

## ケナフ 2 品種の生育と葉の光合成速度および化学成分の推移

志水勝好\*・小村繭子・曹衛東・石川尚人

(筑波大学)

**要旨：**ケナフ 2 品種（粵豊 1 号および農研センター維持系統）を 1999 年と 2001 年に圃場で栽培し、1999 年は 1 回（10 月 18 日～11 月 5 日）、2001 年は生育時期別に 4 回（粵豊 1 号：茎葉生長初期（7 月 3 日、播種後 57 日目）、茎葉生長中期（8 月 9 日、播種後 94 日目）、茎葉生長後期（9 月 7 日、播種後 123 日目）、開花初期（10 月 11 日、播種後 157 日目）、農研センター維持系統：茎葉生長初期（7 月 3 日、播種後 57 日目）、茎葉生長中期（7 月 25 日、播種後 79 日目）、開花期（9 月 7 日、播種後 123 日目）、種子登熟期（10 月 11 日、播種後 157 日目）、部位別の生体重と乾物重を調査した。また、2001 年には主茎上位葉の光合成速度および全葉の粗蛋白質含有率と無機成分含有率を測定した。さらに、両年とも栽培期間中の地上部形態の推移を測定した。農研センター維持系統では両年とも播種後 120 日頃から主茎の節数と草高の増加が緩慢となり、主茎残存葉数は減少した。しかし粵豊 1 号では、4 回目の調査期まで節数、主茎残存葉数とも増加した。光強度  $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  下で測定した光合成速度は両品種とも第 3 回の調査期までは  $\text{C}_3$  植物としては高い値を示し、農研センター維持系統の最高値（第 2 回目の調査時期）は平均  $39.4 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  であった。粗蛋白質含有率は両品種とも生育が進むにつれて減少する傾向を示したが、農研センター維持系統では播種後約 80 日目の開花後に急減した。Ca 含有率は、Na、K および Mg 含有率に比較し、生育が進むにつれて著しく高くなった。これは葉を飼料に利用する場合に有利な特性と考えられる。

**キーワード：**粵豊 1 号、形態的特徴、ケナフ、繊維料作物。

近年、地球温暖化現象を引き起こす二酸化炭素の排出が注目されるようになった。1997 年 12 月に京都において開催された「地球温暖化防止会議」（気候変動に関する国際連合枠組条約・第三回締約国会議（COP3））にて、二酸化炭素等の温室効果ガスの削減を先進国において目標を定めて実施する等を取り決めた（京都議定書）。そのため京都議定書の 12 条にあるクリーン開発メカニズムを先進国が積極的に活用することが考えられ、また先進国間でも二酸化炭素削減量をクレジットと称し、取引する市場が形成されつつある。これは現在建築材や製紙原料用として利用され、過度な伐採が問題になっている森林が、今後多くの国で二酸化炭素の吸収源として保護、育成されることを示している。しかしながら日本は、年々パルプの輸入量が増加しており（林野庁 1999）、紙および板紙の木材繊維依存率が 99.6%と、世界でも極めて高い。パルプ原料となる木材の輸入元はアメリカ、オーストラリア、ニュージーランド、カナダといった先進国が半分以上を占め、先の理由から、それらの国から輸入し続けることは、近い将来困難になることが予想できる。我が国でも森林を維持する必要がある、紙パルプ源を他国に依存しないためには、木材に代わる紙の原料を見つける必要がある。

1950 年代、食料用の作物の収穫量が既に自国消費量を上回っていたアメリカは、作物の用途として紙パルプ工業に着目した。製紙分野は自給率が比較的低かったため、製紙原料として木材にかわる様々な作物での増産を検討した。イリノイ州の北部地域研究センターでは 1957 年頃から可能性のある繊維作物を評価し、従来全く注目されていなかったケナフを高く評価した（Cunningham ら 1970）。

ケナフはその成長速度が針葉樹であるアカマツ、トウヒ、広葉樹であるカエデなどの林木より高く、韌皮部、木部の繊維はそれぞれ針葉樹、広葉樹に近いからである。ケナフはアオイ科フヨウ属の一年生草本で、アフリカ原産と言われる。そして栽培用にインドに輸入され野生化し、広がっていったものと考えられる（小林 1998）。現在見られるケナフは、熱帯、亜熱帯から温帯域まで栽培が可能な、キューバケナフと呼ばれる *Hibiscus cannabinus* L.（英名 kenaf）と、栽培範囲が熱帯、亜熱帯に限られる、*H. sabdariffa* var. *altissima* Wester（英名 roselle）であると考えられる。我が国では *H. sabdariffa* L. をローゼルまたはロゼルと呼んできた。タイにおいてはロゼルは成熟した果実の多肉の萼からタルトやゼリー、飲料を作る植物であり、繊維用の *H. s. var. altissima* をタイケナフと呼んでいる（小林 1998）。キューバケナフは茎に鋭い小さなトゲを有する。タイケナフはトゲがなく、茎が紅く、紅麻と呼ばれることが特徴である。また乾燥、病気に強い（小林 1998）。

