琉球大学学術リポジトリ

[報文]アルコール資源作物としての甘藷栽培：栽植密度がエネルギー生産特性に及ぼす影響

メタデータ	言語: 出版者: 南方資源利用技術研究会 公開日: 2014-10-26 キーワード (Ja): 甘藷, アルコール生産, エタノール, 澱粉, 無蒸煮アルコール発酵, エネルギー自給度, ロジスチック曲線 キーワード (En): 作成者: 野瀬, 昭博, 仲間, 操, 宮里, 清松, 村山, 盛一, NOSE, Akihiro, NAKAMA, Misao, MIYAZATO, Kiyomatsu, MURAYAMA, Seiichi メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002016515

報 文

アルコール資源作物としての甘藷栽培；栽植密度がエネルギー生産特性に及ぼす影響*

野瀬昭博，仲間 操，宮里清松，村山盛一
（琉球大学農学部）**

Studies on the Cultivation of Sweet Potato as a Source of Alcohol Production; Effects of Planting Density on Alcohol Production

Akihiro NOSE, Misao NAKAMA, Kiyomatsu MIYAZATO, and Seiichi MURAYAMA
Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, Nishihara, Okinawa 903-01,

Using two varieties of sweet potato (*Ipomea batatas* (Lam.) L.), "Okiyutaka", high starch content variety, and "Turusengan", vigorously shoot growing variety, effects of planting density on the characteristics of raw material processed at energy self-supply alcohol production plant were investigated. Three experimental blocks of plant density were designed, such as 10 cm × 80 cm (12,500 plants per 10 a), 20 cm × 80 cm (6,250 plants per 10 a), and 40 cm × 80 cm (3,125 plants per 10 a). Energy self-supply (PE/NE ratio) of alcohol production was calculated using obtained data and hypotheses. When PE/NE ratio attained to one, max. potential alcohol production was obtained with the 20 cm × 80 cm block for the Okiyutaka and 40 cm × 80 cm block for the Turusengan. At the Okiyutaka, the planting density did not affect the number of days from planting day to the day when PE/NE ratio attained one. Max. starch yield efficiency and actual max. tuber yield were obtained with the 40 cm × 80 cm block for two varieties.

キーワード
甘藷，アルコール生産，エタノール，澱粉，無蒸煮アルコール発酵，エネルギー自給度，ロジスチック曲線

緒 言

前報[5]において，無蒸煮・エネルギー自給型アルコール生産プラント[8,10]の原料として甘藷を用いる際の，甘藷の植物学的特性とエネルギー生産性について，生育型の異なる5品種の甘藷を用い検討した．その結果，エネルギー自給度をTR比（地上部／塊根部比）でとらえた場合，ヨギムラサキやツルセンガンという最終収量では劣る品種が適していることが明らかになった．甘藷の多収穫は，やや疎植条件下で栽培期間を長めることで達成される[1,3]。また，TR比は栽植密度の影響をうけるものと予想される．従って，本報においては，塊根肥大と澱粉含量に優れたオキユタカ品種と，地上部生育の優れたツ

＊本研究の一部は昭和63年2月（大阪）文部省科学研究費「エネルギー特別研究」生物エネルギーの利用と開発成果報告会で発表．

＊＊〒903-01 沖縄県西原町千原1

ルセンガン品種を主体にして，栽植密度が上記アルコール生産プラント用原料としての甘藷栽培に与える影響を調査した．解析に際し，エネルギー自給度について本報ではTR比の代りに，いくつかの仮定をおいて算出したエネルギー自給度比（PE/NE比）を用いた．

材料及び方法

供試品種は，オキユタカ(高澱粉品種)，ツルセンガン（蔓性品種），ヨギムラサキ（低澱粉品種），ナカムラサキ（甘味品種）である．栽植密度区として，株間を40，20，10cmの3区を設け，畦間はいずれも80cmとした．上述した4品種の一節苗を，琉球大学農学部附属農場のサンゴ石灰岩土壌(pH6)に夏植栽培し，生育経過を調査した．植付は，1985年7月4日で，沖縄県の甘藷栽培指針[7]に従い，前報と同様に[5]，市販堆肥を2 ton/10a，化成肥料を62 kg/10a，基肥として施与した．植付後約2ヶ月間はドリップ式灌がいを行ない活着を促した．

調査は，1畦の2 mを1プロットとし，各試験区に50～70のプロットを作成した．各調査日にランダムに1プロットを抽出した．調査は，植付後50日目から153日目にかけて2～3週間おきに7回行なった．その他の方法は，前報[5]と同様である．

