

비목질 재료의 바이오매스화를 위한 환경 스트레스 담배줄기의 화학조성

김강재 · 홍성범 · 엄태진[†]

접수일(2016년 1월 11일), 수정일(2016년 2월 2일), 채택일(2016년 2월 4일)

Chemical Characteristics of Abiotic-Stressed Tobacco Stems for the Utilization of a Non-Wooden Biomass

Kang-Jae Kim, Sung-Bum Hong and Tae-Jin Eom[†]

Received January 11, 2016; Received in revised form February 2, 2016; Accepted February 4, 2016

ABSTRACT

Abiotic-stressed tobacco stems as a non-wooden biomass were analyzed for their chemical characteristics. Light-stressed tobacco stems (LST) have a relatively high nitrogen concentration, much more extractive content, and a similar amount of lignin and higher contents of acid sugars than those of Non stressed tobacco (NST). It also has low cellulose crystallinity and a high degree of condensation. Guaiacyl units having a lower molecular weight distribution consist of rich lignin. Tension stressed tobacco (TST) growth differentiation under tensile stress was significantly different between normal tissue and cell walls, with the exception of the slightly higher cellulose crystallinity observed for.

Keywords: Tobacco stem, light stress, tension stress, chemical composition, CP-Mass ¹³C NMR

1. 서론

식물은 불안정한 환경 요인에 의해 일부 세포벽 물질의 생합성이 일시적으로 억제된다 하여도 변화된 세포벽의 형태를 유지하면서 생육하며 다른 생체 고분자와의 가교 결합이나 물질의 생합성 속도를 변화시키며 특

성 성분의 손실을 억제하는 메커니즘을 가지고 있다.^{1,2)} 그러나 2차벽에서 이러한 변화가 어떻게 일어나는지와 관련된 연구사례는 거의 없다.

김 등¹⁾은 목본식물을 이용하여 환경 스트레스를 가한 후 이에 반응하는 호르몬을 과다 발현시켜 이 물질이 2차 목부에 미치는 영향에 대하여 연구한 바 있다. 그 결

• 경북대학교 농업생명과학대학 임산공학과(Dept. of Wood Science and Technology, College of Agriculture and Life Science, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea)

[†] 교신저자(Corresponding Author): E-mail: tjeom@knu.ac.kr

과 호르몬이 과다 발현된 식물과 그렇지 않은 식물 사이에는 해부학적으로 큰 차이가 나타나지 않았으며 목섬유 내 리그닌은 생합성이 증가되고 도관벽의 리그닌은 합성이 억제된다고 보고한 바 있으며 환경 스트레스에 대한 내성을 향상시키기 위하여 항산화 기구를 강화시킨 형질 전환 식물체 개발에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.³⁻⁶⁾

식물이 환경에 적응함에 따라 분화하고 발달하는 것은 세포벽이 생육하면서 발생하는 결과이다. 식물이 환경에 적응하려고 할 때 발현되는 유전적 형질이라도 그 결과는 세포벽 중에 남게 마련이다. 따라서 특별히 통제된 환경에 적응하여 분화 발달된 세포벽의 이화학적 성상은 식물의 환경 적응 메커니즘을 이해하는데 중요한 정보를 제공할 수 있다.^{7,8)}

본 연구에서는 비목재 섬유의 자원 활용을 위한 연구의 일환으로 광이 통제된 상태에서 성장시킨 담배줄기 및 중력을 많이 받는 상태로 성장한 담배 줄기 세포의 화학적 특성을 정상적으로 성장한 경우의 것과 비교 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

정상적으로 성장한(light 15 hr/day) 담배의 줄기 시료(NST; non stressed tobacco)는 옅은 녹색을 띠고 있으며 조직이 치밀하고 약 0.5 정도의 비중을 갖고 있으며 암배양(light 9 hr./day)된 담배 줄기(LST; light stressed tobacco)는 매우 짙은 녹색을 띠고 비중이 약 0.3 이하의 매우 영성한 조직인 것으로 관찰되었고 중력 스트레스 중에서 성장한 인장응력 담배 줄기(TST; tension stressed tobacco)는 노란빛에 가까운 색으로 비교적 치밀한 조직으로 구성되어 있다. 동결 건조된 각각의 담배 줄기 조직을 Willy mill을 이용하여 전부 40 mesh를 통과할 때까지 분쇄하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 용제 추출물 및 리그닌 정량

전건시료 1 g을 속슬렛 추출장치에 넣고 에탄올-벤젠(1 : 2, v/v) 혼합액으로 8시간 동안 추출한 후 잔사의 중량을 칭량하여 용제 추출물을 정량하였다.

