

平成 21 年 5 月 31 日現在

研究種目：若手研究 (A)  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18688019  
 研究課題名 (和文) 水欠乏下で植物の生産性を高める切葉栽培技術の理論解明と効果の評価  
 研究課題名 (英文) Theoretical analysis and empirical tests on effects of defoliation that alleviate loss of production in droughted crops.  
 研究代表者  
 荒木英樹 (ARAKI HIDEKI)  
 山口大学・農学部・助教  
 研究者番号：90346578

## 研究成果の概要：

水欠乏条件下でも、作物の生産性を高める可能性がある切葉技術に着目し、切葉技術による乾物生産力の向上を説明する理論解明、ならびに海外現地試験場における切葉技術の効果検証を行った。切葉処理は、残葉のガス交換速度や水分状態を良好に保つことによって、光合成速度を高く維持すること、条件によっては個体のバイオマスや収量が高くなった。これらの効果は、土壌、植物、大気の水移動経路モデルによって説明できる可能性を示した。

## 交付額

(金額単位：円)

|         | 直接経費       | 間接経費      | 合計         |
|---------|------------|-----------|------------|
| 2006 年度 | 4,700,000  | 1,410,000 | 6,110,000  |
| 2007 年度 | 4,800,000  | 1,440,000 | 6,240,000  |
| 2008 年度 | 1,700,000  | 510,000   | 2,210,000  |
| 年度      |            |           |            |
| 年度      |            |           |            |
| 総計      | 11,200,000 | 3,360,000 | 14,560,000 |

## 研究分野：農学

科研費の分科・細目：境界農学・環境農学

キーワード：バイオマス，水利用率

## 1. 研究開始当初の背景

世界規模でみた場合、食料生産を保障するための水資源は今世紀中に危機的な状態に陥ることが確実視されている。この問題は、穀物や牧草生産のような大規模で粗放的な栽培体系において顕著である。乾燥地の水資源を持続的に保全しつつ農民の生活水準を向上させるためには、作物生産において水利用率を飛躍的に向上させる新たな作物栽培体系を創出することが急務である。

## 2. 研究の目的

本申請では、水欠乏下で高い食料・バイオマス生産を達成する画期的な栽培技術を提案する。具体的には、「数枚の上位葉を残して下位葉を全て切除する」だけの作業である。この切葉技術によって、葉からの水損失量を削減し、土壌に残った水を上位葉に集中させることで、少ない葉でむしろ高いバイオマス生産を達成するというアイデアである。この切葉技術の効果が期待できる条件を特定する理論を確立するための基礎的研究として、1) 切葉処理した個体の水消費とバイオマス生産の動態を精査し、乾物増加に至るプロセ

スを明らかにする、ならびに、2) 節水やバイオマス生産における切葉の効果を経験的な水環境の中で算出する水理学的シミュレーションモデルを構築する、ことを目的に研究を行った。

### 3. 研究の方法

#### (1) 国内試験

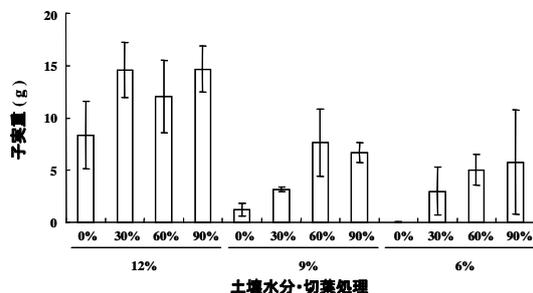
ソルガムを人工気象室（鳥取大学乾燥地研究センター）や雨よけ圃場、およびポットで栽培した。開花期前後に、切葉強度を異なる個体を設け、乾燥ストレスを与えた。処理後から、日中の個体全体の水消費速度や個葉の光合成速度、気孔開度、水ポテンシャル（水分状態の指標）、乾物生産量などのパラメータを経時的に測定した。切葉程度が異なる個体間で以上のパラメータを比較することによって、切葉した個体は、少ない葉面積でも残葉の気孔開度やCO<sub>2</sub>同化活性を高くして、個体全体のガス固定速度を高く維持するとともに、登熟期間中に早期の枯れ上がりなどを回避することによって、バイオマスや収量を高く維持することを確認する。

