

ダイズ群落内における光環境が収量と
収量構成要素に及ぼす影響

浅野目 謙之

新潟大学大学院自然科学研究科博士後期課程
環境管理科学専攻

目次

論文要旨	1
緒言	4
第1章 ダイズの群落内の葉の配置と分枝方向が収量と収量構成要素 及び窒素分配に与える影響	6
緒言	7
材料と方法	7
結果	10
考察	33
第2章 ダイズ群落内の光利用効率が乾物生産，開花数と莢数成立の 関係及び収量に与える影響	39
緒言	40
材料と方法	40
結果	42
考察	71
第3章 総合考察	75
謝辞	79
引用文献	80
Summary	87

論文要旨

作物個体群において、群落内の光の利用を高めることは、一般に乾物生産、および収量の増加につながる。ダイズ栽培では、群落受光量は草型や栽植様式の違いによる受光態勢によって決定されるが、水平葉を持つダイズは、相互遮蔽が起こりやすい群落構造を示すことが多い。そのため、光の利用効率は乾物生産に大きな影響を与える。また、生殖生長期間を通して光を受け止める個葉の光合成速度が高まることで、高い乾物生産を可能にする。ダイズは子実に多くのタンパク質を含み、その生産過程は主に子実への窒素の集積過程である。窒素を供給するための個葉の光合成は、受光態勢を介して葉の窒素濃度と関係が深く、光の利用効率は植物体内の窒素の動態にも大きく関与しているものと考えられる。ダイズは密植栽培で高収量が得られるという報告が多い。かかる密植での群落内の光環境の改善は植物個体の強健な成長を促すとともに開花数、莢数の増加につながり、結果的に高収量をもたらすと思われる。

ダイズは密植栽培ほど頂小葉の立ち上がりが小さいことが明らかにされており、栽植様式を変化させて光を有効利用するような群落を構成することが重要である。よって本研究では、光を有効利用する群落とそうでない群落を構成することで、生殖生長期間における受光態勢の違いが窒素蓄積、及び収量に与える影響を明らかにするとともに、莢形成後の窒素の蓄積とその転流様式に及ぼす影響についても検討を行った。また、栽植密度を一定にして畝間を変えることで栽植様式を変化させ、栽植様式の違いによる群落構造の変化、光の利用効率の違いが乾物生産、収量に与える影響についても調査を行った。

植物の全乾物重は栽植密度が高くなるにつれて増加し、また生殖生長期における子実肥大開始期に最も高まった。生殖生長前期の乾物重は収量と相関が高く、乾物重が高まると収量においても高まる傾向にあった。また、受光態勢が良い群落と、そうでない群落を比較すると、密植、疎植栽培のどちらにおいても、生殖生長期間を通して受光態勢の良い群落の乾物重が高まった。高い乾物生産を可能にするための受光量は葉面積によって決定されるが、葉面積は群落内の葉の角度や葉の分布による配置、つまり受光態勢と深く関係している。受光態勢の良い群落では生殖生長期初期、もしくは栄養生長期の段階から高い葉面積を示し、子実肥大開始期で最も高い値を示した。それ以降は葉の枯れ上がりに伴い乾物重は減少するが、受光態勢が悪い群落は減少割合が大きいものに対して良い群落は生殖生長後期まで高い葉面積、乾物重が維持されたため、光合

成能が高く維持されたと推察された。

群落構造を同化器官乾物重の垂直分布でとらえると、乾物は上層（地表面より 70cm 以上）に偏った分布が見られ、それ以下の層では段階的に減少した。この傾向は密植栽培で顕著であったが、疎植栽培では上層部から中層部にかけて平均的な乾物の分布が見られた。受光態勢の良い群落は上層（120cm 付近）に多くの乾物が分布しているが、中層（80cm 付近）までに光の浸透がみられ、光の利用効率がよいのに対して、受光態勢の悪い群落は上層で多くの光が受光されてしまい、その結果として群落内部への浸透も見られなかった。吸光係数を用いて群落構造を解析すると、この傾向が顕著であり、受光態勢の良い群落では同化器官乾物重、LAI が高いにも関わらず吸光係数は低い値を示し、群落内部へ光が浸透していることを表している。これに対して悪い群落は吸光係数は高い値を示しており、群落内部への光の浸透が少なく、利用効率が悪いことが示唆された。

開花数は、開花開始期から高い値での推移が見られ、開花日数が経つにつれて段階的に減少した。しかし、受光態勢の良い群落では初期から多くの開花が認められたのに対して、悪い群落は初期の開花が少なく、中期、後期へと分散する傾向にあった。光が群落内部へ浸透した群落は結莢率が高く、特に分枝の結莢率が高まった。

窒素は光合成能と密接に関係し、乾物生産や収量に影響を及ぼす。生殖生長期間の葉の窒素濃度は開花盛期に最大値を示し、その後、受光態勢の良し悪しに関わらず一様に低下するが、受光態勢がよい群落は生殖生長初期から高く、開花盛期以降に急激な低下が見られた。窒素蓄積量は開花盛期後、葉、茎の蓄積量が高く、莢形成後は莢の蓄積量が大きく増加した。また、受光態勢のよい群落では子実肥大盛期においても葉の窒素濃度が高く維持されて、光合成活性が高く維持され、このことが莢形成後の同化量増加へと寄与していたと思われる。さらに、栄養器官からの再分配窒素量も多く、栄養器官の中でも葉と共に茎からの再分配が窒素蓄積量増加へと貢献していた。一方、受光態勢が悪い群落においては葉の窒素濃度は段階的な減少を示し、葉、茎の窒素蓄積量は高まるものの、莢の蓄積量の増加は小さかった。莢の窒素蓄積量は再分配窒素に依存するようであり、その分配様式は葉からのみであった。また、莢形成後窒素同化量も少なく、莢窒素蓄積量はわずかな増加であった。