結　果

Fig. 1に単位土地面積当りの全乾物重の推移を示した．結果は，実測した最大全乾物量を最大値として，最小値を任意に選定しながら実測値に最も適合するロジスチック曲線を最小二乗法を用いて回帰したものである[4]．結果を余りに平準化することは，作物学的には特異的な現象を見逃すという負の側面もある．本研究においては，後述するようなアルコール生産に関するパラメータの比較を主題にしていることから，曲線への回帰を採用した．

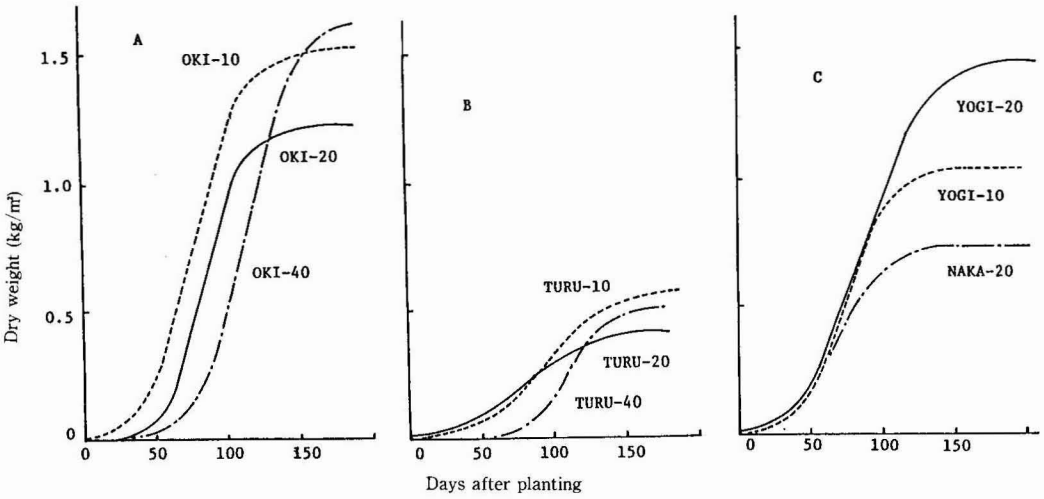

Fig. 1　Effects of planting density on time cources of total dry matter.
OKI, TURU, YOGI, and NAKA means Okiyutaka, Turusengan, Yogimurasaki, and Nakamurasaki of variety name, respectively. Numerals after alphabet in the figure, such as 10, 20, and 40, mean 10 × 80 cm, 20 × 80 cm, 40 × 80 cm of planting density, respectively.

全乾物量の推移に対する密植の効果は，品種により異なっている．オキユタカにおいては，生育前・中期での全乾物量は密植になる程大きい．しかし，生育後期では40cm区の生育が旺盛で最終全乾物量は1.6kg/m²という本研究での最大値を示した．

ツルセンガンにおいては，生育前・中期では，10cm区や20cm区という密植区での生育が良い．40cm区では生育後期に生長が増大するものの，最終全乾物は10cm区に及ばなかった．

ヨギムラサキにおいては，生育の前・中期では10cm区と20cm区で差がなく，後期では20cm区で良好な乾物増大を示した．

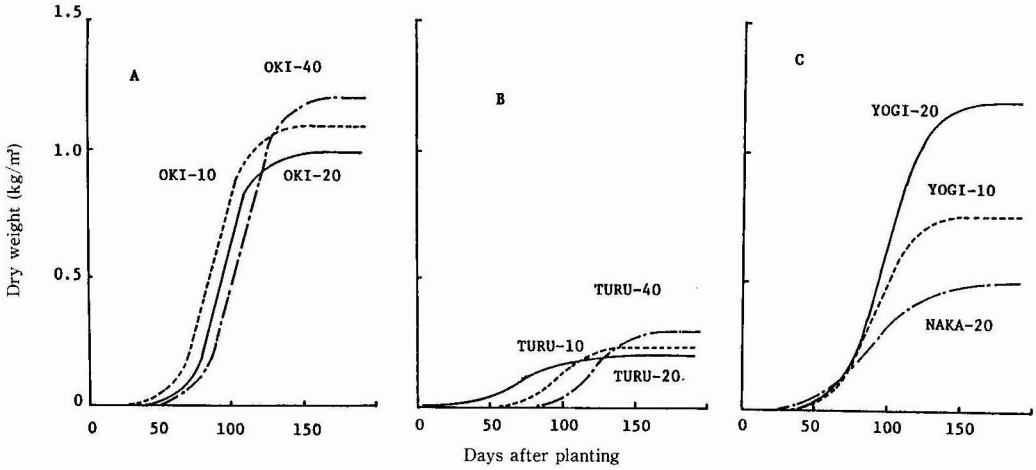

Fig. 2　Effects of planting density on time cources of tuberous root.
Alphabets and numerals in the figure are the same as in Fig. 1.

