

トウモロコシ群落の生産構造改変に伴う

乾物生産量と収量の変化 (予報)

角 明夫・倉田和馬*・水上加奈子**・下敷領耕一

(1999年10月10日受理)

Changes in Dry Matter and Yield Productions Related to Modification of Productive Structure in Corn Community (Prediction)

Akio SUMI, Kazuma KURATA*, Kanako MIZUKAMI**, and Koichi SHIMOSHIKIRYO

緒 言

収穫部位の収量(経済収量)を高めることを目的とする作物生産にあつては、全乾物生産量(生物学的収量)だけでなく同化産物のより多くを有用部分に分配すること、すなわち収穫指数を高めることを必要とする。収穫指数は遺伝的および環境的要因に強く影響されるが、摘芯・摘芽などによつてもある程度人為的に調節できる。トマト、メロンなどの果菜類の栽培を中心として行われる摘芯、摘芽、摘葉技術はその最たる例であり、収穫対象とする果実へ同化産物をより多く分配させることと葉面積の過度の拡大を抑制し草姿を調節するうえで重要な役割を果たしている。しかし、これらの技術は禾穀類の栽培技術としてはほとんど適用されていないといつて過言ではない。禾穀類の栽培は園芸作物より一般に大規模面積で行われる場合が多く、摘芯、摘芽、摘葉といった極度に集約的な栽培管理技術の適用は経営的に成立し得ないことにもよろうが、その発育過程が有限伸育型で、多くの場合収穫部位としての穂が頂端に位置する形態的構造をなしていることにも一因があるように考えられる。

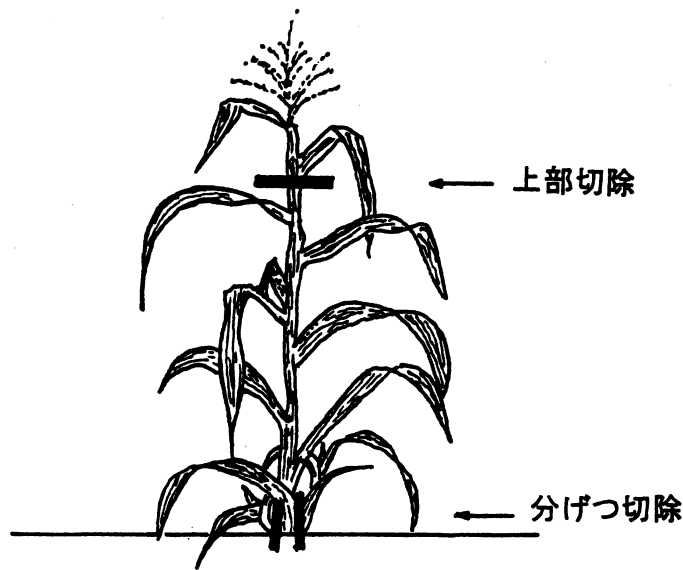
このような中にあつて、トウモロコシは収穫部位である雌穂が群落構造の中位に形成される点で禾穀類の中にあつて特徴的である。しかも登熟期の子実に対する主要ソースは雌穂着生節位に近い、それぞれ上下の2枚程度の範囲の葉である¹⁾ことから、これらの葉の乾物生産能を増進させるような群落構造の改変は雌穂への同化産物供給を促進し、結果的に子実収量を向上させる可能性がある²⁾と推察される。著者らはこのような仮説に基づき、トウモロコシ群落の生産構造を変えるいくつかの処理を施し、生産構造の改変による増収の可能性について予備的な検討を行ったのでその概要を報告する。

材料と方法

実験は、1998年に、鹿児島大学農学部附属農場の栽培圃場10aを用いて行った。

* 現在、熊本県農業研究センター

** 現在、鹿児島県志布志町役場



第1図. 処理の概要.

