

## 파주에서 발견된 16세기 미라 머리카락의 미세구조와 보존상태에 관한 연구

이 귀 영<sup>1</sup>, 장 병 수\*  
<sup>1</sup>대구미래대학 멀티뷰티코디네이션과  
한서대학교 보건학부 미용학과

## Studies on the Preservative Condition and the Ultrastructure of Hair of Newly Found Sixteenth Century Mummy in Paju

Gwi Yeong Lee<sup>1</sup> and Byung Soo Chang\*

<sup>1</sup>Department of Multi Beauty Coordination, Daegu Mirae College, Geongsan, Gyeongbuk, 712-716, Korea  
Department of Cosmetology, Hanseo University, Seosan, Chungnam, 356-706, Korea

(Received November 11, 2005; Accepted December 11, 2005)

### ABSTRACT

The preservative condition and ultrastructure on the mummified hair collected from newly found female mummy in Paju, were investigated by using scanning and transmission electron microscopes. The female mummy was found in september, 2002 during the traditional reburial process for the buried ones. The hair of 16th century mummy showed very intact appearances during observation with electron microscope. And the structures of the cortex, medulla and cuticle were well preserved. The cuticle layer was easily discernable, which are composed of six to seven cuticular cells. Each cuticular cells surrounded and thus separated from its neighbors by intercellular membrane complex. In the cortex, many macrofibrils and some melanin granules between them were observed. We observed well preserved rod form macrofibrils running parallel along the direction of hair shaft. Especially, melanin granules were aggregated in the cortex which was adjacent to the cuticle layer. As to the cause for the well preservation of 440 year old hair sample, the presence of surface coat on the hair, which are composed of various materials. As calcium was included in the surface coat in Electron Dispersive X ray Spectroscopy (EDS), the hardening process of the surface coat by calcium might inhibit the water or microorganism infiltration into the hair.

**Key words** : Hair, Hair cortex, Hair medulla, Intercellular membrane complex, Mummy

---

\*Correspondence should be addressed to Dr. Byung Soo Chang, Department of Cosmetology, Hanseo University, Seosan, Chungnam, 356-706, Korea. Ph.: (041) 660-1584, E-mail: bschang@hanseo.ac.kr.

## 서 론

한국에서 조선시대 (1392~1910)에 만들어진 무덤에서 미라(mummy)가 빈번하게 발견되고 있다. 지금까지 발견된 미라는 고고학과 문화재보존학 및 전통 의상학을 연구하는 학자들에 국한되어 관심이 집중되어 왔다. 이러한 이유는 발견된 미라의 신체를 훼손시키지 않고 주변의 유물 등을 쉽게 확보하여 연구할 수 있기 때문이다.

최근에 발견된 미라의 생물학적 연구는 2001년 11월 경기도 양주에서 발견된 어린이 미라, 2002년 9월 경기도 파주에서 발견된 여자 미라, 2004년 3월 전라북도 부안에서 발견된 할머니 미라 및 2004년 5월 대전시에서 발견된 남자 미라를 대상으로 실시되었으며, 미라의 신체상태에 관한 조직학적 연구는 2001년 11월 양주군에서 완벽한 상태로 발견된 어린이 미라를 대상으로 처음 보고되었다(Shin et al., 2003).

본 연구는 2002년 9월 6일 경기도 파주시에서 발굴된 파평윤씨 여성 미라의 머리카락을 채취하여 실험하였다. 미라는 파평윤씨 문중 선산의 무연고 묘지를 이장과정 중 조선시대 회곽묘에서 거의 손상되지 않은 상태로 발굴되었다. 미라는 육안적으로 훼손된 부위가 없는 상태로 보존되어 있었으며 부장된 목서와 한글편지를 통하여 사망 연대가 1566년으로 확인되었다.

머리카락은 인체 조직 중에서 뼈와 치아 다음으로 생물학적 분해가 서서히 진행되기 때문에 매장된 시신의 신체에 관한 유익한 정보를 얻을 수 있다. Chang et al. (2005)의 보고에 의하면 사체를 일반 토양에 매장한 후 30년이 경과되면 머리카락은 그 형태를 알아볼 수 없을 정도로 분해되지만, 매장 후 25년이 경과된 묘에서 채취한 머리카락은 육안적으로 형태는 유지하고 있으나 마치 고목나무가 썩어서 결절질은 벗겨지고 속이 텅 빈 것과 같은 구조를 하고 있다고 보고하였다.