Klason lignin법에 의하여 황산 리그닌을 정량하고 여과액을 TAPPI method UM-250에 의거하여 205 nm에서 UV 흡광도를 측정하여 산가용성 리그닌을 정량하였다.

2.2.2 원소 및 당조성 분석

시료의 원소 조성은 원소분석기(Flash 2000, ThermoFisher, Italy)를 이용하여 질소, 탄소, 수소 및 황의 함량을 분석하였다.

당조성은 두 종류의 분석을 실시하였는데 중성당의 경우는 이전의 연구⁹⁾에서 실시한 방법과 동일한 방법으로 alditol-acetate법에 의하여 Gas chromatographic system(GC-14A, Shimadzu, Japan)으로 분석하였으며 산성당은 Blumenkrantz법에 의하여 520 nm의 흡광도로부터 글루쿠론산(glucuronic acid)을 정량하였다. 아래의 표(Table 1)는 중성당 측정 조건을 나타내었다.

Table 1. GC condition of analysis of sugar content

| | |
|-------------------|---------------------------------|
| Column | 3% ECNSS-M GasChrom Q |
| Injection Temp. | 230℃ |
| Detection Temp. | 250℃ |
| Column Temp. | 190℃ |
| Air | 0.5 kgf/cm ² |
| H ₂ | 0.5 kgf/cm ² |
| N ₂ | 2.0 kgf/cm ² |
| Internal standard | 1% inositol solution |
| Detector | FID (Frame ionization detector) |

2.2.3 알칼리 니트로벤젠 산화

환경 스트레스를 준 담배줄기 시료의 알칼리 니트로벤젠 산화물을 분석하기 위하여 Schulz 등¹⁰⁾의 방법에 의거하여 실험하였다. 담배줄기 시료(리그닌 시료로서 30 mg)를 2N NaOH 용액 4 mL와 0.24 mL의 니트로벤젠과 함께 170℃에서 2시간동안 반응시키고 반응 생성물을 추출·정제한 후 아세토구아이아콘/피리딘 혼합용액을 내부 표준물질로 주입하고 BSTFA (N,O-Bis(trimethylsilyl)trifluoroacetamide)로 trimethylsilylation(TMS)시킨 후 GC로 분석하였으며 이때의 분석 조건은 Table 2에 나타내었다.

2.2.4 효소분해 마쇄리그닌(cellulolytic enzyme milled wood lignin)의 조제

시료를 0.1M의 phosphate buffer(pH 8.5)에 분산시키고 시료 중량에 대해 10%의 효소(Denimax BT,

Table 2. GC condition of analysis of nitrobenzene oxidative products

| | |
|-------------------|---------------------------------------|
| Column | QF-1/GasChrom Q |
| Injection Temp. | 230℃ |
| Detection Temp. | 250℃ |
| Column Temp. | 180℃ |
| Air | 11 mL/min |
| H ₂ | 8 mL/min |
| He | 15 mL/min |
| Internal standard | acetoguaiacone/pyridine (30 mg/10 mL) |
| Detector | FID (Frame ionization detector) |

Novo)를 첨가하여 50℃ 진탕배양기 중에 72시간 동안 가수분해하였다. 여과 세척한 후 원충액으로 충분히 세척하고 동결 건조시킨 후 원소분석에 의하여 효소 단백질의 흡착 여부를 확인하였다. 건조 시료를 톨루엔이 충전된 스테인리스 용기에 넣고 직경 1 cm의 스테인리스 볼을 주입하고 밀봉한 후 4℃의 냉장실에서 반응기의 온도가 올라가는 것을 확인하면서 72시간 동안 진탕하였다. 미세하게 분쇄된 시료를 여과하고 톨루엔으로 세척한 후 건조시켰다. 건조된 미세 분말 시료를 다이옥산-물(9 : 1) 혼합용액으로 초음파를 쪼이면서 8시간동안 2회 추출하였다. 추출물을 건조하고 초산에 용해시킨 후 가용부를 냉수 중에 침전시켰다. 침전물을 여과 건조하고 디클로로메탄-에탄올(2 : 1)용액에 용해시킨 후 여과하여 여과액을 에테르 중에 침전시키고 여과 에테르를 세정하여 CMWL(cellulolytic enzyme milled wood lignin)을 얻었다.

