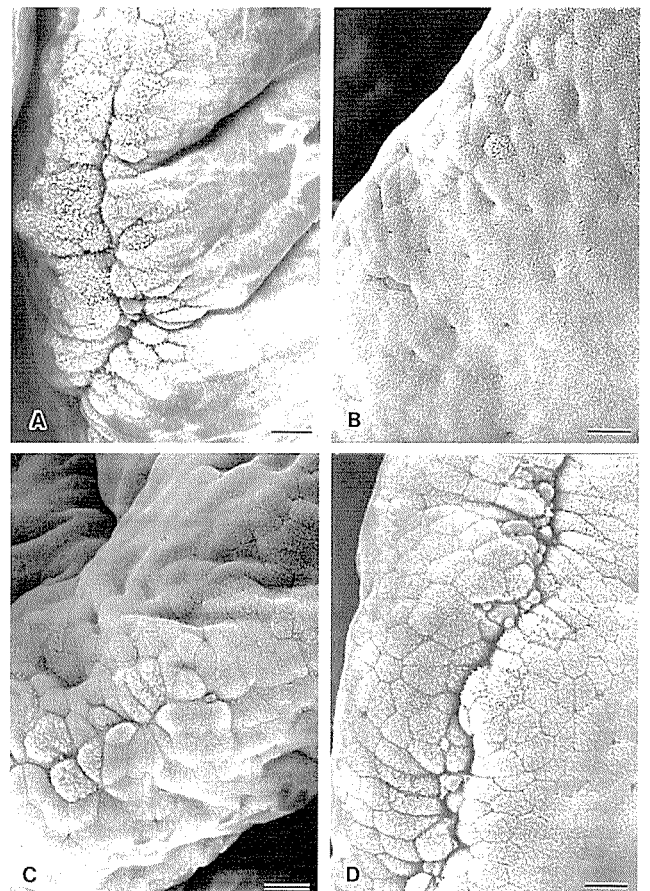


Fig.7 Duodenal villus surface of chicks fed starter mash diet (A) and 5% dietary cellulose (B), alginate (C) and pectin (D) diets.
 Scale bar; 10 μm ($\times 1080$)

に中心溝が観察され、その周囲に分布する隣接する細胞同士の境界線が明確で、粗な微絨毛を有していた (Fig.7-A)。セルロース区では、絨毛頂部の中心溝が認められない絨毛も頻繁に観察され、細胞同士の境界線や微絨毛も不明確となり、滑らかな表面像を呈していた (Fig.7-B)。アルギン酸区の絨毛表面については、セルロース区よりも細胞同士の境界線が鮮明であった (Fig.7-C)。ペクチン区の十二指腸絨毛については、絨毛頂部の中心溝を有する絨毛が多く、細胞同士の境界線も明確で食物繊維給与区の中では最も粗な絨毛表面を示した (Fig.7-D)。

考 察

反芻家畜では反芻胃内における有効微生物の繁茂のために食物繊維は不可欠な飼料成分であり、セルロースは反芻家畜にとって重要なエネルギー源と考えられる。鶏ではセルロースの飼料への3.5%配合は体重、飼料効率、窒素蓄積量、窒素蓄積率およびみかけの窒素消化率に対してはほとんど影響を与えなかったが、5%以上の配合ではこれらの値が減少した⁽⁵⁾ことが述べられている。またセルロースの20%配合飼料の給与により、ラット⁽¹⁵⁾と同様に鶏でも蛋白質消化率が低下した⁽¹⁶⁾との報告が出されている。しかしながら20%あるいは30%配合でも増体重が変化しなかった、とする報告^(7,8)や26.5%配合により飼料の摂取量が増加し発育の低下は認められなかった⁽⁴⁾、とする報告もあり、統一した結果は得られていない。今回のセルロース飼料給与試験における摂食量や体重に顕著な変化が見られなかったこと、回腸、盲腸の長さが短くなる傾向が認められた以外には腸管各部位の長さ、重さおよび面積に顕著な差異は認められなかったこと、十二指腸絨毛の高さに変化が認められなかったこと、などの結果は、栄養生理学的には上述の論文結果と同様、鶏飼料への5%セルロース配合は鶏の発育に対して悪影響を与えないものと考えられる。しかしながら走査型電子顕微鏡による絨毛頂部表面の観察では、わずかに機能低下を示唆する形態像が得られたことから、鶏飼料への5%セルロース配合でも腸管粘膜表面には形態学的な影響を与え始めていることが見いだされた。

アルギン酸については、Siriら⁽¹¹⁾が10%セルロースまたはアルギン酸配合飼料を給与した12ヶ月齢の白色レグホーン種雄を用いて比較しており、アルギン酸配合区の方が摂食量および増体重ともに減少する傾向があることを報告している。また十二指腸の長さや重さに関しては、わずかに増加させる傾向があり、小腸全体の長さや重さでは有意に増加させたことを述べている。しかしながら彼らは正常飼育区との比較を行っておらず、今回の飼料