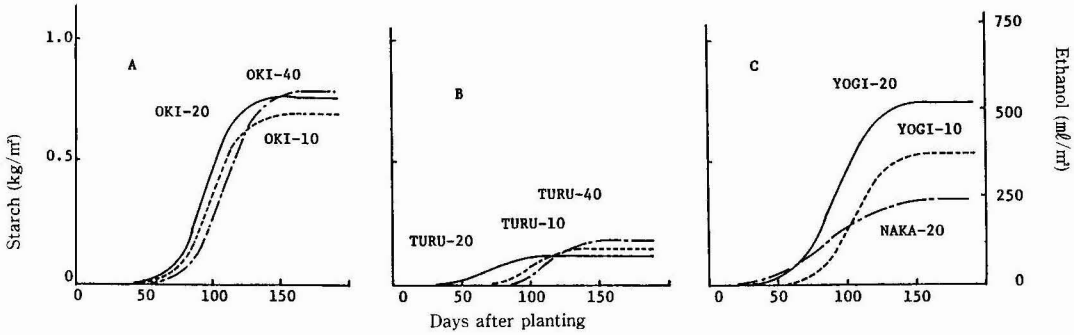

Fig. 3　Effects of planting density on time cources of starch and potential ethanol production.
Alphabets and numerals in the figure are the same as in Fig. 1.

塊根乾物重の推移を Fig. 2 に示した．ツルセンガン40cm区で生育後期に塊根重が大きくなるほかは，いずれの品種でも全乾物量と同様な推移を示した．

Fig. 3 に澱粉及びポテンシャル・アルコール生産量の推移を示した．ポテンシャル・アルコール生産量とは，澱粉の定量に際し，塊根の塩酸による加水分解の結果生じるグルコースが，総てエタノールに変換されるものとして算出した値である．得られた結果は，塊根乾物重でみたときと異なった推移を示している．まず，オキユタカにおいては，澱粉及びアルコール生産量の最大値が40cm区で生育の後期に認められる点は変わらない．しかし，20cm区での澱粉・アル