2.2.5 XRD(X-ray diffraction) 분석

분말 조직 시료 중 셀룰로오스의 결정화도를 분석하기 위하여 감압 건조된 시료를 X-선 회절분석기(D/Max-IC, Rigaku)를 이용하여 10~30°의 범위에서 측정하였다.

2.2.6 화학 조성 분석

분말 조직 시료의 화학적 성분 변화를 관찰하기 위하여 분말 시료를 KBr 펠렛으로 조제한 후 FT-IR spectrophotometer(Frontier, PerkinElmer, USA)를 이용하여 측정하였으며 분말 시료 및 CMWL을 CP/MASS ¹³C NMR(Avance digital 400, Bruker, Germany)로 측정하였다.

2.2.7 분자량 분포 분석

CMWL의 분자량 분포를 측정하기 위하여 시료를 THF(tetrahydrofuran)에 용해시켜 GPC spectrometer (Alliance GPCV2000, Waters, USA)로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 원소 및 화학 조성

담배는 일년생 초본식물로서 그 특성상 유지·지질 등 유기용매에 용출되는 저분자 화합물이 목본에 비해 많이 함유되어 있다.¹¹⁾ 광조절 하에서 재배된 담배(LST)의 짙은 녹색이 유기용제 추출에 의하여 상당 부분 제거되는 것은 이 조직이 보다 많은 양의 엽록소 유래의 저분자 화합물을 함유하고 있다는 것을 시사한다. 이러한 추정 은 조성분 분석 시험 결과(Table 3)에서도 확인하였다.

Table 3. Chemical composition of tobacco stems (%)

| Composition | NST | LST | TST |
|---------------------|------|------|------|
| Solvent extractive | 20.9 | 26.9 | 23.3 |
| Klason lignin | 21.9 | 15.6 | 23.0 |
| Acid-soluble lignin | 3.0 | 4.5 | 1.9 |

유기용제 추출 성분이 정상적인 침·활엽수의 경우보다 높은 일반적 특성과 일치하고 있다. 리그닌 정량 시험 결과 초본임에도 불구하고 전체 리그닌 함량이 활엽수의 경우와 비슷한 결과를 보이는 것이 특징적이고, LST의 리그닌 함량이 다른 것에 비하여 낮은 것은 일광과 세포벽 목화화 상관관계가 있음을 시사하고 있어 주목할 가치가 있다. 즉, 부족한 일광에 의하여 식물의 세포질의 생리대사 정도가 낮아지고 결과적으로 세포벽 성분의 퇴적이 저해되는 것으로 추측되며 이때 특히 식물의 대표적인 2차 대사산물인 리그닌의 합성이 영향을 받을 가능성이 있다. 유관속식물이 광 스트레스를 받게 되면 주로 2차 대사의 결과 퇴적되는 2차벽의 분화 발달이 영향을 받게 된다면 이는 매우 흥미로운 사실로서 식물 대사의 이해를 보다 높일 수 있게 될 것이다. 이상의 추론은 추후 상세히 검토 증명되어야 한다. 원소 조성 분석 결과(Table 4), LST의 질소 함량이 높게 나타나고 TST의 경우가 가장 낮은 것을 알 수 있다. 일반적으로

