

국내산 Kenaf 이용에 관한 연구(제1보)

– 국내에서 재배한 kenaf의 성장 및 해부학적 특성 –

이명구[†] · 윤승락^{*}

(2003년 6월 18일 접수; 2003년 10월 15일 채택)

Utilization of Kenaf Cultivated in Korea(I)

- Growth and Anatomical Characteristics of Kenaf Cultivated in Korea -

Myoung-ku Lee[†] and Seung-Lak Yoon^{*}

(Received on June. 18, 2003; Accepted on October 15, 2003)

ABSTRACT

Kenaf(*Hibiscus cannabinus L.*) cultivar, Tainung 2, had been grown for 152 days at the experimental farm of Jinju National University, Gajoa-dong, Jinju-si, Kyongnam, Korea. The planting, growth rate, fertilization and structural characteristics as well as the cultivation and growth characteristics of kenaf, and the product usage were investigated. The narrowest diameter at kenaf bottom was 10 mm, the widest 42 mm and the average about 28 mm, and the shortest height 150 cm, the tallest 480 cm and the average about 350 cm. The weight of a core fraction was 68.1% and a bast fraction 31.9%. The weight ratio of core material to bast fiber was 2.31. The weight ratio of dry stem was 73.5% and that of leaves 26.5%. The weight of dry plant produced in 1 m² was 1,467 g, and about 1,052 g of stem could be used for the commercial purpose. The application of fertilizers resulted in the increase of the growth rate of the diameter at plant bottom and the height. Bast fiber, phloem ray and cortex parenchyma cell were observed in bast, and vessel, wood fiber and ray in core.

Keywords : Kenaf, Nonwood fiber, Global warming, Paper, Bast ratio, Vessel, Ray parenchyma.

1. 서론

종이 및 판지류의 연간 소비량은 2-3%씩 꾸준히 증가하고 있으나 세계적으로 산림 벌채의 규제 강화,

고정 탄소원의 유지 방안, 이산화탄소 배출량의 감소 정책 등으로 목재 자원의 이용이 제한을 받음으로 인해 제지공업분야에서는 원료 수급이 가장 중요한 문제가 되고 있다. 이러한 종이의 소비량 증가 추세와 환경

• 강원대학교 제지공학과(Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon, 200-701.)

* 전주산업대학교 임산공학과, *Dept. of Forest Products Engineering, Jinju National University, Korea

† 주저자(Corresponding author): E-mail : mklee@kangwon.ac.kr

보존의 현실을 고려할 때 산림 자원을 이용한 펄프의 수급은 점점 더 어려워질 것으로 예측되며, 특히 종이 생산량은 세계 9위이나 펄프 생산량은 세계 24위로 펄프의 해외 의존도가 매우 높은 국내 제지업계의 특성상 미래에 다가올 펄프 원료 문제에 대한 대책 마련이 시급하다고 생각한다.

미국에서는 1993년 10월 대통령이 지시한 EO(Executive Order) 12873에 의해 미국의 종이 재생율이 30%를 넘었으며, 다시 1998년 9월 클린턴 대통령의 EO 13101에 의하여 종이 재생율은 45%를 넘어 현재 50%에 이르고 있다. 산림자원 보호를 위한 미국내 변화를 고려할 때 비목재 펄프 사용을 권고하는 EO가 발표된다면 전세계 비목재 펄프시장의 경쟁률은 매우 치열할 것으로 예상된다.

최근 들어 이산화탄소에 의한 지구 온난화 및 산림 파괴라는 지구 환경문제를 동시에 해결할 수 있는 일환으로 비목질계 식물인 크네프에 대하여 다양한 연구가 수행되고 있다. 크네프는 생장이 빠르고 섬유질이 풍부하여 종이 및 각종 흡착제와 filteringmedia의 원료로 적합하며 이산화탄소에 의한 지구 온난화와 산림파괴 등 지구 환경 문제를 동시에 해결할 수 있는 식물로 주목을 받고 있다. 미국에서는 이미 1950년대에 지구상의 500여종 식물을 대상으로 목재 자원 대체에 대한 연구를 진행한 결과 가장 경제적이고 친환경적인 비목재 섬유로서 향후 목재펄프를 대신할 식물자원으로 크네프가 적합하다고 보고하였으며^{2,3,4,5,6)}, 최근 들어 이산화탄소에 의한 지구 온난화 문제가 대두되면서 다시 크네프에 대한 연구^{7,8,9)}가 활발히 진행되고 있다.