정상적으로 관리된 머리카락은 손상되지 않는다. 그러나, 현대인에 있어서 머리카락은 청결함과 아름다움을 추구하기 위해서 필요 이상으로 씻어주거나 화학약품 등의 처리로 인해 쉽게 손상된다. 손상된 머리카

락은 큐티클층(cuticle)이 벗겨지고, 피질(cortex)이 노출되게 된다. 이런 과정이 더욱더 진행되면 머리카락은 부러지게 된다(Hong et al., 2000; Chang, 2003).

본 연구는 미라 머리카락의 형태적 보존 상태와 손상 정도를 현대인의 머리카락과 비교하고 미라의 머리카락이 사망당시의 모습 그대로 보존된 원인을 규명하였다. 실험에 사용된 머리카락은 발굴당시 현장에서 즉시 채취한 머리카락을 재료로 사용하였고 440여 년간 외견상 완벽한 상태로 보존된 머리카락의 미세구조적 특징을 투과 및 주사전자현미경으로 관찰하였으며 미라화(mummification)가 진행되는 과정 중에 머리카락 표면에 침착된 물질들을 에너지분산분광분석기(Energy dispersive X-ray spectrometry)를 사용하여 성분을 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

실험에 사용된 머리카락은 미라 발굴현장에서 즉시 채취하였다. 머리카락은 실험용 가위를 사용하여 미라 두피와 2~3 cm 떨어진 부위에서 잘라내었으며, 채취한 머리카락의 길이는 약 15~20 cm 이었다.

### 2. 실험방법

#### 1) 투과전자현미경 관찰

미라 발굴현장에서 바로 채취한 머리카락을 2.5% paraformaldehyde-glutaraldehyde (4°C, phosphate buffer, pH 7.4)에 1시간 전고정하고, 1% OsO<sub>4</sub> (4°C, phosphate buffer)로 1시간 후고정 하였다. 고정이 끝난 재료는 동일 완충용액으로 2회씩 세척한 후, 알콜농도 상승순으로 탈수하고, propylene oxide로 치환하여 Epon-Araldite 혼합액에 포매한 다음, 60°C vacuum drying oven (Yamato, Japan)에서 36시간 동안 중합반응 시켰다. 포매된 조직은 초박절편기(ultramicrotome, LKB-2088)로 준초박절편을 제작하였다. 이어서, 초박절편을 제작하여 copper grid에 부착시킨 다음, uranyl acetate와 lead citrate로 이중 염색하여 JEOL 100 CX-II형 투과전자현미경으로 100 kV에서 관찰하

였다.

## 2) 주사전자현미경 관찰

미라 발굴현장에서 바로 채취한 머리카락의 외부에 부착되어 있는 물질 구조와 머리카락 표면구조를 각각 관찰하기 위해서 채취 후 전혀 전처리 과정을 거치지 않은 머리카락과 채취 후 초음파세척기로 세척한 머리카락을 실험재료로 사용하였다. 또한, 머리카락의 내부구조를 관찰하기 위하여  $-176^{\circ}\text{C}$ 의 액체질소(liquid nitrogen)에 10분 동안 급속냉동 시킨 후 동결절단 하였다. 각각의 시료를 2.5% paraformaldehyde-glutaraldehyde ( $4^{\circ}\text{C}$ , phosphate buffer, pH 7.4)로 1시간 동안 전고정하고 이어서 인산완충용액 ( $4^{\circ}\text{C}$ , 0.4 M phosphate buffer, pH 7.4)으로 15분씩 2회 세척한 다음, 1%  $\text{OsO}_4$  ( $4^{\circ}\text{C}$ , phosphate buffer)로 1시간 후고정하였다. 고정이 끝난 재료는 동일 인산완충용액 ( $4^{\circ}\text{C}$ , 0.4 M phosphate buffer, pH 7.4)으로 15분씩 2회 수세한 다음, ethanol 농도 상승순으로 탈수하여 isoamyl acetate로 치환하였다. 처리된 재료는 임계점건조기(critical point dryer, Hitachi SCP-II)에서 건조시킨 후, 이온침착기(JFC-1100 ion coater)를 사용하여 20 nm 두께로 금 도금(gold coating)한 다음 주사전자현미경(JSM-840 A, JEOL, Japan)으로 20 kV에서 관찰하였다.

