

CEPA 處理가 옻나무의 漆液分泌 및 樹皮生理에 미치는 影響^{1*}

崔太鳳² · 金萬祚³ · 玄正悟²

Effects of CEPA on the Secretion of Lacquer and Bark Physiology of Lactree(*Rhus verniciflua Stokes*)^{1*}

Tae Bong Choi², Mahn Jo Kim³ and Jung Oh Hyun²

要 約

본 연구는 CEPA(2-chloroethyl phosphonic acid) 처리가 옻나무(*Rhus verniciflua Stokes*)의 수피생리 및 해부학적 변화와 칠액의 분비촉진에 미치는 효과를 알아보기 위하여 수행되었다. 강원도 횡성군에 조성된 7년생 옻나무단지에서 크기가 비슷하고 생장이 균일한 개체 40본을 선발하여, CEPA가 각각 0%, 0.1%, 1%, 10% 함유된 lanolin pastes를 1.2m 높이에서 4방향으로 처리하고 5주 후 농도별 수피두께와 수피내 옻산함량을 측정하였다. 또한 수피조직의 해부학적 변화를 관찰하기 위하여 수피조직을 광학현미경하에서 관찰하였다.

CEPA 처리시 수피의 내피두께는 현저히 증가하였으며 수피내 옻산 생산량과 밀접한 상관관계를 보였다. CEPA 0.1% 처리시 평균 내피두께는 1.65mm이고, 1% 처리구는 1.96mm였으며, 10% 처리구에서 3.59mm로 대조구의 1.43mm에 비해 약 2.5배 증가하였다. 이는 사부조직의 확대와 세포간극이 넓어진 것에 기인한다. 또한 CEPA에 의해 수피내 옻산 분비가 촉진되어 CEPA 처리목은 무처리목에 비해 더 많은 양의 옻산을 분비하였다. 수피내 단위면적당 평균 옻산함량은 CEPA 0.1% 처리구의 경우 5.11mg/cm²이었고, 1% 처리구는 6.86mg/cm²였으며, 10% 처리는 12.12mg/cm²으로 대조구의 4.29mg/cm²보다 2.8배 증가하였다. 옻나무 내피를 해부학적으로 관찰한 결과 단위면적당 칠액구 수에는 큰 차이가 없었지만 전체 칠액구 수는 유의하게 증가하였고, 칠액구의 크기가 외피쪽으로 갈수록 현저히 커졌다. 또한 CEPA를 처리한 나무의 경우 유세포가 치밀하였으며, ray층 수가 무처리구의 경우 1·2층인데 반하여 처리구에서는 2·3층으로 잘 발달되어 있었다.

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effects of CEPA(2-chloroethyl phosphonic acid) on bark physiology and anatomy of lactree(*Rhus verniciflua Stokes*). Sample trees of similar size and growth rate were selected from 7-year-old lactree plantation located in Hyengsung-kun, Kangwon-do. Lanolin pastes containing 0.1, 1, or 10% CEPA were put into the bark-removed hole made by corer(Φ1cm) on the main stem at 1.2m above the ground on June 16, 1995.

Five weeks after application of CEPA, bark thickness was markedly increased as a result of the increase in the amount of phloem and intercellular spaces, and correlated with the increased production of urushiol. By the application of 10% CEPA, bark thickness was increased approximately 2.5 times, and the urushiol content within bark was increased 2.8 times compared to that of untreated trees.

¹ 接受 1999年 11月 19日 Received on November 19, 1999.

² 서울대학교 농업생명과학대학 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, College of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea.

³ 임업연구원 임목육종부 특용수과 Special Purpose Tree Div., Dept. of Tree Breeding, Forestry Research Institute, Suwon 441-350, Korea.

* 이 논문은 '95년도 산학협동재단 학술연구비 지원에 의하여 수행되었음.

because CEPA stimulated the accumulation of urushiol within bark. Treatment of 10% CEPA also increased the size and the total number of secretory canals, and induced an increase in ray width. The phloem parenchyma cells of CEPA-treated trees were well-developed and closely packed with little intercellular space.

Key words: CEPA(*2-chloroethyl phosphonic acid*), ethylene, *Rhus verniciflua*, urushiol, bark thickness, secretory canal.

서 론

옻나무는 천연도료를 생산하는 동북아시아 특산의 경제수종으로 수피에서 생성되어 분비되는 칠액중의 옻산성분(urushiol)은 산소와 접촉되면 효소(laccase)반응에 의해 견고하게 굳어지면서 고분자 도막을 형성하는데, 광택이 나고 오랫동안 사용하여도 변하지 않아 가구, 칠기, 공예품 등에 유사이전부터 많이 사용되어 왔다(高野徳明, 1982; 松井悅造, 1963; 정균, 1985). 현재 널리 쓰이고 있는 합성수지도료는 제2차 세계대전 이후 석유화학공업의 발달과 함께 비약적으로 성장하여 왔는데 최근에 이르러 환경호르몬의 방출 등 심각한 환경오염 문제가 제기되면서 저공해성 도료개발의 필요성이 대두되고 있다. 옻칠은 각종 산과 알카리에도 부식되지 않고 내염성, 내열성 및 방수, 방부, 방충, 절연효과 등 내구성이 뛰어나 환경친화적 천연도료로 새로이 조명을 받고 있어 옻나무에 대한 관심은 날로 증가하고 있다.