그러나, 우리 나라의 경우 종이 및 종이제품의 원료가 되는 목재펄프의 80% 이상을 외국에서 수입하고 있음에도 불구하고 이러한 목재펄프를 대체할 수 있는 비목재 펄프 개발에 대한 연구가 체계적으로 이루어지지 않았다. 따라서 이러한 펄프 원료의 국제적인 흐름을 고려하여 펄프 부족 현상이 현실화되기 전에 우리나라 실정에 적합한 연구를 통해 크네프의 재배 기술을 포함하여 독자적인 펄프·제지 관련 기술을 개발함으로써 국내 제지공업의 미래를 준비하여야 한다.

크네프가 빠른 속도로 성장한다는 것은 일반 식물보다 광합성율이 높아 이산화탄소를 많이 흡수함을 의미하고 따라서 친환경적 관점에서 그 가치가 인정된다. 또한 외피(bast)와 코어(core)로 구성된 줄기는 각각 종이류 및 각종 흡착제와 filteringmedia 등의 생산에 적합한 특성을 지니기 때문에 경제적인 이점을 제공할 수 있다. 이러한 크네프를 국내에서 재배하여 자원화하는 것이 가능하다면 가까운 미래에 찾아올 펄프

자원 부족에 대해 보다 능동적으로 대비^{7,10)}할 수 있을 것이라 생각한다.

따라서, 본 연구에서는 한국에서 열대 식물인 크네프(Tainung-2)를 파종하여 재배함으로써 생장량, 시비조건이 생장에 미치는 영향, 해부학적 특성 등을 조사하고 이들의 검토를 통해 크네프의 국내 재배 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

공시재료인 크네프(*Hibiscus cannabinus L.*) 종자 Tainung-2를 미국의 Wisconsin 주의madison에 위치한 USDA로부터 분양 받아 재배하였다.

2.2 생장시험

크네프 생장시험은 경남 진주시 가좌동 진주산업대학교 농장 내에서 실시하였다. 파종은 Fig. 1과 같이 폭 1.5 m, 길이 20 m의 파종상을 5개 만들어 실시하였다. 파종공은 Fig. 1과 같이 폭 방향으로 50 cm, 길이 방향으로 15 cm 간격으로 만들어 1 파종공에 크네프 씨앗 2개씩 파종하였다. 파종공 당 2개씩 발아시켜 10~20일 후 그 중 우량개체 1개만 남기고 불량개체는 지제부에서 끊어 버렸다. 2002년 5월 26일 파종하여 10월 24일 수확하였으며, 총 생장기간은 152일이었다.

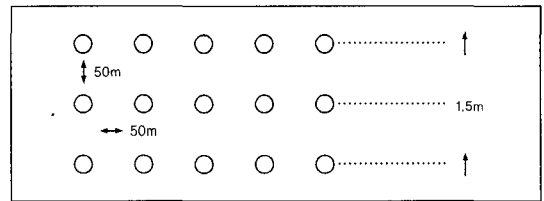


Fig. 1. Intervals of seeding holes and seeding beds.