松岡・谷口（1955a）と松岡・川上（1955b）はモロッコ、台湾、インドネシアおよびタイからケナフの種子入手して生育を比較し、 $30^\circ\text{C}$  前後が発芽の適温であること、短日処理または早播きにより日本でも採種が可能であることを報告している。また西川（1960）はケナフを、熱帯に栽培される南方型と、温帯地方に栽培される北方型に分けた。さらに、日本で多収、良質の麻を見いだすため、黄麻を中心に在来品種タシセントを用い、韌皮繊維としての利用を検討した（西川・香川 1968, 1970）。

ケナフは  $\text{C}_3$  植物の中では極めて高い光合成速度を示す

ことが知られている(釜野ら 1999)。これは林木を含めて  $C_3$  植物の中では高率で二酸化炭素を固定できることを示している。ケナフの栽培は、林木に変わる紙パルプ供給源となるだけでなく、さらに二酸化炭素を高率で吸収することから前述の地球温暖化抑制に有効と考えられる。さらに環境問題に対するケナフの利用として、ケナフを用いて、富栄養化した湖や池の水質浄化を試みるための研究もなされている(Abeら 1999, 山内・村田 1999)。

本研究ではこの注目される植物ケナフを、形態、生理、そして利用の面から検討することを目的として、中国で栽培されている品種、粵豊1号と農研センター(現独立行政法人農業技術研究機構中央農業研究センター作物研究所)で維持されている系統を用い、成長に伴う形態と乾物重の推移を調査した。粵豊1号は種子が購入できる品種で入手しやすいこと、農研センター維持系統は筑波の気候においても種子が得られることから、普及しやすいものと考え、本研究で用いた(志水 2001)。また利用の主たる部位は主茎であるが、残渣となる葉が飼料として利用できる可能性が示唆されている(熊井ら 1998)。そこで2001年には生育に伴う葉の化学成分の変化も調査した。

## 材料と方法

### 1. 栽培方法

本実験に用いたケナフの品種は、キューバケナフ系と考えられる粵豊1号および農研センター維持系統である。栽培は1999年と2001年におこなった。粵豊1号は(株)ユニパックスが中国から輸入したものであり、同社で販売されている種子を購入した。農研センター維持系統は農林水産省農業研究センター資源作物育種研究室で維持栽培されていた種子を分譲いただき、2001年の栽培では著者らが前年栽培して得た種子を使用した。

1999年：栽培は筑波大学農林技術センターの淡色黒ボク土壌圃で行った。長さ約4mの畦を6畦用意し、畦間60cmとした。各畦に約60cmずつの6区設け、2品種(粵豊1号、農研センター維持系統)を無作為に配置し、各品種6反復とした。そして高度化成肥料(くみあい14:14:14)を $m^2$ 当りN,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ が各14.9gの割合で基肥として施した。各区25~30粒ずつ5月25日に播種した。7月23日に間引きし、約10cm程度の株間とした。10月28~29日(農研センター維持系統)、11月5日(粵豊1号)に各区3~6個体収穫した。

2001年：2001年5月7日に筑波大学農林技術センタービニルハウス内で、育苗ビニルポット(直径7cm)に川砂を充填し、粵豊1号および農研センター維持系統の種子(2000年産)を発芽率の差を考慮してそれぞれ288, 144ポットに一粒ずつ播種した(志水 2001)。5月18日に農研センター維持系統、5月21日に粵豊1号について、それぞれ子葉が展開し、本葉が展開しつつある幼植物体を、淡色黒ボク土壌圃に移植した。長さ約5mの南北の畦を

並列に8畦用意し、畦間100cm, 株間15cmとした。そして高度化成肥料(くみあい14:14:14)を $m^2$ 当りN,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ が各8.4gの割合で基肥として施した。2品種が交互に4畦ずつとなるように配置し、調査には外側2畦のケナフ植物体は使用せず、内側の6畦を使用し、それぞれの品種が3反復となるようにした。

調査は、粵豊1号については茎葉生長初期(7月3日)、茎葉生長中期(8月9日)、茎葉生長後期(9月7日)、開花初期(10月11日)に行った。農研センター維持系統については茎葉生長初期(7月3日)、茎葉生長中期(7月25日)、開花期(9月7日)、種子登熟期(10月11日)とした。調査個体数は調査後の植物体の化学成分分析のためそれぞれの調査時期の植物体の成長量を考慮し、初期に多く、後期に少なくなるようにした。そのため1回目の調査には両品種とも各区から約10個体ずつの30個体、2回目は各区5~8個体、総数で粵豊1号が17個体、農研センター維持系統が21個体、3回目は各区5~6個体で、各品種約15個体、4回目は各区3~5個体で11個体調査した。また調査は南側より行い、各調査日には最南の1個体を残し、次の個体から調査した。