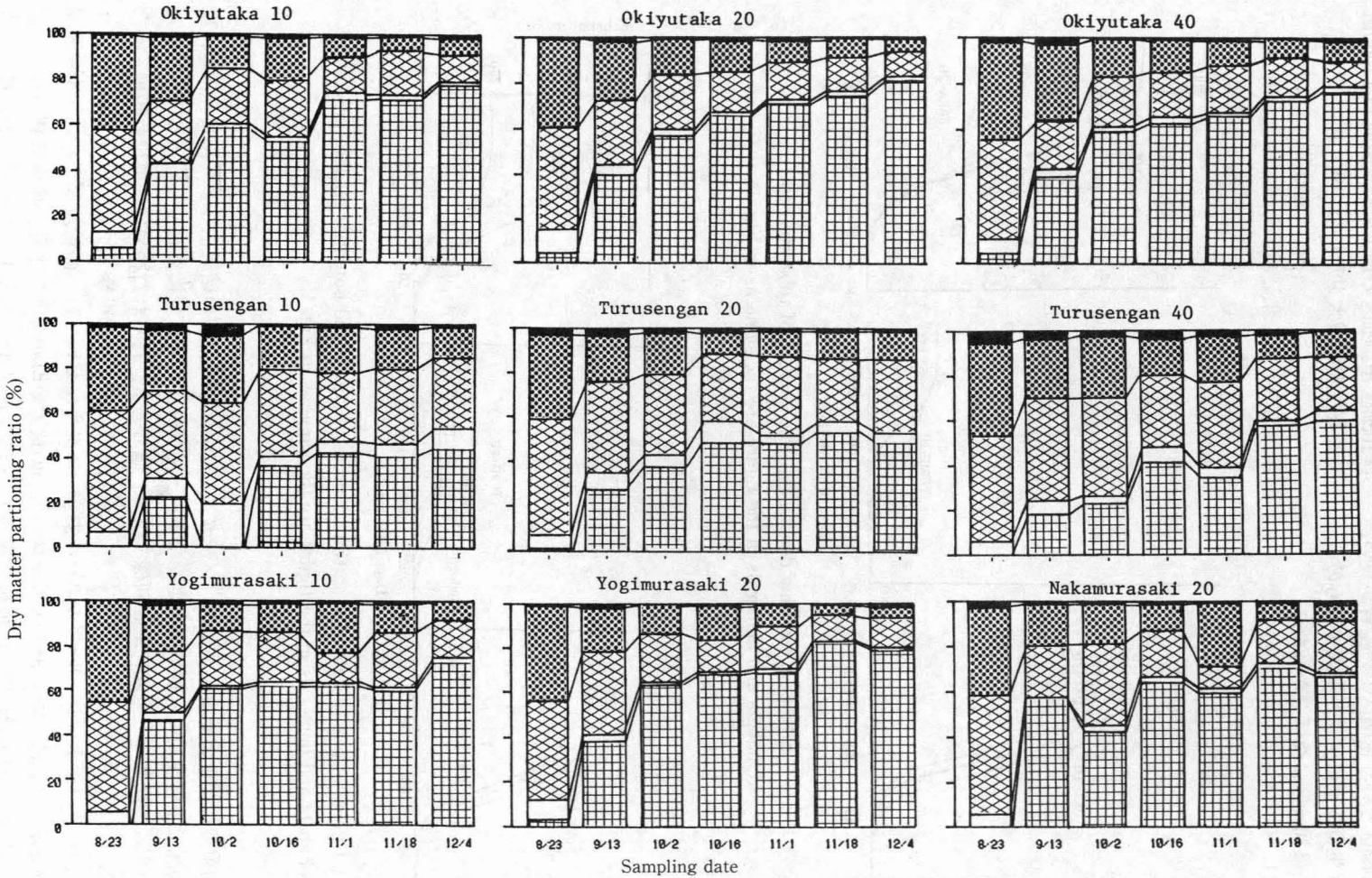

Fig. 4　Effects of planting density on time cources of dry matter partioning ratio.

10, 20, and 40 in the figure indicates 10 × 80 cm, 20 × 80 cm, and 40 × 80 cm of planting density, respectively.

; tuberous root, □; small root, ; vine, ; leaf, ■; dead part of shoot.

コール生産量は，生育の前・中期で10cm区を上回るものとなり、生育後期での最終値も40cm区に近い値となっている．次にヨギムラサキでは，生育の前・中期に塊根乾物では差が認められなかったのに比べ，アルコール・澱粉量としては20cm区で明らかに大きくなる．ツルセンガンにおいては，澱粉，アルコール生産の推移は，塊根乾物重でみた場合と変らない．

Fig. 4 に器官乾物構成比を示した．オキユタカにおいては，いずれの栽植区でも 8 月から10月上旬にかけて塊根乾物重の占める割合が増大し，その後12月までその割合は漸増し約80%に近い値となる．ツルセンガンにおいては，いずれの栽植区においても蔓の占める割合が高く，生育後期においても30%近い部分が蔓で占められている．塊根の占める割合は 8 月から10月中旬にかけて漸増し，その後一定あるいはわずかに増大して，12月には45～60%の値を占めるようになる．次にヨギムラサキの20cm区においては，塊根部の占める割合が 8 月から10月上旬にかけて増大し，12月には80%を占めるようになる．ヨギムラサキ10cm区では塊根の占める割合が 8 月から 9 月中旬にかけ急増し，その後12月に向けてわずかに増大する．ヨギムラサキ10cmと同様な推移は，ナカムラサキ20cm区で認められる．