収量は密植栽培ほど高く、受光態勢が良くて光の利用効率が高い群落で増加した。この傾向は種子数、莢数、節数においても同様で、収量は種子数と正の

相関があり、種子数は莢数と正の相関が認められた。良い受光態勢により増加した莢数は種子数を増加させ、収量増へ貢献した。

受光態勢の良い群落は生殖生長初期の光合成能が高く、乾物生産が高まった。乾物の増加は窒素の中間貯蔵量の増加につながり、窒素転流量へと貢献したことが示唆された。また、群落内部への光の透過は生殖生長後期において葉の窒素濃度低下を抑制した。光合成能が高く維持されたことと、再転流により莢への窒素蓄積量が増加したことは、結果的にシンク能の増加につながった。シンク能としての莢数の増加には開花数や結莢率を介して受光量が関係していると考えられた。よって、相互遮蔽が小さく受光態勢の良い群落は、莢数が増加したことで種子数が増加し、高収量へとつながったことが示唆された。

結 言

作物個体群において、群落内の自然光の利用効率を高めることは一般に乾物生産、及び収量の増加につながる (Asanome and Ikeda 1998, Board and Harville 1992) . 地表面の単位面積当たりの自然光は一定である。よって、植物体が光合成に光を有効に利用し、乾物生産を高めることで高収量が得られる。しかしながら、ダイズは水平葉を持つために相互遮蔽が起りやすい群落構造を示すことが多い。そのため、光の利用効率は乾物生産、収量に大きな影響を与える。群落受光量を決定する要因として葉面積指数 (LAI) , 葉の角度、群落内の葉の分布などがある。これらの要因は、ダイズ栽培において栽植密度、栽植様式、草型などによって影響を受ける。

栽植密度については Lueschen and Hicks (1977) , 国分 (1988) , 松本・朝日 (1970) , Miura ら (1987) , 中瀬古・後藤 (1975) , 大庭ら (1961) , Parks ら (1983) , Wright ら (1984) , 池田・佐藤 (1990) などが報告しており、収量は密植ほど増加するという報告例は多い (佐藤・池田 1985, 関山ら 1983, 島田ら 1986) . 密植栽培は植物体が徒長し倒伏の危険性を伴うため、群落構造を悪化させないように、栽植様式によって改善を図る必要がある。ダイズ栽培において栽植様式の影響についても多くの報告があるが (Wiggans 1939, Wilcox 1974, Cooper 1977, Duncan 1986, Ikeda 1992) , 結論は一つに至っていない。高収量は狭い畝幅で得られ (Duncan 1986, Board ら 1992) , Ikeda ら (1994) はジグザグ植えで高い収量を示す傾向にあったことを報告している。収量を増やすには収量構成要素の増加が必要である。収量構成要素のうち、莢数が収量と最も密接に関連していることが明らかにされている (川嶋 1965, 杉山ら 1967, 浅沼ら 1977, Lueschen and Hicks 1977, Dominguez and Hume 1978, Board 1985, 国分 1988, Pervez ら 1989, 池田・佐藤 1990, 島田ら 1990) . Board and Tan (1995) は、R1 期から R5 期 (Fehr and Carvuness 1977) にかけてのソース能によって莢数は制限されるとし、R1 期から R5 期の受光量が高まったときに高収量へ結びつく (Board ら 1994) . つまり、R5 期までの受光量が光合成に影響して花器、莢数の成立過程に大きな影響を及ぼしている可能性が高く、同化産物の競合も考えられる (Spollen ら 1986, Wiebold 1982) . 開花数は莢数や子実収量に影響を及し (Mann and Jaworski 1970, Neyshabouri and Hatfield 1986) , Jiang and Egli (1993) は開花数と莢数の間に有意な直線関係を認めている。ダイズは花器の 30~80% が脱落し、遮光処理 (浅沼 1977, 郡ら 1998)

や、土壌水分の欠乏（昆野ら 1964, Doss ら 1974, Soinit and Kramer 1977）は花器脱落を促進することから、莢数を確保するためには花器脱落の抑制が不可欠である。脱落に影響する要因の解析（Brevedan ら 1978, Huff and Dybing 1980, Brun and Betts 1984, Heitholt ら 1986）, さらにはシグナル物質による制御（Spollen ら 1986b, Dyer ら 1987）等、様々な研究が行われている。しかし、莢数の成立過程は複雑で、不明な点が数多く残されていて、花器と莢数の決定に関わる要因を明らかにする必要がある（齊藤ら 1998a）。

光を受け止める個葉の光合成速度が高まることで群落の光合成が高まり、乾物生産へとつながる。また、個葉の光合成は葉の窒素濃度と関係が深く、葉の窒素濃度は植物体内の窒素濃度とも相関関係にある（Boon-Long ら 1983, Hayati ら 1995, 牧野ら 1988, Shiraiwa and Hashikawa 1995）。ダイズは子実によくのタンパク質を含み、その生産過程は子実への窒素の集積過程であることは多く知られており、同化された窒素はいったん栄養器官に蓄積され子実へに再分配される（Weaver and Morris 1982）。よって栄養器官はソース器官であるほかに同化産物の中間的プールの役割も果たしていると考えられ、幼莢期以降の窒素蓄積量と子実重は相関が高く、生育後半までの窒素の供給が重要である（藤井ら 1987）。また、生殖生長期間の受光態勢は光合成を介して窒素供給に影響しており、受光態勢、光の利用効率は植物体内の窒素の動態に大きく関与しているものと思われる。白岩ら（1994）は個体群の受光態勢と葉身窒素濃度との関係を論じたが、受光態勢と葉の窒素濃度、窒素蓄積量、窒素の再分配の関係について検討した例は少ない。