2.3 3요소 시비와 생장량

3요소(N, P, K)와 유기질 비료의 시비 적정량 시험은 각 처리구 당 1m²로 선정하였다. 종자 Tainung-2를 50 cm×15 cm 간격으로 파종하였으므로 1m²내에

는 18개체의 크네프가 포함되어 있다. 3요소 적량 시험은 1m²내의 시비량을 소량, 적당량, 과량으로 구분하여 N은 15 g, 30 g, 45 g으로 하였고, P는 20 g, 40 g, 60 g, K는 10 g, 20 g, 30 g, 유기질 비료는 20 g, 40 g, 60 g으로 하였다. 시비는 크네프 종자 파종 후 77일 경과 후에 실시하였다. 3요소 및 유기질 비료는 시중에서 판매되는 것을 구입하여 사용하였으며, 시비방법은 크네프 양옆으로 약 10 cm 간격을 두고 일렬로 시비하였다.

2.4 3요소 결핍 진단 시험

3요소의 결핍진단 시험의 시비량은 N 15 g/m², P 20 g/m², K 10 g/m²이다. N 결핍구는 P와 K만 시비하므로 m²내에 P 20 g, K 10 g 총 30 g을 시비하였다. P 결핍구는 N과 K만 시비하므로 m²내에 N 15 g, K 10 g 총 25 g을 시비하였다. K 결핍구는 N과 P만 시비하므로 m²내에 N 15 g, P 20 g 총 35 g을 시비하였다. 시험 개체 수 및 시비시기, 방법은 3요소 적량시험의 방법과 동일하다.

2.5 생장량

크네프 파종 후 약 15일 간격으로 수확 때까지 근원경과 길이를 조사하였다. 근원경은 크네프 줄기의 지표면으로부터 약 5 cm되는 부근의 직경을 측정하였다.

2.6 건물량

수확한 크네프를 길이 2.0 m, 2.5 m, 3.0 m, 3.5 m, 4.0 m, 4.5 m별로 10분씩 선정하여 줄기와 잎을 구분한 후 각각의 전건무게를 측정하여 백분율을 구하였다.

2.7 수피율

크네프의 수피율은 길이가 약 4.5 m되는 것을 50 cm 간격으로 약 10 cm정도 절단하여 수피와 코아 부분을 분리한 후 각각 전건무게로 계산하였다.

2.8 해부학적 특성

크네프의 높이에 따라 기부(underground)부터 20 cm 간격으로 시료를 채취하여 木材科學實驗書¹⁰⁾의 방법에 의해 광학현미경(ZEISS Standard 25), 화상 분석기(BMI) 및 SEM(JEOL, JSM5410)을 이용하여 해부학적 특성을 관찰 및 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 생장량

크네프는 진주산업대학교 농장 내에서 152일간 재배하였다. 크네프 수확 후 총 345개체의 길이와 근원경(지표면으로부터 5 cm되는 부위의 줄기 직경)을 측정하여 통계 처리한 것은 Fig. 2와 같다. 본 실험에서 생육된 크네프의 길이는 최하 150 cm, 최고 480 cm이며, 250~400 cm 개체의 분포가 높으며 평균 길이는 약 350 cm였다. 근원경은 최하 10 mm, 최고 42 mm로서 20~30 mm 개체의 분포가 높으며 평균 근원경은 약 28 mm였다.

근원경과 길이와의 관계는 Fig. 2에서와 같이 근원경 10 mm인 것의 길이는 200 cm, 20 mm인 것의 길이는 280 cm, 30 mm인 것의 길이는 360 cm, 40 mm인 것의 길이는 460 cm로 확인할 수 있다.

본 실험에서 실제 최고 길이 470 cm의 근원경은 36 mm였으며, 최고 근원경인 40 mm에서의 길이는 평균 생장율보다 작은 개체가 발견되었는데 이러한 결과

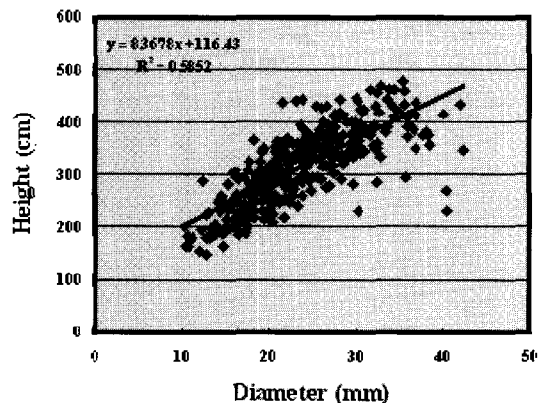


Fig. 2. Relationship between the diameter at plant bottom and height of kenaf plant.