분쇄되어 세포질 성분이 용매 추출된 식물세포벽 재료 중의 질소는 세포벽 구성 단백질로부터 유래되는 것이 아니고 세포벽 결합 효소 단백질에서 유래하게 된다.¹¹⁾ 그리고 세포벽 결합 단백질의 절대량은 개체간에 큰 차이가 없다. 따라서 LST의 경우 조직이 매우 유약하고 비중이 낮은 것과 관련지어 볼 때 NST 나 TST에 비해 세포벽 물질의 퇴적이 충분치 못하므로 상대적으로 단백질 유래의 질소 함량이 높은 것처럼 보이고 있는 것으로 사료된다. 이는 전술의 리그닌 농도에 관련된 추론을 뒷받침하는 또 다른 증거라고 할 수 있다. 조직 중의 질소 농도에 비해 Klason 리그닌 중의 질소 농도가 높은 것은 단백질은 리그닌과의 친화력이 매우 높기 때문에 정량 시험에 있어서 리그닌과 함께 거동한 결과로 판단된다. Klason 리그닌의 탄소 농도가 높은 것은 수산기를 많이 갖고 있는 탄수화물이 가수분해되어 제거되기 때문이며 이로 인하여 수소 함량도 낮게 나타났다. 한편, 리그닌 중의 소량의 황은 탄수화물 가수분해를 위하여 사용된 황산에서 유래된 것으로 사료된다.

Table 5에 담배줄기 세포벽 시료의 당조성 분석 결과를 정리하였다. 전체 중성당 함량은 LST에서 제일 낮고 TST가 가장 높은 결과를 보인다. 이는 광의 부족으로 인하여 2차벽 셀룰로오스의 퇴적이 저해되었기 때문으로 생각하며 반대로 산성당의 함량이 가장 높은 것도 2차벽 성분의 저해로 인하여 상대적으로 높게 나타난 것으로 사료된다. 산성당은 주로 펙틴질과 같은 1차벽 혹은 세포간층으로부터 유래된 것으로 담배줄기는 목본류

보다는 많은 펙틴질 유사물질을 함유하고 있는 것을 알 수 있다. 중성당 조성 분석 결과, 글루코오스의 함량이 높은 것으로써, 이들 조직의 세포벽은 목본류에 비해 셀룰로오스의 함량이 높고 헤미셀룰로오스 유사 화합물의 함량이 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다. 기타 중성당의 조성비로 미루어 볼 때 담배의 다당류의 성상은 목본 식물의 침·활엽수의 어느 것과도 다르다는 것을 예상할 수 있다. 그러나 NST, LST와 TST의 중성당 조성에는 큰 차이를 발견할 수 없었다.

3.2 담배 줄기 분말 시료의 기기 분석

Fig. 1은 각 담배 줄기 시료의 FT-IR 스펙트럼을 나타내었다. 3종의 시료 간의 특별한 차이점은 발견할 수 없으나 1,400~1,600 cm⁻¹ 사이의 피크 패턴이 LST가 다른 시료와는 약간 차이를 보이고 있다. 이는 이 파장영역이 고분자로서의 리그닌의 기본 구성단위 유래의 피크뿐만 아니라 다당류에 있어서의 관능기에 유래되는 영역이므로¹²⁾ LST의 어떤 구성성분이 다른 시료와는 다른 특성을 갖는다고 추측이 되지만 그 성분의 관능기에 있어서 차이를 보이는 것인지는 정확하지 않다. 모든 시료의 1,630 cm⁻¹ 전후의 피크는 산성당의 카르복실화에 유래하는 것으로 보인다.

Fig. 2에는 환경 스트레스를 준 담배줄기 시료의 X-선 회절곡선을 나타내었다. 침·활엽수의 X-선 회절곡선에 비하여 20~22°에서의 피크(결정영역)가 완만한 것이 특징으로서 담배 줄기 세포벽의 셀룰로오스는 목본의 그

Table 4. Elemental analysis of tobacco meal and Klason lignin (%)

| | Sample | Nitrogen | Carbon | Hydrogen | Sulphur |
|-----|---------------|----------|--------|----------|---------|
| NST | Tobacco meal | 1.1 | 39.2 | 5.5 | 0.0 |
| | Klason lignin | 1.6 | 51.5 | 3.3 | 0.3 |
| LST | Tobacco meal | 2.3 | 32.5 | 4.3 | 0.0 |
| | Klason lignin | 3.6 | 51.1 | 3.1 | 0.4 |
| TST | Tobacco meal | 0.2 | 40.5 | 5.5 | 0.0 |
| | Klason lignin | 0.9 | 56.4 | 4.3 | 0.2 |

