

琉球大学学術リポジトリ

水分ストレスがストレス解除後のサトウキビの乾物生産特性に及ぼす影響(農学部附属農場)

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 仲間, 操, 野瀬, 昭博, 江橋, 賢治, 宮里, 清松, 村山, 盛一, Nakama, Misao, Nose, Akihiro, Ebashi, Kenji, Miyazato, Kiyomatsu, Murayama, Seiichi メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/3899

水分ストレスがストレス解除後のサトウキビ の乾物生産特性に及ぼす影響*

仲間 操**, 野瀬昭博***, 江橋賢治****
宮里清松*****, 村山盛一***

Misao NAKAMA, Akihiro NOSE, Kenji EBASHI, Kiyomatsu MIYAZATO, and Seiichi MURAYAMA: After-effects of water stress on matter production process of sugar cane (*Saccharum officinarum* L.) at early growth stage.

Summary

Using sugar cane (*Saccharum officinarum* L. c.v. NCo 310), the effects of soil moisture deficit on characteristics of matter production process after releasing the restriction of water supply were examined. Young sugar cane plants of the 77th day after planting were experienced for two weeks under soil moisture conditions of pF 2.5, 3.5, 3.8, and 4.3. After the treatments, the time courses of matter production process were investigated for 22 days, re-setting the soil moisture to pF 2.5. The following results were obtained: After re-setting to enough soil moisture condition, the growth of pF 4.2 block could not recover (Fig. 1, 2, 3, and 4). At blocks of pF 3.5 and pF 3.8, however, the dry weight of stalk and leaves were recovered sufficiently after re-watering (Fig. 3). Especially, leaf position of upper most full expanded leaf and number of leaves were recovered rapidly at block of pF 3.8 (Fig. 2). After re-watering, relative growth rate (RGR) of whole plant included roots showed high at block of pF 3.8. It was appeared that these high RGR were resulted from high net assimilation rate (NAR) (Table 1). In this study, RGR and NAR after re-watering showed high negative correlations to mean water contents of spindle (Table 2).

緒 言

作物の生育と水ストレスの関係については、今までに多くの研究がなされてきた。サトウキビにおいても土壌水分の低下そのものが生育に及ぼす影響については多くの研究¹⁾がなされている。しかし、水分ストレスを経験した後に十分な水を与えたときの回復の様相については、Gates^{2,3)}がトマトにおいて詳細な研究を行っているのみで、サトウキビやその他の作物において余り研究されていない。つまり、水分ストレスそのものの影響ももちろん重要であるが、作物としては、回復可能な水分ストレスの程度や、

*本研究の一部は第16回自然災害科学総合シンポジウム（1979年9月京都）で発表した。

**琉球大学農学部附属農場

***琉球大学農学部農学科

****茨城県県庁

*****琉球大学名誉教授

回復過程そのものを明らかにすることは、同様に重要なことである。著者ら⁴⁾はサトウキビの生育阻害水分点が pF3.6 付近に存在し、他の植物に比べその生長有効水分域が広いことを明らかにした。本研究においては、一定の水分ストレスを経た後に十分な水を与え、その時の回復の様相を追跡調査し、サトウキビの耐乾性の程度を回復過程から明らかにしようとしたものである。

なお、本研究の一部は昭和52年度文部省科学研究費、自然災害特別研究（代表者、藤川武信）の援助を受けた。

材料及び方法

供試品種は NCo 310 である。苗は最上位完全展開葉から数えて 9～11 節目の一節苗を用いた。採苗後砂床に置床し 30°C で 10 日間催芽させ、催芽程度の揃ったものを、1977 年 7 月 28 日に琉球石灰岩土壌 14kg を詰めた 1/2000 a ワグネルポットに植付けた。施肥は、元肥として N:P₂O₅:K₂O=0.62:0.43:0.55 g/ポット 与え、追肥は与えなかった。植付け後、ビニールハウス内（琉球大学農学部附属農場）で、十分に灌水しながら育成した。