本研究では、光を有効利用する群落とそうでない群落を構成することで、生殖生長期間における受光態勢の違いが、乾物生産及び収量と収量構成要素に与える影響を明らかにするとともに、莢形成後の窒素の蓄積とその転流様式に及ぼす影響についても検討を行った。また、栽植密度を一定にして畝間を変えることで栽植様式を変化させ、栽植様式の違いによる群落構造の変化、光の利用効率の違いが乾物生産、収量に与える影響についても調査を行った。さらに、受光量が開花数、莢数の成立過程に及ぼす影響をシンク・ソースの視点から莢の窒素蓄積、莢への窒素転流を含めて検討した。

第1章

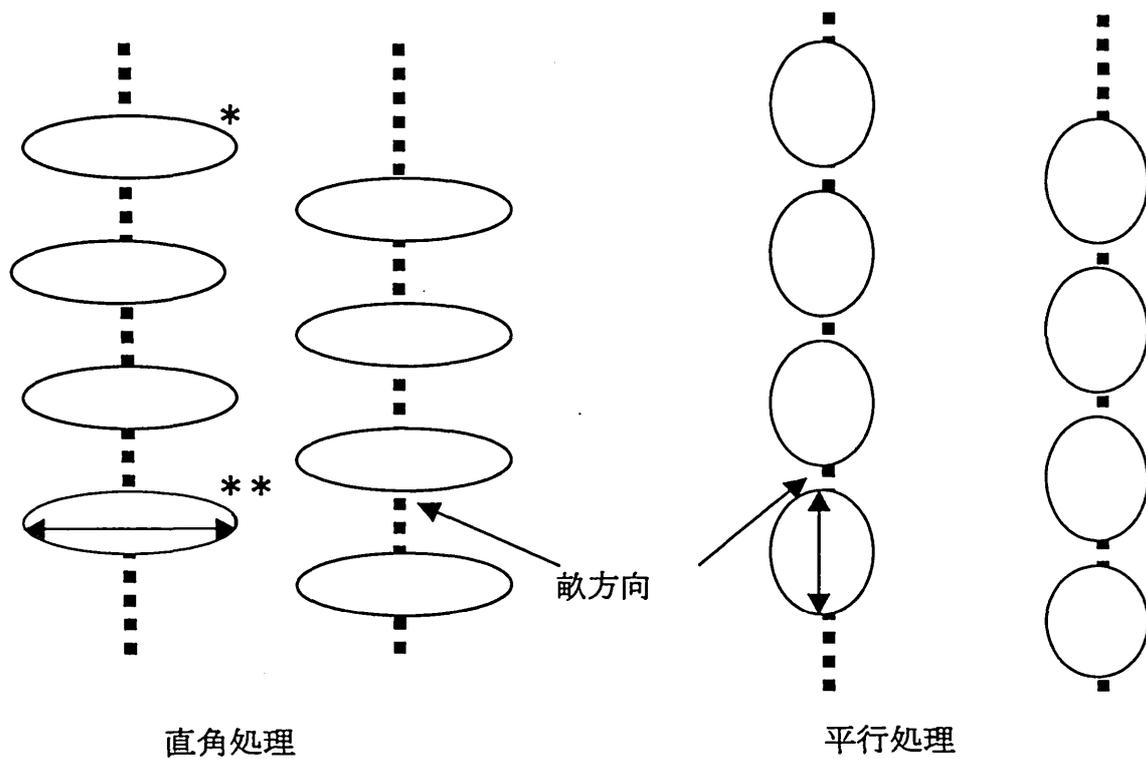
ダイズ群落内の葉の配置と分枝方向が窒素分配及び
収量と収量構成要素に及ぼす影響

第 1 章 ダイズ群落内の葉の配置と分枝方向が窒素分配及び収量と収量構成要素に与える影響

ダイズの分枝発達には大きく分けて葉序が 1/2 と 2/5 の二つのタイプがあることが報告されている (有賀 1943) . 川嶋 (1969) は葉序 1/2 の品種を用いた実験を行ったが, 茎, 分枝, 葉柄などの生長に伴う変化によって葉層構造は平均化し, その基盤のうえにさらに調位運動が加わるので, 葉層構造は極めて複雑な内容を持つようになるとしている. 本実験では葉序が 1/2 であり, 草型がラケット型で分枝の伸長方向が比較的平面的な品種ミヤギシロメ (池田・佐藤 1978) を用いた. ミヤギシロメは小葉面積が大きいいため, 群落内部への光の浸透が良好ではなく (Isoda ら 1994 b) , 調位運動も不活発であること (Isoda ら 1994 a) が報告されている. また, ダイズは密植栽培ほど頂小葉の立ち上がりが小さいこと (Ikeda and Ino 1995) が記されており, 栽植様式を変化させて光を有効利用するような群落を構成することが重要である. よって本実験では光を有効利用する群落とそうでない群落を構成すること, 即ち, 群落内の葉の配置を畝方向に対して直角に配置した場合と, 平行に配置した場合とについて, 光の利用効率が収量と収量構成要素に与える影響を調査することを目的とした. また, 葉の窒素濃度とその群落内分布, 及び蓄積量に与える影響についても調査を行った. 生殖生長期間における受光態勢の違いが乾物生産とそれによる窒素蓄積に及ぼす影響を生長解析法により明らかにするとともに, 莢形成後の窒素の蓄積量とその転流様式に及ぼす影響についても検討を行った.