給与試験1では、正常飼育区の腸管と比較してセルロース区では上述のごとく顕著な差異は認められなかったが、アルギン酸配合区では摂食量、体重および全腸管各部位における長さや重さの減少傾向が観察された。すなわち今回のセルロースまたはアルギン酸配合区間の比較では、アルギン酸配合区の方が摂食量、体重および全腸管各部位における長さや重さの減少傾向がみられたことから、鶏飼料への5%アルギン酸配合は鶏の発育に対して悪影響を与えるものと考えられる。また栄養生理学的にも、鶏飼料への5%アルギン酸配合は鶏の発育に対して悪影響を与えるものと考えられる。すなわちこのようなセルロースとアルギン酸の物理化学的性質を比較すると、セルロースは不溶性食物繊維であるのに対し⁽¹¹⁾、アルギン酸は水溶性食物繊維で水を含むとゲル化して膨潤する性質がある⁽¹³⁾ことにも起因していると思われる。ヒトでは食物繊維に富む食品の摂取は、胃内容物のかさの増加による満腹感、それによる摂食量の低下、さらには体重減少を引き起こすと考えられている⁽¹⁷⁾。アルギン酸給与鶏においても、膨潤したアルギン酸により摂食量と体重の低下が引き起こされ、さらに腸管の発育不良が起こったことが考えられる。しかしながら絨毛の高さが正常区およびセルロース区よりも高くなる傾向がみられ、絨毛頂部表面の変化についても、セルロース区よりも機能亢進を呈す像がみられたことは、アルギン酸のゾル化によって絨毛からの栄養分の消化・吸収が困難となったため、不足する栄養分を補うために絨毛の機能が活性化したためと推察される。

ペクチンについて、Siriら⁽⁷⁾はペクチン給与鶏の摂食量と体重はセルロースおよびアルギン酸給与鶏よりも有意に低くなったにもかかわらず、体重当たりの十二指腸および小腸全体の長さおよび重さとも有意に増大したと報告している。今回のペクチン飼料給与区の摂食量は正常飼育区、セルロース区とほとんど同様の値を示したが、体重が有意に減少していた。Siriら⁽⁷⁾は、このような飼料効率の低下からペクチンには雛の成長を抑制する作用があると解釈している。それ故、鶏飼料への5%ペクチン配合は鶏の発育に対して悪影響を与えるものと考えられる。またペクチン区の腸管では、回腸と盲腸の重さが増加したこと以外には顕著な変化は認められなかったが、体重減少がみられたことから体重当たりに換算すると、Siriら⁽⁷⁾の結果と同様、本試験でも腸管の長さや重さの増加が認められた。盲腸の重さの増加は、水溶性食物繊維給与ラットにおける盲腸の肥大⁽¹⁰⁾と一致するが、片山と小島⁽¹⁰⁾はこの様な盲腸の肥大は水溶性食物繊維が盲腸に滞留することによる、としている。ペクチン区の十二指腸絨毛高は、正常飼育区、セルロース区よりも増加す

る傾向がみられ、絨毛表面の走査型電子顕微鏡像も機能亢進を示したことは、ペクチンのゾル化によって絨毛からの栄養分の消化・吸収が困難となり、不足する栄養分を補うために絨毛の機能が活性化したためと推察される。またペクチン区とアルギン酸区の比較では、全ての観察項目においてペクチン区の方が高い値を示し、走査型電子顕微鏡による絨毛表面の観察についてもペクチン区の方がわずかに機能亢進を示す像が観察された。このことはアルギン酸よりもペクチンの方が腸管内容物の消化・吸収を妨げているのではないかと推察され、その結果、絨毛高の増加や機能亢進を示す絨毛表面の形態像の変化が得られたものと思われる。

一般的に絨毛高、細胞面積および細胞分裂数は絶食処理によって減少するが、その後の再給餌飼料として栄養分に富む飼料を給与したほど迅速な回復がみられることが知られている。しかしながら今回の長期間にわたる食物繊維配合飼料給与試験においても正常区よりも増加した絨毛高と細胞面積がみられ、ペクチン区で最も広い細胞面積が観察された。このような変化は、長期間にわたる腸管内ペクチンのゾル化によって個々の細胞レベルにおいても不足する栄養分を補うために細胞機能活性化によって面積が増加したものと思われる。細胞分裂数には有意差が認められなかったことから、このような細胞面積の拡大が絨毛高の増加をもたらしたと考えられ、絨毛表面の機能亢進像とも一致する。社本ら⁽¹⁸⁾の観察結果では、絨毛高と吸収上皮細胞面積および陰窩における細胞分裂数とはプラスの因果関係があり、絨毛高の変化は、細胞面積や分裂数の変化によって決定されることが述べられているが、食物繊維給与鶏の絨毛高の変化は、細胞