옻나무에 대한 국내의 연구현황을 보면 종자발아(권순섭, 1990), 산칠량이 많은 우수한 개체의 선발 및 육종(정인표, 1974; 현정오 등, 1993), 해부학적 구조(이필우와 정연집, 1992), 옻생산 실태(이세표와 이창재, 1989) 등에 대한 연구가 이루어져 여러 편의 보고가 있으나 칠액생산성을 향상시키기 위한 기초생리연구는 전무한 실정이다.

생체 호르몬으로서 에틸렌(ethylene)은 식물체의 잎, 줄기, 꽃, 과일, 꽈경, 유묘 등 모든 부위에서 생성되고, 기체 상태로 존재하는데 극소량으로도 생물학적 활성이 매우 크다. 발아에서부터 식물체 자신의 방어기작, 과일의 숙성, 낙엽, 노화에 이르기까지의 모든 과정을 조절하는 중요한 역할을 한다고 알려져 있다(Abel 등, 1992; Mattoo와 Suttle, 1991; Salisbury와 Ross, 1992).

에틸렌은 간단한 화학물질로 methionine, alanine, propanol, ethanol, ethane, acetic acid, linolenic acid, ethionine 등과 같은 다양한 전구

물질로부터 생합성된다(Salisbury와 Ross, 1992). 고등식물에서는 에틸렌 합성의 효과적인 전구체로서 다른 어떤 것보다 methionine이 많이 이용된다. 에틸렌의 합성은 methionine에서 SAM(S-adenosylmethionine)으로 전환되고, 이것이 다시 ACC(1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid)로, ACC가 최종적으로 에틸렌으로 전환되는 경로로 이루어진다(Boller과 Kende, 1980; Abels 등, 1992; Mattoo와 Suttle, 1991).

식물이 외부의 스트레스, 즉 기계적 상처나 가뭄, 흥수, 화학물질, 저온, 제초제, 중금속 이온 또는 병원균의 침입 등의 불리한 환경에 처하면 이에 반응하여 스트레스 에틸렌 생성을 유도하는데, 이것은 식물이 자신을 보호하기 위한 방어기작의 일종으로 이해된다(Boller과 Kende, 1980; Abels 등, 1992; Mattoo와 Suttle, 1991). 고무나무나 단풍나무 등의 수피에 상처를 내면 수목은 상처난 부위로의 병원균 침입을 방지하기 위하여 에틸렌을 방출하여, 상처난 목부를 통합하고 수분 손실과 병원균의 침입을 막아 상처의 치유를 용이하게 하도록 수지 분비를 촉진시킨다(Abel 등, 1992; Messer, 1990; Wolter와 Zinkel, 1984). 또한 에틸렌은 수피의 해부학적 변화를 초래하는데 일반적으로 형성층의 분열을 촉진시켜 목부와 사부가 빠르게 형성되므로 수피의 두께와 직경생장이 증대된다고 알려져 있다(김우갑 등, 1993; Raskin, 1991; Robnett와 Morey, 1974; Yamamoto와 Kozlowski, 1987).

본 연구는 옻나무의 칠액분비촉진효과를 유도하기 위하여 인위적인 에틸렌 처리가 옻나무의 수피 생리 및 해부학적인 변화에 미치는 영향을 구명하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 공시재료의 선정

본 연구를 위해 강원도 횡성군 갑천면에 위치하고 있는 7년생 옻나무 재배지에서 수고(3.5 -

4.5m) 및 흥고직경(4.5~5.2cm)이 비슷한 개체를 선정하여 조사하였다.

2. CEPA 처리

1995년 6월초에 생장이 비교적 균일한 40주를 선정하여 2 plot 5 반복으로 완전임의 배치한 후 4개의 군으로 나눈 뒤, 6월 중순에 흥고높이(1.2m)에서 동서남북 4방향으로 내경 1cm 크기의 corer를 이용하여 수피를 제거한 후, 최종 CEPA¹⁾ 농도가 0.1%, 1.0%, 10%가 되게 lanolin을 첨가하여 paste 형태로 주걱으로 처리하였다. paste 제조는 Tween-80 몇 방울을 첨가한 lanolin에 Ethepron 액제를 처리 농도로 희석하였으며 대조군은 lanolin paste에 몇 방울의 Tween-80과 멸균수만 희석시켜 사용하였다.

각 처리당 반복은 10본으로 하였으며 CEPA 처리부위는 외부 수분의 유입에 의한 급격한 에틸렌 가스의 방출을 막기 위하여 aluminum foil로 감쌌다.

3. 측정항목

1) 옻산 정량분석

옻산성분(crude urushiol)의 정량분석을 하기 위해 처리부위로부터 상하 5cm 떨어진 위치에서 5cm × 5cm의 수피 단편을 채취한 후 마쇄하여 toluene으로 72시간 동안 상온에서 옻산성분을 추출하고 용매를 휘발시켜 정량하였다.

2) 수피두께 측정

수피두께는 각 처리부위로부터 5cm 위의 수피 조직에서 직경 1cm의 원형 수피단편 4개를 채취하여 주피(periderm)을 기준으로 형성층쪽 내부를 내피(inner bark), 바깥쪽을 외피(outer bark)로 구분하였다. 내피 두께는 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정하였고, 각각의 원형 수피 단편을 4방향으로 젠 다음 평균치로서 구하였다.