材 料 と 方 法

品種ミヤギシロメ (極晩生) を供試し, 1994, 1995, 1996 年に新潟大学農学部圃場 (砂質土壌) に 2 粒ずつ播種した. 品種ミヤギシロメはラケット型 (有賀 1942) を示し, 初生葉の発達方向に対してほぼ直角に第 1 葉が発達し, 第 2 葉以上は相互に発達する. すなわち葉序は 1/2 で, 草型が平面的である. この草型の特徴を生かして光を有効利用するような群落と, そうでない群落を構成した. 分枝の方向が畝方向に対して直角に伸長するような処理 (直角処理) と, 畝方向に対して平行に伸長するような処理 (平行処理) を設けた (第 1-1 図). 栽植密度は m^2 当たり 25 株 (畝幅 20 cm, 株間 20 cm) と 9 株 (畝幅 33.3 cm, 株間 33.3 cm) で, 栽植様式はジグザグ植えとした. 初生葉完全展開後の 6 月



第 1-1 図 栽植様式と分枝の伸長方向. 栽植密度は, 25, 9 株 m^{-2} . 栽植様式はジグザグ植え.

* : 円は植物体, 及び葉, 分枝の伸長範囲を示す.

** : 円内の矢印は分枝の伸長方向を示す.

上旬に間引きを行い1株1本立てとした。葉の発達方向が揃わないものは移植ごとを用い、株ごと回転させて方向を揃えた。各区を20 m² (4 x 5 m) の3反復とした。施肥は播種前にN:P₂O₅:K₂O = 3:10:10 kg / 10a, 石灰10 kg / 10aを施した。灌水は十分に行い、また除草は適宜行った。病虫害駆除は害虫の発生に合わせて殺虫剤(スミチオン乳剤, トレボン乳剤など)を4~5回散布した。

1994年には開花盛期(R2期: Fehr and Caviness(1977)による, 以下同様.), 子実肥大開始期(R5期), 収穫期(R8期)に, 1995年には第10葉期(V10), 開花盛期(R2期), 子実肥大開始期(R5期), 収穫期(R8期)に, 1996年には開花期(R1期), 開花盛期(R2期), 子実肥大開始期(R5期), 子実登熟期(R6.3期)に, それぞれ各区から生育中庸な3個体(処理毎に合計9株)を採取し, 葉, 葉柄, 莖, 莢に分け, 9株中の平均的な個体1株の全葉について葉面積を葉面積計(林電工社製, AAM-7型)で測定した。分解後, 各部位を3日間65°Cで通風乾燥した。その後, 乾物重を測り, 平均個体の葉重より比例式でLAIを算出した。また, 1996年には乾物重と葉面積の推移から各生殖生長期間の個体群生長速度(CGR)と純同化率(NAR)を求めた。

なお, 各年のR5期には層別刈り取りを行い(1996年にはR6.3期にも行った), 群落構造の調査を行った。各群落の生育が揃った部分を選び, まず上層から10cmごとに光量子計(LI-COR社製, LI-189)にライン光量子センサー(LI-COR社製, LI-191S)を接続して光量子束密度を測定し, これより相対照度を算出した(相対照度はR5期のみ)。次に10cmの層ごとに植物体を刈り取った。採取した植物体は前述と同様に通風乾燥し, 同化器官と非同化器官に分けて乾物重を測定した。

収穫期においては各年とも, 各区より10個体以上(各処理毎で30個体以上)の株を収穫し, 主莖と分枝とに分けて, その後に収量, 種子数, 莢数, 節数, 分枝数, 100粒重を調査した。

窒素については1996年に分析を行い, 採取した各ステージ毎の乾物をセミマイクロケルダール法及び近赤外分析装置(BRAN+LUEBBE社製, InfraAlyzer 260)にて分析後, 植物体の窒素濃度および窒素蓄積量を算出した。また, R5期とR6.3期には, 層別刈り取りを行った各層毎の植物体を前述と同様に通風乾燥し, 同化器官と非同化器官に分けて乾物重を測定し, その後層毎に葉の窒素濃度を測定し, 葉の窒素蓄積量を算出した。