## 3) 에너지분산분광분석

발굴현장에서 바로 채취한 미라 머리카락의 외부에 부착되어 있는 물질의 성분을 분석하기 위해서 예측되는 물질인 Ca, K, Na, S, C, O, H 등의 분포양상을 에너지분산분광분석기(INCA, Oxford Ins., Great Britain)를 사용하여 확인하였다. 이때 가속전압은 15 kV를 이용하였다.

## 결 과

미라에서 채취한 머리카락의 육안적검사에서 머리카락의 표면에는 많은 이물질이 침착되어 있었다. 머리카락 표면을 세척하지 않고 채취한 상태 그대로 주사전자현미경으로 관찰한 결과 머리카락 표면에는 얇은 판상의 물질들이 겹겹이 싸여 있는데 이런 물질들

은 큐티클층을 완전히 둘러싸고 있었다(Fig. 1). 고배율의 주사전자현미경으로 관찰한 결과 이들 물질은 얇은 판상의 결정체와 같은 구조로 확인되었다(Fig. 2). 이런 얇은 판상의 결정체를 에너지분산분광분석기로 분석한 결과 칼슘(Ca)과 칼륨(K) 등이 주성분인 무기물질로 확인되었다(Fig. 3).

머리카락을 채취하여 초음파세척기로 세척한 후 주사전자현미경으로 관찰한 결과 머리카락은 표면이 전혀 손상되지 않은 상태로 완벽하게 보존되어 있었다. 미라의 머리카락은 직경이 약  $90\ \mu\text{m}$ 로 측정되었으며, 표면은 각화된 편평무핵세포가 중첩되어 마치 지붕의 석가래를 쌓아놓은 것과 같은 구조를 하고 있었고, 큐티클층 표면에는 비늘(scale)이 손상되지 않은 상태로 존재하고 있었다(Fig. 2). 머리카락의 큐티클층의 비늘은 두피와 가까운 부위에서부터 끝쪽 부위까지 깨져 있거나 분리되지 않은 상태로 생존 당시 모양 그대로 유지하고 있었다(Fig. 4). 고배율의 주사전자현미경상에서 비늘은 중첩되어 노출된 끝부분이 완만한 곡선의 형태로서 일부 예리한 각을 형성하고 있었고, 표면에는 손상된 부분이 전혀 관찰되지 않았다(Fig. 4).

미라 머리카락의 횡단면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과 머리카락은 완전한 원형의 형태를 하고 있었으며 큐티클층과 피질 및 수질이 잘 보존되어 있었다. 큐티클층은 직경이 약  $4\ \mu\text{m}$ 로 측정되었고 6~7개의 편평무핵세포가 길고 납작하게 신장되어 피질을 둘러싸고 있었으며 이들 세포의 직경은 약  $0.6\ \mu\text{m}$ 로 관찰되었다. 큐티클층에 둘러싸인 피질은 각화된섬유(cornified fibril)에 의해서 채워져 있는데 멜라닌과립(melanin granule)은 주로 큐티클층에 인접한 외피질 부위에 집중적으로 분포하고 있는 것이 확인되었다. 수질은 머리카락 직경의 약 1/4을 차지하고 있었다(Fig. 6). 투과전자현미경상에서 수질은 각화세포들이 공포를 형성하여 내부가 비어 있는 상태로 각화된 세포는 전자밀도가 높게 나타났으며, 수질과 인접한 피질에는 멜라닌과립이 드물게 산재되어 있었다(Fig. 7).

미라 머리카락을 급속 동결 절단한 후 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 피질을 채우고 있는 각화세포(cornified cell) 내에는 거대원섬유(macrofibril)들로 채워져 있는데 이들 거대원섬유는 긴 막대모양으로 머리카락의 장축을 따라 길게 종주하고 있었다(Fig. 8).

투과전자현미경상에서 피질은 전혀 손상되지 않았으며 거대원섬유 사이에는 멜라닌과립들이 존재하고 있었고 이들 과립은 큐티클층과 인접한 외피질에 집중되어 존재하였다(Fig. 10). 멜라닌과립의 단면은 타원형이나 원형의 형태로 직경이 약  $0.5\mu\text{m}$ 로 관찰되었는데 과립내에는 tyrosinase 효소의 core로 보이는 구조물이 존재하고 있었다(Fig. 9). 큐티클층은 인접한 큐티클세포들이 세포막사이복합체(intercellular membrane complex)에 의해서 단단하고 견고하게 부착되어 있었고 세포질은 바깥쪽의 전자밀도가 높은 외큐티클(exocuticle)과 전자밀도가 상대적으로 낮은 내큐티클(endocuticle)로 뚜렷하게 구분되었다(Fig. 11).