3) 칠액구(secretory canal) 수 및 수피조직의 해부학적 관찰

수피조직의 해부학적 관찰 및 단위 면적당 칠액구 수와 크기를 측정하기 위하여, 수피두께 측정

1) 상업적으로 시판되고 있는 Ethepron 액제는 CEPA (2-chloroethylphosphonic acid)를 45% 함유하고 있는데, pH 4.5 이상에서 가수분해되어 phosphate, chloride ion을 내놓고, 에틸렌 가스를 방출한다.

에 이용된 4개의 내피조직을 3mm × 3mm 크기로 자른 다음 고정액(FAA B액; 70% ethanol 100ml, formalin 6.5ml, acetic acid 2.5ml)에 3~4일간 고정한 후, 50% ethanol로 씻은 다음, 탈수작업(dehydration)에 들어갔다. 탈수는 50% ethanol로부터 시작하여 100% ethanol 순으로 처리하였다. 완전히 탈수된 재료는 xylene으로 투명화(clearing)한 후 57~60°C의 water bath 내에서 파라핀을 24시간 침투시키며 6시간 간격으로 진공을 걸어주었다. 파라핀 침투가 끝나면 플라스틱 홀더에 포매(embedding)를 하고 microtome을 사용하여 횡단면으로 8~12μm 두께의 절편을 절삭한 뒤, 일반적인 슬라이드 제작방법에 따라 파라핀이 매몰된 절편에서 파라핀을 녹여 낸 후 사프라닌 염색을 하여 광학 현미경으로 관찰하였다. 형성층에 인접한 횡단면상의 수피조직 1mm당 칠액구 수는 각 개체목의 4부위 수피조직에서 각각 5회 씩 총 20회를 측정하여 평균치로 나타내었다. 칠액구의 크기는 장경과 단경으로 구분하여 측정하였고, 평균값으로 단면적을 계산하였다. 칠액구의 형태 및 주변조직도 관찰하였다.

결과 및 고찰

1. CEPA 처리에 따른 옻나무 수피두께 및 옻산함량의 변화

Table 1은 CEPA 처리 후 5주 경과한 뒤에 처리농도에 따른 수피두께 및 옻산함량의 변화를 나타낸 것으로 처리농도가 높아질수록 수피가 두꺼워졌고, 수피내 옻산함량도 현저히 증가함을 보

Table 1. Mean bark thickness and urushiol content of *Rhus verniciflua* 5 weeks after CEPA^a treatment^b.

CEPA concentration	Bark thickness (mm)	Urushiol content (mg/cm ²)
Control	1.43 ± 0.13	4.29 ± 0.68
0.1 %	1.65 ± 0.11**	5.11 ± 0.94
1.0 %	1.95 ± 0.12**	6.86 ± 1.04**
10.0 %	3.59 ± 0.17**	12.12 ± 1.49**

** Significantly different from controls at 1% level.

^a CEPA(2-chloroethylphosphonic acid; commercial Ethepron contained 45% 2-chloroethylphosphonic acid).

^b Treated on June 16 and harvested on July 21 (5 weeks after treatment).

여준다. 수피두께는 CEPA의 처리농도가 0.1% 이상에서, 수피내 울산함량은 1% 이상에서 대조구에 비해 유의하게 증가하였음을 알 수 있었다.

CEPA 0.1% 처리시 평균 수피 두께는 1.65mm이고, 1% 처리구는 1.95mm였으며, 10% 처리구에서 수피두께는 3.59mm로 대조구의 1.43mm에 비해 약 2.5배 증가하였다. 이와 유사한 실험 결과로, 느릅나무(*Ulmus americana L.*)의 경우 ethrel을 1.6% 또는 그 이상의 농도로 처리하여 41일이 경과되었을 때 수피가 2배 이상 두꺼워졌다고 한다 (Yamamoto 등, 1987). Yamamoto와 Kozlowski (1987)는 *Pinus halepensis*의 1년생 유묘에 0.1% 또는 1%의 ethrel을 처리한 결과, 60일 후 수고에는 영향을 주지 않았지만 줄기의 직경생장을 촉진하였고, 1% 처리시 수피의 두께가 대조구에 비해 2배 증가하였다고 보고하였는데 이는 본 연구 결과에 일치하는 바이다.

식물의 생장은 대부분 육신(auxin)이나 지베렐린(gibberellin), 사이토키닌(cytokinin)에 의해 조절되지만, 에틸렌에 의해서도 영향을 받는다(Robnett와 Morey, 1974; Raskin, 1991; Lev-Yadun과 Anoli, 1992). 특히 에틸렌은 피자식물에서 줄기, 염병 및 뿌리의 신장생장을 억제하고, 형성층의 분열을 촉진한다고 알려져 있다. CEPA를 처리하면 비대생장을 초래하여 그 부위가 굽어지는 데(Robitaille와 Leopold, 1974; Raskin, 1991), 이는 에틸렌이 형성층의 분열을 촉진시켜(김우갑 등, 1993; Robnett와 Morey, 1974) 수피 내 사부가 확장되고, 세포간극이 확대되어 수피두께가 두꺼워 지는데(Yamamoto 등, 1987) 기인한다고 할 수 있다(Fig. 1).

또한 에틸렌은 사부조직과 마찬가지로 목부조직의 직경 증가에도 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 직경생장에 관한 연구로 소나무(Brown과 Leopold, 1973)와 사과나무(Robitaille와 Leopold, 1974) 등에서 이루어졌는데, 사부조직의 생장과 유사한 결과가 나타났다.

