

矮性遺伝子利用による干害回避性の付与と水利用の効率化

角明夫*・片山忠夫

(鹿児島大学)

要旨: 稈(茎)長において異なる同質遺伝子系統, ソルガム2系統; Plainsman tall type と Plainsman short type, ダイズ2系統; ヒュウガとヒュウガ矮性系統, 水稻2系統; 銀坊主と短銀をポット栽培し, 正常系統と矮性系統の消費水量(CU)と乾物増加量(ΔW)および収量との関係を比較検討した。CUと ΔW の間にはそれぞれ作物について直線関係が認められた。 $\Delta W=0$ におけるCUは, ダイズ2系統を除いて, 蒸発量(E_s)にほぼ等しかった。蒸散効率($\Delta W/(CU-E_s)$)は矮性遺伝子の有無によってほとんど影響されなかった。 ΔW が大きいかつ蒸散効率(TE)の低かったヒュウガは, 供試作物中最も多量の水を消費した。またこれにはソルガム系統や水稻系統と異なり, 開花期以降 $\Delta W=0$ におけるCUが蒸発量を上回る傾向を示したことも関係した。ソルガム2系統はダイズおよび水稻の2系統よりTEにおいて勝ったものの ΔW が大きく, 結果的に水稻2系統と匹敵するCUを示した。これに対して矮性系統は, 供試した作物の全てで, 正常系統より常にCUが小さかった。加えて, 矮性系統は絶対収量において正常系統に劣るものの, 同一の蒸散量をより効率的に収量生産へと結びつけることが示された。このような矮性系統の特性は干害回避性と水利用の効率化という両面からも有用であろう。

キーワード: 干ばつ回避性, 乾物増加量, 収量, 蒸散効率, 水消費量, 矮性遺伝子。

長期間降雨が少なく, 作物が利用できなくなる水準まで土壤水分量が減少した結果, 根からの吸収と蒸発散量との水分バランスが失われることによって発生するのが干害の一つの形である。しかし, 作物栽培期間中のある時点での耕土層の土壤水分量(M_2)は, 播種時にこの土層中に貯えられていた最初の土壤水分量(M_1)と以後の期間降水量(P)の合計量から蒸散量(E_t), 土壌面蒸発量(E_s), 表面流出量(D)および耕土層とその下の土層との水分交換量(F_n =耕土層下部への浸透量(F_2)-耕土層下部からの毛管上昇水量(F_1))を差し引いたものに等しいので(中山 1992), P の減少量が同じであっても他の水収支項との関係によって干害被害度は大きく変動すると予想される。例えば, 休閑は M_1 を大きくすることによって P の不足を補うことをねらったものであるし, また E_t や E_s , D , F_n を小さくすることによっても M_2 の減少ひいては干害の発生を抑えることは可能である(Loomis and Connor 1992)。

とくに, 開花期のように水ストレスに対して強い感受性を示す生育ステージに土壤水分枯渇の状態に陥ると作物生産にとって致命的な被害をこうむる(Loomis and Connor 1992)ので, 降雨の不安定な地域においては予め干害が発生するような土壤水分状態とならないような栽培計画をたてたほうが干害対策としては効果的な場合が多い。乾物生産量と E_t の間に認められる比例関係(Tanner 1981, 角・片山 2000)は乾物生産量を調節することによって E_t を制御することが可能であることを示しており, 降雨の量と季節配分に対する信頼性がともに低い熱帯半湿潤~半乾

燥地域での天水農業にあつて採用される疎植や窒素を中心とする施肥を抑制した栽培法(Loomis and Connor 1992)はその好例である。しかしこれらの栽培法では, 乾物生産量の低下が直ちに減収へと結びついてしまうのが欠点である。乾物生産量の低下を伴わずに E_t を減少させるための一つの手段は, 乾物生産量と消費水量の間の比例係数(乾物生産量/蒸散量, 蒸散効率)の高い作物種を採用することである(Blackら 1969, Loomis and Connor 1992, Teareら 1973)が, 著者らはさらに矮性遺伝子が乾物生産力の低下を誘導する(Bush and Evans 1988, 星野ら 1978, 広田・武田 1988)一方で収穫指数の向上をもたらす(Allan 1983, Austinら 1980, Kulshrestha and Jain 1982, 梅崎ら 1988)との特性に着目した。何故なら, これら特性のうち乾物生産力の低下は E_t の減少へと連動し, また収穫指数の向上は乾物生産量の低下に付随する減収を緩和するのに寄与するからである。これらの特性を有した作物/系統は, 干ばつ年でも M_2 の減少が緩慢で干害発生の危険性が小さいという意味で潜在的に干ばつ回避性を備えていると考えられるし, またこの場合 E_t が少ない作物/系統ほど干ばつ回避性に勝れていると判断される。土壤水分量の減少速度は蒸発散量が土壤水分条件によって制限されない段階(恒率蒸発散過程)において大きく(内島 1995), また土壤水分の減少によって E_t が抑制される段階(減率蒸発散過程)にあることは作物がすでに水ストレスの状態にあることにほかならないので, 上述した意味での干ばつ回避性は恒率蒸発散過程での E_t を比較することによって評価したほうが有益であろう。さらに, 乾物生産量