器官乾物構成比の推移については，ヨギムラサキの10cm区と20cm区で塊根部の占める割合の推移が異なった以外，栽植密度の影響は認められなかった．

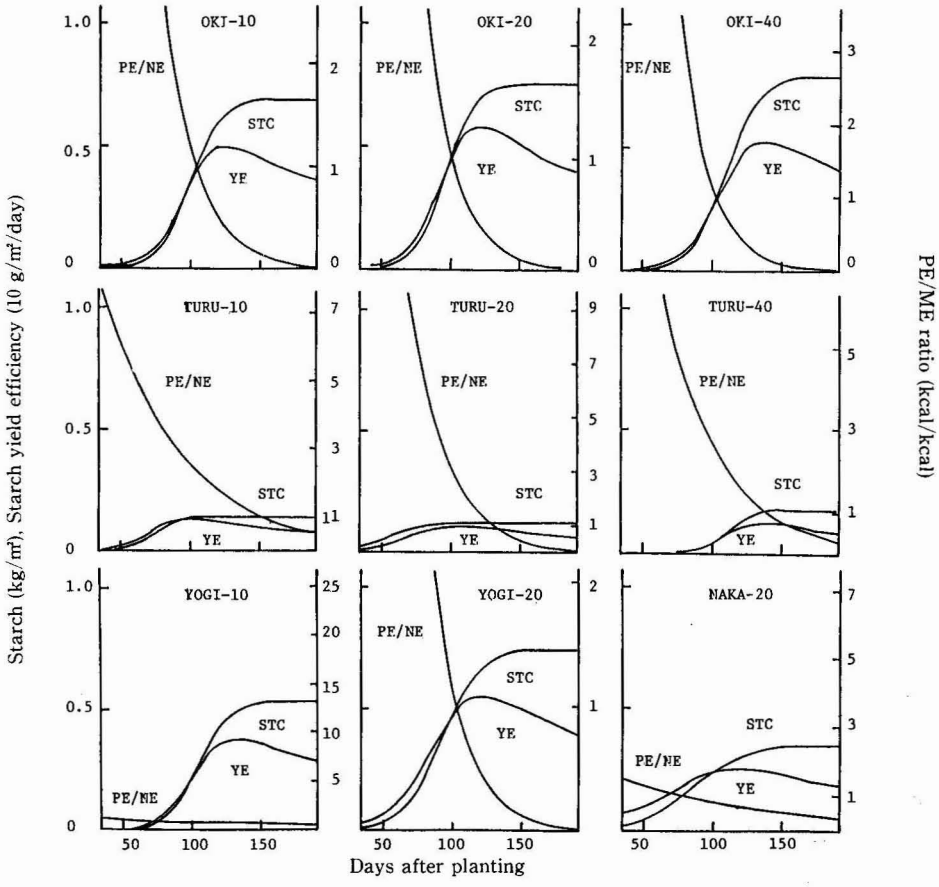

Fig. 5 Effects of planting density on relationships among starch yield (STC), starch yield efficiency (YE), and degree of energy self-supply (PE/NE).
Other alphabets and numerals in the figure are the same as in Fig. 1.

Fig. 5には，澱粉生産，澱粉生産効率，PE/NE比の関係を示した．澱粉生産についてはFig. 3で述べたとおりである．澱粉生産効率とは，澱粉生産量を生育日数で除した値[5]である．

PE/NE比は，本研究の前提としているエネルギー自給型無蒸煮アルコール生産プラント[8,10]を用いてアルコールを得ることを前提にして算出した，エネルギー自給度である．つまり，生産エネルギー（PE）とは，甘藷の茎・葉からメタン発酵の結果得られるエネルギー量で，生茎葉1 g（乾物0.147 g）から29.6mℓのメタンが発生する[9]として，単位土地面積当たりの生茎葉重にメタン発生係数とメタンの燃焼熱（12,265kcal/g CH_4）を掛けあわせて求めた値である．

必要エネルギ（NE）は，無蒸煮アルコール生産プラントを用いて，甘藷生塊根からエタノールを得るために必要なエネルギー量である．つまり，無蒸煮アルコール生産プラントで1ℓのエタノールを得るためには3,743kcalの熱を必要とする（当山清善　私信）ことから，NEは，各調査日で得られた単位土地面積当たりの澱粉が総てエタノールに転換されるものと仮定して算出したポテンシャル・エタノール量（Fig. 3）に3,743 kcal/ℓ Et-OHという係数をかけて算出した．

算出したPE/NE比は，前報[5]で報告したTR比の変形で，この比はいずれの実験区でも生育日数をX軸にした．以下に示すような減衰曲線に回帰することができた．

$$Y = A \cdot 10^{(B.X+C)} \cdots\cdots (1)$$

係数等の詳細は前報[5]を参照．

本研究においては，エネルギーの自給性を前提にしていることから，PE/NE比が1となる点が重要となる．従って，Fig. 5の右側に示したPE/NEのスケールは，PE/NE曲線と澱粉生産曲線がPE/NE＝1で交わり，かつその日がX軸の生育日数と対応するように目盛ってある．

Table 1 Effects of planting density on parameters of alcohol production at PE/NE=1.