供試品種はカクテル90とし、黒色ビニールマルチを用いて150cm幅に仕立てた畦に、5月22日から5月25日にかけて、株間30cm、条間40cmの2条千鳥で1株当たり数粒ずつ播種し、発芽後2葉期から3葉期に間引いて一本立てとした。施肥量は、全量基肥で、10a当たり硫安15kg、過磷酸石灰15kg、硫化カリ10kg、苦土石灰100kg、堆肥2000kgとした。

7月8日に分けつの切除の有無によって2処理区を設け、さらに7月28日に各々に対して最上位葉から数えて2枚目の葉の基部より上の部分（雄穂と茎の一部を含む）を切除する処理区としない処理区を設けた（第1図）。以下、両処理とも行わなかったものを対照区（O/O区）、分けつを切除した処理区を分けつ切除区（T/O区）、上部のみを切除した処理区を上部切除区（O/T区）、両処理とも施した区を分けつおよび上部切除区（T/T区）と呼ぶこととする。1区当たり3畦をあて、各々の処理区について3反復とした。

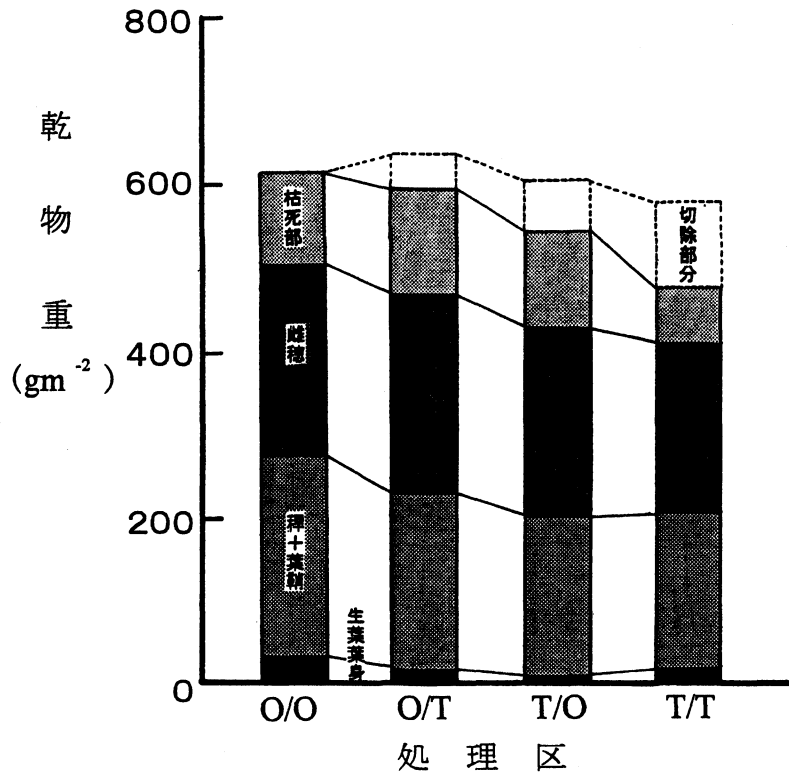
生育経過を把握するために、対照区から無作為に抽出した45個体（15個体×3反復）を対象に草丈、分けつ数、主稈葉数の各項目について1週間ごとに調査した。分けつ切除処理時における草丈、主稈葉数および茎数はそれぞれ 142.3 ± 20.4 cm、 9.8 ± 1.1 および 12.4 ± 5.8 本/m²であって、発育ステージは出穂期に相当していた。また、上部切除処理時にはそれぞれ 186.0 ± 17.6 cm、 10.1 ± 1.2 および 10.2 ± 5.5 本/m²であった。

分けつ切除処理等（7月8日）と上部切除処理時（7月28日）、および収穫時（8月17日）に掘取調査を行った。分けつ切除処理時には対照区から10個体ずつ計30個体を掘り取り、主茎と分けつ茎に分けた後、各々に対して葉身、茎（葉鞘+稈）、雄穂、雌穂、枯死部、根の各部位別に分解し、葉面積と生体重を測定した。直ちに乾燥機に入れ、85℃で72時間以上の乾燥後の重量を秤量し、乾物重とした。主茎と分けつの合計量を対照区の、また主茎のみの測定値を分けつ切除区の結果と仮定した。また、上部切除処理時には対照区と分けつ切除区からそれぞれ30個体（10個体×3反復）ずつを掘り取り、切除部と残存部に分け、同様の方法で調査を行った。収穫時には各処理区から30個体（10個体×3反復）、計120個体を掘り取り、乾物重と収量の調査を行った。なお、群落構造の改変に伴う処理区間相互の影響を回避するために、各処理区の間には緩衝帯として処理を施さない