2001年2月9日受理。*連絡責任者(〒890-0065 鹿児島市鹿大農学部。Fax 099-285-8549)本研究の一部は文部省科学研究費(No.02760010)による。

第1表 測定開始からの積算蒸発散量の作物・系統間比較.

品種・系統名	測定開始日からの積算蒸発散量 ¹⁾ (kg pot ⁻¹)						
	20日目	40日目	60日目	80日目	100日目	120日目	140日目
ヒュウガ	12.44a	29.49a	43.20a	67.72a	78.29a	98.26a	104.77a
ヒュウガ矮性	9.27c	21.23c	34.70b	49.05b	56.32b	78.18b	78.96b
Plainsman tall type	11.26b	23.26b	29.96c	37.22c	44.54c	47.59c	53.90c
Plainsman short type	9.61c	18.85d	24.89d	29.25d	33.98d	36.91d	41.56d
銀坊主	7.19d	16.41e	25.91d	35.67c	40.62c	45.31c	51.09c
短銀	5.96e	14.35f	21.36d	26.78d	30.97d	36.93d	42.33d
裸地面蒸発量	4.34	7.91	10.32	12.69	14.30	17.36	19.66

1) 各測定日について同一アルファベットのついた平均値間には Newman-Keuls test による 5%水準の有意差なし.

と E_t の間の比例関係は全乾物重の増加パターンそのものが M_2 の減少の様相と密接に関わっていることを示唆しており、この点でも E_t の測定はそのポテンシャル量を与える条件で行ったほうが有意義である。

本研究では、干害が発生するような低土壌水分状態に導かないことが最大の干害対策であるという考え方にたつて、ポテンシャルの消費水量を与える孤立条件かつ土壌水分域に維持した条件下で、蒸散効率の異なる3種の作物の矮性系統と正常系統の水消費過程を比較した。その結果、矮性系統は正常系統より安定して E_t が小さいこと、また E_t が同じであれば矮性系統のほうがより効率的に収量生産に結びつくことが示唆されたので報告する。

材料と方法

実験は、1990年6月1日から11月18日にかけて、鹿児島大学農学部附属農場に設置した雨除けビニールハウスで実施した。

供試作物としてC4作物であるソルガムの2系統 (Plainsman tall type と Plainsman short type) と、C3作物であるダイズの2系統 (ヒュウガとヒュウガ矮性系統) およびイネの2系統 (銀坊主と短銀) を用いた。Plainsman tall type と Plainsman short type, ヒュウガとヒュウガ矮性系統および銀坊主と短銀はそれぞれ稈 (茎) 長において異なる同質遺伝子系統と考えられるものであり、矮性系統の正常系統の稈 (茎) 長からの矮化率は登熟期間中の平均値でそれぞれ 57, 43 および 38%であった。

6月1日に、ジフィーセブン (播種用資材) に種子を一粒ずつ置床後定植日まで育成した苗を、5 mm 以下に篩い分けした砂壤土を乾土重量で 10.25 g ずつ詰めた 15 L 容量のプラスチック容器に、ダイズ2系統を6月14日に、ソルガム2系統を6月16日に、またイネ2系統を6月24日に1個体/ポットで定植し、それぞれの系統に対して50ポットを用いた。施肥量は8:8:8の複合化成肥料を、基