植付け後 77 日目の 10 月 13 日から 23 日にかけて 4 種類の土壌水分区、pF2.5, 3.5, 3.8, 4.2 を作成した。各土壌水分状態を 10 月 24 日から 11 月 7 日 (14 日間) にかけて維持し、11 月 8 日に各区とも土壌水分を pF2.5 に調整し、以後 12 月 2 日の調査終了日まで、この水分状態を維持した。土壌水分の調整には、供試土壌について作成された土壌水分-pF 曲線⁷⁾に従い、重量法によって行った。

草丈や青葉数などの外観的形質については、実験期間を通して調査した。器官乾物重や葉身の光合成速度については、土壌水分処理を解除し、pF2.5 に戻した 11 月 8 日以後、12 月 2 日にかけて 3 回の調査を行った。器官乾物重は、生重を測った後、95°C で 30 分間処理し、その後 70～80°C で葉身は 48 時間以上、その他の器官は 72 時間以上熱風乾燥した後に秤量した。葉面積はロール式面積計（林電工 A AM-7）を用いて測定した。本研究における梢頭部とは、最上位完全展開葉から数えて 5 枚目の葉梢の付着する節より上部の、完全展開葉を除いた部分⁶⁾を示している。青葉数は、一枚の葉の 50% 以上が緑色を保っているものについて調査した。

葉身の光合成速度は最上位と次の葉位の 2 枚の完全展開葉について調査した。光合成速度の測定は、光強度、0, 20, 40, 80, 160 kl x, 葉温、26～30°C, 通気量 6～10 l/min の条件下で、通気式同化箱法を用いて赤外線 CO₂ 分析計によって行った。

結 果

図 1 に土壌水分処理期間と水分処理解除後 22 日間の草丈と仮茎長の推移を示した。まず草丈についてみると、4 種類の土壌水分を維持した灌水処理期間 (10 月 25 日～11 月 7 日) において、pF4.2 区の草丈は減少し他の 3 区は何れも増加していた。増加程度は pF2.5 区で最も大きかった。水分処理解除後の推移を見ると、pF4.2 では処理解除後に回復の兆しを示すものの殆ど回復しなかった。pF3.8 及び pF2.5 区では僅かながら増大の傾向がみられるが、殆ど変わらない値を維持していた。pF3.5 区のみが草丈の活発な回復を示し、水分処理解除後の 22 日目には pF2.5 区と変わらない値となった。

仮茎長の推移は 10 月 14 日から 11 月 8 日の水分処理期間については草丈とほぼ同様な推移を示すことが認められた。しかし、水分処理解除後には、pF4.2 区を除く他の 3 水分処理区において仮茎長は増大した。

最上位完全展開葉々位 (抽出葉位) と青葉数の推移を図 2 に示した。pF2.5 区と pF3.5 区における抽出葉位は実験期間中に増加し続けた。しかし、その増加の程度は pF3.5 区で小さかった。pF4.2 区と pF3.8 区では 10 月 14 日から 11 月 8 日までの水分処理期間中に、抽出葉位の増大は殆ど認められず、11 月 8 日の水分処理解除後に、pF3.8 区では抽出葉位の大幅な増加が認められた。pF4.2 区では抽出葉位の増加は極めて小さかった。

