

卵殻形質と卵殻微細構造の関係

国 松 豊

YUTAKA KUNIMATSU

The relationship between egg shell characteristics and
ultrastructure of the hen's egg.

要旨：鶏齢および鶏種の異なる卵殻について、その卵殻形質と走査型電子顕微鏡による卵殻微細構造の関係を調査した。実験1では12か月齢の褐色卵殻種と白色卵殻種の卵殻を比較した結果、褐色卵殻種の方が卵殻形質がすぐれていたが、卵殻微細構造ではほとんど差異がみられなかった。実験2では6か月齢と12か月齢の2鶏種について比較した結果、鶏齢がすすむにつれて卵殻形質は低下した。また、卵殻の乳頭層の構造にも変化がみられた。実験3では卵殻質の優れた卵殻と劣った卵殻を比較した結果、卵殻質の劣った卵殻の乳頭層および海綿層とも組織は多孔質で粗であった。

以上の結果、卵殻形質の優劣には卵殻微細構造の中で海綿層 および 乳頭層の構造が関係し、特に、乳頭層の構造が深く関係することが示唆された。

結 言

鶏の卵殻強度は年齢、品種、季節、産卵時刻、クラッチの位置、栄養の状態特に飼料中のカルシウム量などにより差異がみられる。これらに関しては数多くの研究報告があるほか、Petersen¹⁾、Wolford and Tanaka²⁾、Washburn³⁾、らによって詳細に説明されている。また、卵殻強度に関係する卵殻構造については、Stewart⁴⁾、Romanoff and Romanoff⁵⁾、ほか多くの研究者によって報告されている。また、最近走査型電子顕微鏡（以下 SEM と略す）による卵殻の微細構造の研究も藤井と田村⁶⁾、Simons⁷⁾、Board⁸⁾、Bunk and Balloun⁹⁾、藤井ら¹⁰⁾、Parsons¹¹⁾、Roland¹²⁾、Silyn-Roberts¹³⁾、らによって報告されている。しかしながら、卵殻形質とその卵殻微細構造の関係について調査した研究は少い。そこで本実験においては、鶏種および鶏齢の異なる産卵鶏よりえた鶏卵の卵殻形質と、SEM による卵殻微細構造との関係を調査した。

材料および方法

実験1では、12か月齢の褐色卵殻種のハーバード・

コメント（以下C鶏と略す）、およびゴトー360（以下Gと略す）、白色卵殻種のハイセックス・ホワイト（以下Hと略す）、シェーパー・スタークロス288（以下S鶏と略す）の4鶏種よりえた鶏卵について調査を行った。

卵殻破壊強度は富士平式卵殻計を用いて鶏卵の短経方向より加圧して測定した。なお、同機で測定された卵殻破壊強度は無単位であるため、富士平式卵殻計で測定された卵殻破壊強度より Tensilon 型材料検査機による卵殻破壊強度（kg）への換算式¹⁴⁾を用いて卵殻破壊強度を計算し、えられた値と比較した。卵殻の厚さは鶏卵の赤道部より3個の卵殻片を採取し、内卵殻膜を除去したのち Dial pipe gauge を用いて測定した。

SEM で観察した卵殻は、赤道部付近のものを用い、内卵殻膜を除去したのち、10%硫化ソーダ液で10分間煮沸して有機物を除去した。次いで、水洗いをしたのち、アルコールとアセトンで脱水し、酢酸アミルの溶媒に置換し、その後、液体炭素を用いて臨界点乾燥法で乾燥させた。完全乾燥後、真空中で試料の外面に金を蒸着させた。これらの試料は日立製作所製 S-

京都府立大学農学部畜産学研究室

Laboratory of Animal Science, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Kyoto, Japan.