Variety Density (cm)	Attainable day after planting	Total dry matter g/m²	Tuberous root d.w.g/m²	Starch g/m²	Ethanol ml/m²	Starch yield efficiency g/m²/day
Okiyutaka						
10×80	104	1260	896	418	281	4.03
20×80	100	931	652	462	310	4.64
40×80	103	547	536	300	202	2.91
Turusengan						
10×80	156	532	233	145	97	0.93
20×80	130	360	192	114	77	0.88
40×80	140	450	239	170	114	1.21
Yogimurasaki						
10×80	75	522	173	44	30	0.58
20×80	103	982	722	509	342	4.96
Nakamurasaki						
20×80	78	466	186	141	95	1.82

PE/NE＝1となる時のエタノール生産に関する要因について，Table 1に示した．到達日についてみると，ヨギムラサキにおいて20cmから10cmへ栽植密度を増すことによって到達日が103日目から75日目に短縮される以外，密植による改善は認められない．さらに，ヨギムラサキの到達日の短縮はエタノール量で342mℓから30mℓへ，澱粉生産効率にして4.96から0.58へとアルコール生産効力を大幅に減少させる．

エタノール生産量についてみると，オキユタカでは20cm区で，ツルセンガンでは40cm区で最大値が認められ，ヨギムラサキ20cm区のエタノール生産は本研究の中で最大値を示した．同様なことは，澱粉生産効率についても認められる．

つまり，PE/NE＝1となる時のエタノール生産における最適栽植密度は品種によって異なり，

20cm区あるいは40cm区に存在する．さらに，品種を込みにして比較した場合，PE/NE＝1となる時のエタノール生産及び澱粉生産効率はオキユタカで高い．

Table 2 Effects of planting density on parameters of alcohol production at maximun starch yield efficiency.

Variety Density (cm)	Attainable day after planting	Total dry matter g/m²	Tuberous root d.w.g/m²	Starch g/m²	Ethanol ml/m²	Starch yield effciency g/m²/day	PE/NE ratio kcal/kcal
Okiyutaka							
10×80	125	1429	1053	627	421	5.02	0.41
20×80	120	1136	918	696	468	5.80	0.41
40×80	137	1286	1112	721	485	5.27	0.21
Taurusengan							
10×80	99	305	124	68	46	1.31	2.66
20×80	90	250	150	68	66	1.09	4.60
40×80	135	432	220	165	111	1.22	1.14
Yogimurasaki							
10×80	133	1018	736	483	325	3.63	0.68
20×80	120	1201	1011	656	442	5.47	0.46
Nakamurasaki							
20×80	117	695	411	286	192	2.44	0.70

各試験区での澱粉生産効率が最大となる時のエタノール生産に関する要因について，Table 2に示した．澱粉生産効率が最大になる日についてみると，オキユタカ，ツルセンガンともに20cm区で最短となり，ヨギムラサキでも10cm区に比べ20cm区で到達日が133日から120日と早くなっている．最大収量効率はオキユタカでは20cm，ツルセンガンでは10cm，ヨギムラサキでは20cm区で認められる．エタノール生産量では，オキユタカ，ツルセンガンともに40cm区で，ヨギムラサキでは20cm区で認められる．以上のように，澱粉生産効率が最大になるときのアルコール生産関連要因において，栽植密度は，20cmあるいは40cm区で最適となるような傾向を示していた．また，澱粉生産効率は，オキユタカで安定して高く，特に20cm区では本研究中で最も高い値を示した．

澱粉収量効率が最大となる時のPE/NE比は，ツルセンガンで1以上の値を示し，エネルギー収支がプラスになる以外，他の試験区では1以下の値となり，地上部から生産される発酵・蒸溜用のエネルギーが不足することが明らかになった．

Table 3 Effects of planting density on parameters of alcohol production at max. starch yield obtained actually.

Variety Density (cm)	Sampling date days after planting	Toberous fresh kg/m²	root dry g/m²	Starch yield g/m²	Percentage of dry matter %	Starch value %	Max. LAI m²/m²	LAI (1) days
Okiyutaka								
10×80	137	3.3	1088	688	33	63	4.73	90
20×80	153	2.8	983	762	35	78	4.61	104
40×80	137	3.5	1195	793	34	66	3.71	137
Turusengan								
10×80	153	0.7	234	145	32	62	2.85	104
20×80	120	0.5	197	116	36	59	1.94	90
40×80	137	1.1	286	177	26	62	1.64	120
Yogimurasaki								
10×80	153	2.5	765	531	31	69	3.39	71
20×80	137	3.1	1200	742	39	62	3.54	50
Nakamurasaki								
20×80	137	1.7	503	345	29	69	3.45	90

LAI; Leaf Area Index, (1); Attainable day from planting.