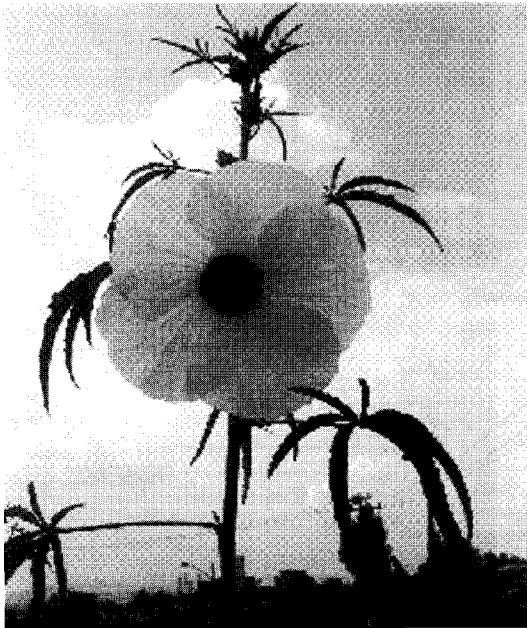


Fig. 3. Kenaf flower.

는 길이 성장보다 부피생장이 높은 것으로 예측된다.

Fig. 3에서와 같이 크네프의 꽃은 피었지만 종자 결실은 되지 않았다.

크네프가 열대성 식물이기 때문에 크네프 연구가 활발한 미국에서도 일반적인 기후조건에서는 종자 결실이 되지 않으므로 연방정부 연구기관에서 종자를 생산하여 보급하고 있다. 일반적으로 개화 후에도 약 1개월간의 일조량이 필요한데 우리 나라에서는 이른서리 때문에 이러한 종자를 기대할 수 없고, 미국과 같이 우리 나라 기후와 토양에 적합한 종자를 선택 개발한 후 종자생산 체제를 갖추는 것이 합리적이라 생각한다.

Table 2. Bast to core ratio as a function of plant height of kenaf

Distance ^a (cm)	Core(%)	Bast(%)
5	71.7	28.3
50	67.6	33.4
100	67.1	33.9
150	67.5	33.5
200	68.7	31.3
250	68.1	31.9
300	68.2	31.8
350	68.9	31.1
400	CS ^b	CS
450	CS	CS
Average	68.1	31.9
Core/Bast	2.13	

a Distance from ground

b Cannot be separated

3.2 건물량

152일간 성장한 크네프의 건물량을 길이별로 측정 한 결과는 Table. 1과 같다. 크네프의 길이 200, 250, 300, 350, 400, 450 cm 별로 줄기 부분과 잎부분을 1본당 전진무게로 측정하였다. 길이별의 줄기 및 잎의 건물량은 조금씩 차이가 있지만, 평균적으로는 줄기의 건물량이 73.5%이고, 잎은 26.5%이다.

1본당의 총 무게는 200, 250, 300, 350, 400 cm의 경우 각각 46.2, 67.4, 130.5, 220.0, 274.6, 326.0 g이다.

1 m²내에서 생산되는 건물량은 줄기가 1,052 g, 잎

Table 1. Dry weight as a function of plant height of kenaf

Height(m)	Stem(g)	Leaves(g)	Total weight(g)
200	33.0(71.4) ^a	13.2(28.6)	46.2
250	51.2(76.0)	16.2(24.0)	67.4
300	99.0(75.9)	31.5(24.1)	130.5
350	162.8(74.0)	57.2(26.0)	220.0
400	201.2(73.3)	73.4(26.7)	274.6
450	230.0(70.6)	96.0(29.4)	326.0
Average Content(%)	73.5	26.5	
Total weight in 1m ²	1,052	415	1,467

^a Values in parenthesis indicates the percentages of the stem and leaves, respectively.