昭和59年7月30日受理

310 型走査型電子顕微鏡で微細構造を観察した。

実験2では、6か月齢と21か月齢のC鶏とH鶏よりえた鶏卵について実験1と同様の方法で富士平式卵殻計による卵殻破壊強度および卵殻の厚さを測定したあとSEMにより卵殻の微細構造を観察した。

実験3では、8か月齢の白色卵殻種H鶏よりえた鶏卵について、Tensilon型材料検査機を用いて短径方向より加圧し、卵殻破壊強度を測定した。そして、卵殻破壊強度の大きい(卵殻質の優れた)卵殻と卵殻破壊強度の小さい(卵殻質の劣った)卵殻に分け、それぞれについてSEMによる卵殻の微細構造を比較した。

なお、実験3においては、前実験同様に卵殻の厚さを測定するとともに塩水法により鶏卵比重の測定も併せて行った。

SEMの観察を用いた卵殻は、いずれも10個の鶏卵について卵殻破壊強度および卵殻の厚さを測定し、その平均値に近いものを用いた。

結果および考察

実験1に用いた4鶏種の卵殻破壊強度および卵殻の厚さはTable 1に示すようである。卵殻破壊強度は褐色卵殻種のC鶏およびG鶏が白色卵殻種のH鶏およびS鶏よりいずれも大きかった。しかしながら、卵殻の厚さは白色卵殻種の方が厚かった。PottsとWashburn¹⁵⁾¹⁶⁾も褐色卵殻種のワーレンとハーバード・コ

メットおよび白色卵殻種のデカルブ、バブコックおよびハイラインについて行った実験でも、本実験と同様な結果をえたと報告している。そこで、卵殻破壊強度を卵殻の厚さで除して、卵殻の厚さ1 μm 当り、何gの荷量に耐えられるか(これを仮に卵殻破壊耐久力Durability for break downとする)を計算し比較すればTable 1に示すようである。褐色卵殻種は卵殻の厚さが白色卵殻種に比較して薄いですが、卵殻破壊強度は逆に大きいので、卵殻破壊耐久力は褐色卵殻種の方が白色卵殻種に比較して大きい値を示している。このことより卵殻構造は褐色卵殻種の方が堅ろうであることが示唆された。一方、4鶏種の卵殻の微細構造をSEMで観察した結果はFig. 1の(A)(B)(C)および(D)に示すようである。これらの写真からでは、卵殻の乳頭層および海綿層とも正常で4鶏種の卵殻微細構造にはほとんど差異が認められなかった。したがって、褐色卵殻と白色卵殻の間でみられる卵殻破壊耐久力の差異は卵殻の微細構造の違いからは説明出来ないようである。

実験2における卵殻破壊強度、卵殻の厚さ、および卵殻破壊耐久力を比較するとTable 2に示すようである。

両鶏種とも鶏齢がすすむにつれて卵殻の厚さは薄くなり、卵殻破壊強度も同様に小さくなっている。したがって卵殻破壊耐久力も低下する傾向がみられた。

これら鶏齢と卵殻の厚さ、卵殻破壊強度との関係は

Table 1. Strain difference for egg qualities. (Exp. 1)

Egg shell color	Strain	Egg shell strength*	Egg shell thickness	Durability for break down
		(g) (A)	(μm) (B)	(g/ μm) (A/B)
Brown	C	3593	350	10.27
	G	3718	340	10.94
White	H	2968	360	8.24
	S	3305	363	9.10

* Correction value from value measured by Fujihira shell strength tester.

Table 2. Effect of age of hen on egg shell qualities. (Exp. 2.)

Age of hen	Strain	Egg shell strength*	Egg shell thickness	Durability for break down
		(g) (A)	(μm) (B)	(g/ μm) (A/B)
6 months	C	3530	365	9.67
	H	2910	385	7.56
21 months	C	2970	335	8.87
	H	2660	355	7.49

* Correction value from value measured by Fujihira shell strength tester.