Table 5. Sugar composition of tobacco stems (%)

| Tobacco stems | Total neutral sugar | Relative neutral sugar composition | | | | | Uronic acid |
|---------------|---------------------|------------------------------------|------|------|------|------|-------------|
| | | Ara. | Xyl. | Man. | Gal. | Glu. | |
| NST | 58.0 | 3.2 | 8.8 | 5.5 | 3.9 | 78.5 | 21.2 |
| LST | 53.4 | 3.7 | 7.9 | 3.7 | 4.5 | 80.1 | 26.3 |
| TST | 60.6 | 1.8 | 6.1 | 3.1 | 3.7 | 85.3 | 20.5 |

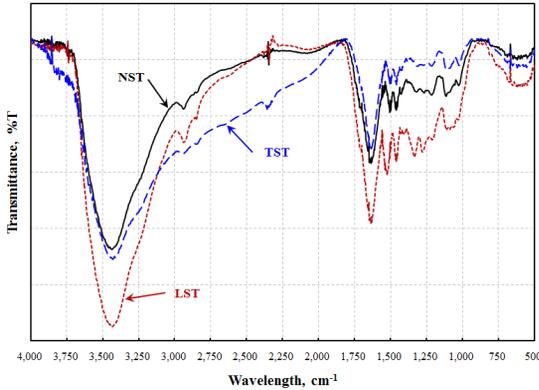


Fig. 1. Comparison of functional groups in 3 different tobacco stems.

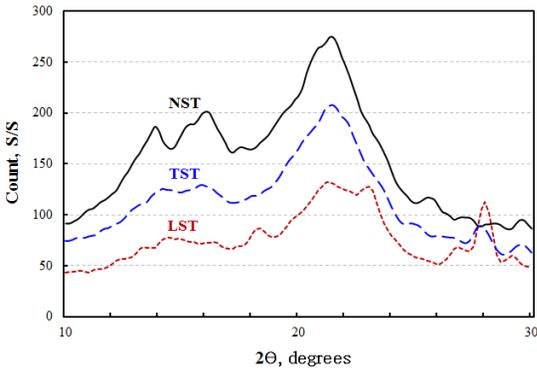


Fig. 2. X-ray diffraction pattern from tobacco stems.

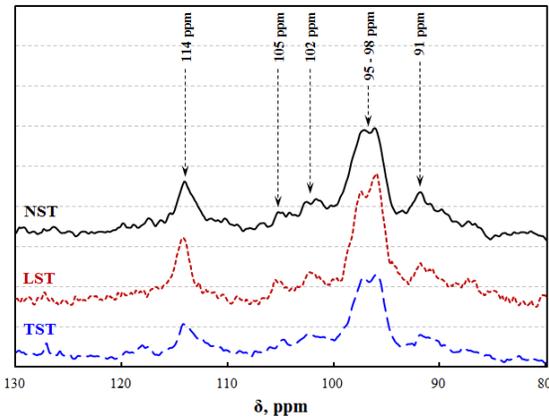


Fig. 3. CP/Mass ¹³C NMR spectra of tobacco stems.

것에 비하여 결정화도가 낮은 것으로 판단된다. 목본 식물 세포벽과 초본식물 세포벽에 있어서 셀룰로오스의 중합도는 목본 식물의 경우가 높은 것으로 알려져 있으나 결정화도의 차이에 관해서는 충분히 조사되어 있지 않기 때문에 Fig. 2의 X-선 회절곡선이 초본 식물 셀룰로오스의 고유의 패턴인지는 확실하지 않다. 특히 LST의 패턴은 14~16° (비결정영역)와 20~22° 에서 매우 완만한 피크를 보이고 있기 때문에 전술에서와 같이 LST는 2차 벽의 특징적인 성분인 결정성 셀룰로오스의 퇴적이 아직 충분치 않은 세포벽이라고 추정할 수 있다.