수피내 단위면적당 평균 울산함량에 있어 CEPA 0.1% 처리구의 경우 5.11mg/cm²이었고, 1% 처리구는 6.86mg/cm²였으며, 10% 처리 때는 12.12mg/cm²으로 대조구의 4.29mg/cm²보다 2.8배 증가하였다. 이는 고무나무에 Ethepron을 5~10%의 농도로 처리할 경우 수액 유출기간이 늘어나며 수지유출량도 증가하는데, 수목의 생장을 저해하지 않는 범위 내에서 최고 100%까지 증수효과가 있다

Fig. 1. Bark thickness of *Rhus vernicifera* treated with 0.1%, 1%, 10% CEPA.

(d'Auzac, 1989)고 한 연구 결과와 유사한 경향을 보였다. 그리고 Wolter와 Zinkel(1984)은 20년 생 레지노사 소나무를 대상으로 5% 농도로 Ethepron을 처리하여 6개월 후에 조사한 결과 처리목이 무처리목보다 resin acid에서 14배, turpentine에 있어 25배의 증수효과가 있었다고 보고하였다. 또한 성숙한 sour cherry(*Prunus cerasus*)의 일년 생 가지에 69.2mM의 Ethepron을 살포하였을 때 gum 생산량이 3배에서 최고 6배까지 증수효과가 있는 것으로 나타났고(Olien과 Bukovac, 1982), *Shorea javonica*에 10% CEPA를 처리하여 6개월 후 수지생산을 한 결과 대조구에 비해 110% 증수되었다고 보고하였는데(Messer, 1990) 종에 따라 약간의 차이는 있지만 CEPA에 의해 수지생산이 촉진됨을 알 수 있다.

페놀화합물인 urushiol은 해당과정에서 유래된 PEP(phosphoenol pyruvic acid)와 5탄당 인산화로 및 캘빈회로에서 유래된 erythrose-4-phosphate를 전구물질로하여 shikimic acid pathway를 거쳐 만들어진 phenylalanine, tyrosine, tryptophan 같은 방향족 아미노산으로부터 합성된다(천연물화학 교재연구위원회, 1995). 페놀화합물이 생성되는데 있어서 가장 중요한 반응은, phenylalanine이 cinamic acid로 전환될 때, phenylalanine에서 탈아미노 반응으로 암모니아가 떨어져 나가는 것인데 이 반응을 PAL(phenylalanine ammonia lyase) 효소가 촉매한다(Salisbury와 Ross, 1992). 일반적으로 세포가 손상되거나 병원균이나 곤충의 공격, 스트레스를 받으면 에틸렌이 생성되고, 상처치유에 필요하다고 여겨지는 페놀화합물 형성에 있어서 중요한 요소인 PAL의 합성이 증가되어(Boller와 Kende, 1980; Olien과 Bukovac, 1982; Salisbury와 Ross, 1992) 수지분비가 촉진된다고 할 수 있다.

또한 Robitaille와 Leopold(1974)는 사과나무에

bending 처리와 옥신(NAA), CEPA를 각각 처리하고 lanolin만 처리한 대조구와 비교하였는데, 조직내 에틸렌의 농도가 대조구에 비해 각각 2배, 3배, 100배 높다는 것을 확인하였다. 여러 가지 스트레스 요인에 의해 에틸렌이 생성되지만, CEPA를 처리하는 것이 다른 처리보다 30배에서 50배 정도 높아, 칠액 분비촉진 효과가 우수한 것으로 사료된다.

본 실험에서 CEPA 처리는 칠액구와 유세포에 전하게 염색된 phenolic compound의 축적을 촉진 시켰는데 extractives가 상처난 조직이나 심재에 많이 나타나는 것처럼, 에틸렌이 이러한 2차 대사 산물의 생산을 유도하는 것이라 생각된다. 예를 들어 *Pinus radiata*에 에틸렌 기체를 주입하면 polyphenol이 형성되고(Shain과 Hillis, 1972), ethrel을 수피에 처리하였을 때 *Rhus succedanea*의 변재에 phenols의 생성을 촉진시켰으며 *Prunus armeniaca* 줄기에 gum 형성을 증가시킨다고 한다(Hillis, 1975). 또한 에틸렌을 처리하였을 때 *Azadirachta indica*의 유세포에 phenolic compound의 축적이 유도된다고 한다(Shah 등, 1981). 이러한 실험 결과로 보아 에틸렌이 phenolic compound의 분비 촉진에 중요한 매개체임을 알 수 있으며 옻나무에 인위적으로 CEPA를 처리한 본 시험에서 수피두께가 두꺼워지고 수피내 옻산함량이 증가한 것도 이 같은 사실에 부합한다고 하겠다.

10% CEPA 처리시 에틸렌 효과로 과다하게 생성된 칠액이 수피의 갈라진 틈으로 흘러나오는 것을 관찰할 수 있었는데, 이러한 현상은 앞서 제시한 수피두께와 수피내 옻산함량의 증가와 밀접한 정의 상관관계가 있기 때문이다. 수피두께와

옻산함량과의 상관계수 $R=0.82$ 이고 상관방정식은 옻산함량(mg/cm^2) = $-1.44 + 3.08 \times \text{수피두께}(\text{mm})$ 이었다. 이는 수피두께가 점차 증가함에 따라 칠액의 생산량도 함께 증대되는데, Ethepron을 처리한 고무나무(Blackman, 1961; d'Auzac, 1989), 느릅나무(Yamamoto 등, 1987), 소나무(Yamamoto와 Kozlowski, 1987)의 반응과 유사하다. 또한 칠액생산량이 우수한 선발목과 열등한 대조목들을 대상으로 다양한 생장인자와 옻산함량과의 상관분석을 실시한 결과, 수피의 옻산함량이 내피 두께 및 칠액구 수와 고도로 유의한 상관을 나타내 간접선발 기준으로 제시된바 있으며(현정오 등, 1993), 본 연구에서도 일치된 결과가 나타났다.