山上ら¹⁷⁾, Hamiltom ら¹⁸⁾, Mueller¹⁹⁾, Tyler と Geak²⁰⁾, ほか多くの研究報告と一致する。

次に、実験2に用いた卵殻の断面をSEMで観察した結果、海綿層の微細構造では、実験1と同様に差異はみられなかった。しかしながら、乳頭部の構造に差異がみられたので乳頭層の部分を拡大して示すとFig. 2のA, B, CおよびDのようである。

藤井ら⁶⁾の観察では、正常卵の乳頭突起基底部の直径は50~60 μm , 高さは30 μm であると報告している。本実験で用いた鶏卵の乳頭突起の状態をみると、鶏齢がすすむにつれて乳頭間隙の溝は深くなり、かつ広くなった。基底部の直径はいずれも50~70 μm であったが、乳頭部の切れ込みはC鶏の6か月齢で60~70 μm , 21か月齢で130~170 μm であった。また、H鶏の6か月齢で50~60 μm , 21か月齢で120~140 μm であり乳頭層に深く切れ込んでいることが観察された。一般に卵殻の乳頭層は海綿層に比較して多孔性であるため、乳頭層のカルシウム沈着は海綿層に比較して少ない。

また、藤井ら¹⁰⁾の観察によれば、海綿層でのカルシウム沈着は卵殻の表面に移行するにつれて緻密となり表層部が最も緻密であったと報告している。本実験で観察された21か月齢の卵殻にみられるように乳頭突起の切れ込みが深くなることは卵殻強度を低くすることに関係する。また、藤井ら¹⁰⁾はひび割れをした卵殻をSEMで観察した結果、卵殻のひびはこの乳頭突起の間隙をぬうように走る線状の裂溝として認められたと報告している。これらのことにより乳頭突起の切れ込みが深いことは卵殻強度に深く関係することが示唆される。

なお、参考までに卵殻膜の線維を観察した結果は、Fig. 3のAおよびBに示すようである。

鶏齢がすすむにつれて卵殻膜の線維は細くなり、枝芽が多くなり、細かい網状となるようであった。線維

の太さは6か月齢で巾3~4 μm , 21か月齢で1~3 μm であったが、鶏種による差異はみられなかった。

実験3では、同一鶏種、同一鶏齢の産卵鶏の産卵したものの中より、卵殻破壊強度の大きい1と2、卵殻破壊強度の小さい3、4および5の卵殻破壊強度、卵殻の厚さおよび鶏卵比重を測定した結果を示すとTable 3のようである。

卵殻破壊強度の大きい1と2は卵殻は厚く、鶏卵比重および卵殻破壊耐久力もともに大きかった。

これに対して、卵殻破壊強度の小さい3、4および5はともに卵殻が薄く、鶏卵比重および卵殻破壊耐久力は小さかった。

実験3の卵殻の微細構造を示すとFig. 4に示すようである。AおよびBは卵殻破壊強度の大きい、卵殻質の良好な鶏卵の微細構造を示している。乳頭層および海綿層いずれも組織は密であることがみられた。これに対してCおよびDは卵殻破壊強度の小さい、卵殻質の劣った卵殻の微細構造を示している。これらの卵殻の海綿層および乳頭層は多孔質であり、組織は粗であることが観察された。これらのことは卵殻組織へのカルシウムの沈着が不十分であり、小さい外力に対して容易に破壊されることが推察される。

Parsons¹¹⁾は良好な卵殻質と劣った卵殻質の卵殻微細構造を比較した実験で卵殻質の劣った卵殻では乳頭突起の形状や分布が不規則であることを観察している。

また、藤井ら¹⁰⁾は異状卵殻卵の卵殻は共通的に乳頭層が異状であり、乳頭層の異状は乳頭突起の乳頭核の異状に起因していると報告しており、卵殻強度に乳頭層の構造が深く関係していることが示唆された。

以上の結果から、同一鶏種、同一鶏齢での卵殻強度の違いは、海綿層および乳頭層の組織の全般的な粗密の程度によるものであり、また、鶏齢がすすむにつれて卵殻強度が低下するのは卵殻の厚さの低下とともに

Table 3. Classification of egg shell with different qualities for ultrastructural observations. (Exp. 3.)