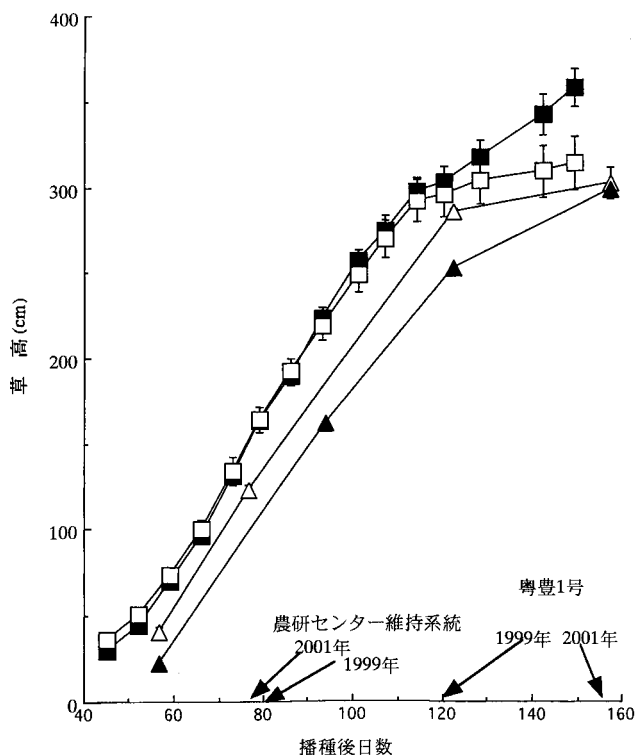
### 2. 測定項目

1999年では主茎、分枝、葉(主茎+分枝)に分別し、2001年では主茎、分枝、主茎葉、および分枝葉に分別して生重を測定後葉は、60℃で48時間、その他の部位は80℃で48時間通風乾燥して、乾物重を測定した。また1999年は毎週、2001年は各調査期に草高、節数、主茎葉数、分枝数を測定した。

葉については乾物重を測定後、1mmの篩を通過できるよう粉碎し、粗蛋白質と無機成分を測定した。粗蛋白質についてはケルテックシステム(分解装置、DS-20;自動ケルダール窒素/タンパク分析装置、ケルテック2300, Tecator社)を用いた。また無機成分については、粉末試料0.5gをルツボにとり、電気炉(500~550℃)で灰化した後、灰を100mLピーカーに移し、5mLのHCl(HCl:H<sub>2</sub>O=1:1)を加え、沸騰湯煎上で蒸発乾固した。次にHClのみ5mLを加えて蒸発乾固を行った(この操作を2回以上行った)。次にこれにHCl(HCl:H<sub>2</sub>O=1:1)を10mL加えて湯煎上であたためた後ろ紙(No. 6, アドバンテック東洋株式会社)でろ過し充分洗浄した後、一定量(100mL)にした。これを原子吸光分光光度計(AA 6400, 島津製作所)によりNa, K, Ca及びMgを定量した。

また、2001年は4回の調査日の前日、調査する植物体の最上位展開葉から5枚以内の主茎葉1枚の光合成速度を、LED人工光源付携帯型光合成蒸散測定システム(LI-6400, LI-Cor社)で測定した。通気空気湿度調節は行わず、葉面温度は気温条件を維持して光合成有効放射束密度1600  $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ で行った。

結果の解析にはMacintosh版StatView 5.0を用いた。



第1図 草高の推移と開花期。

矢印は開花期。垂直線は標準誤差 (1999年,  $n=6$ ; 2001年,  $n=3$ )。

□ 農研センター維持系統 (1999年), ■ 粵豊1号 (1999年), △ 農研センター維持系統 (2001年), ▲ 粵豊1号 (2001年)。

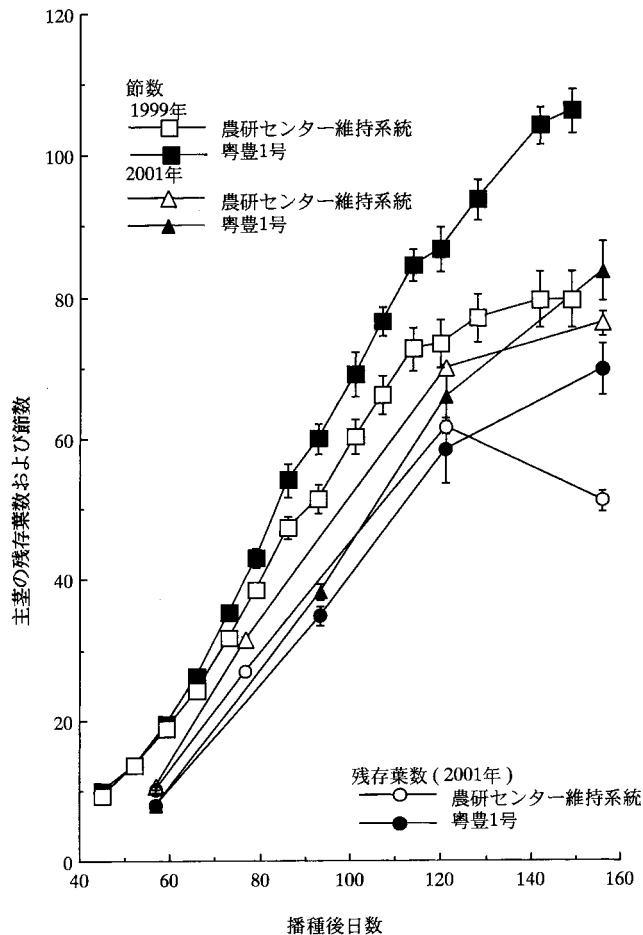
2001年の各調査時期における各部位の生体重および乾物重については品種を要因とする分散分析を行い、最終調査期における1999年と2001年の比較については品種と年次を要因とする分散分析 (McIntosh 1983) を行った。2001年の無機成分については品種を主区、調査時期を副区とする分割区法による分散分析を行い、光合成速度および粗蛋白質含有率については品種間の差異をt検定で判定した。