1 畦を配置すると同時に、生育調査ならびに掘取調査は 3 畦の中央畦に生育していた個体のみを対象として行った。

結果および考察

第 2 図に、収穫時における地上部乾物重を示した。地上部重は O/O 区において最も大きく、次いで O/T 区、T/O 区の順で、T/T 区で最小であった。切除された部分の重量が差し引かれた結果であることからすれば当然の結果であるといえる。そこでさらに切除された部位の重量を加味して



第 2 図. 各種の処理に伴う収穫時の地上部乾物重の変化。
O/O, 対照区；O/T, 上部切除区；
T/O, 分けつ切除区；T/T, 上部および分けつ切除区。

第 1 表. 分けつ切除および上部切除処理による生長関数の変化

調査期間 ^{注2)}	I			II		
	CGR (gm ⁻² day ⁻¹)	LAI (m ² m ⁻²)	NAR (gm ⁻² day ⁻¹)	CGR (gm ⁻² day ⁻¹)	LAI (m ² m ⁻²)	NAR (gm ⁻² day ⁻¹)
生長関数						
処理区 ^{注1)}						
O/O	16.77	2.70	6.20	0.13	1.35	0.01
O/T				1.27	1.00	1.27
T/O	13.00	1.56	8.31	3.54	0.63	5.62
T/T				2.22	0.70	3.17

注¹⁾ O/O, 対照区；O/T, 上部切除区；T/O, 分けつ切除区；T/T, 分けつ及び上部切除区

注²⁾ 調査期間 I, 分けつ切除処理日（7月8日）～上部切除日（7月28日）；

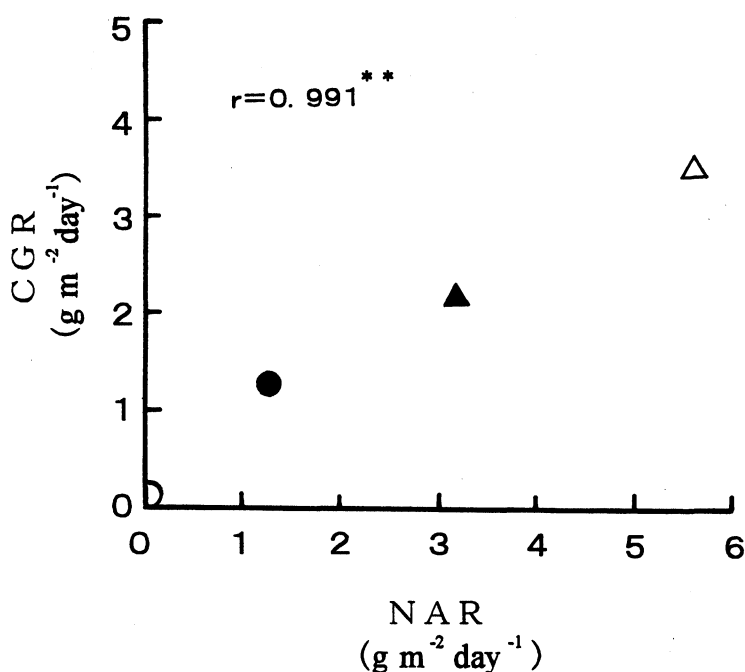
調査期間 II, 上部切除日（7月28日）～収穫日（8月17日）

検討した。切除部位の重量を加味すると O/T 区の地上部重は O/O 区を幾分か上回り、反対に T/O 区と T/T 区では切除部位の重量を加えてもなお O/O 区に及ばなかった。このことは分けつ切除ないし上部切除といった処理によって、群落の生産態勢が変化し、処理後の乾物生産量に違いが生じたことを示している。

そこで生長関数を算出し、このような乾物生産量の違いが生じた成り立ちを検討してみた(第1表)。分けつを切除すると、処理後20日間の個体群生長速度(CGR)はO/O区より著しく減少した。この期間、CGRを支える2要因、純同化率(NAR)と葉面積指数(LAI)のうち、NARは分けつの切除によって増加したことから、分けつを切除することによって葉の相互遮蔽が緩和され残存葉の単位面積当たりの同化効率が高まったものの、その増加は分けつ切除に付随した葉面積の減少を補償するほどではなかったことを示していると判断される。