Shell quality	Egg's No.	Egg shell strength*	Egg shell thickness	Egg specific gravity	Durability for break down
		(g) (A)	(μm) (B)		(g/ μm) (A/B)
Good	1	4170	351	1.0925	11.88
Good	2	4140	349	1.0975	11.86
Poor	3	1400	334	1.0875	4.19
Poor	4	1800	276	1.0775	6.52
Poor	5	1830	258	1.0725	7.09

* Measured by Tensilon testing machine.

乳頭部の構造にも起因するものと考えられた。しかしながら、鶏種による卵殻強度の違いは卵殻構造の差異としては説明出来ないようであった。

引用文献

- 1) Petersen, C. F. (1965): *World's Poultry Sci., Journal* **21**: 110-138.
- 2) Wolford, J. H. and K. Tanaka (1970): *Ibid.*, **29**: 763-780.
- 3) Washburn, K. W. (1982): *Poultry Sci.*, **61**: 2005-2012.
- 4) Stewart, G. F. (1935): *Ibid.*, **14**: 24-32.
- 5) Romanoff, A. L. and A. J. Romanoff (1949): *The Avian Egg*. 233. pp. John Wiley & Sons Inc, New York.
- 6) 藤井俊策, 田村達堂 (1969) : 広大水畜紀要, **8**: 85-98.
- 7) Simon, P. C. M. (1971): Ph. D. Thesis. Landbouwhogeschool, Wageningen.
- 8) Board, R. G. (1975): *Br. Poult. Sci.*, **16**, 89-91.
- 9) Bunk, M. J. and S. I. Balloun. (1977): *ibid.*, **18**: 617-621.
- 10) 藤井俊策・渉 辰雄・田村達堂 (1980) : 広大水畜紀要, **19**, 101-111.
- 11) Parsons, A. H. (1982): *Poultry Sci.*, **61**: 2013-2021.
- 12) Roland, M. Leach, JR. (1982): *Ibid.*, **61**: 2040-2049.
- 13) Silyn-Roberts, H. (1983) *Br. Poult., Sci.*, **24**: 497-499.
- 14) 国松 豊・岩井俊暁・吉田重雄 (1980) : 京都府大学報・農, **32** : 56-65.
- 15) Potts, P. L. and K. W. Washburn (1974): *Poultry Sci.*, **53**: 1123-1128.
- 16) — and — (1974): *Ibid.*, **53**: 2167-2174.
- 17) 山上善久・飯野雅夫・田家清一 (1949) : 埼玉鶏試研報, **14** : 41-46.
- 18) Hamilton, R. M. G., B. K. Thompson and P. W. Voisey (1979): *Poultry Sci.*, **58**: 1125-1132.
- 19) Mueller, W. T., A. J. G. Maw and E. G. Buss (1960): *ibid.*, **39**: 854-860.
- 20) Tyler, C. and F. H. Geake (1960): *J. Sci., Food. Agric.*, **11**: 535-547.

Summary

The relationship between characteristics and ultrastructure of hen's egg shell was examined. In the experiment 1, no difference was observed in shell thickness between brown and white egg shells from four different strains of hen (12 months old), while shell strength of brown egg shell was higher than that of white one, indicating superior quality of brown egg shell.

However, there were no ultrastructural differences between egg shells in all strains.

In the experiment 2, both shell strength and thickness were reduced in 21 months old hens

compared with younger ones (6 months old) and abnormal mammillary layer were observed in old hen's egg shell.

In the experiment 3, the ultrastructure of egg shells with remarkably different shell qualities obtained from the same strain and age of hens was compared.

The texture of the egg shell with poor qualities was highly rough and porous.

It seems from these observations that egg shell becomes weakened mostly by the abnormal texture in the mammillary and spongy layers of the shell.