Fig. 3에 담배 줄기 세포벽 시료의 CP-Mass ¹³C NMR 스펙트럼을 비교하였다. 약 91 ppm의 피크가 C₆에 유래하고 95~98 ppm의 피크가 C₂, C₃, C₅에 유래하며 102 ppm과 105 ppm이 C₄, 114 ppm이 C-1에 유래하는 것으로서 귀속 탄소의 화학적 이동 패턴은 목본 식물 유래의 것과 유사하다. 환경 스트레스 담배 줄기의 시료 간에도 큰 차이는 없으나 LST의 경우, 105 ppm의 피크가 매우 강하게 나타나는 것이 타 시료에 비교하여 특징적이다. C₂와 C₃은 단당류간의 결합에 관여하지 않고 주로 자유수산기(free-hydroxyl group)를 갖는 탄소로서 셀룰로오스의 경우, 마이크로 피브릴 내에서 글루코오스 사슬간의 수소결합의 형성에 주로 관여하는 것으로 미루어 볼 때¹²⁾, LST 셀룰로오스에 있어서 마이크로 피브릴의 crystallite는 다른 시료와는 다르다는 것을 추측할 수 있다. 이는 Fig. 2에서의 낮은 결정화도와 관련이 있다.

3.3 니트로벤젠 산화(Nitrobenzene oxidation)

Table 6은 니트로벤젠 산화에 의한 생성물의 함량을 측정한 표이다. 담배 줄기의 리그닌을 니트로벤젠 산화 분해하여 얻어진 분해산물의 수율은 25~30%로서 통상의 침·활엽수 목재의 수율에 비하여 약간 낮은 결과를 보이고 있다. Table 6의 결과를 볼 때 담배 줄기의 리그닌은 목본 식물의 리그닌에 비해 기본 단위 간에 C-C 결합의 축합형 구조가 비교적 풍부한 것으로 보인다.¹³⁾ 목본 식물의 리그닌에 비하여 보다 많은 양의 *p*-hydroxybenzaldehyde를 갖고 있는 것은 대부분의 벼과 식물을 중심으로 초본 리그닌의 특징 중의 하나로서 본 결과도 일치하고 있다.¹⁴⁾ 상대적으로 많은 양의 syringaldehyde를 생성하는 것은 목본 식물의 활엽수와 비슷하나 syringaldehyde에 대한 vanillin의 분자량 대비 양비(S/V molar ratio)를 비교하여 보면 목본 식물의 활엽

Table 6. Nitrobenzene oxidation products from lignin of tobacco stems (%)

| Aldehydes | NST | LST | TST |
|-----------------------|------|------|------|
| p-hydroxybenzaldehyde | 2.5 | 4.5 | 3.3 |
| vanillin | 8.9 | 7.9 | 9.0 |
| syringaldehyde | 18.2 | 13.2 | 17.9 |
| Total yields | 29.6 | 25.6 | 30.2 |
| S/V molar ratio | 2.5 | 2.0 | 2.4 |

수 리그닌의 그것보다는 낮은 것을 알 수 있다. 담배 시료 간의 차이를 비교하여 보면 NST와 TST는 거의 비슷한 결과를 보이고 있으나 LST는 total aldehyde의 수율이 낮고 S/V molar ratio도 보다 낮은 것을 알 수 있다. 이는 LST 리그닌은 보다 축합도가 높은 guaiacyl type의 단량체(monomer)가 풍부한 리그닌임을 시사하는 결과이다. 광의 제한적 조사에 의하여 분화 발달하는 세포벽층의 리그닌이 축합도가 높아진다는 사실은 흥미로운 것이다.

3.4 CMWL의 화학적 성상

Table 7은 소량의 담배 줄기 세포벽 시료로부터 마쇄리그닌(MWL)을 효율적으로 얻기 위하여 목질 섬유소 분해 효소에 의하여 시료를 충분히 가수분해하여 시료 중 리그닌의 농도를 높인 시료의 리그닌 농도와 전처리된 시료의 원소분석 결과를 나타낸 것이다. 효소 가수분해율은 LST의 경우가 가장 높은 것으로 이는 LST의 경우, 줄기 조직이 가장 유연하고 리그닌의 농도도 가장 낮기 때문인 것으로 생각할 수 있다. 전체적으로 40% 이상의 효소가수분해에 의해 상당 부분의 세포벽 다당류가 제거되고 잔사로 남은 시료중의 리그닌 농도는 36-42%에 이르고 있다. 효소가수분해에 있어서 목질 섬유소 분해효소가 세포벽 시료 중에 침착하는 경우에는 리그닌과 함께 거동하