青葉数の推移は今までに検討した形質と幾分異なった傾向を示していた。まず、pF2.5 区において、青

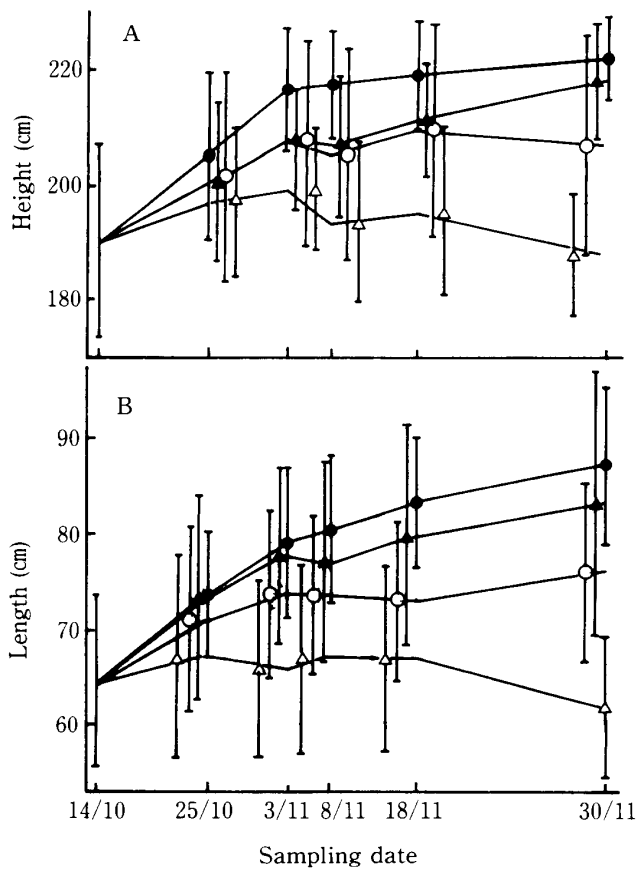


Fig. 1. Effects of soil moisture treatments on changes of plant height (A) and stalk length (B). Stalk length show hight from pot surface to upper most dewlap. ●, pF 2.5; ▲, pF 3.5; ○, pF 3.8; △, pF 4.2. Vertical lines in the fighre show standard deviation of data. Soil moisture blocks were maken from October 14 to October 25, and the soil conditions ware maintained to November 17. At November 18, the soil moisture conditions were changed to pF 2.5, and maintained to November 30.

葉数は10月14日から11月8日にかけて同様な値を示し、その後11月18日にかけて減少し定常値を維持していた。その他の区においては土壤水分区を作成するために給水制限を開始した10月14日から25日にかけて青葉数は減少した。そして、土壤水分処理期間中に青葉数は一定の値を維持していた。更に土壤水分処理解除後は pF3.8区で青葉数の増大が認められるが、pF3.5区では青葉数に増大が認められなかった。pF4.2区においては土壤水分処理によって青葉は殆ど認められなくなり、また水分処理を解除しても青葉の回復を示さなかった。

図3に土壤水分処理が水分処理解除後の器官乾物重の推移に及ぼす影響を示した。まず、地上部と根を合わせた総乾物重についてみると、水分処理を解除した11月8日において、総乾物重は土壤水分欠乏の大きい区ほどその値は小さかった。その後、pF4.2区を除く3区では時間の経過と共に総乾物重は増大した。更に、11月18日と11月30日における総乾物量には水分処理区の間で5%水準で統計的に有為な差が認められた。次に、根の乾物重についてみると、各水分処理区での水分処理解除後の推移は総乾物重とほぼ同様であった。水分処理区の間で、根重には11月18日に5%水準で有為差が認められ、その他の期間では有為な差はみられなかった。茎重は、水分処理解除後 pF4.2区で11月18日まで増大しないものの、他の水分処理区では茎重の明らかな増大が認められた。特に、pF3.5区では11月30日の調査終了時まで大きな増大を示し、pF2.5区を凌ぐ値にまでなった。茎重においても11月

18日の調査で水分処理区間に5%水準で統計的に有為な差が認められたが、その他の調査では有為な差は認められなかった。次に、梢頭部重は、他の器官と異なる推移を示した。つまり、何れの水分処理区においても水分処理解除後、梢頭部重は調査期間を通して減少した。そして、梢頭部重の大小は pF4.2区で小さい値を示すものの、その他の処理区では水分処理の程度と梢頭重の間に一定の関係は認められなかった。また、3回の調査を通して処理区の間で、統計的な有意差は認められなかった。次に葉身についてみると、pF2.5区は、他の区と異なり水分処理解除後に、葉身重の減少が認められた。しかし、他の3区では水分処理解除後葉身重は増大した。特に、pF3.5区と3.8区では、最後の調査日の11月30日には、pF2.5区と同様な値になった。更に、葉身重は3回の調査日の何れにおいても水分処理間に5%以上の統計的に有為な差が認められた