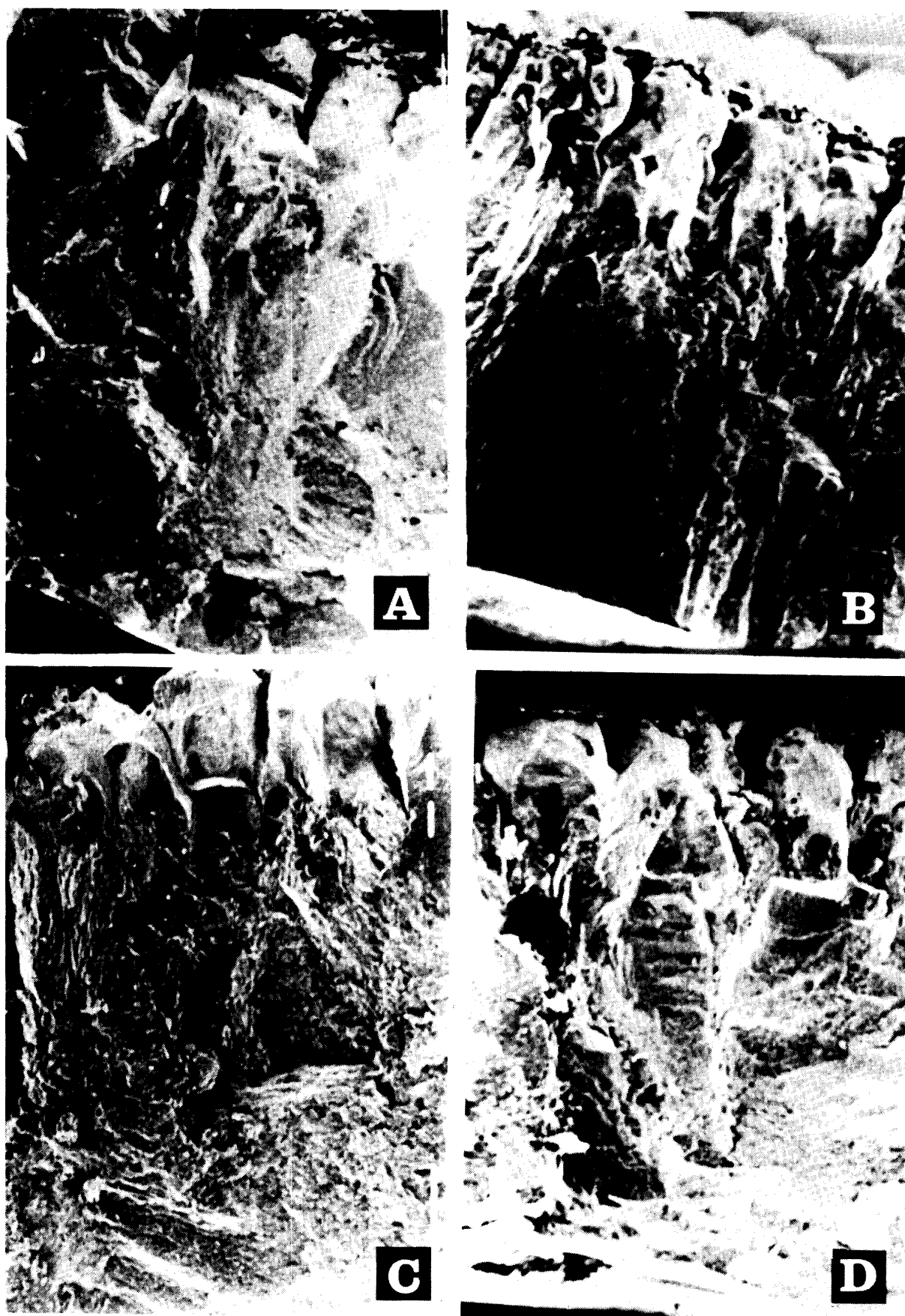


Fig. 1. Scanning electron micro graphs of cross-sections of egg shell from Hubbard comet hen (A), Hisex white hen (B), Shaver star cross 288 hen (C) and Goto 360 hen (D). All 12 months old. (($\times 450$)).