CEPA를 옻나무의 수피에 처리하였을 때 농도에 따라 다르게 반응하여 비정상적인 수피생장과 조직의 변화를 초래하였다. 0.1, 1, 10%의 CEPA를 처리시 수피두께의 증가와 더불어 해부학적 변화로 칠액구의 직경과 전체 칠액구 수가 증가하였고, 유세포가 잘 발달하였으며, 방사세포의 총 수도 많아졌지만 사관요소의 수는 감소하였다. 또한 수피조직 내에 phenolic compounds의 축적도 유도되었다.

2. CEPA 처리에 따른 옻나무 수피내 칠액구의 크기와 수의 변화

Table 2는 CEPA 처리 후 5주 경과한 뒤에 처리농도에 따른 칠액구의 크기와 단면적의 변화를 나타낸 것으로, 처리농도가 높아질수록 칠액구의 장경, 단경 및 단면적이 모두 증가하였다. 대조구의 경우 칠액구의 장경, 단경, 단면적이 각각 82 μm , 61 μm , $16.4 \times 10^3 \text{ mm}^2$ 인 반면, CEPA를 10% 처

Table 2. Mean diameter and area of a secretory canal of *Rhus verniciflua* 5 weeks after CEPA treatment^a.

CEPA concentration	Long diameter of a secretory canal(μm)		Short diameter of a secretory canal(μm)		Area of a secretory canal(10^3 mm^2)	
	mean \pm SE	range	mean \pm SE	range	mean \pm SE	range
Control	82 \pm 5.0a*	50 - 120	61 \pm 1.9a	50 - 70	16.4 \pm 1.44a	8 - 28
0.1%	98 \pm 10.5a	40 - 180	60 \pm 5.1a	30 - 110	22.3 \pm 4.17ab	4 - 66
1.0%	115 \pm 15.8ab	50 - 250	76 \pm 8.4a	30 - 160	35.4 \pm 8.92bc	5 - 132
10.0%	140 \pm 16.8b	40 - 310	99 \pm 8.8b	30 - 200	53.8 \pm 11.12c	4 - 145

Values are the means of twenty replications \pm standard error and range.

* Different letters within a row show significant differences between treatments at the $p<0.05$ level by Duncan's multiple range test.

^a Treated on June 16 and harvested on July 21.

리하였을 경우 각각 $140\mu\text{m}$, $99\mu\text{m}$, $53.8 \times 10^3\mu\text{m}^2$ 으로 유의하게 증가하였다. 10% CEPA 처리시 칠액구의 단면적은 대조구에 비해 3.3배 증가하여, 2.8배의 육산함량 증가율과 어느 정도 일치하였다. 한편 형성층이 빠르게 분열하면서, 형성층 쪽에 작은 크기의 칠액구가 많이 형성되었고, 외피 쪽으로 가면서 수는 적지만 상대적으로 크기가 큰 칠액구가 분포하여 표준오차 값이 커졌다. 이는 칠액구가 초기에 직경 $30\mu\text{m}$ 정도로 만들어져 $60\mu\text{m}$ 까지 커지며 점차 인접한 칠액구와 융합되어 최대 $300\mu\text{m}$ 까지 커졌기 때문인 것으로 보인다.

옻나무의 칠액구의 크기는 수평방향으로 $30 - 80\mu\text{m}$ (평균 $57\mu\text{m}$), 수직방향으로는 $40 - 160\mu\text{m}$ (평균 $90\mu\text{m}$)인 것으로 보고되었는데(이필우와 정연집, 1992), 이는 본 실험에서 관찰한 대조구의 칠액구 크기와 비슷하였다.

Table 3은 CEPA 처리 후 5주 경과한 뒤에 처리농도에 따른 단위면적당 칠액구 수를 나타낸 것으로, 처리농도가 높아질수록 칠액구의 전체 수는 증가하였다. 대조구의 단위면적당 칠액구 수는 $5.9\text{개}/\text{mm}^2$ 였고, 0.1%, 1% 농도의 CEPA를 처리하였을 때는 각각 $6.1\text{개}/\text{mm}^2$, $6.5\text{개}/\text{mm}^2$ 로 처리농도가 높을수록 유의하게 증가하였으나, 10% 농도로 처리한 경우의 평균 칠액구 수는 $4.8\text{개}/\text{mm}^2$ 로 감소하였다. 이러한 현상은, 10% 농도의 CEPA를 처리한 경우에는 수피의 내피가 너무 두꺼워 3부분으로 나누어 측정하였는데, 형성층 부분의 칠액구 수는 $8.1\text{개}/\text{mm}^2$ 로 다른 처리구보다 많았지만, 중간부분과 외피 쪽의 칠액구 수가 각

각 $4.4\text{개}/\text{mm}^2$ 와 $1.8\text{개}/\text{mm}^2$ 로 감소한 것으로 나타났기 때문이다. 그러나 옻나무 내피 세 부분의 칠액구 수를 합하면 총 $14.3\text{개}/\text{mm}^2$ 로, 대조구보다 2.5 배 증가하였다. 따라서 옻나무의 표피 면적당 칠액구 수로 계산한다면, CEPA 처리 농도가 높을수록 칠액구 총 수는 증가하여, 결과적으로 육산 함량의 증대에 영향을 주는 것으로 사료된다. 옻나무의 칠액구 수는 단위면적 $5 - 11\text{개}/\text{mm}^2$ 로 산 칠능력 및 생장환경에 따라 변이가 다양하다고 발표하였는데(이필우와 정연집, 1992), 이는 본 실험에서 관찰한 대조구의 칠액구 수와 어느 정도 일치하였다.