土壤水分処理解除後の各器官の乾物構成比の推移を図4に示した。まず、葉身についてみると pF2.5区では調査期間を通して減少し、pF3.5区ではほぼ同様な値を維持していた。水分処理の厳しかったpF3.8区

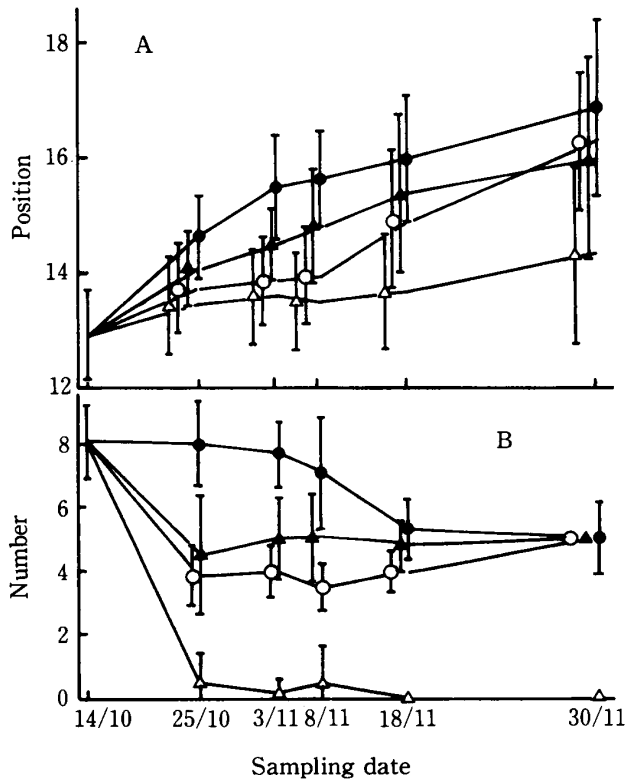


Fig. 2. Effects of soil moisture treatments on changes of the position of upper most full expanded leaf (A) and number of leaves (B). Other explanations in the figure are the same as in Fig. 1.

と pF4.2区では、水分処理解除後葉身構成比は増大した。しかし、最も厳しい水分処理を施した pF4.2区の葉身構成比は他の区に比べ明らかに小さかった。次に、梢頭についてみると、いずれの水分処理区においてもその構成比は調査期間を通して減少した。茎の構成比は、pF2.5区で11月8日と18日で同様な値を示すものの、その他の調査期間では時間の経過と共に増大していた。特に、pF3.8区での増加が著しく11月30日の調査最終日には47%もの値に達していた。最後に根についてみると、いずれの処理区においても、水分処理解除(11月3日)から11月18日にかけて根の構成比は増大し、その後減少或いは定常値を維持する傾向にあった。

生長関数から水分処理解除後の成育の様相を検討したのが表1である。まず、相対生長率(RGR)についてみると、調査期間の前半(I~II)に比べ後半(II~III)で、いずれの調査区においてもRGRは小さくなった。水分処理区の間で比較すると、pF3.8区におけるRGRが調査期間を通して高い値を維持していた。次に純同化率(NAR)についてみると、NARもRGRと同様な変化を示していた。