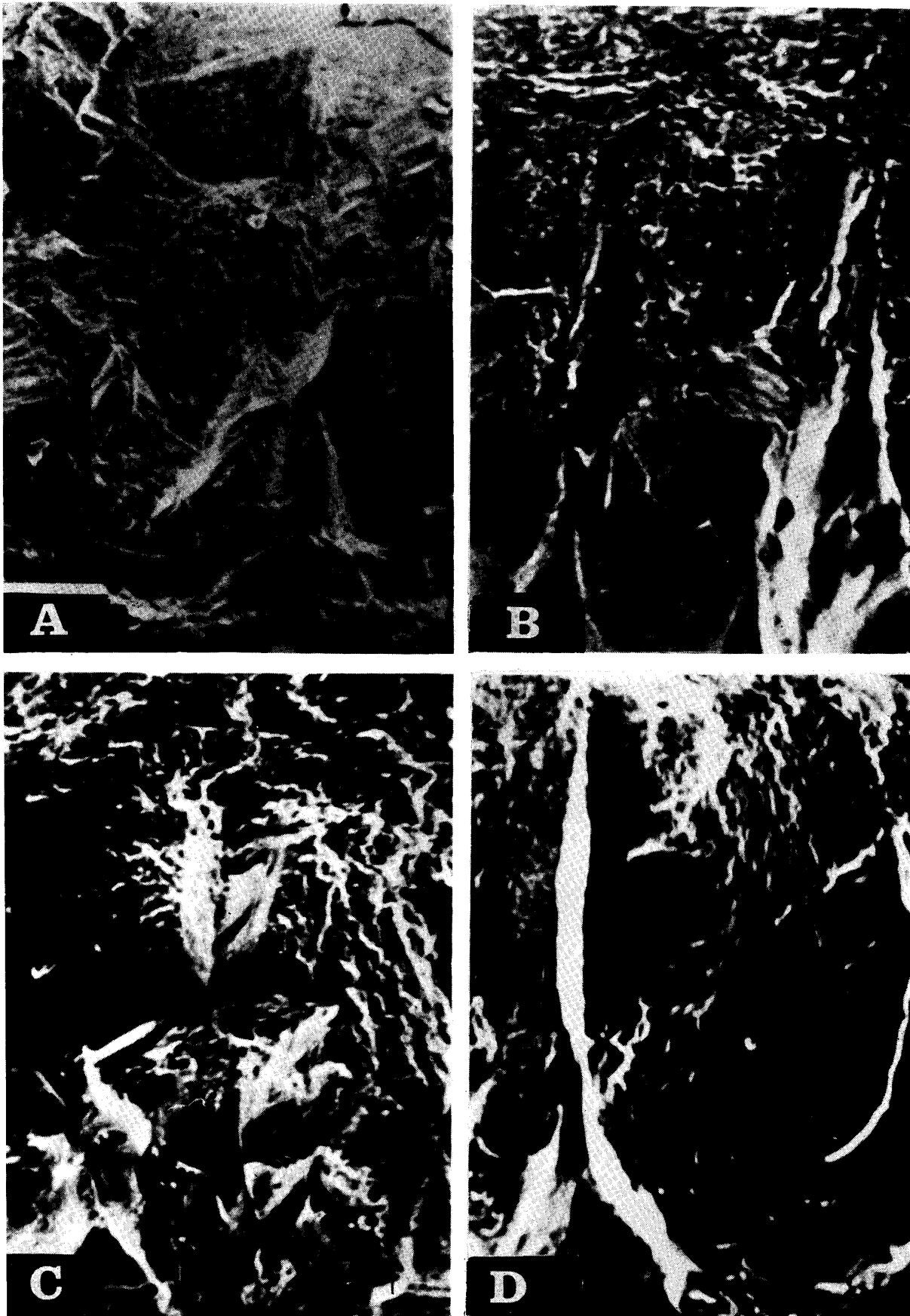


Fig. 2. Scanning electron micro graphs of mammillary knob layer of egg shell from Hisex white hen of 6 months old (A), Hisex white hen of 21 months old (B) Hubbard comet hen of 6 months old (C) and Hubbard comet hen of 21 months old (D). (($\times 500$)).