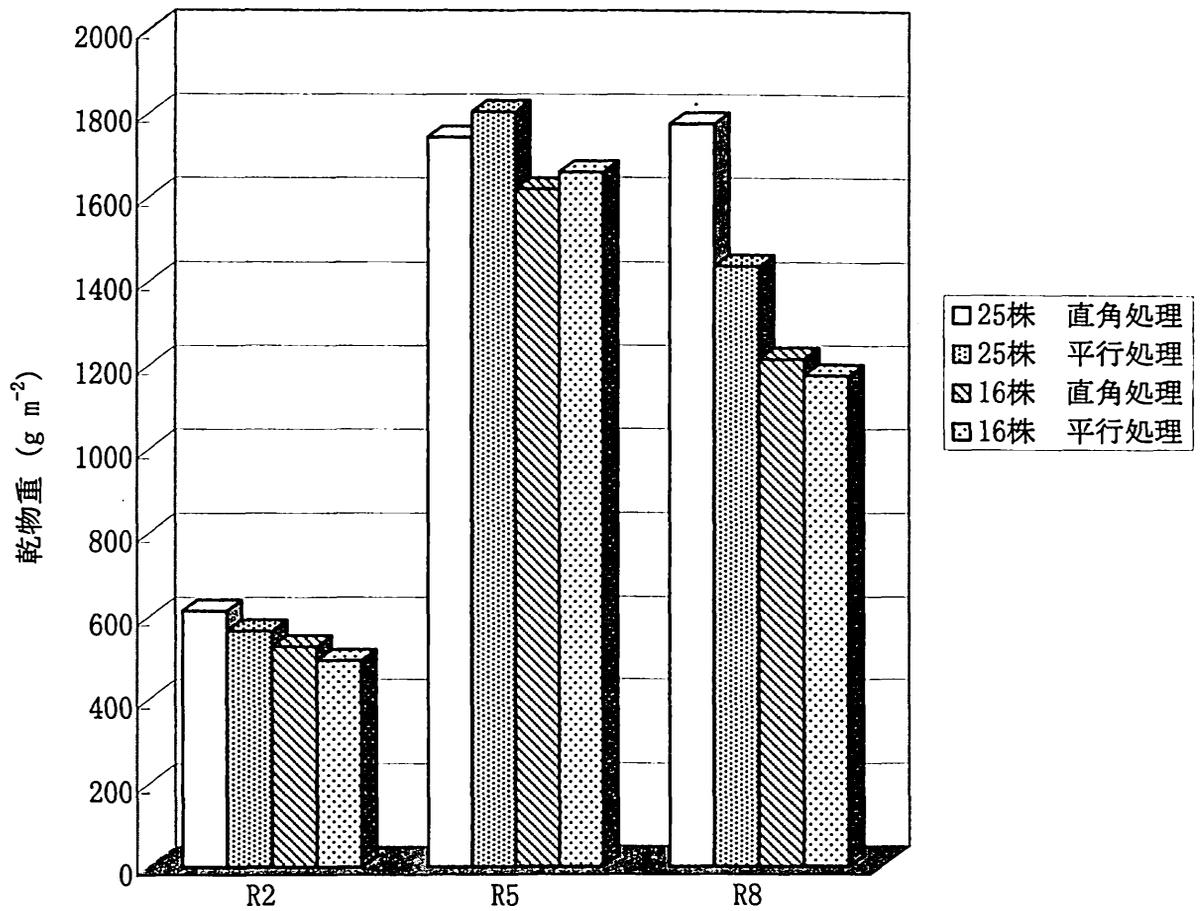
結 果

1. 乾物生産

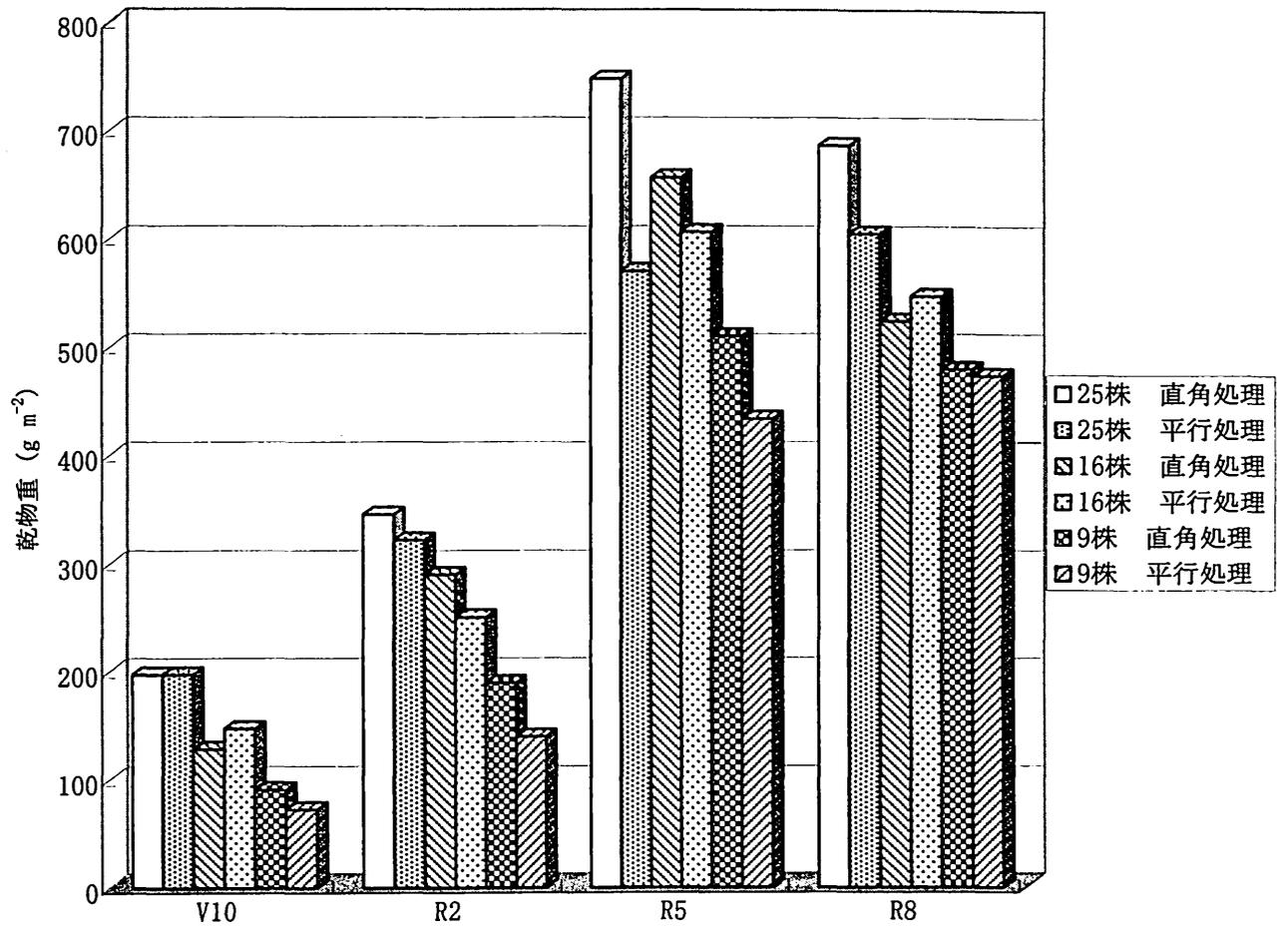
乾物重は、栄養生長期終了から生殖生長初期にかけて、大きな変化は見られなかったが、生殖生長期が進むにつれて増加し始め、特に R2 期から R5 期にかけては急激な増加が見られた。その後 R6 期から収穫期の R8 期にかけていくらかの減少を示した。全乾物重は各年において R5 期に最も高い値を示し、1994 年は $1600\sim 1800\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ (第 1-2 図)、1995 年は $450\sim 750\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ (第 1-3 図)、1996 年は $500\sim 900\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ (第 1-4 図) と、それぞれの値を示しており、大きな高まりが見られた。1995 年は生育期間を通して、他の 2 年より乾物重が低く推移したが、1994 年、1996 年は高い推移が見られた。栽植密度の違いによる乾物重への影響は各年とも栄養生長期から表れ、1995 年の第 10 葉期 (V10 期) では栽植密度が高くなるにつれて乾物重は増加し、25 株で最も高く、9 株で最も低かった。この傾向は生殖生長期間を通して見られ、密植栽培である 25 株で乾物生産が高まった。また、乾物重の減少が見られる生殖生長後期でも 25 株は高い乾物重を示した。分枝の伸長方向の違いによる受光態勢の変化が乾物重へ及ぼす影響は栽植密度の場合と同様に栄養生長期、および生殖生長初期から見られ、各栽植密度において直角処理が平行処理よりも高い乾物重を示した。また、この傾向も生殖生長期を通してみられたとともに、生殖生長期後半になるにつれて処理間の乾物重の差が大きくなり、直角処理の乾物重が高く維持された。1994 年の R5 期には平行処理の乾物重が直角処理よりも上回っていたが、それを除いた各年の各ステージでは直角処理で高まり、また、25 株の直角処理が生育期間を通して最も高い乾物重を示した。