## 結 果

### 1. 草高、主茎葉数、節数の推移

農研センター維持系統は開花が早く、1999年は8月12日前後に開花し、2001年は第1回目の調査から20日後には蕾が認められ、第2回目の調査後開花が見られた。粵豊1号は1999年は9月22日に、2001年は4回目の調査時期 (10月11日) において開花を認めた。

草高 (第1図) は、1999年では播種後120日ごろまでは両品種が類似した値を示したが、これ以降に農研センター維持系統が増加が緩慢となり、最終調査時期には粵豊1号が農研センター維持系統に比較し高くなった。一方2001年では農研センター維持系統が粵豊1号に比較し120日頃までは高く推移したが、それ以降には農研センター維持系統の増加が緩慢となり、最終調査時期には両品種が同



第2図 主茎の残存葉数および節数の推移。

垂直線は標準誤差 (1999年,  $n=6$ ; 2001年,  $n=3$ )。

程度となった。農研センター維持系統は播種後約120日目からの増加が緩慢となったことについては両年の結果が一致した。また、主茎の残存葉数も農研センター維持系統では120日以降に減少したのに対して、粵豊1号では両年とも最終調査時期まで増加した (第2図)。

主茎の生体重と乾物重は、2001年では粵豊1号が農研センター維持系統よりも高く推移した (第1表)。しかし、最終調査時期の値と1999年の値と比較すると2001年では粵豊1号が大きく低下していた (第2表)。葉の生体重と乾物重は、2001年の播種後約120日目以降、農研センター維持系統の残存葉数が粵豊1号に比べ減少したことから減少し (第1表)、両年とも粵豊1号の方が最終調査期では大きかった (第2表)。特に1999年では農研センター維持系統の落葉、枯死が顕著であった。

### 2. 主茎上位葉の光合成速度

2001年の主茎上位葉の光合成速度は両品種ともに3回目の調査期までは、 $C_3$ 植物としては高い値を示した (第3表)。農研センター維持系統では特に高い光合成速度を示し、最も高い2回目の調査期には  $39.4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  であった。

第1表 2001年の各調査期における茎と葉の生体重および乾物重 (g/個体)。

器官	部位	品種	調査期			
			1回目 (7月3日)	2回目 (7月25日, 8月9日)	3回目 (9月7日)	4回目 (10月11日)
茎	主茎	生体重 粵豊1号	1.7 (0.6)	171.3 (13.3)	464.5 (28.5)	576.0 (45.0)
		農研センター維持系統	5.6 (0.9) **	75.9 (4.3) **	367.3 (5.7) ns	432.6 (44.7) **
		乾物重 粵豊1号	0.2 (0.1)	29.8 (3.4)	90.8 (7.8)	152.0 (9.1)
		農研センター維持系統	0.6 (0.1) **	12.4 (0.8) **	92.8 (2.7) ns	125.1 (10.5) *
	分枝	生体重 粵豊1号	—	—	21.7 (13.2)	5.0 (4.1)
		農研センター維持系統	—	—	43.9 (10.6) ns	41.0 (17.1) **
		乾物重 粵豊1号	—	—	3.2 (1.9)	0.6 (0.6)
		農研センター維持系統	—	—	8.5 (2.2) ns	8.9 (3.7) **
	葉	生体重 粵豊1号	1.4 (0.4)	90.5 (7.5)	207.8 (26.3)	214.9 (18.0)
		農研センター維持系統	3.7 (0.4) **	51.1 (2.5) **	162.2 (3.3) *	120.6 (14.7) **
		乾物重 粵豊1号	0.4 (0.1)	16.3 (0.8)	37.9 (4.9)	46.7 (4.0)
		農研センター維持系統	0.7 (0.1) **	8.4 (0.5) **	32.8 (0.8) ns	25.6 (3.0) **
	分枝	生体重 粵豊1号	—	—	66.1 (22.7)	62.3 (15.0)
		農研センター維持系統	—	—	112.6 (14.1) *	104.4 (27.4) **
		乾物重 粵豊1号	—	—	11.6 (4.2)	11.4 (2.6)
		農研センター維持系統	—	—	19.6 (2.2) *	19.5 (5.1) **

2回目調査：7月25日（農研センター維持系統），8月9日（粵豊1号）。括弧内の数値は平均値の標準誤差。分枝については1回目（7月3日）と2回目（7月25日，8月9日）の調査期にほとんど発生していなかった。