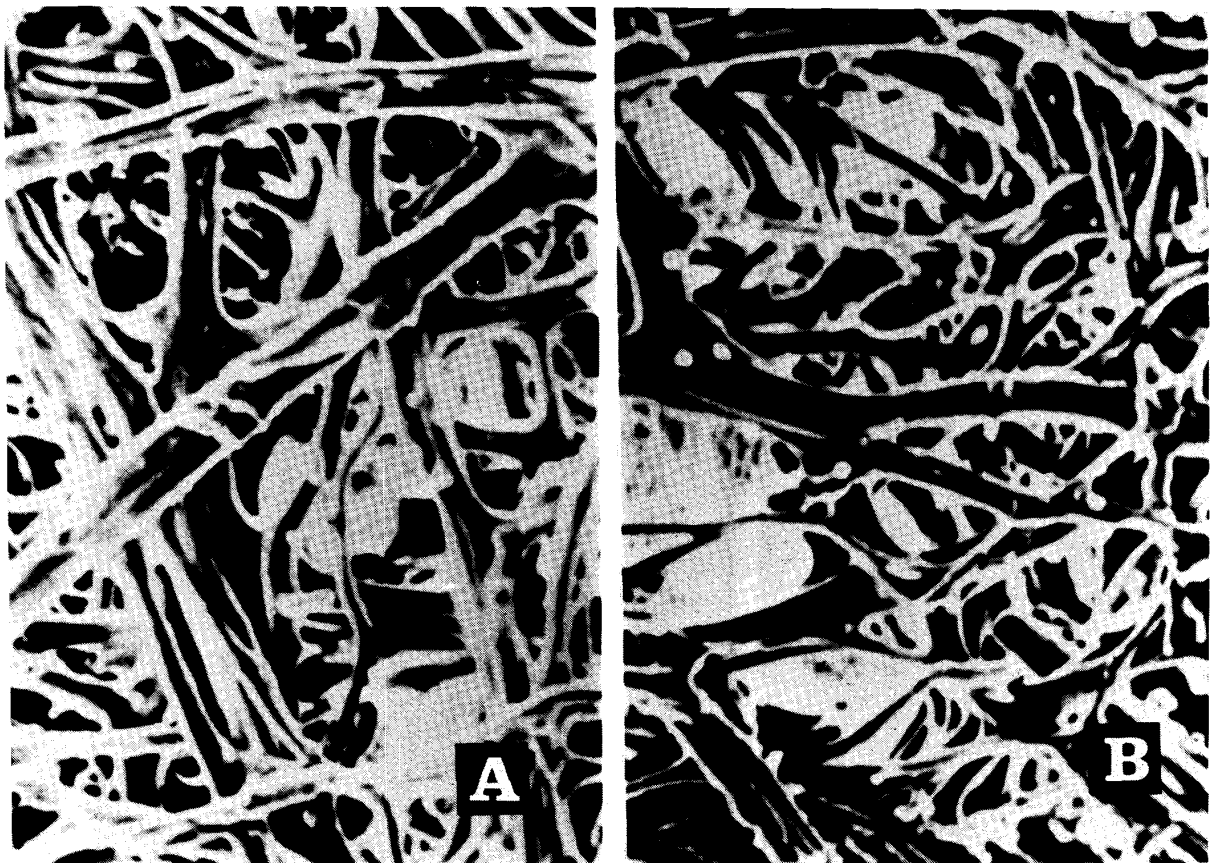


Fig. 3. Scanning electron micro graphs of egg shell membrane from Hisex white hen of 6 months old (A) and Hisex white hen of 12 months old (B). (($\times 2000$)).