Table 7. The rate of enzymatic hydrolysis and lignin content of residues and elemental analysis (%)

| | NST | LST | TST |
|---------------------|------|------|------|
| Hydrolysis rate | 48.5 | 53.2 | 42.3 |
| Klason lignin | 36.0 | 38.5 | 33.4 |
| Acid-soluble lignin | 3.2 | 3.9 | 2.8 |
| Nitrogen | 0.8 | 0.9 | 0.5 |
| Carbon | 47.6 | 45.8 | 44.7 |
| Hydrogen | 4.5 | 5.7 | 5.0 |

Table 8. Yield of cellulytic enzyme milled wood lignin (CMWL) (%)

| | NST | LST | TST |
|--------------------|------|------|------|
| Yield ^a | 25.2 | 19.5 | 29.3 |

^a based on lignin

는 경우가 있기 때문에 이를 확인하기 위하여 효소가수분해 잔사 시료의 원소 조성을 확인해야한다. 그 결과 질소가 1%미만으로서 마쇄리그닌(MWL)을 분리하기 위한 시료로서 문제가 없는 것으로 확인하였다.

세포벽 구성 다당류를 효소가수분해에 의해 상당부분 제거한 시료로부터 볼밀(ball mill)에 의해 미분화되고 다이옥산으로 추출되고 정제된 마쇄리그닌(MWL)의 수율을 Table 8에 나타내었다. LST의 경우가 수율이 제일 낮게 나타났으나 대체적으로 20% 전후의 수율을 보이고 있어 통상의 목본 식물의 그것에 비교하여 볼 때 본 실험의 담배 줄기 시료로부터 추출, 정제된 MWL은 전체 리그닌의 화학적 성상을 대표할 수 있다고 생각한다.

담배 줄기로부터 분리 정제된 CMWL의 GPC에 의한 분자량 분포를 Fig. 4에 나타내었다. 모든 시료에 있어서 주요 피크 정점에서의 질량 분자량(MW)은 5,000~7,000 g/mol 정도로서 큰 차이를 보이지 않고 있으나 LST의 경우는 특이하게도 매우 저분자 영역에서의 강한 피크를 보이고 있으며 평균적으로는 LST의 리그닌의 분자량 분포는 타 시료에 비하여 낮다고 할 수 있다. 이러한 결과로부터 LST의 리그닌은 2차벽 리그닌보다 복합 세포간층 리그닌에 보다 가까운 말단이 많고 보다 축합된 구조의 bulk polymer 리그닌에 가깝다고 할 수 있다.

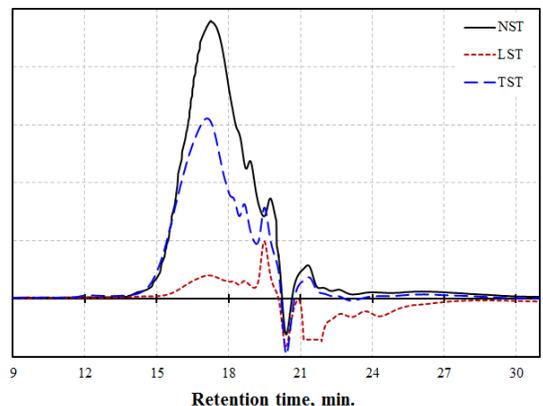


Fig. 4. GPC chromatogram of CMWL from tobacco stems.

LST가 부족한 일광으로 인하여 광합성이 충분치 못하여 타 시료에 비하면 세포벽성분의 퇴적이 아직 초기 단계이기 때문이라고 생각할 수 있으나 보다 자세한 연구가 필요하다. 그 외 NST와 TST의 리그닌 특성에는 차이가 거의 없다. 한편, 목본 식물의 MWL의 중량 평균분자량(MW)이 10,000~20,000 g/mol 정도인 것에 비하여 담배 줄기 중의 리그닌은 분자량이 매우 낮은 것을 알 수 있다. 이러한 분자량 분포가 초본 식물 리그닌의 일반적인 성질인지는 정확하지 않다.

4. 결론

식물의 생육에 적합하지 않은 환경에 적응하여 성장하는 식물 세포벽의 화학적 변화를 조사하기 위하여 광이 통제된 상태에서 성장시킨 담배 줄기(LST) 및 중력을 많이 받는 상태로 성장한 담배 줄기(TST)의 세포 화학적 특성을 정상적으로 성장한 경우의 그것과 비교·분석하였다.