上部切除処理後から収穫まで(分けつ切除処理後20日目から40日目まで)の期間のNARとCGRとの関係を第3図に示した。分けつ切除処理直後の20日間の結果とは異なり、この期間のCGRはNARとの相関が極めて高かった($r=0.991^{**}$)。絹糸抽出期以降の乾物生産量はNARによって支配される側面が強いことは田中らも認めている¹⁰⁾ところであるが、本実験の結果はそのような傾向は登熟後期に向かうほど顕著となることを表している。

ところでこの期間中の乾物生産に対する処理の影響をまず分けつ切除処理に対して検討してみると、分けつ切除はこの期間中の乾物生産量を増大させる方向に影響したことがわかる。上述したようにこれは高いNARに支えられたものであったが、分けつ切除区での高いNARには上述したような葉の相互遮蔽の緩和効果もさることながら、施肥を全量基肥としたことから推測すると分けつを切除しそれらの生長を妨げたことの結果としてより生育後期まで肥効が継続し、植物体内窒素レ



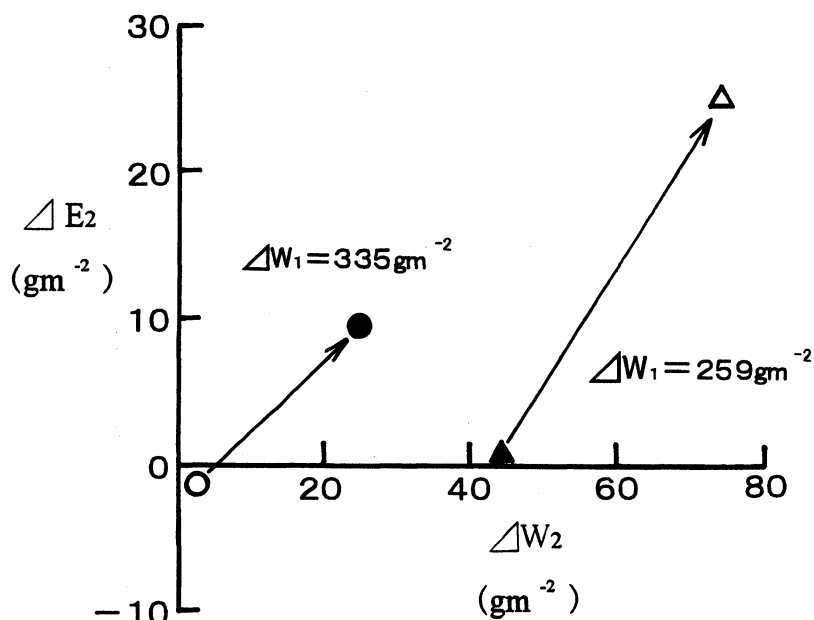
第3図. 上部切除処理時から収穫までの期間中に認められた純同化率(NAR)と個体群生長速度(CGR)との関係。

○, 対照区; ●, 上部切除区; △, 分けつ切除区; ▲, 上部及び分けつ切除区。

ベルが高く維持されたことが関与していたものと考えられる。

次に雄穂と上位2葉とを切除した場合の影響をみると、処理を施すことによって、O/T区のNARはO/O区のそれより高まったことがわかる。田中・藤田は、絹糸抽出期に、葉を一部切除しソースの大きさを制限すると残りの葉の乾物生産能が上昇すること、反対に雌穂切除および受粉阻止によりシンクの大きさを制限すると乾物生産能は低下すること、さらには隣接個体を除去しソースの光環境を改善しても乾物生産量にはみるべき改善が起らなかったことから、絹糸抽出期以後のソース能はシンクの大小に支配されている側面が強いことを指摘している⁹⁾。本実験で供試したカクテル90の主稈の最終葉齢は10枚程度であり、除去した上位2枚の葉の直下の4枚の葉は雌穂の主要ソースとして機能するものであったと考えられるので⁷⁾、上部切除区でのNAR上昇はシンク/ソース比の上昇に伴う残存葉の乾物生産能の上昇効果⁹⁾と上位葉と雄穂の除去による残存葉周囲の光、CO₂環境の改善効果⁹⁾とが相伴って生じたと判断される。