2. LAI

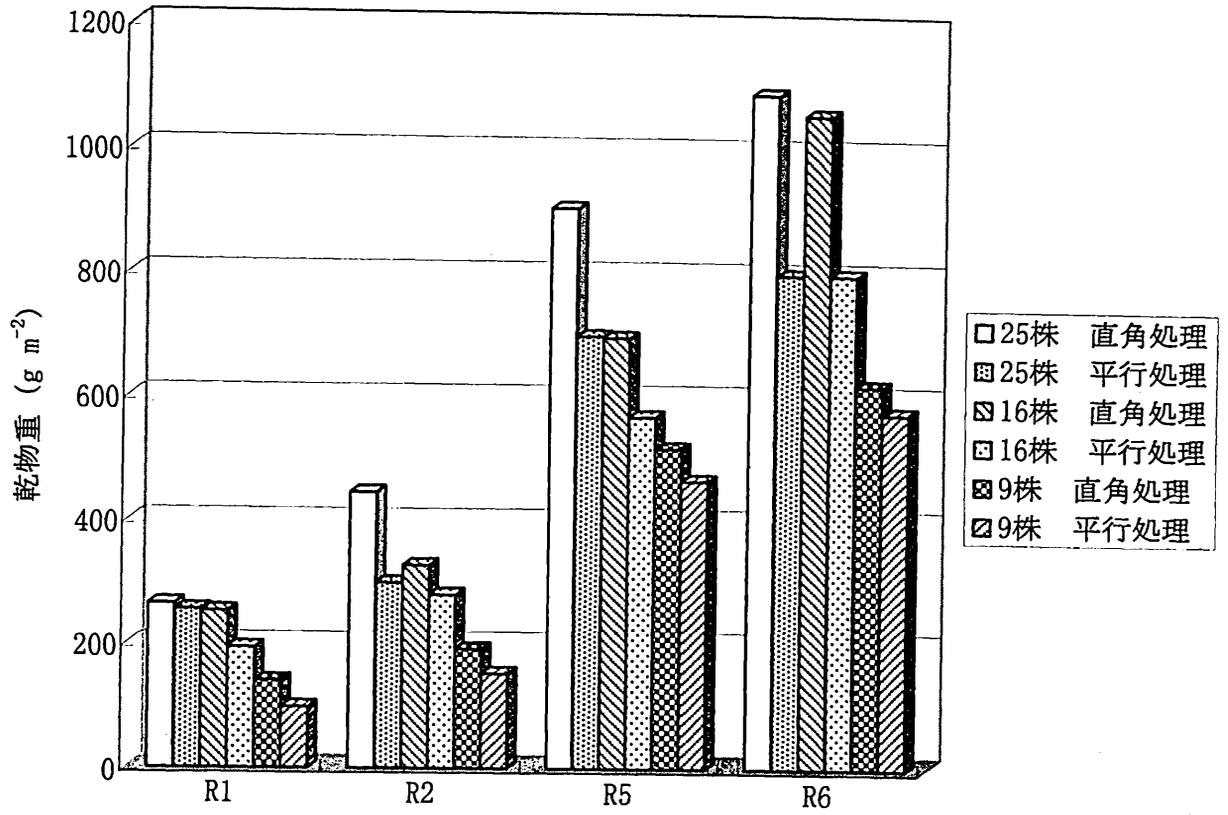
LAI は生殖生長期が進み同化器官の乾物重増加にともなって大きくなった。また、各栽植密度の LAI を比較すると、25 株>16 株>9 株 の順であり、この傾向は栄養生長期から見られ、1995 年の V10 期においてもすでに 25 株の LAI が高まっており (第 1-6 図)、9 株の直角処理では $1.4\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$ であったのに対して 25 株の直角処理では $4.1\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$ と高い値を示していた。LAI は生殖生長期に入り、R5 期に最も高まったが、直角処理と平行処理とを比較してみると各栽植密度で、生殖生長期間を通して直角処理が平行処理よりも高まっていた。1994 年の R5 期には 25 株の直角処理で $10.1\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$ と 3 年間を通して最も高い値を示した (第 1-5 図)。1994 年は R2 期においても $9.7\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$ とすでに高い値を示しており、他の 2 年よりも生殖生長期の初期、もしくは栄養生長期においても高い LAI を