#### (2) 国外圃場試験

現地フィールドにおいて、圃場レベルでの切葉処理の効果および耕地の水収支を調査した。国際熱帯農業研究所（ナイジェリア）および国際熱帯半乾燥地農業研究所（インド）、中国科学院石家庄農業現代化研究所（中国河北省）において、ソルガムやトウモロコシ、コムギを栽培した。国内実験と同様に切葉強度や土壤乾燥程度を変化させ、個体の乾物生産量や群落内気象および土壤水分の推移を観測した。現地の気象条件および土質などを加味して、切葉処理による個体および群落内の水移動に関連する水理学的パラメータを調査した。

### 4. 研究成果

#### (1) 国内試験



第1図 ポットで栽培したソルガムの子実収量。横軸の百分率は、全葉面積のうち切葉処理によって切り落とした葉面積を示す。

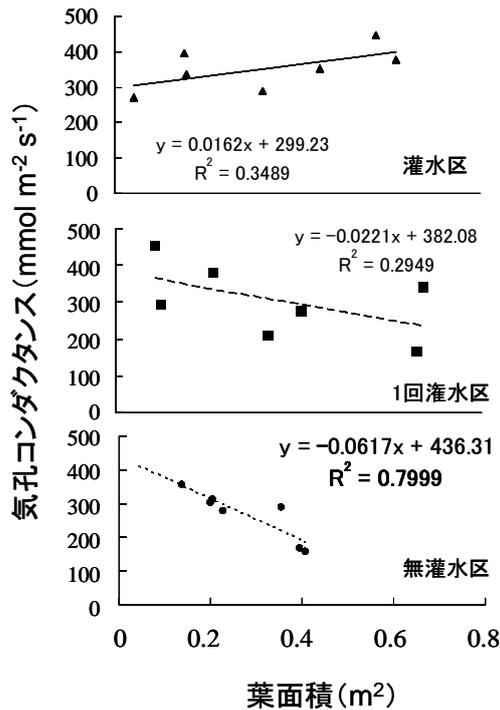
ポットで栽培したソルガムにおいて、穂ばらみ期に切葉した個体では、弱乾燥ストレス区と強乾燥ストレス区で切葉による子実収量の増加がみられた（第1図）。この収量の増加は100粒重ではなく、粒数の増加に起因していることから、切葉は土壤乾燥ストレスによる不稔を軽減することでシンク容量を高く維持する効果があると推察された。また、土壤乾燥ストレス条件下では切葉によって葉面積が減少しても乾物生産量がむしろ増加し、収穫指数も高くなった。以上の結果から、切葉処理を施したソルガムでは、水欠乏ストレス条件下でも、収穫部分の発達を維持されやすくなり、収量の損失を軽減するという効果があることが確認できた。

さらに、上記の収量形成における切葉処理の効果と密接に関係すると予想される効果、すなわち、切葉処理が植物体の水分状態やガス交換速度、光合成速度を精査するため、ポット試験や雨よけ圃場でのソルガム栽培試験を行った。

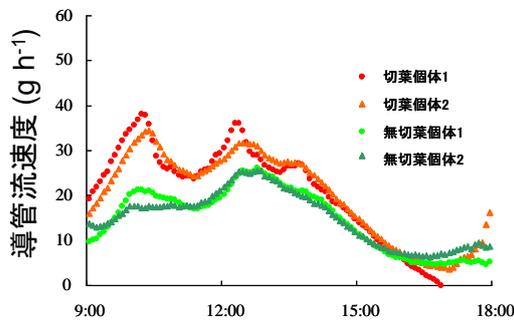
ポット試験では、土壤体積含水率が12%、9%、6%となるように水分損失分を補うように灌水した。その結果、理期間中の総灌水量はいずれの水分処理区においても切葉処理の強度によって水分消費量には違いがみられなかった。しかし、ストレス期間中のバイオマス生産量には違いがあったため、バイオマス/水消費量から求められる水利用効率は、切葉強度が増すにつれて向上した。とくに強乾燥ストレス区ではその傾向が顕著であった。切葉時期にかかわらず、湿潤区における光合成速度や気孔コンダクタンスが切葉処理区間で顕著な差は認められなかったが、弱乾燥ストレス区では切葉強度が増すにつれて高くなる傾向を示し、強乾燥ストレス区では90%切葉区のみが高い値を示した。