しかし、T/T区のNARはO/O区より高いもののT/O区よりも低かった。第4図は主稈上部の切除処理から収穫までの期間中の乾物生産量 (ΔW_2) と穂重増加量 (ΔE_2) との関係を示したものであるが、分げつを切除した両処理区 (T/OとT/T) は ΔW_2 に伴う ΔE_2 の増加の程度がO/O区やO/T区よりも小さい、すなわち雌穂への転流効率が悪い傾向にある。翻って考えてみると、T/O区やT/T区では上部切除処理を行った時点ですでに、O/O区やO/T区よりも雌穂のシンク能において劣っていたともいえる。このような分げつ切除を実施した両区で生じた雌穂のシンク能低下が、残存葉のソース能の上昇を顕在化しにくくしたのかもしれない。水稻では登熟初期における同化産物の供給の多少がその後の籾の発育に重要な役割を担っており⁴⁾、この時期における籾への同化産物供給が不足すると発育停止籾や奇形籾が多発する^{5, 11)}ことが知られている。同様の現象がトウモロコシにおいても生じうるのか現時点では判然としないが、分げつを切除することによって



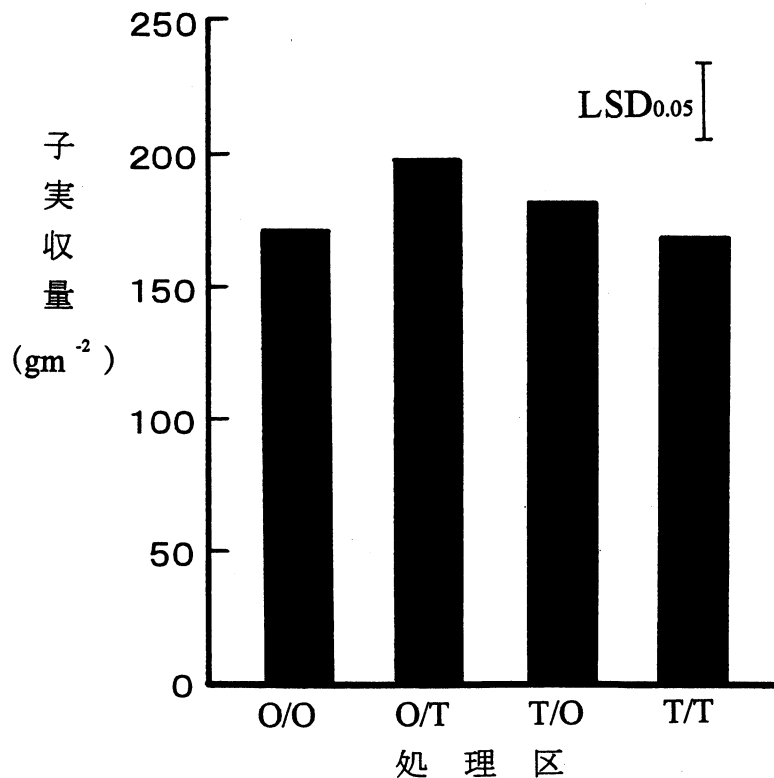
第4図. 上部切除処理時から収穫までの期間中の乾物増加量 (ΔW_2) と穂重増加量 (ΔE_2) との関係。