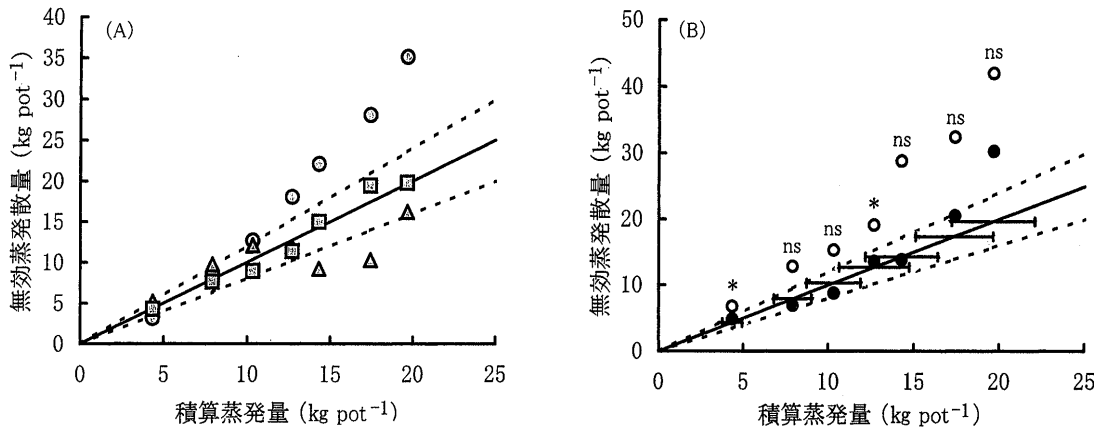
肥としてポット当たり 5 g ずつ与え、ソルガムとイネに対してはさらに7月25日と8月14日に各 5 g ずつを追肥した。ダイズに対しては追肥を行わなかった。

7月1日から11月18日まで給水前後のポット重量を全ポットを対象に測定し、前回の給水直後におけるポット重量からの減少量 (ΔPW) を蒸発散による損失量とみなした。ただし、植物生体重の増加分だけは蒸発散量を過小評価することになるので、ここでは測定開始から各調査日までの ΔPW の積算値に同期間中の植物生体重の増加量を加えることによって消費水量 ($E_t + E_s = CU$) とした。なお、イネ2系統は常時湛水とし、またソルガムとダイズに対しての灌水は土壌水分含量 (乾土%) を 45% (-0.004 MPa) から 30% (-0.05 MPa) の範囲に維持するように行った。また、植物体を植え付けなかった9ポットからの水分損失量を測定し、蒸発量 (E_s) とした。ここで土壌水分を上記の範囲に維持したのは、既往の結果 (角・片山 2000) から、この範囲であれば E_s が土壌水分に影響されないと判断されたからである。また、ポットは疎に配置し、さらに灌水時ごとにポット位置を置き換えることによって相互遮蔽の影響および位置の違いの影響が最小となるように配慮した。

消費水量の測定を開始した7月1日に、全系統の5個体ずつを対象として1回目の掘り取り調査を行い、生体重 (根を含む) と葉面積を測定すると共に、85°Cで72時間以上通風乾燥後の重量を秤量して乾物重とした。以後20日ごとに11月18日まで同様の調査を計8回実施した。また、最終調査時の個体を対象に収量調査を行った。

結果と考察

第1表に、7月1日以後の積算蒸発散量 (CU) の推移を示した。測定開始後20日目までのCUはヒュウガ > Plainsman tall type > Plainsman short type = ヒュウガ矮性 > 銀坊主 > 短銀の順であり、ソルガム2系統のCUはダイズ2系統のそれと同程度であり、またイネ2系統より明



第1図 裸地面からの積算蒸発量と無効蒸発量との関係。

両図とも、積算蒸発量と無効蒸発量の変化は測定開始後の日数の増加による（左から測定開始後20日目、40日目、60日目、80日目、100日目、120日目、140日目）もので、図中の実線と点線は1:1の対応線とその±20%誤差の範囲を示す。また横線の範囲は各測定日における積算蒸発量の95%の信頼区間を表す。

(A) ●, ▲, ■ はそれぞれヒュウガとその矮性系統, Plainsman tall type と short type, および銀坊主と短銀を示す。

(B) ヒュウガ (○) とヒュウガ矮性系統 (●) における関係。* はそれぞれ両系統の間に5%水準の有意差あり。ns は有意差なし。

らかに大きかった。測定開始後40日目において、Plainsman tall type のCUはヒュウガより小さかったもののヒュウガ矮性よりは幾分か大きく、また銀坊主や短銀より有意に大きかった。以後、CUにおける作物/系統間の大小関係は測定時期によって多少変動するが、80日目以後は概してヒュウガ>ヒュウガ矮性>Plainsman tall type≒銀坊主>Plainsman short type≒短銀の順であった。以上の結果から、①ヒュウガは供試系統中最も水多消費型の系統であったこと、②C₃作物のCUがC₄作物より大きいとは必ずしも結論できないこと、③矮性系統のCUは正常系統より安定して小さかったことの3点が指摘できる。