Table 3に実測した最大澱粉収量と最大葉面積指数（Max. LAI）について示した．オキユタカにおいて澱粉収量は栽植密度が広くなる程増大している．ツルセンガンにおいても40cm区で最も大きな澱粉収量を示している．しかし，最大LAIは，栽植密度が増す程大きくかつ，その到達日は短くなっている．本研究で得られた最大澱粉収量と塊根生重は，オキユタカ40cm区の796 g/m²で3.5kg/m²であった．

考　察

オキユタカとツルセンガンという塊根収量と地上部収量に優れた品種を主体にして，栽植密度がエネルギー自給型アルコール生産プラントの原料としての甘藷の生産特性に及ぼす影響を調査した．茎葉から生産されるエネルギーが塊根の発酵・蒸溜用の必要エネルギーと等しくなる時，つまりPE/NE＝1となる日について栽植密度の影響をみた場合，影響の仕方は品種によって異なった傾向を示した．つまり，オキユタカにおいては20cm区で，ツルセンガンでは40cm区で澱粉及びポテンシャル・エタノール生産量は最大となり，ヨギムラサキでも20cm区で大きい値が得られた（Table 1）．

次に，澱粉収量効率が最大となるときの，澱粉及びポテンシャル・エタノール生産は，いずれの品種においても40cmあるいは20cmと栽植密度が小さくなる程高い値を示していた（Table 2）．同様に，実測した最大澱粉収量も40cmや20cm区という小さい栽植密度下で高い値を示していた（Table 3）．

10 a当りの栽植本数で表わすと，40cm，20cm，10cm区は各々3,125本，6,250本，12,500本となる。藤瀬[3]は鹿児島県における多収穫栽培を解析し，栽植密度にして3,810本/10 a，植付後191日目に6.6ton/10 aという塊根収量が得られ，甘藷の多収穫栽培には一個当りの塊根重の増大，つまりはやや疎値条件と，栽培期間の延長が必要であると報告している．栽培期間については同様のことをAgata[1]も認めている．さらに，Bouwkamp[2]は，甘藷の収量は植付密度と正の相関を示すものの，最大収量は10 a当り4,000から5,000本の密度で得られることを示している．

沖縄県の標準的栽植密度は10 a当り7,500本と本研究の設定範囲では密植側にある．エネルギー自給度を重要視したときには，最大のポテンシャル・エタノール生産は，オキユタカとヨギムラサキでは20cm区（6,250本/10 a）というやや密植条件下で，ツルセンガンでは40cm区（3,125本/10 a）という疎植条件下で認められた．しかし，澱粉生産効率や塊根最大収量についてみると，いずれも40cm区という疎植条件下で生育日数も長くなるようなかたちで最大収量あるいは最大効率が達成された．従って，アルコール生産プラント用の原料として甘藷を栽培する場合，エネルギーの自給性に重きをおけば，多収量栽培といわれる栽植密度よりやや密植条件が適したものとなる．しかし，あくまでも塊根からのエタノール収量を重視すれば，その最適密度は多収穫栽培型といわれる密度に近ずく．

以上のように，アルコール生産プラントの原料として甘藷を用いる際，その重点をおき方によって最適密度は異なり，また，いずれにしても沖縄県の現行の密度より疎植条件下で生産効率が改善される．

本研究においては，以上のような解析を容易にするために生育や収量成立の過程を以下に示すようなロジスチック曲線に回帰した．以下には，用いたロジスチック曲線の特性と生育の関係について考察を加えることにしたい．

$$Y = \frac{A}{B \cdot e^{-K.x}} \quad \cdots\cdots(2)$$

(2)式で表わされるロジスチック曲線において，Kは成長係数と呼ばれ，ロジスチック曲線における最大増大率を表わす[6]．つまり，Kはロジスチック曲線で表わされる植物生産の最大効率を示している．Table 4は，Fig. 1から3に示したロジスチック曲線の，曲線を決定するパラメータ；成長係数（K），最大値（A），それに初期条件と最大値（A）が決まる積分定数（B），の変異を示している．

Table 4 Effects of planting density on parameters of logistic curve.