ΔW_1 は分げつ切除処理時から上部切除処理時までの期間中の乾物増加量を示す。他の記号は第3図と同じ。

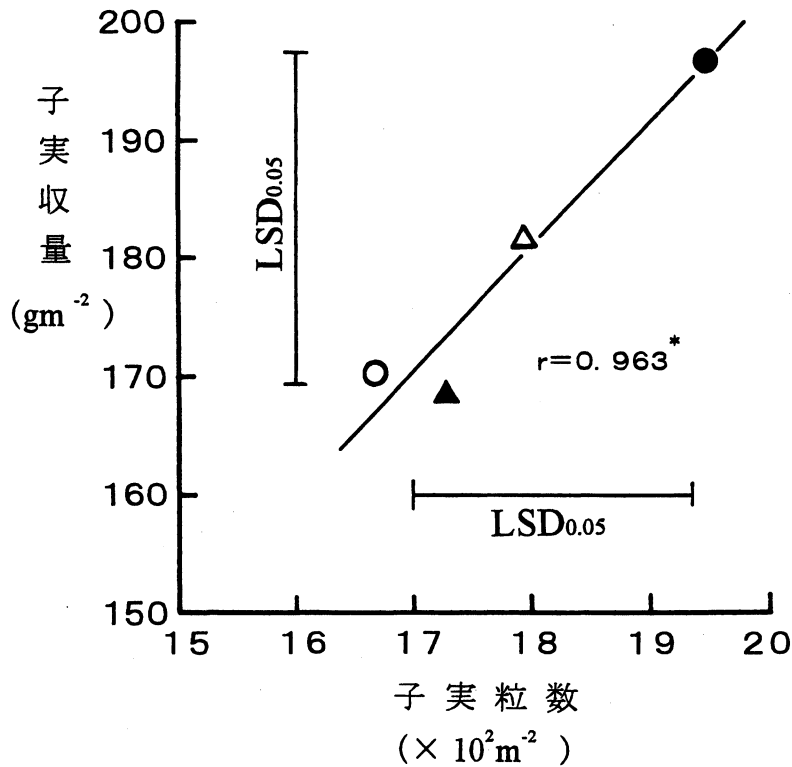
処理後20日目の雌穂重が減少したことから雌穂の穂軸の生長は子実重の増加に先行して絹糸抽出期25日目頃までにほぼ完了する⁶⁾ことを考え併せると、トウモロコシにおいても登熟初期における同化産物の供給の多少がその後の雌穂のシンク能を高く維持するうえで重要な役割を果たしているのかもしれない。しかしながら、これらの点については分けつから雌穂への同化産物の移行とその寄与率も含め、今後の検討課題の一つとして残された。

第5図に、各々の処理区における子実収量（風乾重）を示した。子実収量は、O/T区で最も高く、次いでT/O区、O/O区の順で、T/T区において最も低かった。O/T区で収量が最も高かったのは、上部切除によって雌穂の主要ソースである雌穂上下の葉の光・CO₂環境が改善されたことに加えてシンク/ソース比が高まり潜在的な乾物生産能が引き出されたことの結果として乾物生産量が増加し、これらが効率良く子実に転流したため⁹⁾であろう。またO/O区で比較的低位の収量しか上げ得なかったのは、本実験が全量基肥という条件下で実施されたものであり、登熟盛期から後期にかけて、いわば養分欠乏状態となり乾物生産が停止してしまっただけと考えられる。分けつを切除し、その生長を排除すると登熟期後半まで旺盛な乾物増加が継続したことはその仮説を強く支持している。なお、子実収量の差異は子実粒数の違いを反映したものである¹⁰⁾ことが本実験においても確認された（第6図）。

本実験から、分けつ切除や上部切除といった処理によって乾物生産量のみならず、乾物生産の時間的配分の調節をしようする可能性があることが示唆された。また、上部を切除し、子実生産に対して主要ソースとして機能する葉の光・CO₂環境を改善し、さらにはその潜在的乾物生産能を引き出すことによって、収量を向上させる可能性があることが示唆されたものと考えられる。トウモロコシにお



第5図. 各種の処理に伴う収穫時の子実収量の変化。
記号は第2図を参照。



第6図. 子実粒数と子実収量との関係.
記号は第3図と同じ.

いて多収を実現するには、田中らも指摘しているように密植栽培とすることが有効である¹⁰⁾が、近年の主流である短稈型品種を密植多肥栽培すると必然的に葉面積密度が高まり、群落内のCO₂拡散^{2, 6, 12)}や光利用^{1, 3)}上の問題から生ずる登熟期の乾物生産量の低下とその結果として生ずる子実収量の低下の問題を避けて通れない。本実験で実施した上部切除処理はこのような問題に対する一つの解決策としての提案であるが、今後、切除のタイミングの問題、切除によるCO₂拡散や光利用改善効果に対する微気象学的証明、さらにはシンク/ソース比の上昇による光合成能、呼吸能の変化の機構についての作物生理学的解明などがなされねばならない。

謝辞：本論文の作成に当たって貴重なご意見を頂戴した鹿児島大学名誉教授片山忠夫博士に厚く御礼申し上げます。また、実験の遂行に当たって農事部松元里志技官にご協力戴いたことを記して、謝意を表します。