이 415 g, 총 1,467 g이다. 크네프를 이용할 수 있는 줄기부분의 생산량은 약 1,052 g/m² 이다.

3.3 수피율

크네프의 수피율은 길이 470 mm의 크네프에서 부위별로 측정하였다. 지표부로부터 5 cm되는 부분에서 50 cm 간격으로 측정한 크네프의 수피와 코아의 비율은 Table. 2와 같다. 지표로부터 50~150 cm의 부위의 수피율이 다른 부위에 비하여 약 2% 정도 높았다. 400 cm 이상에서는 크네프 줄기가 매우 연하여 코아와 수피를 쉽게 분리할 수 없었다. 평균적으로 코아가 68.1%, 수피가 31.9%로서 수피에 대한 코아의 비율이 2.13이었다. Roger 등¹²⁾은 코아가 약 85%, 수피가 15%, 수피에 대한 코아의 비율이 1.81이라고 보고하였다.

만약 수피만 별도로 분리하여 이용하려 한다면 전체 길이 중 초두부분의 약 50 cm는 수피 분리가 곤란하기 때문에 그 부분은 제외시켜야 한다. 그러므로, 일정한 길이의 크네프 수피 생산량은 Table. 1의 길이별 줄기의 건물량에서 수피 비율로 계산하면 된다.

예를 들어 400 cm 크네프에서 생산되는 수피의 양은 50 cm를 제외 시켜야 하기 때문에 350 cm의 줄기 건물량을 기준으로 162.8 g에 수피율 31.9%를 계산하면 51.9 g의 수피가 생산된다고 예상된다.

3.4 시비에 따른 생장량

시비에 의한 크네프 생장을 확인하기 위하여 3요소(N, P, K)와 유기질 비료의 시비량이 생장량에 미치는 영향에 대하여 조사한 결과는 Table. 3과 같다.

3요소와 유기질 비료의 시비량에 따른 크네프의 생장은 무처리구에 비해 3요소와 유기질 비료를 처리한 크네프의 근원경과 길이 생장이 모두 증가되었다. 각 요소별 모두 시비량이 증가되면 근원경과 길이 생장이 함께 증가하였다.

N 처리구의 경우 시비량이 15 g인 경우는 근원경이 무처리구에 비하여 2%의 미약한 성장효과를 나타내었으나, 시비량을 30 g과 45 g으로 증가시키면 근원경의 성장효과가 현저히 증가하여 27%와 26%를 나타내었다.

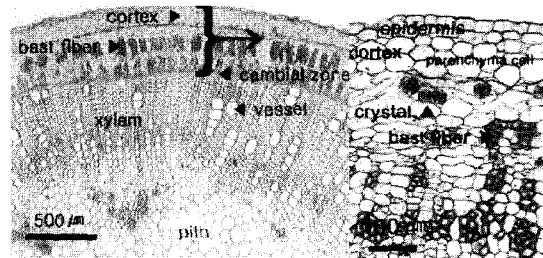


Fig. 4. Optical micrographs of cross section in kenaf.

Table 3. Effects of fertilizers on growth rate of kenaf plant

Plot	Amount of fertilizer(g)	Stem diameter		Height	
		Growth rate(%)	Increment(%)	Growth rate(%)	Increment(%)
Control	0	102	0	120	0
	15	104	2	148	28
	30	129	27	147	27
N	45	128	26	154	34
	20	123	21	154	34
	30	134	32	163	43
P	60	141	39	184	64
	10	115	13	149	29
	20	122	20	158	38
K	30	159	37	178	58
	20	105	3	144	24
	40	128	26	164	44
Organic	60	156	54	179	59