大型のドレインベッドを使用した栽培試験では、出穂後の灌水を2日おき程度に行う灌水区、収穫期までに1回のみ灌水する1回灌水区、全く灌水しない無灌水区を設けた。乾燥ストレスが厳しくなるにしたがって、気孔コンダクタンスの低下、すなわち気孔開度の低下が認められた。しかし、切葉処理を施した個体群では、切葉強度が強くと葉面積が小さくなった個体ほど気孔コンダクタンスが高くなった（第2図）。また、その傾向は、土壤乾燥が厳しくなるにしたがってより明確化した。以上のことから、切葉処理には葉の気孔開度を高く維持させる効果があることがわかった。また、ソルガムの気孔は、葉身の水分状態と高い相関関係があることから、切葉処理によって葉の水分状態が比較的良好に維持でき、気孔開度を維持するものと推察された。

個体あたりの一次生産速度は、固定された総に比例する。そして、その総CO<sub>2</sub>固定量は、



第 2 図 ドレインベッドで栽培したソルガムの気孔コンダクタンス。乾燥処理開始 33 日後 (2006 年 11 月 8 日) に最上位展開葉のコンダクタンスをポロメータで測定した。線はデータの近似曲線を表す。



第 3 図 国内試験圃場において、弱ストレス区で栽培したソルガムの一日の水消費速度。赤系と緑系の凡例はそれぞれ切葉個体と無切葉個体の測定結果を示す。

単位葉面積あたりの  $\text{CO}_2$  交換速度と葉面積との積によって決まる。そこで、圃場で栽培したソルガムでは、1 個体当たりの水消費速度 (=蒸散速度) をガス交換速度の指標として、乾燥ストレス条件下における個体当たりのガス交換速度の推移を観察した。水消費速度の測定には、茎基部の木部を通過する導管流をヒートバランス法に基づくサップセンサーで測定した (第 3 図)。蒸散速度が低くな

った曇り日や乾燥が極めて強くなった測定日を除いて、切葉した個体では水消費速度が高く推移した。土壌の水分含率に大きな違いはなかった。このことから、切葉した個体では根圏での急激な乾燥が起こりにくく、残葉に効率的に水が輸送できるため、気孔開度を高く維持することが可能となり、ガス交換速度を高く維持することができたと考えられた。

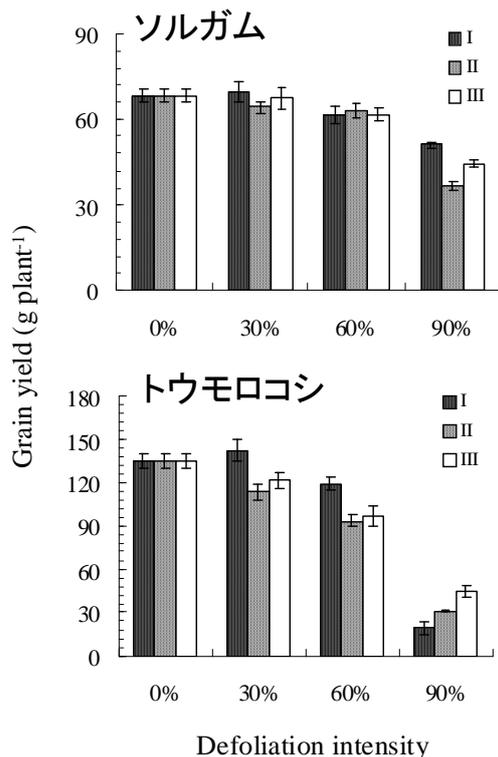
## (2) 国外試験

中国で実施した試験では、コムギ、トウモロコシ、ソルガムを供試した。実験は、2006 年の夏作 (ソルガムとトウモロコシ) から 2007-2008 年のコムギまで行った。春の登熟期に乾燥ストレスが生じるコムギ栽培では、切葉程度が小さい処理区で、やや収量が高まる傾向が認められた。気孔コンダクタンスや光合成速度、水消費速度を測定したが、いずれも国内試験と同様の傾向が認められた。トウモロコシやソルガムでは、乾燥ストレスがかからなかった。すなわち、葉の気孔コンダクタンスは切葉した個体で高く、光合成速度も高くなった。その傾向は乾燥強度が強い試験区ほど明確であった。栽培期間中の水分消費量は大幅に低下することなかった。バイオマス生産量も切葉処理によって大きく変化しなかったため、切葉処理に水利用効率を高める効果はなかった。

切葉処理を行ったソルガムとトウモロコシでもコムギと同様の傾向が観察された。されらの栽培を行った年の夏季の乾燥程度は比較的弱く、切葉処理のよって収量やバイオマス生産が高まることはなかった (第 4 図)。ソルガムでは、90%切葉区を除いて、切葉処理による収量の有意な低下は認められなかった。しかし、葉面積が著しく小さい 90%切



第 4 図 中国河北省石家荘で実施したソルガムの栽培試験における 60%切葉区。



第 5 図 中国河北省石家荘の試験圃場で栽培したソルガムとトウモロコシの収量. I, II, IIIはそれぞれ栄養生長後期, 穂ばらみ期, 出穂期に切葉したことを示す. 百分率は, 全体の葉面積に対して切葉した葉面積の比率を示す.