## 고 찰

사람의 머리카락은 큐티클층과 피질 및 수질로 구성되어 있다. 큐티클층은 각화된 편평무핵세포인 큐티클세포(cuticular cell)가 중첩되어 있어서 머리의 결을 형성하고, 큐티클세포의 1/4~1/5는 표면으로 돌출되어 마치 비늘 모양을 하고 있으며, 3/4~4/5는 중첩되어 피질의 표면을 덮고 있다. 피질은 각화섬유(cornified fiber)로 채워져 있는 각화세포들로 구성되어 있으며 멜라닌과립이 각화섬유 사이에 산재되어 분포하고 있다. 수질은 다수의 공포를 갖고 있는 각화된 세포로 공기를 함유하고 있고 머리카락 직경의 약 1/3~1/4 정도 차지하고 있다(Dawber & Comaish, 1970; Wall & Hunter, 1974).

미라의 머리카락은 완벽한 상태로 존재 하고 있다. 큐티클층은 표면이 손상됨 없이 비늘이 완만한 곡선의 형태를 유지하고 있고, 큐티클층을 구성하는 큐티클세포들은 세포막사이복합체에 의해서 견고하게 부착되어 있었다. 피질은 분해되거나 부패되지 않았으며, 특히 멜라닌 과립이 피질의 바깥쪽 부위인 외피질에 집중적으로 관찰되었다.

최근에 세포막사이복합체의 구조에 관한 연구에서 세포막사이복합체는 세포막을 경계로 3개의 층으로 구성되어 있는데, 가운데 층인  $\delta$ 층을 양쪽에서  $\beta$ 층이 둘러싸는 구조로 되어 있다.  $\delta$ 층은 소량의 단백질과

다당류로 구성되어 있고  $\beta$ 층은 지질 성분으로 18-methyleicosanoic acid가 단백질 분자와 공유결합으로 연결되어 있으며 이런 지질성분의 얇은 막이 큐티클의 바깥표면에도 덮여 있어서 머리카락의 소수성(hydrophobic) 특성과 마찰력을 감소시키는 특성을 부여한다고 보고한 바 있다(Wolfram, 2003). 본 연구에서 미라의 세포막사이복합체는 Wolfram(2003)의 보고와 동일한 구조적인 특성을 나타내었다.

사람의 머리카락은 형태에 따라 직선모(straight hair), 파동모(wavy hair), 곱슬모(curly hair), 양모(woolly hair), 말린모(peppercorn hair)로 구분된다(Lantis & Pepper, 1978). 직선모는 대부분의 황인종 머리카락으로 일직선을 나타내며, 곱슬모는 긴 나선형의 머리채이고, 양모는 아주 납작한 코일 형태의 나선형으로 이것은 머리채를 형성하지 못한다. 말린모는 흑인에서 일반적으로 나타나는 머리카락 형태로 작은 단추모양을 하는 납작한 나선형의 형태이다(Stamm et al., 1977).

본 연구에서 미라의 머리카락은 일직선상의 전형적인 직선모이고, 횡단면은 원형의 형태로 직경이 약  $90\mu\text{m}$ 로 측정되었다.

현대인에 있어서 머리카락은 일상적으로 사용되는 세정제와 머리카락에 다양한 색채를 표현하기 위해서 가해지는 탈색제(bleaching agent) 및 염색제(dyeing agent) 등의 화학약품 등에 의해서 손상을 받게 되며, 머리카락의 형태적 변형을 주기 위해서 가해지는 강한 열과 펴(permanent wave) 등에 의해서 물리적으로 손상을 받게 된다(Swift & Brown, 1972; Whiting, 1987; Casperson, 1994; Chang, 1996). 이와 같은 다양한 환경요인에 의한 머리카락의 손상을 풍화(weathering)라고 한다(Rook, 1976; Tolgyesi, 1983).

본 연구에서 미라 머리카락은 현대인의 머리카락에서 나타나는 풍화현상과 달리 어떤 인위적인 손상이나 박리현상 없이 완벽하게 보존되어 있는 것을 확인하였다.