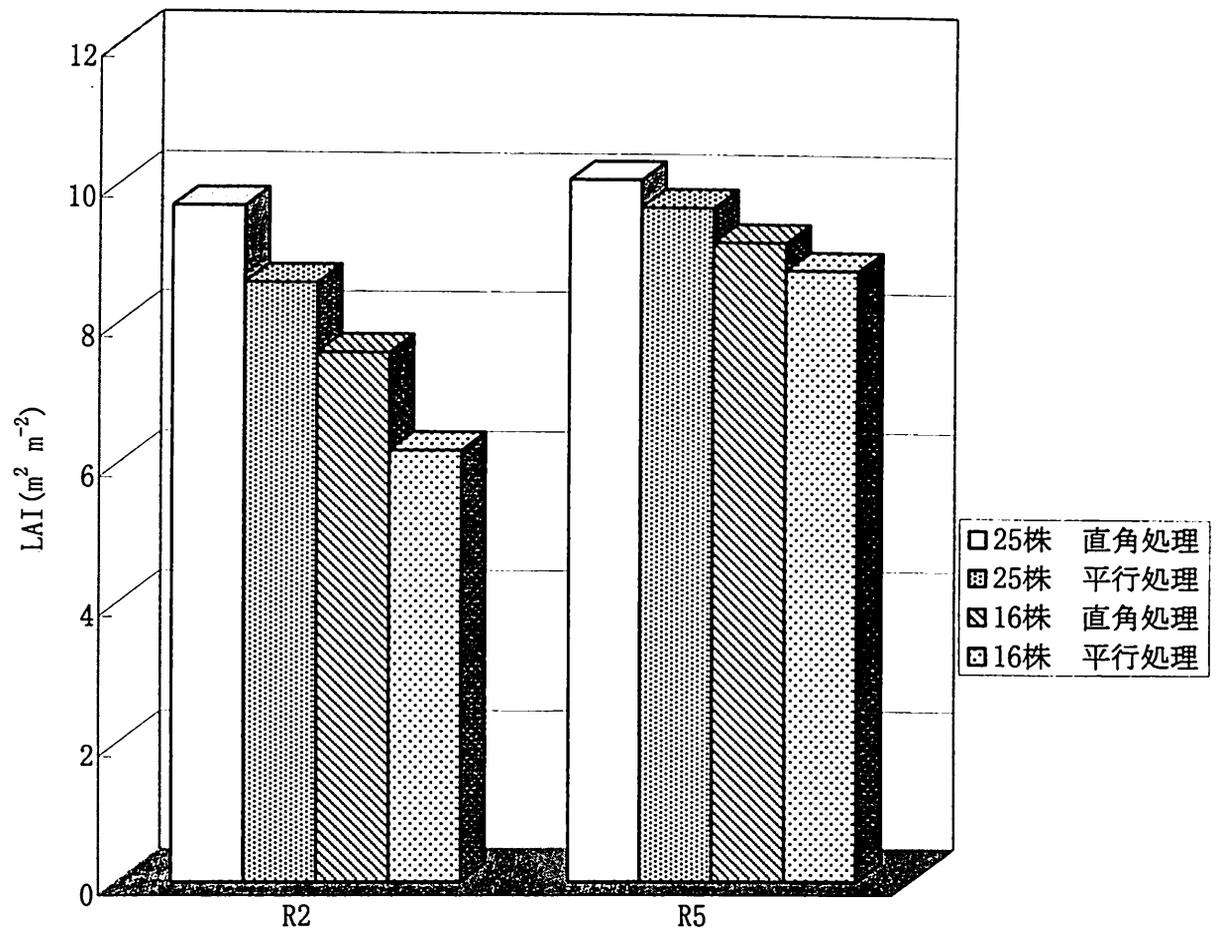
第1-2図 1994年における乾物重の推移.



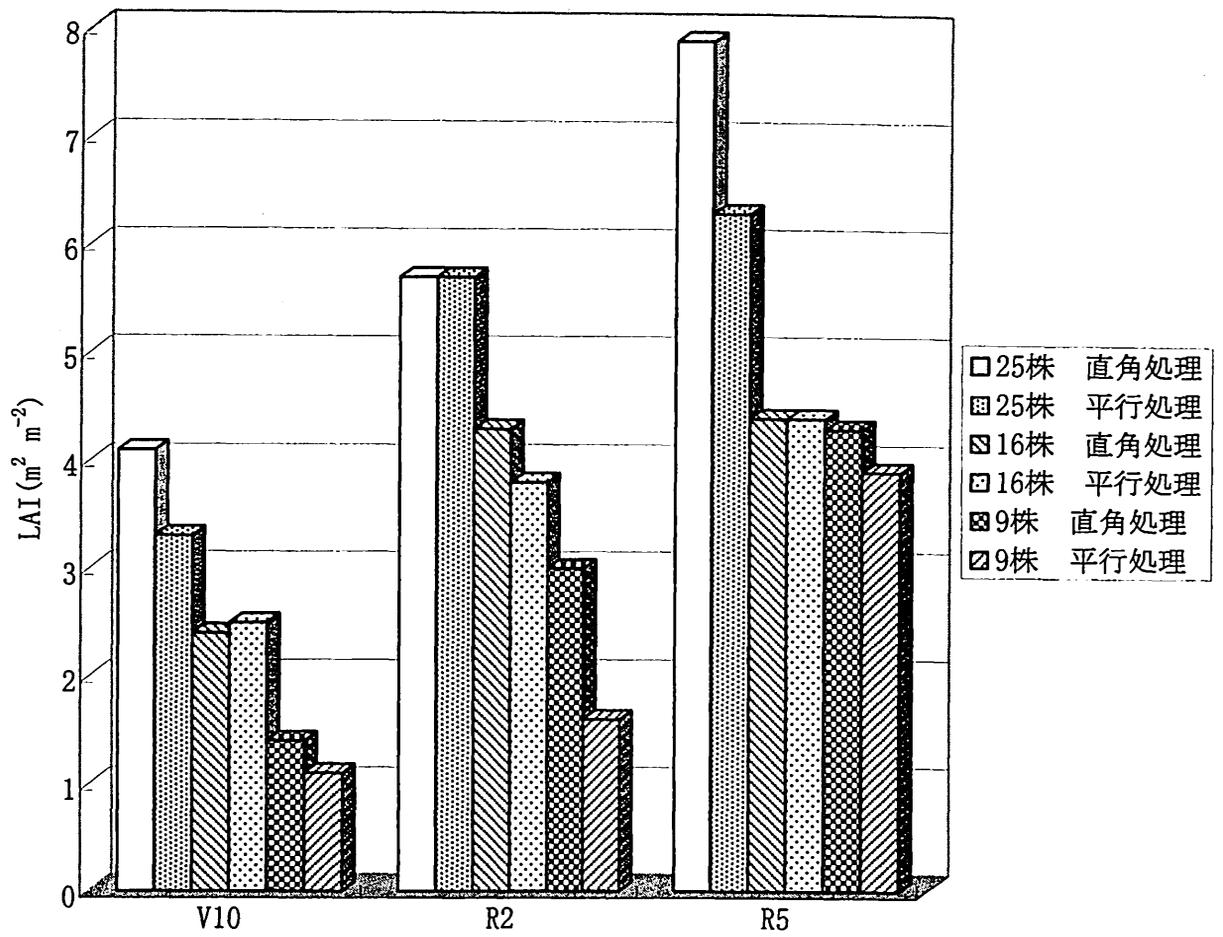
第1-3図 1995年における乾物重の推移.