測定開始日からの全乾物増加量 (ΔW) とCUとの関係を検討したところ、いずれの作物/系統に対しても ΔW とCUとの間には高い正の相関関係が認められ、また各々の測定日ごとに整理した場合において両者の間には次式の直線関係が認められた。

$$\Delta W = a \times (CU - b) \quad (1)$$

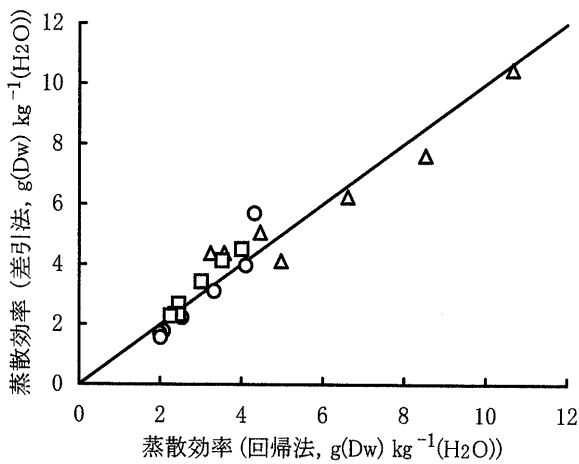
ここで、aは蒸散効率（全乾物増加量/蒸散量、TE）であり、またbは全乾物重の増加と無関係に消費された水分損失量（無効蒸発量）を表す。すなわち、第1表に示されたようなCUにおける作物/系統間差異は、TE(a)、 ΔW およびb値の違いから説明できる。

第1図に、裸地面からの積算蒸発量 (E_s) と(1)式におけるb値との関係を示した。ダイズでは測定開始後80日目からb値が E_s を大きく上回るようになり、またソルガムでは100日目と120日目におけるb値が E_s より過小評価されたものの、それらを除くとb値は E_s とほぼ一致した(第1図A)。さらに、ダイズにおいてもヒュウガ矮性系統のみから得られたb値は140日目を除いて E_s とほ

ぼ等しかった(第1図B)。ダイズ、とくに後述するように ΔW が大きく結果的により多量の窒素供給を必要とするヒュウガでb値が E_s を上回るようになったのは、そのような傾向が根粒菌による窒素固定量が最大となる開花期以降において明瞭となり始めたこと(Zapataら1987)、そして窒素固定に必要なエネルギー源は同化産物の一部から供給されること(Ryleら1979)から推測して、根粒菌による窒素固定と密接に関連したものであったと考えられる。付言するならば、窒素固定のために消費された同化産物量の減少分だけb値を E_s より過大評価することになったと推測される。この推察は、ダイズを少肥条件と多肥条件で栽培し、多肥条件での根粒重が少肥条件での約1/10まで低下したとき、TEに有意差は認められなかったもののb値が多肥条件で有意に小さかった(未発表データ)ことから支持される。ちなみに正常系統と矮性系統の(1)式の回帰式間には有意差が認められない場合が多く、またダイズを除いてb値に系統による一定の傾向は認められなかった。以上のことから、土壤面蒸発量は植物の被覆程度によって影響されるものの(中山1975, Sakuratani 1987)、孤立条件で栽培した本実験での土壤面蒸発量は E_s にほぼ等しかった(角・片山2000)と仮定した。第2図に、(1)式におけるa値と $\Delta W / (CU - E_s)$ によって算出したTEとの関係を示した。両者の間には高い正の相関関係 ($r^2 = 0.928^{**}$) が認められ、かつ1:1の対応関係にあったことから上記の仮定は支持されよう。

第2表に、 $\Delta W / (CU - E_s)$ によって算出した測定開始日から各測定日までのTEの推移を示した。ここで、TEは期間中の蒸発要求の違いを考慮するために(Fischer and Turner 1978)、 3 mm day^{-1} の日平均蒸発速度

のときに換算して示した。従来から指摘されているように、C₄作物であるソルガムのTEは全期間を通してC₃作物であるイネやダイズより高く推移した(Blackら1969,



第2図 回帰法と差引法によって求めた蒸散効率の比較。
回帰法による蒸散効率は消費水量(CU)と全乾物増加量(ΔW)の間の回帰係数を、また差引法による蒸散効率はΔW/(CU-裸地面蒸発量)を表す。記号は第1図に同じ。