面積によってのみ左右されるものと思われる。

本試験では、食物繊維の中で摂食量、体重および腸管の長さおよび重さの減少に最も影響を及ぼす繊維はアルギン酸であり、全繊維とも絨毛高を増加させるが、ペクチンが最も効果的であることが判明した。また絨毛表面の形態像の変化に関してはペクチン給与によって若干機能亢進像を引き起こすことが明らかとなった。

要 約

食物繊維の飼料への配合が、鶏雛の発育に及ぼす影響を調べるために、140羽の白色レグホーン種の雄初生雛を用いて、粉碎した市販幼雛育成用配合飼料 (CP: 21%, ME: 2,950 kcal/kg) に5%の割合で、セルロース、アルギン酸およびペクチンを配合した試験飼料を5週齢時まで水と共に自由摂食させ、摂食量、体重の変化を測定した。各飼料給与試験終了後、肉眼解剖学的に各腸管の長さ、重さおよび面積を、光学顕微鏡学的に絨毛高、細胞面積および細胞分裂数を測定し、さらに電子顕微鏡学的に絨毛表面の観察を行った。

セルロースの給与は、わずかに機能低下を示唆する絨毛頂部表面の形態像が得られたこと以外には、他の観察項目に顕著な変化は認められなかった。アルギン酸の給与は、摂食量、体重および腸管の長さおよび重さを減少させた。ペクチンの給与では、絨毛高および細胞面積を増加させ、絨毛頂部表面における若干の機能亢進像を示し、このような腸管粘膜の形態学的な変化は、長期間にわたる腸管内ペクチンのゾル化によって不足する栄養分を補うために生じたものと思われる。

引 用 文 献

- (1) 加藤嘉太郎:家畜の解剖と生理. pp. 76. 養賢堂,東京(1965).
- (2) HILLERMAN, J. P., F. H. KRAITZER, and W. O. WILSON: *Poultry Sci.*, 32, 332 (1953).
- (3) 奥恒行:食物繊維の生理作用 (1). 印南敏, 桐山修八編著, 食物繊維. 80-101. 第一出版株式会社, 東京 (1995).
- (4) 木部久衛:ニワトリヒナの発育に関する飼料中センイの栄養生理学的研究. 信州大学農学部紀要, 第3巻, 第2号 (1963).
- (5) 曹兵海, 唐澤豊, 神勝紀:要求量の65%CPと80%MEを給与したニワトリヒナの成長および窒素利用率に及ぼす飼料中セルロース含量の影響. 家禽会誌, 35, 138-141 (1998).
- (6) MORRIS, L., R. B. THOMPSON, and V. G. HELLER: *Poultry Sci.*, 11, 219 (1932).
- (7) SIRI, S., H. TOBIOKA, and I. TASAKI: Effect of dietary cellulose level on growth performance development of internal organs, energy and nitrogen utilization and lipid contents of growing chicks. *Asia-Australasian Journal of Animal Science*, 5, 369-374 (1992).
- (8) MURAMATSU, T., I. MORISHITA, M. FURUSE and J. OKUMURA: Comparison of utilization of cellulose and corn dietary fiber as an energy source in chicks. *Asia-Australasian Journal of Animal Science*, 5, 151-157 (1992).
- (9) C. J. SAVORY and M. J. GENTLE: Changes in food intake and gut size in Japanese Quail in response to manipulation of dietary fiber content *British Poultry Science*, 17, 571-580 (1976).
- (10) 片山(須川) 洋子, 小島雅代: 栄養誌, 43, 277 (1985).
- (11) 吉川春寿ら: 総合栄養学辞典. 同文書院. (1982年).
- (12) 綾野雄幸: 食物繊維の化学. 印南敏, 桐山修八編著, 食物繊維. 16-36. 第一出版株式会社, 東京 (1995).
- (13) 武田秀敏, 桐山修八: 食物繊維の物理化学的性質. 印南敏, 桐山修八編著, 食物繊維. 59-79. 第一出版株式会社, 東京

- (1995).
- (14) SUTHUT SIRI, 飛岡久弥, 田先威和夫：鶏雛の成長, 内臓諸器官の発達, 蛋白質およびエネルギーの利用性, ならびに体中脂質含量に及ぼす食物繊維の影響. 日本家禽学会誌, 29, 106-114 (1992)
- (15) SHAH, N, M., T. ATALLAH, R. R. MAHONEY and P. L. PELLETT : Effect of dietary fiber components on fecal nitrogen excretion and protein utilization in growing rats. *Journal of Nutrition*, 112, 658-666 (1982).
- (16) KROGDAHL, A. : Dietary fiber are troublemakers. *Poultry International*, 1, 20-24 (1987).
- (17) 池田義雄：食物繊維と疾病. 印南敏, 桐山修八編著, 食物繊維. 281-286. 第一出版株式会社, 東京 (1995).
- (18) 社本憲作, 山内高圓, 上曾山博：絶食鶏における米ヌカまたは中雛用配合飼料再給餌による十二指腸絨毛の形態学的変化. 日本家禽学会誌, 36-1, 38-46 (1999)