\*, \*\*: 品種間にそれぞれ5%, 1%水準で有意差あり。

第2表 1999年と2001年における最終調査期の主茎，分枝および葉の生体重と乾物重 (g/個体)。

品種	年次	主茎	分枝	葉
生体重 粵豊1号	1999年	1030.0 (147.3)	89.8 (28.5)	324.1 (68.3)
	2001年	576.0 (55.1)	5.0 (4.1)	277.2 (40.3)
	品種	**	ns	**
	年次	*	ns	*
	品種×年次	**	ns	**
	品種	**	ns	**
乾物重 粵豊1号	1999年	287.0 (31.3)	13.6 (8.1)	71.6 (14.8)
	2001年	152.0 (11.2)	0.7 (0.6)	58.2 (8.0)
	品種	**	ns	**
	年次	**	ns	ns
	品種×年次	**	ns	**
	品種	**	ns	**
農研センター維持系統	1999年	378.8 (49.0)	250.2 (93.1)	10.5 (5.1)
	2001年	432.6 (54.7)	41.0 (21.0)	225.0 (50.8)
	品種	**	ns	**
	年次	**	ns	ns
	品種×年次	**	ns	**
	品種	**	ns	**

最終調査期は，1999年は粵豊1号が11月5日，農研センター維持系統が10月28日および29日，2001年は両品種とも10月11日に行った。1999年は粵豊1号が3反復，農研センター維持系統が6反復，2001年は各品種3反復の平均値。括弧内の数値は平均値の標準誤差。

\*, \*\*: 品種間にそれぞれ5%, 1%水準で有意差あり。ns: 有意差なし。

### 3. 葉の化学成分

2001年の主茎上位葉の粗蛋白質含有率は，3回目の調査期（9月6日）に農研センター維持系統が，粵豊1号よりも低かったが，その後約1カ月後の4回目（10月11日）の調査では品種間差は見られず，ともに約11%であった（第3表）。両品種とも生育が進むにつれて主茎葉と分枝葉

の粗蛋白質含有率は減少する傾向を示したが，農研センター維持系統は開花後に約40%も減少した。

無機成分のうちCaの含有率は，生育が進むにつれて著しく増加した。しかし，NaとKの含有率は茎葉生長初期がもっとも高く，生育が進むにつれて減少する傾向を示した（第4表）。

第3表 2001年の各調査期における主茎上位葉の光合成速度と葉の蛋白質含有率。

形質	品種	調査期			
		1回目 (7月3日)	2回目 (7月25日, 8月9日)	3回目 (9月7日)	4回目 (10月11日)
光合成速度( $\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )					
	粵豊1号	30.5 (0.1)	33.2 (1.8)	29.5 (0.8)	20.4 (2.6)
	農研センター維持系統	35.6 (0.9)	39.4 (0.5)	32.0 (0.9)	21.0 (1.1)
		**	*	ns	ns
粗蛋白質含有率(乾物重当り%)					
	主茎葉 粵豊1号	27.7 (0.1)	26.2 (1.5)	20.1 (0.6)	10.9 (0.5)
	農研センター維持系統	30.5 (1.4)	25.1 (1.6)	15.0 (0.9)	11.6 (0.8)
		ns	ns	**	ns
	分枝葉 粵豊1号			21.6 (1.1)	16.3 (0.7)
	農研センター維持系統			18.4 (0.7)	14.5 (1.2)
				ns	ns