한국의 전통적인 매장문화에서 시신의 부패를 인위적으로 지연시켜서 미라화 하지 않았다. 한국인의 조상숭배 개념에서 볼 때 사람이 죽어서 토양에 매장을 하면 완전히 분해되는 것을 최고로 생각해 왔기 때문이다. 일반적으로 한국적 매장 문화에서 미라가 형성

된 것은 밀폐된 관에서 시신의 부패가 미생물들에 의하여 진행되면서 잔존하였던 산소를 소비함으로써 관 내부가 진공상태가 되었을 것으로 추측하여 왔을 뿐이다

최근까지 자연 상태에서 미라화가 진행되는 기전은 두 가지 환경 조건에 의해서 이루어진다고 보고되었다. 첫째로 낮은 대기온도로 인하여 영구 동토층에서 미라화가 진행되는데, 안데스 산맥에서 발견된 원시 콜럼비아인의 미라(Reihard, 1996)와 Tylolean의 냉동인간 및 15세기에 형성된 그린랜드 미라의 경우이다(Zimmermann, 1996; Hess et al., 1998). 두 번째로 사막과 같은 특수한 환경조건으로 인한 건조된 모래, 소금 또는 tannic acid 등의 접촉에 의해서 사체의 부패가 지연되어 이루어지는데 중국의 Taklamacan 사막과 칠레 북부지역 및 북 유럽에서 발견된 미라에서 확인되었다(Spindler et al., 1996).

본 연구에서 미라 발견당시 현장에서 채취한 머리카락을 아무런 처리도 하지 않고 전자현미경으로 관찰해 본 결과 머리카락 표면에는 많은 침착물들이 부착되어 있었다. 이런 침착물들은 얇은 판상의 결정체 구조로 머리카락 표면에 고르게 피복되어 있었다. 침착물을 에너지 분산 분광분석기로 분석해 보면 칼슘(Ca)과 칼륨(K) 성분이 검출되었다. 칼슘은 석회질 구성하는 화학 성분으로 발견당시 목재관의 외부는 석회가 섞인 흙으로 덮혀져 있었던 것으로 미루어 보아 이런 물질들이 이온화 상태로 오랜 기간 동안 서서히 관내로 스며들면서 머리카락 표면에 침착된 것으로 사료된다.

따라서, 본 연구 결과 미라의 형성원인은 머리카락 표면에 침착된 물질의 분석결과에 비추어 볼 때 관에 덮여있는 석회가 굳어지면서 관내부를 진공상태로 만들었고, 이어서 석회의 주성분인 칼슘 등의 무기질 성분이 이온화되어 관 내부로 스며들면서 머리카락 및 신체 피부 표면에 침착된 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- Casperson S: Men's hair coloring. *Cosm & Toil* 109 : 83-87, 1994.
- Chang BS: Study on the morphological change of hair shaft by artificial damage. *Bulletin of Dongnam Health College* 13 : 19-27, 1996. (Korean)
- Hong WS, Chang BS, Lim DS, Park SO, Yoe SM: Morphological change of men's hair shaft by weathering. *Korean J Electron Microscopy*. 30 : 11-20, 2000. (Korean)
- Chang BS: Fine structure of damaged hair shaft by daily treatment of heat for a beautiful face. *Korean J Electron Microscopy* 33 : 215-222, 2003. (Korean)
- Chang BS, Hong WS, Lee E, Yeo SM, Bang IS, Lim DS, Mun GH, Kim J, Park SO, Shin DH: Ultramicroscopic observations on morphological changes in hair during 25 years of weathering. *Forensic Sci Int* 151 : 193-200, 2005.
- Dawber R and Comaish S: Scanning electron microscopy of normal and abnormal hair shaft. *Arch Dermatol* 101 : 316-323, 1970.
- Hess MW, Klima G, Pfaller K, Kunzel KH, Gaber O: Histological investigations on the Tyrolean Ice Man. *Am J Phys Anthropol* 106 : 521-532, 1998.
- Lantis SDH, Pepper MC: Woolly hair nevus. Two case reports and a discussion of unruly hair forms. *Arch Dermatol* 114 : 233-238, 1978.
- Reihard J: Peru's ice maidens. *Natl Geogr* 189: 62-81, 1996.
- Rook A: The clinical importance of "weathering" in human hair. *Br J Dermatol* 95 : 111-117, 1976.
- Shin DH, Youn M, Chang BS: Histological analysis on the medieval mummy in Korea, *Forensic Sci Int* 137 : 172-182, 2003.
- Spindler K, Wilfing H, Rastbichler Zissering E, zur Nedden D, Nothdurfter H: Human Mummies: A Global Survey of their Status and the Techniques of Conservation. *Wien: Springer, Inc.* 1996.
- Stamm RF, Garcia ML, Fuchs JJ: The optical properties of human hair. I. Fundamental considerations and goniophotometric curves. *J Soc Cosmet Chem* 82 : 571, 1977.
- Swift JA, Brown AC: The critical determination of the changes in the surface architecture of human hair due to cosmetic treatment. *J Soc Cosmet Chem* 23 : 695-699, 1972.
- Tolgyesi E: Weathering of hair. *Cosm & Toil* 98 : 29-33, 1983.
- Wall RA and Hunter LD: Normal adult hair structure and properties. *Cosmet Perf* 89 : 31-36, 1974.
- Whiting DA: Structural abnormalities of the hair shaft. *J Am*