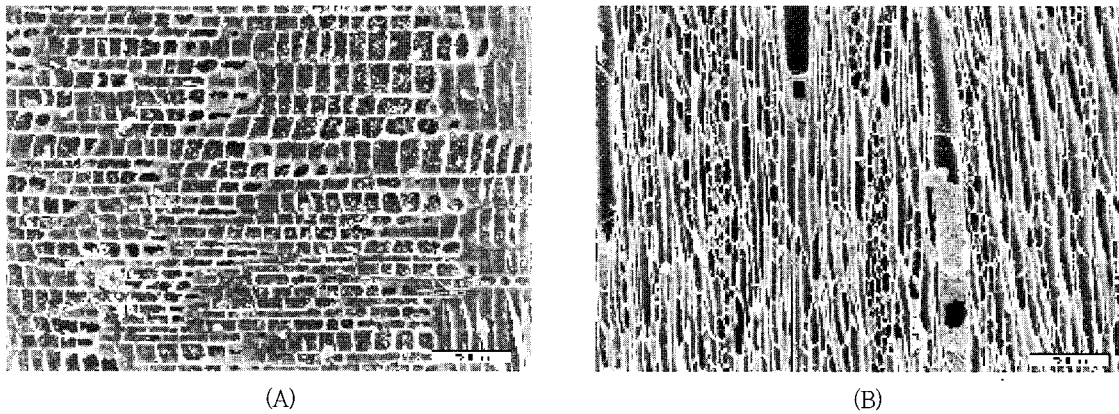


Fig. 5. Scanning electron micrographs of radial(A) and tangential section(B) in kenaf.

길이 생장은 시비량 15 g과 30 g인 경우 증가율이 28%와 27%로 큰 차이가 없었으며, 시비량을 45 g으로 증가시킨 경우는 길이생장도 시비량 15 g이나 30 g인 경우에 비하여 7% 증가하였다.

P 처리구는 시비량이 증가하면 근원경과 길이 생장 모두 증가하였으며, 특히 60 g 시비구의 길이 생장은 무처리구에 비해 64%가 증가하였다.

K 처리구는 P 처리구와 유사한 경향을 나타내어 30 g 시비구의 길이 생장은 무처리재에 비해 58%가 증가하였다.

유기질 비료 처리구는 20 g 시비구에서 근원경이 무처리구에 비해 3%로 약간 증가하였지만, 40 g 처리구에서는 무처리구에 비해 26%, 60 g 처리구에서는 54%가 각각 증가하였다. 길이 생장은 근원경과 달리 40 g 처리구에서 44%로 크게 증가하여 60 g 처리구의 길이 생장율은 59%로 나타났다.

각 비료의 3요소 첨가량에 따른 성장량의 평균값을 무처리구와 각 비료별로 비교하면 근원경, 길이 모두 P 시비구가 가장 높고, 유기질 비료, K 시비구, N 시비구 순으로 감소하였으며, P의 시비구는 Iwasaki 등¹³⁾이 보고한 성장결과와 유사한 경향을 보이고 있다. 국내에서 재배한 크네프의 3단면(횡단면, 방사단면, 접선단면) 구조는 Fig. 4와 Fig. 5에 나타났다.

3.5 크네프의 해부학적 특성

크네프의 수피부(bark)에는 인피섬유(bast fiber), 사부방사조직(phloem ray), 피층유세포(cortex parenchyma cell) 등이 존재하였고, 목질부(core)는 도관(vessel), 목부섬유(wood fiber), 방사조직(ray)

등으로 구성되어 있었다. 특히, 수피부는 세포벽이 두꺼운 인피섬유가 많이 존재하였다. 관공(pore)의 크기는 목질부내에서 거의 일정하였고, 고르게 분포하여 산공재(diffuse-porous wood) 혹은 방사공재(radial-porous wood)와 비슷한 형태를 보여주었다.

도관은 고립관공(solitary pore)과 관공 2~3개가 방사방향으로 복합된 것이 주로 관찰되었고, 방사조직은 평복(procumbent cell), 방형(square cell), 직립세포(upright cell)로 구성되어 있었다.