3. CEPA 처리에 따른 옻나무의 수피생리 및 해부학적 변화

Fig. 2는 10% CEPA를 처리한 후 35일 경과 후 처리부위로부터 5cm 위의 수피 횡단면을 광학 현미경으로 관찰한 것으로 내피두께가 원쪽의 무처리목보다 2배 이상 두껍다. 단위면적당 칠액구 수는 큰 차이가 없었고, 형성층 근처의 칠액구는 작고 수가 많았으며 외피쪽으로 갈수록 칠액구 크기는 커지고 수는 적어진다는 것을 확인할 수 있었다.

에틸렌 처리에 의한 산칠량 증대에 미치는 주요한 요소는 칠액구의 크기와 수인 것으로 알려져 있다(이필우와 정연집, 1992; 현정오 등, 1993). 옻나무 수피를 해부학적으로 관찰한 결과 에틸렌 처리시 단위면적당 칠액구 수에는 큰 차이가 없으나 내피의 두께가 증가하기 때문에 전체 칠액구

Table 3. Number of secretory canals within inner bark of *Rhus verniciflua* 5 weeks after CEPA treatment^a.

CEPA concentration	Part of measurement	Number of secretory canals per mm^2	
		mean \pm SE	range
Control	all parts	$5.9 \pm 0.18\text{d}$	4 - 8
0.1%	all parts	$6.1 \pm 0.16\text{cd}$	4 - 8
1.0%	all parts	$6.5 \pm 0.22\text{c}$	5 - 9
10.0%	inner part	$8.1 \pm 0.23\text{b}$	6 - 11
	middle part	$4.4 \pm 0.23\text{e}$	3 - 6
	outer part	$1.8 \pm 0.10\text{f}$	1 - 3
	sum of three parts	$14.3 \pm 0.37\text{a}$	10 - 20
	mean of three parts	$4.8 \pm 0.12\text{e}$	4.0 - 5.5

* Values are the means of twenty replications \pm standard error and range.

* Different letters within a row show significant differences between treatments at the $p < 0.05$ level by Duncan's multiple range test.

^a Treated on June 16 and harvested on July 21.

Fig. 2. Effect of 10% CEPA on development of inner bark tissues. The transverse sections were made at 5cm above the treated zone 35 days after treatment. Bark thickness was more than doubled within 35 days by application of 10% CEPA on stem.
 Pe : periderm,
 Ph : phloem,
 R : ray,
 S : sclereid,
 SC : secretory canal. Scale bar=250 μm

수는 증가하므로 칠액을 분비할 수 있는 잠재력이 크다고 할 수 있으며 칠액구의 크기가 외피쪽으로 갈수록 현저히 커져 칠액생산량이 증가한다고 생각된다.

CEPA 처리하였을 때, 1차 피층(cortex)과 사부 유세포 주변에 조직팽창(dilatation) 현상이 일어났다. 이러한 조직팽창(dilatation tissue)은 방사조직이 뒤틀리고 일정한 방향성이 없어지는 것으로 알 수 있다. 팽창조직은 아직 조피(rhytidome) 층으로 분리되지 않았고, 피층에 붙어 있었다. 또한 CEPA에 의해 목전형성층(phellogen)의 분열이 유도되어 두꺼운 주피조직(periderm)이 형성되어 있었다. 이러한 현상은 멀구슬나무(*Melia azedarach*)에 CEPA를 처리하였을 때도 마찬가지여서(Lev-Yadun과 Anoli, 1992), 에틸렌이 목전형성층의 분열과 조직팽창에 관여하는 호르몬으로 추측된다.

CEPA 처리시에는 사부의 유세포가 발달하여

Fig. 3. Effect of 10% CEPA on phloem parenchyma cells.
 The transverse sections were made at 5cm above treated zone 35 days after treatment. The phloem parenchyma cells of 10% CEPA treated tree were well-developed and closely packed, with large intercellular space. In the phloem of control tree, Parenchyma cells and sieve elements were arranged in orderly.
 PP : phloem parenchyma,
 S : sieve element, SC : secretory canal.
 Scale bar=25 μm

조밀해지면서 무질서한 배열을 하고 있고, 사관(sieve element)의 수가 적어지는 양상을 보인다(Fig. 3). 이러한 현상은 분화가 덜 이루어진 유세포는 세포분열능을 지니고 있으며, 재분화, 상처치유, 측지나 측근 형성, 접목에 중요한 기능을 수행하는 것으로 알려져 있는데(김우갑 등, 1993; 이경준, 1993), 상처를 받으면 형성층으로부터 상처치유와 분비조직을 구성하기 위해 유조직이 빠르게 형성되고, 대신 탄수화물과 같은 물질의 수송의 기능은 저하되기 때문이다(Aloni와 Zimmermann, 1983; Wolter와 Zinkel, 1984). CEPA에 의한 유세포의 발달에 관한 실험으로, Robnett와 Morey(1973)는 *Prosopis juliflora*에 ethrel을 처리한 결과 내부 피층과 1차 사부조직 뿐만 아니라 기능을 수행하지 않는 2차 사부조직에서도 유세포의 발달이 촉진된다고 보고한 바 있다.