葉区では光合成器官すなわちソースの能力が低くなり, 収量が低下した. 同様に, 切葉処理に伴うソース能力の低下によって, 収量低下が起こる傾向は, トウモロコシにおいて顕著であった.

以上の結果は, 収量形成過程におけるソースの役割の中で, 新規光合成産物を供給する葉の役割が, 乾燥条件や作物種, 切葉処理時期によって異なることを示している. 収量形成において, 新規光合成産物に依存度が高いトウモロコシでは, 早期からの葉面積の低下は深刻な収量低下を招く危険性がある. しかし, ソルガムやコムギでは新規光合成産物に対する依存度が相対的に低く, 葉面積をある程度 (60%程度) 落としても著しい収量の減少は起きない. しかし, 中国で実施した試験では, いずれの作物でも無乾燥区でも収量の低下が 1 割程度と低く, 乾燥ストレス強度が低い環境であった. そこで, 他の半乾燥地域でも同様の試験を実施した.

ナイジェリアおよびインドで実施した栽培試験では, より乾燥ストレスが厳しい条件かでソルガムを栽培した. 国内試験と同様に,

切葉した個体では気孔開度が高く保たれ, 葉面積あたりの水消費速度や気孔コンダクタンスが高く推移した. 茎流センサーを用いて個体あたりの水消費速度を測定した結果, 切葉した個体と無切葉の個体では, 一日あたりの水消費量がほぼ同等であると推察された. 収量をみた場合, 湿潤区では切葉個体の収量が低下したのに対し, 乾燥ストレス区では同等かやや無切葉区を上回った. 現地の土質を加味して, 土壌から植物中を通過する水の移動モデルを構築した. その結果, 砂質土壌では土壌通の水移動に対する抵抗が大きいため, 切葉して水消費速度を低下させることによって, 植物体の水ポテンシャルの低下が起きにくいことがわかった. 一方, 粘土質を多く含む土壌では土壌中の透水係数の低下が起こりにくいいため, 切葉する意義は低いと試算された. インドで実施した 2 土質の圃場試験からも, 同様の観察結果が得られた.

以上の現地試験の結果をまとめると, 切葉処理の影響は, 土壌の水分状態や地上部の水消費速度, 収量形成における新規光合成産物供給に対する依存度によって異なることがわかった. 今後の課題としては, 上記の効果を加味した総合的な植物生産モデルの構築が必要であり, 今後とも作物の水利用特性を中心とした研究を継続する必要があると考える.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 4 件)

① 荒木英樹・関谷信人・矢野勝也 土壌の物理性が根からの漏水速度に及ぼす影響. 17, 56. 2008 年 5 月 10, 11 日. 第 28 回根研究集会. 山口県美祢市.

② Araki H., Iwamoto K., Sekiya N. and Yano K. Elucidation of water redistribution through roots of deep rooting plants and its impact on growth of neighboring plants. 5th International Crop Science Congress & Exhibition, ICSC 2008. p211. 2008 年 4 月 13-18 日. 第五回国際作物学会. Jeju, 韓国.

③ 辻 涉・武田一平・荒木英樹 土壌乾燥ストレス条件下における下位葉切除がソルガムの光合成および子実収量に及ぼす影響. 日本作物学会紀事 (別号 1) 77: 196-197. 2008 年 3 月 27, 28 日. つくば市.

④ Tsuji W., Araki H., Sekiya N., Kashiwagi J., Krishnamurthy L. and Muranaka S. Behavior of stomatal conductance and

water use of a defoliated sorghum plant under water deficit conditions. 日本作物学会紀事 (別号 1) 77: 198-199. 2008 年 3 月 27, 28 日. つくば市.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等        なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

荒木 英樹 (ARAKI HIDEKI)

山口大学・農学部・助教

研究者番号: 90346578

(2) 研究分担者        なし

(3) 連携研究者        なし

### (4) 研究協力者

辻 渉 (Tsuji Wataru)

鳥取大学・乾燥地研究センター・助教

研究者番号: 60423258