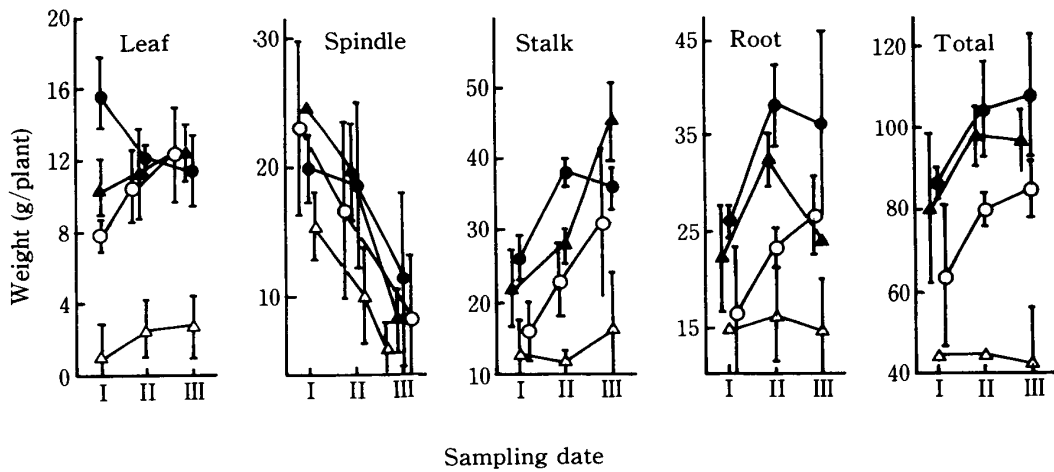


Fig. 3. After-effects of soil moisture conditions on changes of organ weights after cankering soil moisture treatments. I, Nov. 8; II, Nov. 18; III, Nov. 30. Simboles and vertical lines are the same as in Fig. 1.

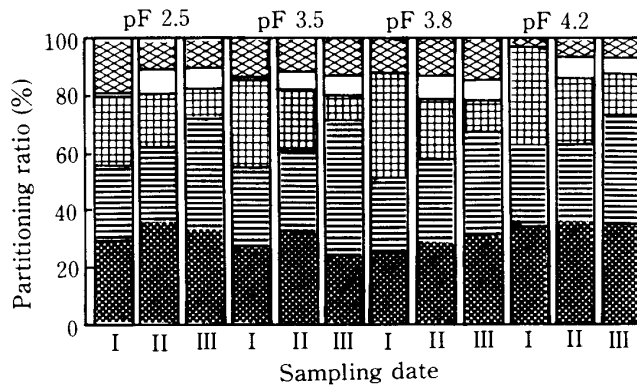


Fig. 4. After-effects of soil moisture treatments on changes of dry matter partitioning ratio of plant organs. ⊗, root; □, stalk; ㄗ, spindle; ㄚ, leaf sheath; ▨, leaf. I, Nov. 8; II, Nov. 18; III, Nov. 30.

そこで、この様な RGR や NAR をもたらす原因となったと予想される事項について解析してみる。まず、根の相対生長率 (R-RGR) は調査期間の前半では水分処理程度が小さいほど大きな R-RGR を示し、調査の後半では pF3.8区で大きい値を示していた。更に、TR 比は水分処理の厳しかった pF4.2区で小さく、pF3.8区或いはpF3.5区で大きな値を示しながら、pF2.5区で小さくなる傾向をいずれの調査日においても示していた。次に、葉の相対生長率 (L-RGR) は、調査の前半では、水分処理程度の厳しかった区ほど大きな値となったが、後半では pF3.8区で最大となった。また、葉重比 (LWR) は水分処理解除日 (11月8日) では、水分処理程度の小さい区ほど大きな値

Table 1. Effects of soil moisture conditions on parameters of growth analysis and top-root ratio (TR) after canceling soil moisture treatments

Parameters	Sampling date	Treatment			
		pF 4.2	pF 3.8	pF 3.5	pF 2.5
RGR	I ~ II	0.00373	0.02090	0.01697	0.02033
	II ~ III	-0.00349	0.00570	-0.00010	0.00323
NAR	I ~ II	0.10222	0.13541	0.11854	0.12335
	II ~ III	-0.06270	0.03711	-0.00691	0.02594
R-RGR	I ~ II	0.00711	0.03155	0.03459	0.03499
	II ~ III	-0.00870	0.01261	-0.02817	-0.00483
L-RGR	I ~ II	0.08194	0.02627	0.00670	-0.02426
	II ~ III	0.00336	0.01551	0.00833	-0.00620
LWR	I	3.7 ± 5.3	13.0 ± 3.2	13.5 ± 5.2	19.2 ± 4.5
	II	6.1 ± 3.8	13.1 ± 2.3	11.6 ± 3.2	11.8 ± 1.7
	III	6.2 ± 2.8	14.6 ± 1.7	12.9 ± 3.1	10.7 ± 2.2
TR	I	1.8 ± 0.1	3.0 ± 0.7	2.6 ± 0.4	2.2 ± 0.3
	II	1.9 ± 0.7	2.4 ± 0.1	2.0 ± 0.1	1.7 ± 0.1
	III	1.8 ± 0.1	2.3 ± 0.7	3.1 ± 0.2	2.1 ± 0.4

RGR, relative growth rate, g/g/day; NAR, net assimilation rate, g/d m²/day; R-RGR, RGR of root, g/g/day; L-RGR, RGR of leaf, g/g/day; LWR, leaf weight ratio, %; TR, top-root ratio, g/g. Figures of LWR and TR show mean and standard variation of data. I, Nov. 8; II, Nov, 18; III, Nov. 30.