Loomis and Connor 1992, Teareら1973)。また、ダイズでは測定開始後80日目以降とくに低い値となったが、これは上述したように窒素固定のための同化産物消費のためであろう。次に正常系統と矮性系統を比較してみると、矮性遺伝子の有無によるTEの違いに一定の傾向は認められない。(1)式におけるa値を比較した場合、まれに正常系統より矮性系統のほうで低い場合がみられたが、本法による期間平均値はヒュウガの2.86に対してヒュウガ矮性の2.86, Plainsman tall typeの5.96に対してPlainsman short typeの6.12, 銀坊主の3.02に対して短銀の3.16と差は小さく、むしろ矮性系統のほうで高い傾向にある。以上の結果から、TEに及ぼす矮性遺伝子の影響もさほど大きくないと判断される。それよりも時間の経過に伴うTEの低下傾向が明瞭であったが、これは生育に伴う非同化器官の割合の増大とそこからの呼吸量の増大と水分放出量の増大によると考えられる。

第3表に、全乾物重の推移を示した。測定開始後20日目における全乾物重は、Plainsman tall type>Plainsman short type>ヒュウガ>ヒュウガ矮性>銀坊主≧短銀の順

第2表 測定開始日からの平均蒸散効率¹⁾の作物・系統間比較。

品種・系統名	測定開始日からの平均蒸散効率 ²⁾ (g(Dw) kg ⁻¹ (H ₂ O))						
	20日目	40日目	60日目	80日目	100日目	120日目	140日目
ヒュウガ	5.32c	4.02c	3.15c	2.31c	1.84d	1.74d	1.64d
ヒュウガ矮性	6.08b	3.92c	3.06b	2.15c	1.72e	1.66d	1.49e
Plainsman tall type	10.32a	7.87a	6.25a	4.98a	4.21b	4.15b	3.95b
Plainsman short type	10.64a	7.38b	6.24a	5.14a	4.53a	4.59a	4.28a
銀坊主	4.26c	3.99c	3.34bc	2.63b	2.34c	2.35c	2.26c
短銀	4.75c	4.26c	3.51b	2.72b	2.31c	2.29c	2.31c

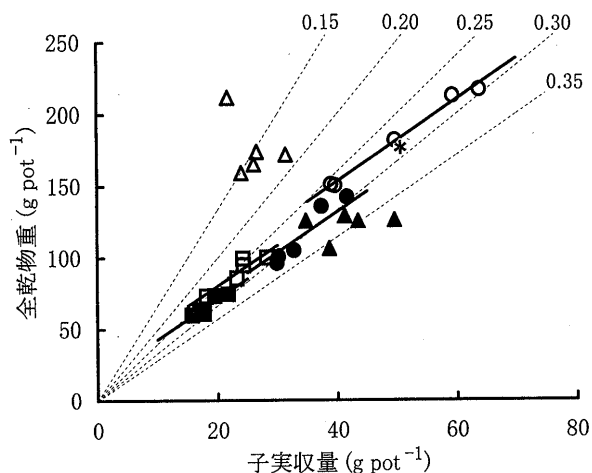
1) 平均蒸散効率は、全乾物増加量/{(蒸発散量-裸地面蒸発量)×(178/蒸発速度)}によって算出した。ここで、蒸発速度(g H₂O pot⁻¹ day⁻¹)は測定開始日から各測定日までの平均値で、また178(g H₂O pot⁻¹ day⁻¹)は3 mm day⁻¹に相当する。

2) 各測定日について同一アルファベッドのついた平均値間にはNewman-Keuls testによる5%水準の有意差なし。

第3表 測定開始日からの全乾物重の推移。

品種・系統名	測定開始後の各日における全乾物重 ¹⁾ (g pot ⁻¹)							
	0日目	20日目	40日目	60日目	80日目	100日目	120日目	140日目
ヒュウガ	4.82a	39.98c	82.85b	112.38b	147.86a	151.71a	179.01a	182.53a
ヒュウガ矮性	3.19c	27.83d	50.01c	80.12c	90.98b	93.09c	127.68b	116.02b
Plainsman tall type	4.44ab	63.27a	113.18a	131.97a	141.39a	162.86a	157.91a	176.27a
Plainsman short type	3.95b	49.74b	76.93b	97.93b	98.89b	115.44b	114.21b	122.57b
銀坊主	0.22d	10.16e	30.82d	53.94d	67.92c	76.95c	81.12c	90.52c
短銀	0.16d	6.49e	24.89e	40.22d	43.19d	48.32d	55.31d	66.50c