광주기 조절된 담배 줄기의 세포벽은 다른 담배 줄기 시료에 비해 질소 농도가 상대적으로 높고 추출성분이 많으며 보다 적은 양의 리그닌과 높은 함량의 산성당을 가지고 있다. 또한, 셀룰로오스의 결정화도가 낮으며 축합도가 높고 낮은 분자량 분포를 갖는 guaiacyl unit이 보다 풍부한 리그닌으로 구성되어 있다. 인장 스트레스 하에서 분화 성장된 줄기 세포벽(TST)은 셀룰로오스의 결정화도가 조금 높은 것을 제외하고는 정상 조직 세포벽의 그것과 큰 차이를 보이지 않았다.

Literature Cited

1. Kim, Y. S., Lee, G. H., Lim, J. A., Cha, M. Y., Kim, J. S. and Kim, S. Y., Anatomical characteristics of secondary xylem in overexpression tobacco by ABF-4, Proceeding of 2004 KSWST Conference, 129-132 (2004).
2. Caño-Delgado, A., Penfield, S., Smith, C., Catley, M and Bevan M., Reduced cellulose synthesis invokes lignification and defense responses in *Arabidopsis thaliana*, The Plant Journal, 34(3): 351-362 (2003).
3. Foyer, C. H., Descourvieres, P. and Kunert, K. J., Protection against oxygen radicals: an important defense mechanism studied in transgenic plant, Plant Cell & Environment, 17(5): 507-523 (1994).
4. Kwon, S. Y., Jeong, Y. J., Lee, H. S., Hur, Y. K., Bang, J. W. and Kwak, S. S., A novel oxidative stress-inducible peroxidase promoter from sweet potato: molecular cloning and characterization in transgenic tobacco plants and cultured cells, Plant Molecular Biology, 51(6): 831-838 (2003).
5. Kwon, S. Y., Choi, S. M., Ahn, Y. O., Lee, H. S., Lee, H. B., Park, Y. M. and Kwak, S. S., Enhanced stress-tolerance of transgenic tobacco plants expressing a human dehydroascorbate reductase gene, J. Plant Physiology, 160(4): 347-353 (2003).
6. Oberschall, A., Deak, M., Torok, K., Saa, L., Vass, I., Kovacs, I., Feher, A., Dudits, D. and Horvath, G. V., A novel aldose/aldehyde reductase protects transgenic plants against lipid peroxidation under chemical and drought stresses, Plant Journal, 24(4): 437-446 (2000).
7. Kim, B. N., Yoon, K. D., Kim, Y. S., and Eom, T. J., Chemical compositions of cell wall in tomato stem by salinity stress, Proceeding of 2006 KSWST Conference, 28-29 (2006)
8. Munns, R. and Tester, M., Mechanisms of salinity tolerance, Annual reviews Plant Biology, 59: 651-681 (2008).
9. Kim, K. J. and Eom, T. J., Chemical characteristics of cell wall in *Pinus thunbergii* Parl. grown with high salinity, J. Korea TAPPI, 47(4): 143-149 (2015).
10. Schultz, T. P. and Templeton, M. C., Proposed mechanism for the nitrobenzene oxidation of lignin, Holzforschung, 40(2): 93-97 (1986).
11. Stedman, R. L., Chemical composition of tobacco and tobacco smoke, Chem. Rev., 68(2):

- 153–207 (1968).
12. Jarvis, M. C. and McCann, M. C., Macro-molecular biophysics of the plant cell wall: concepts and methodology, *Plant Physiol. Biochem.*, 38(1–2): 1–13 (2000).
 13. Frnake, R., McMichael, C. M., Meyer, K., Shirley, A. M., Cusumano, J. C. and Chap-ple, C., Modified lignin in tobacco and poplar plants over-expressing the *Arabidopsis* gene encoding ferulate 5-hydroxylase, *The Plant Journal*, 22(3): 223–234 (2000).
 14. Uchiyama, T., Sato, J. and Ogasawara, N., Lignification and qualitative changes of phe-nolic compounds in rice callus tissues inocu-lated with plant pathogenic fungi, *Agricultural and Biological Chemistry*, 47(1): 1–10 (1983).