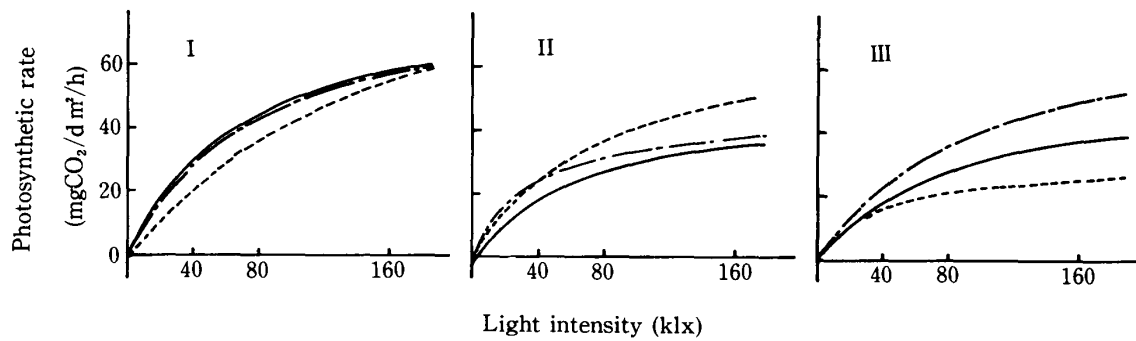


Fig. 5. After-effects of soil treatments on photosynthetic rate. Leaves of upper most and second position were used for this measurement. —, pF 2.5; - - -, pF 3.5; ·····, pF 3.8. I, Nov. 8; II, Nov. 18; III, Nov. 30.

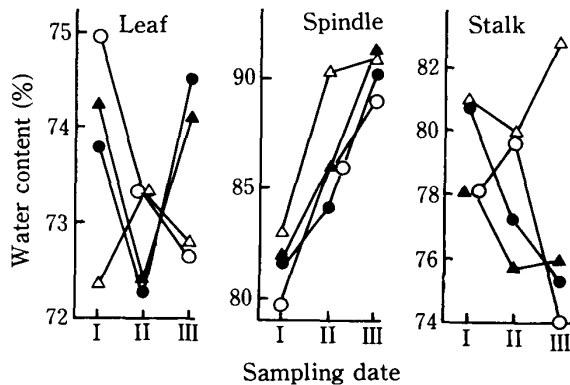


Fig. 6. After-effects of soil moisture treatments on changes of water content in some plant organs. Simboles and others were the same as in Fig. 3.

光合成曲線を示すことが認められた。

図 6 に水分処理解除後の葉身、梢頭、茎の含水率の推移を示した。まず、葉身についてみると、葉身含水率は調査期間を通して72~75%という、その変動幅は他の器官に比べると極めて小さかった。また、水分処理解除直後の11月8日に、pF4.2区の含水率が小さい以外に土壤水分処理の程度と葉身の含水率の間に一定の関係は認められなかった。次に、器官形成の場となる梢頭部についてみると、その含水率は水分処理解除後にいずれの処理区においても明らかな増大を示していた。中でも pF4.2区では水分処理解除直後の11月8日から18日にかけて高い含水率を示した。茎含水率は水分処理解除後の3回の調査の何れにおいても、pF4.2区で高い値が維持され、他の区ではほぼ減少の傾向が認められた。

考 察

本実験においては、一般に植物の永久萎凋点といわれる pF4.2, 初期萎凋点といわれる pF3.8, 生長の最適水分域といわれる pF2.5, 更にはサトウキビの生長阻害水分点とされる⁴⁾pF3.5, というような4