1) 各測定日について同一アルファベッドのついた平均値間にはNewman-Keuls testによる5%水準の有意差なし。

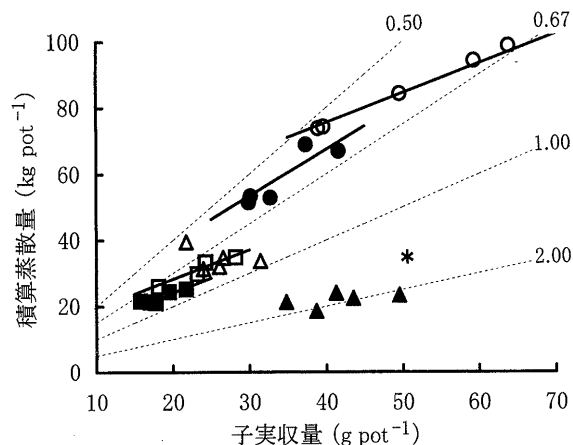


第3図 子実収量と全乾物重との関係。

○と●はヒュウガとヒュウガ矮性系統, △と▲は Plainsman tall type と Plainsman short type, □と■は銀坊主と短銀を, また(*)は Plainsman tall type に不稔が発生しなかった場合の推定収量を示す。図中の点線はそれぞれ収穫指数(収量/全乾物重)が0.15, 0.20, 0.25, 0.30 および0.35 ($g\ g^{-1}$) のときの関係を表す。

であり, ソルガム2系統の初期生育がとくに旺盛であった。測定開始後80日目以降, Plainsman tall type とヒュウガ, および Plainsman short type とヒュウガ矮性との全乾物重の差異は不明瞭になったが, これは供試したダイズ2系統が秋ダイズで登熟までの生育期間が長かったのに対して, ソルガム2系統ではすでにこの時期に成熟期に至っていたことによる。一方, いずれの組み合わせでも正常系統と矮性系統の間における全乾物重の差異は比較的明瞭で, 正常系統に対する矮性系統の測定開始日からの ΔW の割合は全生育期間中の平均値で $65.6 \pm 5.2\%$ (ヒュウガに対するヒュウガ矮性系統), $71.2 \pm 3.7\%$ (Plainsman tall type に対する Plainsman short type), $69.6 \pm 6.9\%$ (銀坊主に対する短銀) と矮性系統の ΔW は正常系統より常に小さかった。

降雨依存型の作物生産にあって降雨による土壤水分補給がなされない場合には, 蒸発散に伴う水分損失量が大きいほど土壤の乾燥は促進される。土壤が乾燥すると反作用的に蒸発散量は減少し土壤の乾燥は抑制されることになるが, これは作物が水ストレス状態に入ったことにほかならず, 程度の差はあれ, 収量の減少は避けがたい。このことは最適土壤水分域での蒸発散量が小さいことは潜在的な干害回避性を伴っていることを示唆している。ダイズとソルガムのTEを比較したTeareら(1973)は, ソルガムのTEはダイズの約3倍であり, 気孔による蒸散の制御が迅速なソルガムはダイズのように速やかに土壤水を枯渇させることはなかったと報告している。本実験においてもソルガム品種 Plainsman tall type の水消費量はダイズ品種ヒュウガより小さいことが確認されたが, イネ品種銀坊主のそれとは異ならず, 生育初期においてはむしろ銀坊主より Plainsman tall type のほうが大きい(第1表)。すなわ



第4図 子実収量と積算蒸散量との関係。

積算蒸散量は積算蒸発散量と裸地面からの積算蒸発量の差。点線はそれぞれ収量/蒸散比が0.50, 0.67, 1.00 および2.00 ($g(Dw)kg^{-1} (H_2O)$) のときの関係を表す。記号は第3図に同じ。

ち, TEの大きいことは水消費量の減少のための必要条件ではあっても十分条件とはなっていない。これは(1)式および第3表の結果からわかるように ΔW が Plainsman tall type で大きいためである。秋ダイズ品種であるヒュウガは成熟に至るまでの生育期間が Plainsman tall type より長く, 最終的にその ΔW に接近したが, 一般的にはC3よりC4作物のほうで乾物生産力は大きいとみなされる(Murata 1981)。C4作物にみられるこのような一般的特性はTEが高いという消費水量の減少に果たす効果を相殺するものである。