4. 결론

한국에서 크네프의 재배, 성장 특성 및 효율적인 크네프의 이용을 위한 기초 자료를 얻고자 Tainung-2의 파종, 성장량, 시비 조건, 해부학적 특성 등에 대하여 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 원산지가 아프리카인 크네프가 국내에서도 생장할 수 있음을 확인할 수 있었으며, 재배한 크네프의 근원경은 최하 10 mm, 최고 42 mm, 길이는 최하 150 cm, 최고 480 cm의 범위이며, 평균적으로 근원경 약 28 mm, 길이 약 350 cm이었다.
2. 크네프의 코아율은 68.1%, 수피율은 31.9%로서 수피에 대한 코아의 비율이 2.13이었다.
3. 줄기의 건물량이 73.5%이고, 잎은 26.5%이며, 1 m²내에서 생산되는 건물량은 총 1,467 g이며, 이용할 수 있는 줄기부분의 생산량은 약 1,052 g이었다.
4. 각 비료의 첨가량에 따른 성장량의 평균값은 무처리구에 비해 근원경, 길이 모두 P 시비구가 가장 높고, 유기질 비료, K 시비구, N 시비구 순으로 감소하였다.

5. 해부학적 특성의 관찰 결과, 수피부는 인피섬유, 사부방사조직, 피층유세포로, 목질부는 도관, 목부섬유, 방사조직으로 구성되어 있었다. 도관은 고립관공과 2~3개가 방사방향으로 복합한 것이 많이 존재하였고, 방사조직은 평복, 방형, 직립세포가 모두 분포하고 있었다.

사 사

해부학적 특성과 관련하여 기술적 자문과 협조를 아끼지 않으신 강원대학교 임산공학과 김남훈 교수님께 감사를 표합니다.

인용문헌

1. Andrew F. Kaldor, Kenaf an alternate fiber for the pulp and paper industries in developing and developed countries, *Tappi J.*, 75(10):141-145(1992).
2. Clark, T. F., R. L. Cunningham, and I. A. Wolff, A search for new fiber crops. *Tappi J.*, 54(1):63-65(1971).
3. Hovermale, C. H. Effect of row width and nitrogen rate on biomass yield of kenaf. *Proc. Fourth Int. Kenaf Conf., Int. Kenaf Assoc. Ladonia, TX* : 35-40(1993).
4. morimotomasakazu, Eco-pulping of kenaf fiber, *Japaness Journal of Paper Technology*, 45(5):49-53(2002).
5. Tanaka N., T. Kuraye, H. Kayanuma and H. Yokoyama, Use and research of kenaf as a paper-making material, *Annals of the High Performance Paper Society*, 33:48-54(1994).
6. morimotomasakazu, Utilization of nonwood plant fibers for pulping - The status quo and future, *Japan Tappi*, 51(6):65-84(1997).
7. Bowyer J. L, Economic and environmental comparisons of kenaf growth versus plantation grown softwood and hardwood for pulp and paper, *Kenaf properties, processing and products*:323-346 (1999).
8. Pearson J. A. and S. Bonvicini, Commercial applications of kenaf in petrochemical industries, Environmentally responsible solutions, *Kenaf properties, processing and products* :435-443(1999).
9. Cleveland T.g., W.g. Rixey, F.m. Tiller, B. K. Varghese, and H. Liu, Kenaf as an absorbent, a body-feed filter aid, and coalescence aid, *Kenaf properties, processing and products* :455-470(1999).
10. A. F., C. Karlgren, and H. Verwest, Kenaf-a fast-growing fiber source for papermaking, *Tappi J.*, 73(11):205-209(1990).
11. 日本木材學會物理·工學編集委員會, 木材科學實驗書(物理?工學編), 中外産業:53-94 (1985).
12. Rogerm. Rowell and James S. Han, Change in Kenaf properties and chemistry as a function of growing time, *Kenaf properties, processing and products*:33-41(1999).
13. Iwasaki K. andm. Fuginaga, Effect of phosphorus application on the growth kenaf(*Hibiscus cannabinus L.*), *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 67(6):682-685(1996).