を示し、その後の2回の調査では pF3.8区で最大値を示した。以上のように、生長関数でみる限り、回復の程度は pF3.8区というかなり厳しい水分処理を行ったときに大きくなることが明らかになった。そして、pF3.8区における生育の回復には、NAR, LWR, L-RGR と言うような、植物の生産を支える光合成の機能的或いは量的な回復が大きく関与していることが認められた。

次に水分処理解除後の3回の調査日における最上位完全展開葉と2番目の葉位葉で得られた光-光合成曲線を図5に示した。水分処理解除直後の11月8日の葉身の光-光合成曲線は pF2.5区と pF3.5区で同様な関係を示し、pF3.8区のものの方が幾分低い値を示していた。その後の調査においては、pF3.8区や pF3.5区という水分処理の厳しかった区がより高い光-

種類の土壌水分状態を2週間にわたって維持し、その後に土壌水分を生長最適水分域の pF2.5に戻した後の、生長の様子を物質生産の面から解析したものである。まず、pF4.2という厳しい土壌水分条件下で2週間経過したサトウキビは、その後に十分な土壌水分を与えても、約1月間は、わずかに葉身乾物重が増大するのみで(図3)、その他の器官では殆ど回復の兆しを示さなかった。しかし、pF4.2という厳しい水分欠乏下においた後でも僅かではあるが葉身乾物重に回復の兆しが現れたり、或いは、他の水分処理区と同様に梢頭部での含水率が上昇したりする現象は、サトウキビが完全に枯死しておらず、生命を維持していることを示し、改めて当植物の耐乾性の強さを示す結果となった。この様な原因としては、前報⁹⁾において示した通り、茎の存在が水不足の緩衝器官として働いた可能性が強い。従って、サトウキビの耐乾性を論じる場合、茎の存在を考慮することが大切である。

次に、一定水分ストレス下においた後の生長の回復の程度を各水分区で比較すると、pF3.5と pF3.8区で茎重と葉身重に顕著な回復の現象が認められた(図3)。更に、pF3.8区では抽出葉位や青葉数にも回復の現象が認められた。Gates^{2,3)}はトマトにおいて土壌水分を乾燥から適水域へ変化させたとき、葉と茎の形成率が最も敏感に反応することを認め、特に乾燥条件から適当な水分条件へ移行したときに葉の形成率が增大することを認めている。本研究においても土壌水分の増加にともない大きな変化を示したのは葉と茎であるという点については Gates の結果と同様であった。しかし、Gates のトマトの場合と異なってサトウキビにおいては水分ストレス後に葉と同様に茎の増大が生じた。更に、サトウキビにおいては pF3.8という、他の植物では萎凋現象が生じる様な水分ストレス下においた植物で生育の顕著な回復が認められた点は特に興味深い。この点に関して、仲宗根⁹⁾は、実際の栽培条件下において灌水を行うとき、土壌水分の下限値を pF3.8に設定してもそれ程の収量の減少は認められなかったと報告している。本研究で得られた結果は仲宗根の観察をその回復過程から支持するものである。

Table 2. Relationships among growth functions and mean water contents of leaf and spindle

	NAR	M-LWR	WS-SPD	WS-L
RGR	0.889**	0.636 ^{n.s.}	-0.979***	0.481 ^{n.s.}
NAR	-	0.377 ^{n.s.}	-0.947***	0.313 ^{n.s.}

RGR, relative growth rate; NAR, net assimilation rate; M-LWR, mean leaf weight ratio; WS-SPD, mean water content of spindle; WS-L, mean water content of leaf. **, ***, and ^{n.s.} shows statistical significant at 1% and 0.1%, and non-significant, respectively.