これに対して, いずれの作物でも矮性系統は正常系統より常に ΔW が小さく, またCUも小さかった。矮性系統の乾物生産力が正常系統より劣ることは作物群落での光利用(星野ら1978)や CO_2 拡散の側面(広田・武田1988)からの生態的検討がなされてきたが, そのような機構が関与しがたい孤立条件下でも同様の結果が得られたことは矮性化に伴う乾物生産力低下, およびそれに付随したCUの減少が生理的必然性をも伴った極めて安定性の高い現象であることを示している。これは, 矮性化が土壤の乾燥を遅延させる, すなわち干害回避性の観点からも評価されるべきことを意味する。

第3図に, 最終調査日における子実収量と全乾物重との関係を示した。後述する原因で不稔が発生した Plainsman tall type を除いて, 子実収量と全乾物重の間には正の相関関係が認められた。不稔の多発した Plainsman tall type で収穫指数(HI)が低かったのは当然のことであるが, ソルガムの組み合わせを除いて比較してもHIは正常系統よりも矮性系統のほうで高かった($F=8.69^{**}$)。これは, 子実生産のために要する最小乾物重(第3図の直線関係におけるy切片)が矮性系統で小さいことが関係している。なお, Plainsman tall type における不稔は, 出

穂が高温期に遭遇しかつ穂が高温空気の溜まりやすいハウス上部に位置したことから高温不稔によるものと考えられた。

不稔が発生した Plainsman tall type を除いて、蒸散量 ($CU - E_s, E_t$) と子実収量の間にも直線関係が認められた (第4図)。矮性系統は正常系統よりも絶対収量において劣るものの同一収量を得るのに必要な E_t が小さく、ヒュウガとヒュウガ矮性、また銀坊主と短銀のそれぞれの回帰式の間には‘高さ’においてそれぞれ有意差 (5%水準) が見出された。Plainsman tall type の収量は Plainsman short type の約1.2倍であったとする測定結果 (星野ら1978) に基づいて推定してみると (第4図における*印)、Plainsman においてもやはり同一収量を得るのに必要な E_t は short type で小さい。この違いは第3図に示された y 切片の差異に相当すると考えられる。すなわち、 CU は子実収量ではなく ΔW に比例するため、子実生産のために要する全乾物重の小さい矮性系統ではそれだけ同一収量を得るのに要する CU を抑えることができるのであろう。

これまで、矮性遺伝子は多肥密植栽培と結びつけた多収性追求のために利用されることが多かったが、ここでは矮性遺伝子を、干害多発地域で安定性を確保するためのコストとして要求される収量低下の犠牲を最小にするために、すなわち土壤の乾燥を遅延させることによって干害発生の危険度を軽減させると同時に水消費をより効率的に収量生産に結びつけることに利用できる可能性が示された。そのためには矮性系統の利用を多収をねらった多肥密植栽培と結びつけないことが一つの前提となる。この場合、矮性系統は一般に正常系統より葉面積が小さい (例えば本実験の葉面積最大期において、ヒュウガ矮性系統はヒュウガの75%、Plainsman short type は Plainsman tall type の76%、短銀は銀坊主の93%) ので群落条件では土壤面蒸発量が大きくなる可能性がある (中山1975, Sakuratani1987) が、これは防風施設法や被覆法、さらには除草を兼ねた地表面浅耕による土壤毛管構造の遮断 (真木1991) などの栽培管理技術を付加的に採用することによって対処できよう。

謝辞: 本実験に用いた系統の種子は、九州大学教授廣田修博士 (Plainsman tall type と Plainsman short type)、三重大学助教授梅崎輝尚博士 (ヒュウガとヒュウガ矮性系統)、および農業生物資源研究所 (銀坊主と短銀) からご恵与いただいたものである。記して謝意を表す。