- Acad Dermatol 16 : 1 23, 1987.
- Wolfram LJ: Human hair: A unique physicochemical composite. *J Am Acad Dermatol* 48 :106 114, 2003
- Zimmermann, MR: Mummies of the arctic regions. In Spindler K, Wilfing H, Rastbichler Zisserning E, zur Nedden D. and Nothdurfter H (eds.): *Human Mummies: A Global Survey of their Status and the Techniques of Conservation*. Wien: Springer, Inc., pp. 83 92, 1996.

### < 국문초록 >

본 연구는 2002년 9월 묘지 이장 과정 중에 경기도 파주에서 발견된 여성미라 머리카락의 미세구조와 보존상태를 투과 및 주사전자현미경으로 관찰하였다. 16세기에 만들어진 미라의 머리카락은 완벽한 상태로 관찰되었다.

머리카락의 큐티클층과 피질 및 수질도 분해되거나 부서지지 않은 상태로 보존되어 있다. 큐티클층은 윤곽이 뚜렷하게 구별되는데 이 층은 6~7개의 큐티클세포들로 구성되어 있다. 각각의 큐티클세포는 세포사이막복합체에 의해서 견고하게 부착되어 있다. 피질은 거대원섬유들에 의해서 채워져 있으며 이들 사이에 멜라닌과립들이 산재되어 있다. 막대모양을 하고 있는 거대원섬유는 머리카락의 종축을 따라 평행하게 배열되어 있다. 특히, 피질에서 멜라닌과립은 큐티클층과 인접한 부위에 집중적으로 분포되어 있다. 440년 동안 머리카락이 보존된 원인은 머리카락을 피복하고 있는 다양한 물질들에 의해서 일어났는데, 피복물질을 에너지분산분광분석기로 분석한 결과 칼슘성분이 검출되었다. 머리카락 표면을 덮고 있는 칼슘이온은 머리카락에 수분이나 미생물 등의 접촉을 억제하는 역할을 하는 것으로 사료된다.

## FIGURE LEGENDS

- Fig. 1.** Scanning electron micrograph of a intact hair of the mummy. The surface of the mummified hair are coated by thin layer of materials. Scale bar indicates 100  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 2.** Magnified image of the hair surface in figure 1. The coated materials are composed of crystaine debris. Scale bar indicates 10  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 3.** Electron Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) to analyze the material found in the surface of the hair. Sulfur (S), potassium (K) and calcium (Ca) are detected.
- Fig. 4.** Scanning electron micrograph of the hair after sonicator treatment. The hair shaft shows imbricated cuticular scales. Scale bar indicates 100  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 5.** High magnification scanning electron micrograph of the edge of the surface scales appear sharp and round border. Scale bar indicates 10  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 6.** Scanning electron micrograph of a cross section of hair shaft shows well organized cuticle, fully developed cortex and medulla. Scale bar indicates 20  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 7.** Transmission electron micrograph of the central region of a hair shows medulla (Me) and cortex (Co). Scale bar indicates 2  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 8.** Scanning electron micrograph of freeze fractured hair shaft shows rod form macrofibrils in the cortex (Co). Scale bar indicates 50  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 9.** High magnification transmission electron micrograph of a melanin in the cortex. Scale bar indicates 500 nm.
- Fig. 10.** Transmission electron micrograph of the hair cortex. The macrofibrils (Mf) and melanin granules are visible. Melanin granules are aggregated in the cortex layer which is adjacent to the cuticle layer. Scale bar indicates 1  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 11.** Transmission electron micrograph of the several cuticular cells in the cuticle layer. The cell membrane complex (CMC) are shown in detail. Ex: exocuticle, En: endocuticle. Scale bar indicates 100 nm.