サトウキビの梢頭部は葉身や茎という器官形成の場として、生育にとって重要な部位である。本研究において水分ストレス解除後に、梢頭部の含水率が急速に上昇するという(図6)、極めて興味深い反応を示していた。また、生長関数から見た生育の回復についても、いくつかの興味深い反応が観察された(表1)。従って、ここでは、生長関数や梢頭部含水率などの相互の関係から、水分ストレス後の回復の様相について検討を加えてみたい。表2の結果は、水分ストレスを解除した後の相対生長率(RGR)は、平均葉重比(M-LWR)と有意な相関を示さず、生育の回復が主に純同化率(NAR)の回復によってもたらされていることを示している。また、RGRは梢頭部の平均含水率と負の高い相関を示し、水分ストレス後の梢頭部での含水率の上昇は生育の回復を促進する直接的な原因ではないことを示している。更に、RGRの回復を支えるNARは葉身の含水率とは無関係で、梢頭部の含水率と負の高い相関を示して

いた。この様に、器官形成に重要な役割を果たしていると考えられる梢頭部での含水率の上昇が、RGR や NAR に対してマイナスの影響を持つという点については、水分ストレス後の生長部での生理的な問題として今後検討を加える必要がある。但し、梢頭部での含水率の上昇が対照区として設定した pF2.5 区においても同様に生じていること、更に、pF2.5区では土壤水分状態を最適に維持したにも係わらず葉数の低下や抽出葉位の停滞、更には RGR の低下が生じていた。従って、このようなことは実験を行った時期が、通常の栽培条件下で育成したサトウキビでは栄養生長から生殖生長へ変わる季節でもあることから⁶⁾、この様な季節的要因も本実験の結果に影響を及ぼしていたのかも知れない。この点についても今後検討したい。

摘 要

サトウキビ品種 NCo 310 を用い、土壤水分欠乏が給水制限解除後の乾物生産特性に及ぼす影響を調査した。植付け後77日目のサトウキビを pF2.5, 3.5, 3.8, 4.2の土壤水分下で2週間にわたって育て、その後土壤水分を pF2.5に維持したときの生育の様相を22日間にわたって追跡調査した。得られた結果の概要は以下の通りである。

- 1) pF4.2区では生育の回復は殆ど認められなかった (図 1, 2, 3, 4)。
- 2) pF3.8区と pF3.5区では水分処理解除後に茎重や葉重について顕著な回復を示し (図 3), 特に pF3.8区では最上位完全展開葉々位の増加や青葉数などの葉身形質に回復現象がみられた (図 2)。
- 3) 土壤水分処理解除後、相対生長率 (RGR) は pF3.8区で高かった。また、pF3.8区の高い RGR は高い純同化率 (NAR) によっていることが推察された (表 1)。
- 4) 土壤水分処理解除後の RGR の回復は、同化器官の量 (LWR) よりも NAR の増加によっていることが明らかになった。更に、その時の RGR や NAR は梢頭部の含水率と高い負の相関を示した (表 2)。

引用文献

1. Ashton, F. M. 1956. Effects of a series of cycles of alternating low and high soil water contents on the rate of apparent photosynthesis in sugarcane. *Plant Physical*. 31: 266-274.
2. Gates, C. T. 1955. The response of the young tomato plant to a brief period of water shortage. I. The whole plant and it's principal parts. *Aust. J. Biol. Sci.* 8: 196-214.
3. Gates, C. T. 1955. The response of the young tomato plant to a brief period of water shortage. II. The individual leaves. *Aust J. Biol. Sci.* 8: 215-230.
4. 宮里清松・野瀬昭博・村山盛一, 1982. 土壤水分がサトウキビの初期成育に及ぼす影響, 沖縄甘蔗糖年報, 21: 7-15.
5. 仲宗根盛徳, 1975. サトウキビのかんがい栽培における有効水分の範囲に関する試験, 沖縄甘蔗糖年報, 15: 44-52.
6. 野瀬昭博・仲間操・宮里清松・村山盛一, 1987. 栽植密度及び土壤型が夏植え一次株だしサトウキビの生産特性に及ぼす影響, 琉大農学報, 34: 1-10.
7. 山城三郎, 1979. 土壤水分とサトウキビの消費水量, 代表者・藤川武信, 文部省科学研究費, 自然災害特別研究成果. A-54-7. 自然災害科学研究総合研究班, 南西諸島の干ばつに関する研究: 76-83.