引用文献

- Allan, R.E. 1983. Harvest indexes of backcross-derived wheat lines differing in culm height. *Crop Sci.* 23: 1029-1032.
- Austin R.B., J. Bingham, R.D. Blackwell, L.T. Evans, M.A. Ford, C.L. Morgan and M. Taylor 1980. Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *J. Agric. Sci., Camb.* 94: 675-689.
- Black, C.C., T.M. Chen and R.H. Brown 1969. Biochemical basis for plant competition. *Weed Sci.* 17: 338-344.
- Bush, M.G. and L.T. Evans 1988. Growth and development in tall and dwarf isogenic lines of spring wheat. *Field Crops Res.* 18: 243-270.
- Fischer, R.E. and N.C. Turner 1978. Plant production in the arid and semiarid zones. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 29: 277-317.
- 広田修・武田友四郎 1988. 作物の群落構造と物質生産 —受光および CO_2 拡散— V. グレインソルガムの草高が群落光合成に及ぼす影響. *九大農芸誌* 42: 137-151.
- 星野次汪・氏原和人・四方俊一 1978. グレインソルガムの稈長の差異が乾物生産および収量に及ぼす影響. *日作紀* 47: 541-546.
- Kulshrestha, V.P. and H.K. Jain 1982. Eighty years of wheat breeding in India: past selection pressures and future prospects. *Z. Pflanzengchtg.* 89: 19-30.
- Loomis, R.S. and D.J. Connor 1992. *Crop ecology: productivity and management in agricultural systems.* Cambridge University Press, Cambridge. 1-538.
- 真木太一 1991. 干害. 真木太一・鈴木義則・鴨田福也・早川誠而・泊功編, *農業気象災害と対策.* 養賢堂, 東京. 138-164.
- Murata Y. 1981. Dependence of potential productivity and efficiency for solar energy utilization on leaf photosynthetic capacity in crop species. *Jpn. J. Crop Sci.* 50: 223-232.
- 中山敬一 1975. 畑地の水管理方法, 特に土壤面蒸発の抑制に関する実験的研究. *千葉大学園芸学部特別報告* 12: 1-126.
- 中山敬一 1992. 降水, 蒸発散と水収支. 堀口郁夫編, 新版 *農業気象学.* 文永堂, 東京. 38-48.
- Ryle, G.J.A., C.E. Powell and A.J. Gordon 1979. The respiratory costs of nitrogen fixation in soybean, cowpea, and white clover. *J. Exp. Bot.* 30: 135-144.
- Sakuratani, T. 1987. Studies on evapotranspiration from crops. (2) Separate estimation of transpiration and evaporation from a soybean field without water shortage. *J. Agr. Met.* 42: 309-317.
- 角明夫・片山忠夫 2000. 土壤水分に対するソルガムの初期生育反応に及ぼす窒素施肥と日射の影響. *日作紀* 69: 513-519.
- Tanner, C.B. 1981. Transpiration efficiency of potato. *Agron. J.* 68: 59-64.
- Teare, I.D., E.T. Kanematsu, W.L. Powers and B.S. Jacobs 1973. Water-use efficiency and its relation to crop canopy area, stomatal regulation and root distribution. *Agron. J.* 65: 207-211.
- 内島善兵衛 1995. 耕地の微気象. 坪井八十二編, *農業気象学.* 養賢堂, 東京. 141-195.
- 梅崎輝尚・松本重男・島野至 1988. ガイズの矮性系統に関する研究. 第1報 ヒュウガ矮性系統の生育特性と遺伝様式について. *日作紀* 57: 512-521.
- Zapata, F., S.K.A. Danso, G. Hardarson and M. Fried 1987. Time course of nitrogen fixation in field-grown soybean using nitrogen-15 methodology. *Agron. J.* 79: 172-176.

A Grant of Drought Avoidance and Efficient Water Use because of Dwarfing Genes Utilization : Akio SUMI and Tadao C. KATAYAMA (*Fac. of Agr., Kagoshima Univ., Kagoshima 890-0065*)

Abstract : Tall and dwarf isogenic lines of sorghum (Plainsman tall type and Plainsman short type), soybean (Hyuga and Hyuga dwarf line), and rice (Ginbozu and Tangin) were grown by using 15 L containers to compare the relationships between consumptive use (CU) and dry matter increase (ΔW) and the yield between them. The linear relationships were found between CU and ΔW . CU at $\Delta W=0$ was nearly equal to evaporation (E_s), except for two soybean strains. Transpiration efficiency ($\Delta W/[CU-E_s]$) did not differ significantly between tall and dwarf isogenic lines. Hyuga consumed the largest amount of water because it had large ΔW and low transpiration efficiency (TE) and larger CU at $\Delta W=0$. Two sorghum strains did not differ in CU from Ginbozu and Tangin because of their larger ΔW , respectively, though they had the highest TE. Dwarf lines were always smaller in CU than tall lines were in all the examined crops. Furthermore, they were inferior to tall lines in the absolute yield, but they tended to be less in CU to achieve the same yield. These characteristics of dwarf lines will be useful in both viewpoints of the avoidance of drought injury and the efficient use of water.

Key words : Consumptive use, Drought avoidance, Dry matter increase, Dwarfing genes, Transpiration efficiency, Yield.