Variety Density (cm)	Total matter dry weight			Tuderous root dry weight			Starch		
	K	A	B	K	B	A	K	B	A
Okiyutaka									
10×80	0.0598	1510	15.0	0.0887	1088	0.50	0.0894	688	0.10
20×80	0.0761	1210	2.0	0.0987	983	0.0940	763	0.10	
40×80	0.0584	1639	2.0	0.0824	1195	0.20	0.0824	793	0.10
Turusengan									
10×80	010420	575	10.0	0.0795	235	0.20	0.0945	145	0.01
20×80	0.0416	402	15.0	0.0589	198	0.10	0.0714	116	1.00
40×80	0.0716	500	0.2	0.0848	287	3.00	0.1088	177	0.01
Yogimurasaki									
10×80	0.0667	1039	0.7	0.0848	765	0.01	0.0818	531	0.10
20×80	0.0486	1453	20.0	0.0769	1210	0.01	0.0720	743	1.00
Nakamurasaki									
20×80	0.0621	730	10.0	0.0727	503	1.00	0.0495	345	5.00

K; coefficient of growth, A; upper limit, B; integral constant.

成長係数についてみると，オキユタカではいずれの場合もKは20＞10＞40cm区の順で大きい．ツルセンガンでは，いずれの場合もKは40＞10＞20cm区の順で大きく，オキユタカと全く逆の順序である．ヨギムラサキでは，Kはいずれの場合も10cm区で大きい．そこで，品種及び栽植密度を込みにしたときのKと最大値（A）との相関は，塊根乾物重で r ＝0.427，全乾物量で r ＝0.209，澱粉で r ＝－0.049と，前二者で正の相関が認められるものの統計的有意性は認められなかった．つまり，成長係数Kは，塊根や澱粉収量と一定の関係を示さなかった．このことは，本研究において品種や栽培条件で決定されるポテンシャル生産力（K）は，品種や栽植密度によって異なる．しかし，本研究の甘藷の生育は外的条件によって大きな影響をうけ，Kで示されるような品種及び栽植条件で決定される本来の能力を充分に発揮できなかったものと考えられる．

要　約

オキユタカ，ツルセンガンという生育型の明らかに異なる品種を用い，栽植密度が無蒸煮・エネルギー自給型アルコール生産プラント用甘藷の生産特性に及ぼす影響を調査した．エネルギー自給度が1になる時の生産効率を比較すると，ポテンシャル・アルコール生産量は，オキユタカでは20×80cm区，ツルセンガンでは40×80cm区で認められた．とくに，オキユタカにおいては，この時の生育日数（到達日）に，栽植密度は無関係であった．最大澱粉生産効率及び実測値としての塊根最大収量について比較すると，40×80cmという疎植条件下でポテンシャル・アルコール生産量は高くなった．

謝　辞

本研究の一部は昭和60年度文部省科学研究費補助金エネルギー特別研究（課題番号，60040062）によったものである．記して感謝したい．

引用文献

(1) Agata, W. (1981) General discussion (Session II). Sweet Potato, Procedings of the First International Symposium. Eds. R.L. Villareal and T.D. Griggs, AVRDC Publication No.82-172, Taiwan, pp.141-144.

(2) Bouwkamp, J.C. (1985) Production requirements. Sweet Potato Products: A

Natural Resource for the Tropics, CRC Press, Baca Raton, Florida, pp.9-33.

(3) 藤瀬一馬（1983）多収穫栽培，高エネルギー植物の研究一世界のいも類作物のエネルギー生産力調査－(2)サツマイモの収量性について，文部省科学研究費 No.57040064, pp.50-72

(4) 河野晴也（1983）ロジスティック曲線．N-BASICによる生物学演習，培風館，東京，pp.28－38.

(5) 野瀬昭博，仲間操，宮里清松，村山盛一（1986）アルコール資源作物としての甘藷栽培；品種の生育型に着目した場合，南資研会誌 2：13－20.

(6) 小川房人（1980）植物生産のロジスチック性，個体群の構造と機能，朝倉，東京，pp.6－18.

(7) 沖縄県施肥合理化委員会（1963）カンショ栽培指針，施肥合理化資料 1 号　主要作物の栽培指針，pp.31－33。

(8) 当山清善，宮里清松，田口久治，山本武彦，武田友四郎（1982）甘藷いもの無蒸煮仕込みアルコール発酵，甘藷茎葉のメタン発酵及びメタン発酵汚泥の肥効試験，文部省科学研究費，エネルギー特別研究「生物エネルギーの利用と開発」昭和47年度研究成果報告，pp.171-174.

(9) 当山清善，大久保勉，石原昌信，与那覇和雄（1983）甘藷茎葉のメタン発酵　第 1 報　小型容器を用いた発酵，琉大農学報 30：177-184.

(10) 山本武彦（1981）肥料の再利用，エネルギー自給の甘藷を原料とするエタノール発酵についての一案，文部省科学研究費「エネルギー特別研究」NEWS　1：61－62。