要 約

収穫部である雌穂とその主要ソースとして機能する葉を群落の中位にもつトウモロコシを材料に、群落構造の改変による乾物生産量と収量の変化を検討した。

1. 全量基肥で施用した条件下において、分けつ切除処理は、葉面積の減少に伴う直後の乾物生産量低下をもたらしたものの、生育後半まで葉面積当たり乾物生産能を高く維持させた。

2. 登熟盛期に、雄穂と上位2葉を切除する処理を行ったところ、葉面積当たり乾物生産能の上昇とそれに伴う乾物生産量と収量の増大が生じうること、さらに上部切除の効果はシンク能の活性

と関連することが示唆された。

3. 今後、切除による群落内の CO₂ 拡散や光利用の改善効果ならびにシンク/ソース比の上昇による光合成能、呼吸能の変化を測定し、増収効果に対する微気象学的、作物生理学的な裏付けを行うとともに、切除のタイミングについても検討する必要がある。

引用文献

- 1) 林 健一：水稻品種の日射エネルギー利用率に関する研究。農技研報，D23：1-68（1972）
- 2) 広田 修・武田友四郎：作物の群落構造と物質生産—受光及び CO₂ 拡散(3)。九大農学芸誌，41：171-184（1987）
- 3) 星野次汪・氏家和人・四方俊一：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（1978）
- 4) 徐 錫元・太田保夫：水稻の登熟に及ぼす籾穀の役割。第6報。炭水化物の稔実籾および不稔籾への移行について。日作紀，51：570-576（1982）
- 5) 角 明夫・箱山 晋・翁 仁憲・縣 和一・武田友四郎：水稻の登熟過程における穂重増加を支配する稲体要因の解析。第2報。穎花の同化産物受容効率に及ぼす出穂期貯蔵炭水化物の役割。日作紀，65：214-221（1996）
- 6) 武田友四郎・広田 修・岡 三徳：水稻個体群の草高の違いが群落光合成に及ぼす影響。数値実験。日作紀，48(別2)：101-102（1979）
- 7) 田中 明：光合成能の source-sink 関係。光合成Ⅱ（宮地重遠編）。p.119-147，朝倉書店，東京（1981）
- 8) 田中 明・山口淳一・原 哲夫：トウモロコシの栄養生理学的研究（第6報）。生育に伴う呼吸能の変遷とその乾物生産との関係。土肥誌，42：85-88（1971）
- 9) 田中 明・藤田耕之輔：トウモロコシの栄養生理学的研究（第7報）。乾物生産における Source と Sink の相対的意義の解析。土肥誌，42：152-156（1971）
- 10) 田中 明・森定伸充：トウモロコシの栄養生理学的研究（第9報）。子実生産性の品種間差異。土肥誌，42：304-308（1971）
- 11) 田中孝幸・松島省三：水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究。第64報。登熟機構に関する研究(2)。早期発育停止籾の発生経過とその予察法。日作紀，32：35-38（1963）
- 12) 内島善兵衛・宇田川武俊・堀江 武・小林勝次：作物群落内におけるエネルギーとガス交換に関する研究。第8報。トウモロコシ群落内の拡散係数と葉面拡散速度。農業気象，25：215-227（1970）

Summary

In corn, ear being major sink during ripening period and leaves functioning as its major source are situated in the middle layer of community. To examine a possibility of increased yield due to modifications of productive structure in corn community, some treatments that modify micrometeorological environments surrounding them sink/source ratio were done. The results are summarized as follows:

1. Under growing condition where the whole quantity was applied in basal dressing, tiller removal reduced the dry matter production for 20 days just after the treatment because the reduction of leaf area, but net assimilation rate (NAR) were maintained highly until the latter half of ripening.

2. It was suggested that both dry matter production ability per unit leaf area and grain yield may be increased by the removal-treatment of upper part (including upper two leaves and tassel) and that such an effect may be related to sink activity of ear.

3. Furthermore, the best timing of removal-treatment should be investigated. In addition, the effects of removal-treatments upon increased yield should be supported quantitatively from viewpoints of CO₂ diffusion and sunlight utilization within corn community and photosynthetic capacity and respiratory activity of leaves.