\*, \*\*: t検定により品種間の差異がそれぞれ5%, 1%水準で有意。ns: 有意差なし。括弧内の数値は標準誤差 (n=3)。

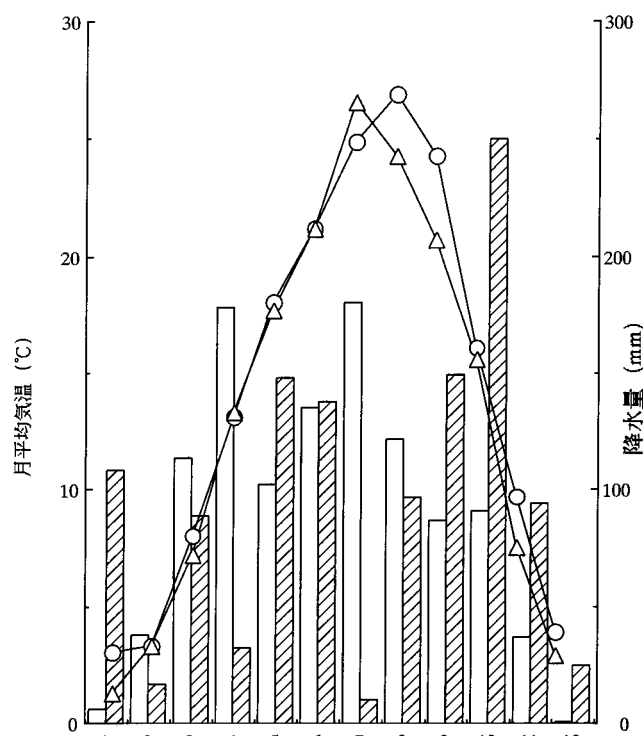
第4表 2001年の各調査期における主茎葉の無機成分含有率(乾物重当り%)。

品種	調査期	Na	K	Ca	Mg
粵豊1号	1 (7月3日)	0.087 (0.018)	2.14 (0.15)	0.92 (0.08)	0.24 (0.02)
	2 (8月9日)	0.048 (0.007)	1.82 (0.02)	1.84 (0.12)	0.46 (0.02)
	3 (9月7日)	0.036 (0.003)	1.38 (0.04)	2.64 (0.09)	0.45 (0.02)
	4 (10月11日)	0.043 (0.006)	1.34 (0.12)	3.18 (0.51)	0.27 (0.03)
農研センター維持系統	1 (7月3日)	0.085 (0.013)	2.72 (0.05)	0.65 (0.08)	0.25 (0.02)
	2 (7月25日)	0.075 (0.007)	2.16 (0.37)	0.91 (0.13)	0.29 (0.02)
	3 (9月7日)	0.036 (0.006)	1.49 (0.14)	2.48 (0.19)	0.35 (0.01)
	4 (10月11日)	0.045 (0.003)	1.18 (0.14)	3.60 (0.16)	0.31 (0.04)
品種		ns	ns	ns	ns
調査時期		**	**	**	**
品種×調査時期		**	**	**	**

\*\*: 1%水準で有意差あり。ns: 有意差なし。

## 考 察

供試した2品種で、農研センター維持系統が紅茎を示し、葉量は少なかった。また、採取調査期にはすべての個体でほとんどの葉が枯死しかけていた。松岡・谷口(1955a)および松岡・川上(1955b)が用いたケナフ品種は、ほとんどが紅茎であったり、日本の気候で種子を十分産したことから、同様な特性を示した農研センター維持系統はこれらに類似した系統と考えられた。粵豊1号は1999年と比較し2001年では最終調査期の主茎の生体重と乾物重が著しく少なかった(第2表)。これは2001年の7月の降雨量が1999年に比較すると著しく少なく、ケナフのもっとも旺盛に生育する時期である7月の少雨に粵豊1号は強く影響を受けたものと考えられる(第3図)。しかしながら農研センター維持系統は粵豊1号に比べ年次間の差が小さく、粵豊1号にくらべ耐乾性が強いものと考えられた。また、農研センター維持系統では茎葉生長後期に生育が緩慢になり、主茎残存葉数が減少する傾向を示したのに対し、粵豊1号では生体重、乾物重、主茎葉重とも増加していた(第1図、第1表)。これは主茎を繊維原料として利用する場合には増加期間の長い粵豊1号が有利であることを示している。さらに、開花後は繊維の質が低下することが報告



第3図 1999年および2001年の月平均気温と降水量の推移。  
○ 月平均気温(1999年), △ 月平均気温(2001年),  
□ 降水量(1999年), ▨ 降水量(2001年)。

されているが (Cheng ら 1997), 開花が農研センター維持系統は7月下旬~8月上旬であったのに対し粵豊1号は9月下旬~10月上旬と遅かったことも、粵豊1号の利点といえる。

緑茎の品種である粵豊1号では、成熟種子を得ることができ、発芽率は12%程度であった (志水 2001)。農研センター維持系統では種子が多数得られるとともに、得られた種子では50%以上の発芽率であった (志水 2001)。栽培を継続する上では種子が得られることは重要であり、両品種とも日本で筑波に類似した気候条件の地域では継続して栽培することが可能と考えられる。

日本では繊維採取を目的としたケナフの利用は少なく、現在注目されているのは木材に代わるパルプ原料としてのケナフの利用である (Cunningham ら 1970, 小林 1998)。木材紙原料のアカマツは伐採まで40年かかり、1年間には約  $2.7 \text{ t ha}^{-1}$  の収量となる (非木材紙普及協会 1996)。一方ケナフは、本実験では畦幅1mと広めであったが、粵豊1号で約  $10.3 \text{ t ha}^{-1}$ 、農研センター維持系統で約  $8.5 \text{ t ha}^{-1}$  であった。また約7~24  $\text{t ha}^{-1}$  収穫できるという報告がある (非木材紙普及協会 1996)。これは世界でもっとも生産性、収益性の高い林業経営をしているニュージーランドやオーストラリアの人工林において使われているラジアータ松と同等かより高く、成長の早いユーカリ (約20~25  $\text{t ha}^{-1} \text{年}^{-1}$ ) に匹敵する (木平 1994)。しかしラジアータ松で25年、ユーカリが7~8年の生育期間が必要であるのに対し、ケナフは1年で収穫でき、気候によっては二期作が可能であり、さらに増収が期待できる。また、畑地のみならず水田、水田転換畑の様な水はけの悪いところでの栽培も可能である。さらに栽培後の土地利用の転換が林木にくらべて容易であるなどの利点もある。