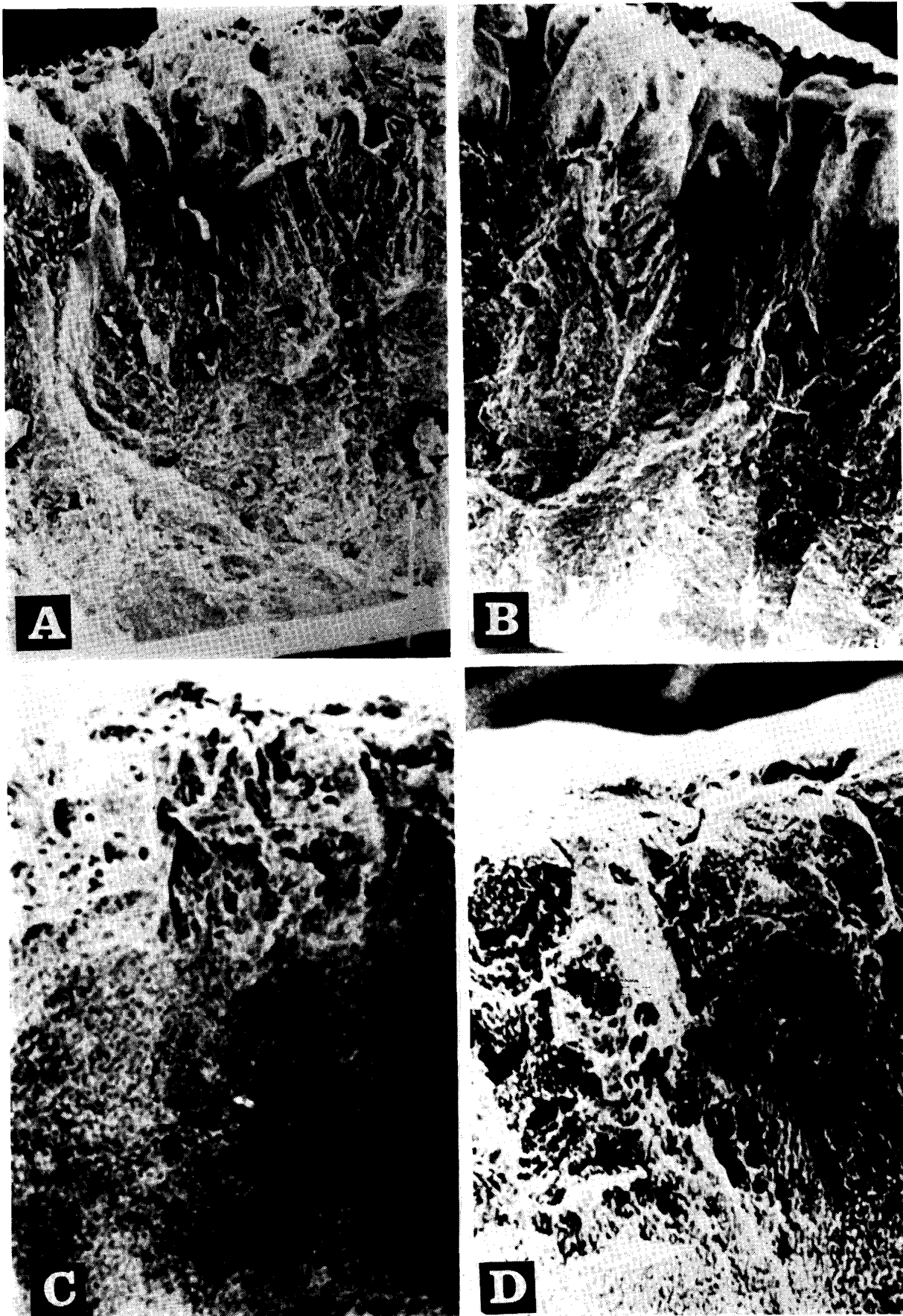


Fig. 4. Scanning electron micro graphs of mamillary knob layer of egg shell with good shell quality (A and B) and poor shell quality (C and D). A, B and C: (($\times 350$)); D: (($\times 500$)).