Ray 조직은 수평방향의 물질이동 통로로 CEPA를 처리한 옻나무의 경우, ray층 수가 무처리구의 경우 1~2층인데 반하여 처리구에서는 2~3층으로 잘 발달되어 있음을 알 수 있었다(Fig. 4). 이와 같은 현상은 소나무(Yamamoto와 Kozlowski,

Fig. 4. Effect of 10% CEPA on formation of phloem ray.

The transverse sections were made at 5cm above the treated zone 35 days after treatment. The phloem rays of control tree were 1 cell wide, those of 10% CEPA treated tree were 2 to 3 cells wide.

R : ray. Scale bar=100 μ m

1987)와 느릅나무(Yamamoto 등, 1987)에서도 관찰되었다. Yamamoto 등(1987)은 느릅나무에 CEPA를 처리하였을 때, 대조구의 ray층 수가 1개인데 반해, 처리농도가 증가할수록 ray층 수가 3개까지 증가하였다고 보고한 결과와 일치하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 CEPA를 처리하면 형성층 분열이 촉진되어 수피가 두꺼워지며, 형성층으로부터 상처치유와 분비조직을 구성하기 위해 유조직이 빠르게 형성되므로 많은 양의 탄수화물을 표피쪽으로 더 멀리 수송해야하기 때문이라 생각된다.

사관요소의 변화에 관한 연구보고는 없었지만 도관에 관한 실험은 몇몇 연구자에 의해 수행되었다. 그들은 오옥신(auxin)이 형성층에서 분화되는 세포의 크기를 조절하는 가장 중요한 물질이라고 하였다. 새로 형성된 도관의 수는 처리한 오옥신의 양과 정의 상관관계를 보였고(Aloni, 1980; Jacobs, 1952; Thompson과 Jacobs, 1966), 줄기 끝을 자른 콩의 줄기에 오옥신을 처리하였을 때 도관의 수는 감소하였고 도관 지름은 증가하였다고 하였다(Aloni와 Zimmermann, 1983). Digby와 Wareing(1966)은 *Robinia pseudoacacia*에 일정한 농도의 GA(gibberellic acid)와 여러 가지 농도의 IAA(indole acetic acid)를 동시에 처리하였을 때, IAA의 농도가 높아질수록 도관의 수는

감소하였다고 보고하였다. 따라서 CEPA 뿐만 아니라 옥신, 사이토카닌, ABA(abscisic acid), GA도 에틸렌 생성을 촉진시키고 식물체의 수피 해부학적인 변화를 유발시킨다는 사실을 알 수 있었다(Abeles 등, 1992; Fuchs와 Lieberman, 1968).

10% CEPA를 처리한 웃나무는 처리한 부위로부터 아래쪽으로 부정지(adventitious shoot)의 발생이 왕성하여 에틸렌 처리가 부정지의 형성 및 가지의 발달에도 커다란 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 0.1%와 1% CEPA lanolin paste 처리시에는 수목의 생장에 거의 영향이 없었으나 10% 처리목은 무처리목에 비해 단풍이 일찍 들고, 생장에 피해가 나타났다. 다른 수종의 경우도 수관 고사현상(crown necrosis)이 보고되었는데, 수종에 따라, 생장 상태나 처리시기, 처리농도, 처리방법에 따라 다양하게 나타났다(Wolter와 Zinkel, 1984; Olien과 Bukovac, 1982). 따라서 수지분비 촉진을 위해 CEPA를 처리할 때 수종의 특성과 생장상태에 따라 적당한 처리시기를 선택하고, 처리 농도를 조정해야 할 것이다. 웃나무는 살소법에 의해 웃액을 채취하고 그 해 가을 지상부를 잘라 맹아갱신을 유도하므로, 생존에는 상관없이 고농도로 처리할 수 있다.

결론적으로 CEPA는 1)2차 대사산물의 생합성을 촉진하고, 2)형성층과 목전형성층의 분열 및 조직팽창에도 관여하며, 3)사부조직의 형태적 변화에 영향을 미치는 식물생장조절제라는 것을 확인할 수 있었다.

인 용 문 헌

1. 권순섭. 1990. 웃나무 종자의 발아촉진법에 관한 연구. 건국대학교 석사학위논문. pp.1-19.
2. 김우갑·박홍석·정병갑. 1993. 식물형태해부학. 아카데미서적. 279pp.
3. 목영수. 1974. 웃의 특성 연구. 과학과 기술. 7(11-12): 37-42.
4. 이경준. 1993. 수목생리학. 서울대학교출판부. 서울. 504pp.
5. 이세표·이창재. 1989. 우리나라 웃 생산실태 분석. 충북임시보고 p.5-35.
6. 이필우·정연집. 1992. 웃나무(*Rhus verniciflua Stokes*) 漆液溝의 해부학적 특성. 서울