栽培目的である主茎を利用する際に残渣となる葉については、飼料として利用する可能性が示唆されている (熊井ら 1998)。飼料として利用する際に重要なのが粗蛋白質含有率であるが、熊井らはケナフ葉の粗蛋白質含有率は茎葉生長後期では減少することを報告している (熊井ら 1998)。本実験では粵豊1号は7月から8月の調査期ではほとんど減少しなかったが、その後は両品種ともに減少した (第3表)。また、農研センター維持系統は最終調査期には葉がほとんど落葉するか少数残るのみであったが、粵豊1号は最終調査期にも残存葉数が多かったことから、主茎と葉の収穫量を考えれば10月頃まで栽培し、収穫する事が望ましいと考えられた。しかし、上述した葉蛋白質含有率を加味して考えると、3回目の調査時期、すなわち9月上旬頃の収穫が望ましいといえる。

分析した葉の4元素の中で、茎葉生長初期にはK含有率が最も高かったが、生育に伴い減少した。一方Ca含有率は生育に従い顕著に増加した (第4表)。Caはイオンとしてだけでなく蛋白質と複合し (calmodulin)、チラコイド膜上でのカルシウム依存性蛋白質リン酸化酵素の活性を

高め、光合成を調整するという報告がある (Li ら 1998)。また他のリン酸化酵素でCaイオンに刺激され、活性が著しく高くなることが報告されている (DasGupta 1994)。熊井ら (1998) はケナフ葉のpHが3.01~3.41と極めて低く、ケナフ葉のサイレージから、従来のサイレージ (トウモロコシ) とは異なる有機酸が検出できたと報告した。生育に伴うCa濃度の増加は、このような有機酸によるpH低下の緩和にも役立つ可能性がある (三好ら 1983)。また葉を飼料として利用する場合、本実験で得られたケナフ葉のCa含有率は肉用牛の飼料の必須含有率 (National Research Council 1984) を満たしているだけでなく、良質な飼料作物であるアルファルファに比較して高く (農林水産技術会議事務局 1999)、これは蛋白質含有率の高さと相まって、ケナフ葉の利用の可能性を高めるものと考えられる。

光合成速度には品種間で顕著な差は見られなかった (第3表)。イネでは  $16.4 \sim 32.2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (川満・縣 1987)、トウモロコシで  $13.3 \sim 37.2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Heichel and Musgrave 1969)、熱帯の野生サトウキビで  $33.5 \sim 48.0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Nose ら 1994) の光合成速度が報告されているが、ケナフ2品種の光合成速度は  $\text{C}_3$  植物に比べて高い傾向を示し、特に農研センター維持系統の開花初期では、トウモロコシや野生サトウキビなど  $\text{C}_4$  植物に匹敵する、 $39.4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  の高い光合成速度を示した。生育にともない上位葉の光合成速度は低下したが、9月上旬の第3回調査期にも約  $30 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  を示し、茎葉生長後期においても旺盛な成長を支える要因と考えられた。なお、光合成速度と主茎葉の粗蛋白質含有率には正の相関 ( $r=0.80$ ,  $P<0.05$ ) があり、2回目以降の調査期で光合成速度の低下は葉中の蛋白質含有率の低下が関係しているものと思われる (牧野ら 1988, Hikosaka ら 1998)。

現在は、ケナフは小、中学校や地域の市民活動において広く利用されるようになってきた。それはケナフの成長が早く、ハイビスカスのような花が咲くことによる園芸的な興味や、紙すきができること、環境問題に関わっているという満足感が得られることにあると考えられる。しかし、今後、産業的にケナフを利用するためにはケナフ品種間での収量性や成分含有率などの品質の差異について研究が必要であるものと考えられる。

謝辞：本研究を遂行するに当たり、非木材紙普及協会および農林水産省農業研究センター資源作物育種研究室より種子を分譲いただいた。また、名城大学農学部教授道山弘康博士、筑波大学農林学系加藤盛夫氏にはご懇切なるご助言・ご指導を賜った。さらに気象データについては筑波大学陸域環境研究センターより分譲いただいた。ここに感謝の意を記す次第である。

## 引用文献

- Abe, K., Y. Ozaki and K. Mizuta 1999. Evaluation of useful plants for the treatment of polluted pond water with low N and P concentrations. *Soil Sci. Plant Nutr.* 45: 409–417.
- Cheng, Z., Y. Ohtani, K. Sameshima and Z. Mei 1997. Selection of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) varieties for papermaking on arid hillside land in China. *Mokuzai Gakkaishi* 43: 770–777.
- Cunningham, R.L., T.F. Clark, W.F. Kwolek, I.A. Wolf and Q. Jhones 1970. A search for new fiber crops. XIII. laboratory-scale pulping studies continued. *Tappi* 43: 1697–1700.
- DasGupta, M. 1994. Characterization of a calcium-dependent protein kinase from *Arachis hypogea* (groundnut) seeds. *Plant Physiol.* 104: 961–969.
- Heichel, G. H. and R. B. Musgrave 1969. Varietal differences in net photosynthesis of *Zea mays* L. *Crop Sci.* 9: 483–486.
- Hikosaka, K., Y. T. Hanada and T. Hirose 1998. Photosynthetic nitrogen-use efficiency in leaves of woody and herbaceous species. *Func. Ecol.* 12: 896–905.
- 非木材紙普及協会 1996. ケナフの話. 非木材紙普及協会, 東京. 47.
- 釜野徳明・鈴木祥弘・君塚春奈・岩崎麻衣・赤井木綿子・山下文乃・村上悟 1999. ケナフは熱帯雨林を救えるのか? (1) ケナフの光合成代謝系の同定と二酸化炭素 CO<sub>2</sub> 同化の特性について. 第3回ケナフ栽培・利用研究発表会要旨集. 25–31.
- 川満芳信・懸和一 1987. 水稻個葉の光合成速度, 蒸散速度及び気孔伝導度における品種間差異. *日作紀* 56: 563–570.
- 小林良生 1998. 環境に役立つ紙資源「ケナフ」増補版, 第2版. ユニ出版有限会社, 東京. 1–303.
- 木平勇吉 1994. 森林科学論. 朝倉書店, 東京. 169–170.
- 熊井清雄・福見良平・服部育男・鮫島一彦 1998. 農場副産物を利用したケナフ葉サイレージの発酵特性および飼料価値. 草地学会講演要旨 44: 274–275.
- Li, C.F., Xiang Z.Y., Q.L. Ling and K.J. Shang 1998. Effects of calmodulin binding protein BP-10 on phosphorylation of thylakoid membrane protein. *Science in China (Series C)* 41: 64–70.
- 牧野周・前忠彦・大平幸次 1988. ダイズ単葉の窒素含量と大気条件下における光合成速度およびその律速因子との関係—イネ, コムギとの比較. *土肥誌* 59: 377–381.
- 松岡匡一・谷口長則 1955a. ケナフおよびローゼルの特性に関する研究. (1) 品種について. *中国四国農業研究* 5・6: 60–63.
- 松岡匡一・川上剛志 1955b. ケナフおよびローゼルの特性に関する研究. (2) 採種栽培について. *中国四国農業研究* 5・6: 64–69.
- McIntosh, M.S. 1983. Analysis of combined experiments. *Agron. J.* 75: 153–155.
- 三好洋・嶋田永生・石川昌男・伊達昇 1983. 土壌肥料用語辞典. 農文協, 東京. 125.
- National Research Council 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. National Academy of Sciences, Washington, D.C. 441–458.
- 西川五郎 1960. 工芸作物学. 藤本総合印刷, 東京. 163–164.
- 西川五郎・香川邦夫 1968. 黄麻およびその類似作物の生産の合理化に関する研究. IV. ケナフ植物体の窒素, 燐酸および加里含量の部位別差異と繊維調整過程の差異による三要素の回収について. *熱帯農業* 12: 17–19.
- 西川五郎・香川邦夫 1970. 黄麻およびその類似作物の生産の合理化に関する研究. VI. ケナフ生育に伴う養分吸収ならびに体内含量の変化. *熱帯農業* 13: 76–80.
- 農林水産技術会議事務局 1999. 日本飼養標準・乳牛. 178–187.
- Nose, A., M. Uehara, Y. Kawamitsu, N. Kobamoto and M. Nakama 1994. Variations in leaf gas exchange traits of *Saccharum spontaneum* L. *Jpn. J. Crop. Sci.* 63: 489–495.
- 志水勝好 2001. ケナフの数種品種・系統間における生育の差異. *農及園* 76: 756–760.
- 林野庁 1999. 林業統計要覧 1999 年版. 林野弘済会, 東京. 71.
- 山内昌之・村田辰雄 1999. ケナフの水質浄化研究—滞留時間の違いによる水質浄化効果—. 第3回ケナフ栽培・利用研究発表会要旨集. 7–11.

**Growth, Leaf Photosynthetic Rate and Leaf Chemical Composition in Two Genotypes of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.):** Katsuyoshi SHIMIZU\*, Mayuko OMURA, Weidong CAO and Naoto ISHIKAWA (*Inst. Agric. Forest., Univ. of Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan*)

**Abstract:** Two genotypes of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.: cv. Yuefeng 1 and a National Agriculture Research Center (NARC) strain) were cultivated in 1999 and 2001 to determine and compare growth and morphological features. NARC strains were harvested on October 28 and 29 in 1999, and on July 3, July 25, September 7 and October 11 in 2001. Yuefeng 1 plants were harvested on November 5 in 2001, and on July 3, August 9, September 7 and October 11 in 2001. In 2001, photosynthetic rates of upper leaves, and crude protein and mineral concentrations of all leaves were analyzed. In both years, plant height and the number of nodes were measured during the cultivation periods. Rates of increases in plant height and the number of nodes in the NARC strain declined at 120 days after sowing (DAS) and the number of main stem leaves decreased remarkably thereafter. Photosynthetic rates of the upper leaves of both genotypes measured under a photosynthetic photon flux density of 1600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  were markedly high for C<sub>3</sub> species, with the NARC strain in particular attaining a rate of 39.4  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Leaf protein concentrations of both genotypes decreased with growth, with a marked decrease in the NARC strain from 80 DAS onward. The calcium concentration of kenaf leaves increased with growth, but concentrations of Na and K decreased. It is concluded that these leaf characteristics make kenaf a potentially valuable forage species.

**Key words:** Fiber crop, Kenaf, Morphological characters, Yuefeng 1.