- 대학교 農學研究誌. 17(2) : 93-96.
7. 정 균. 1985. 웃(漆). _____. 156pp.
 8. 정인표. 1974. 웃나무 우량품종 選拔에 관한 研究(I). 충북대 논문집. 8 : 109-113.
 9. 천연물화학 교재연구위원회. 1995. 천연물화학. 개정판. 영림사. 453pp.
 10. 현정오·김만조·이세표. 1993. 산찰량이 많은 웃나무 개체의 선발에 관한 연구. 한국임학회지. 82(2) : 122-127.
 11. 高野德明. 1982. 漆の木. 岩手縣林業改良普及協會. 126pp.
 12. 松井悅造. 1963. 漆化學. 日刊工藝新聞社. 178pp.
 13. Abeles, F.B., P. Morgan, and M. Saltveit. 1992. Ethylene in Plant Biology. 2nd edition. Academic Press. 398pp.
 14. Aloni, R. 1980. Role of auxin and sucrose in the differentiation of sieve and tracheary element in plant tissue cultures. *Planta*. 150 : 255-263.
 15. Aloni, R. and M.H. Zimmermann. 1983. The control of vessel size and density along the plant axis. A new hypothesis. *Differentiation*. 24 : 203-208.
 16. Boller, T., and H. Kende. 1980. Regulation of wound ethylene synthesis in plants. *Nature*. 286 : 259-260.
 17. Blackman, G. 1961. The stimulation of latex flow by plant growth regulators. *Proc. Nat. Rubber Res. Conf.* 19-27.
 18. Brown, K.M., and A.C. Leopold. 1973. Ethylene and the regulation of growth in pine. *Can. J. For. Res.* 3 : 143-145.
 19. d'Auzac, J., J.L. Jacob and H. Chrestin. 1989. Physiology of Rubber Tree Latex : the laticiferous cell and latex : a model of cytoplasm. CRC Press, Fla.(USA). 458pp.
 20. d'Auzac, J. 1989. Historical account. - Physiology of Rubber Tree Latex. J. d'Auzac, J.L. Jacob, and H. Chrestin(ed). CRC Press. Fla(USA). 289-293.
 21. Digby, J. and P.F. Wareing. 1966. the effect of applied growth hormones on cambial division and the differentiation of the cambial derivatives. *Ann. Bot.* 30 : 539-548.
 22. Fuchs, Y. and M. Lieberman. 1968. Effects of kinetin, IAA, and giberellin on ethylene production, and their interactions in growth of seedlings. *Plant Physiol.* 43 : 2029-2036.
 23. Hillis, W.E. 1975. Ethylene and extraneous material formation in wood tissues. *Phytochemistry*. 14 : 2559-2562.
 24. Jacobs, W.P. 1952. The role of auxin in differentiation of xylem around a wound. *Amer. J. Bot.* 39 : 301-309.
 25. Lev-Yadun, S., and R. Anoli. 1992. Experimental induction of dilatation meristems in *Melia azedarach* L. *Annals of Botany* 70 : 376-386.
 26. Mattoo, K. and J. Suttle. 1991. The Plant Hormone Ethylene. CRC press. Fla(USA). 337pp.
 27. Messer, A. 1990. Traditional and chemical techniques for stimulation of *Shorea javanica* (Dipterocarpaceae) resin exudation in Sumatra. *Economic Botany*. 44(4) : 463-469.
 28. Olein, W. and M. Bukovac. 1982. Ethephon-induced gummosis in sour cherry (*Prunus cerasus* L.). 70 : 547-555.
 29. Raskin, I. 1991. Ethylene in vegetative growth. - Plant Hormone Ethylene. K. Mattoo and J. Suttle(ed). CRC press. Fla(USA). 183-192.
 30. Robitaille, H.A., and A.C. Leopold. 1974. Ethylene and the regulation of apple stem growth under stress. *Physiol. Plant* 32 : 301-304.
 31. Robnett, W. and P. Morey. 1973. Wood formation in *Prosopis* : effect of 2,4-D, 2,4,5-T, and TIBA. *Amer. J. Bot.* 60 : 745-754.
 32. Robnett, W. and P. Morey. 1974. Effect of ethephon on mesquite and huisache stem anatomy. *Weed Science*. 22(3) : 280-284.
 33. Salisbury, F. and C. Ross. 1992. Plant Physiology. 682pp.
 34. Shah, J.J., M.N.B. Nair, and R.C. Pandalai. 1981. Effect of ethephon(2-chloroethyl-phosphonic acid) on heartwood formation in *Azadirachta indica* A. Juss. *Ind. J. Exptl. Biol.* 19 : 216-219.

35. Shain, L. and W.E. Hillis. 1972. Ethylene production in *Pinus radiata* in response to Sirex-Amylostereum attack. *Phytopathology* 62 : 1407-1409.
36. Thompson, N.P. and W.P. Jacobs. 1966. Polarity of IAA effect on sieve-tube and xylem regeneration in *Coleus* and tomato stems. *Plant Physiol.* 44 : 156-158.
37. Wolter, E. and D. Zinkel. 1984. Observation on the physiological mechanisms and chemical constituents of induced oleoresin syn-
- thesis in *Pinus resinosa*. *Can. J. For. Res.* 14 : 452-458.
38. Yamamoto, F. and T.T. Kozlowski. 1987. Effect of ethrel on growth and stem anatomy of *Pinus halepensis* seedlings. *IAWA Bulletin n.s.*, 8(1) : 11-19.
39. Yamamoto, F., G. Angeles, and T.T. Kozlowski. 1987. Effect of ethrel on stem anatomy of *Ulmus americana* seedling. *IAWA Bulletin n.s.*, 8(1) : 3-10.