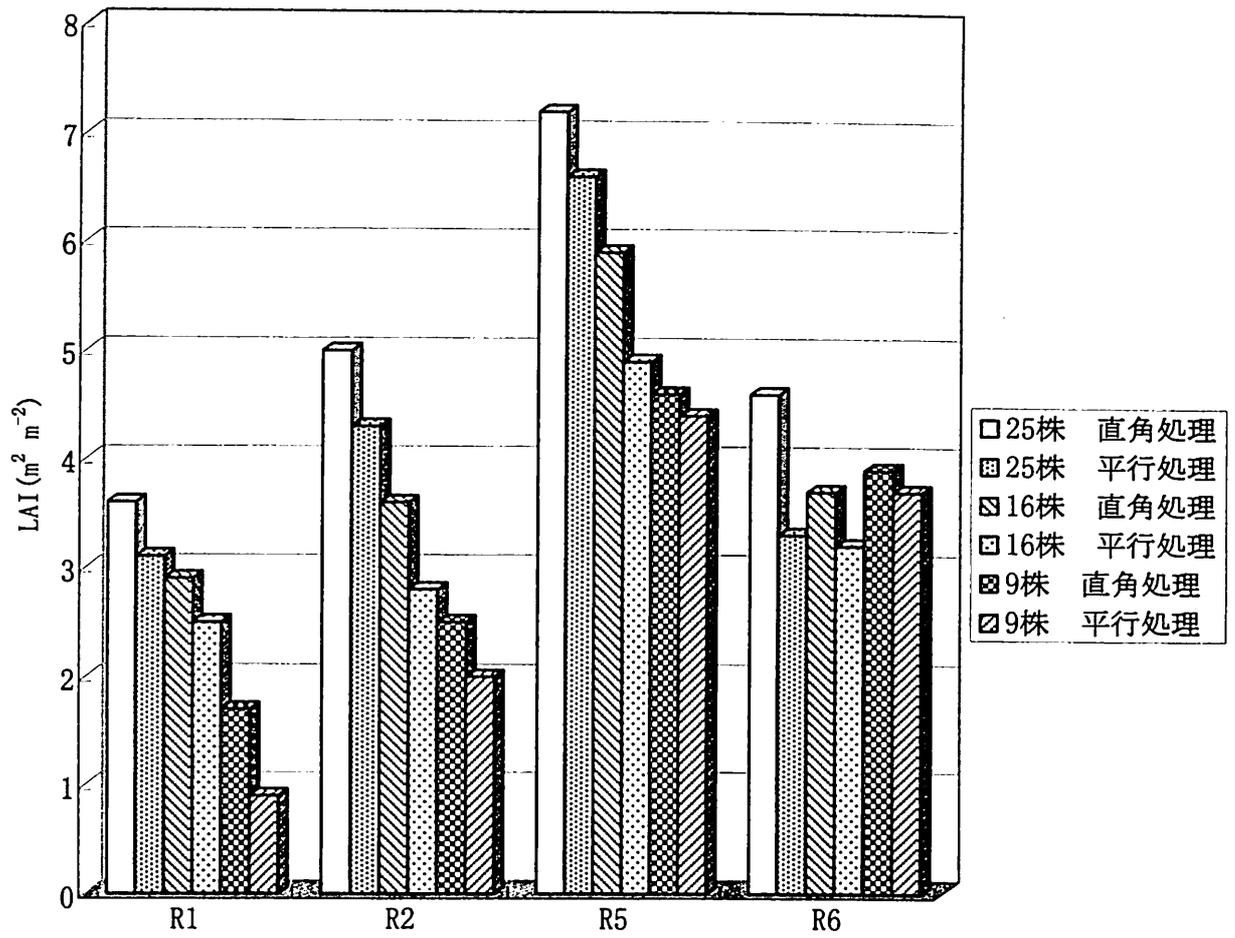
第1-4図 1996年における乾物重の推移.



第1-5図 1994年におけるLAIの推移.



第1-6図 1995年におけるLAIの推移.

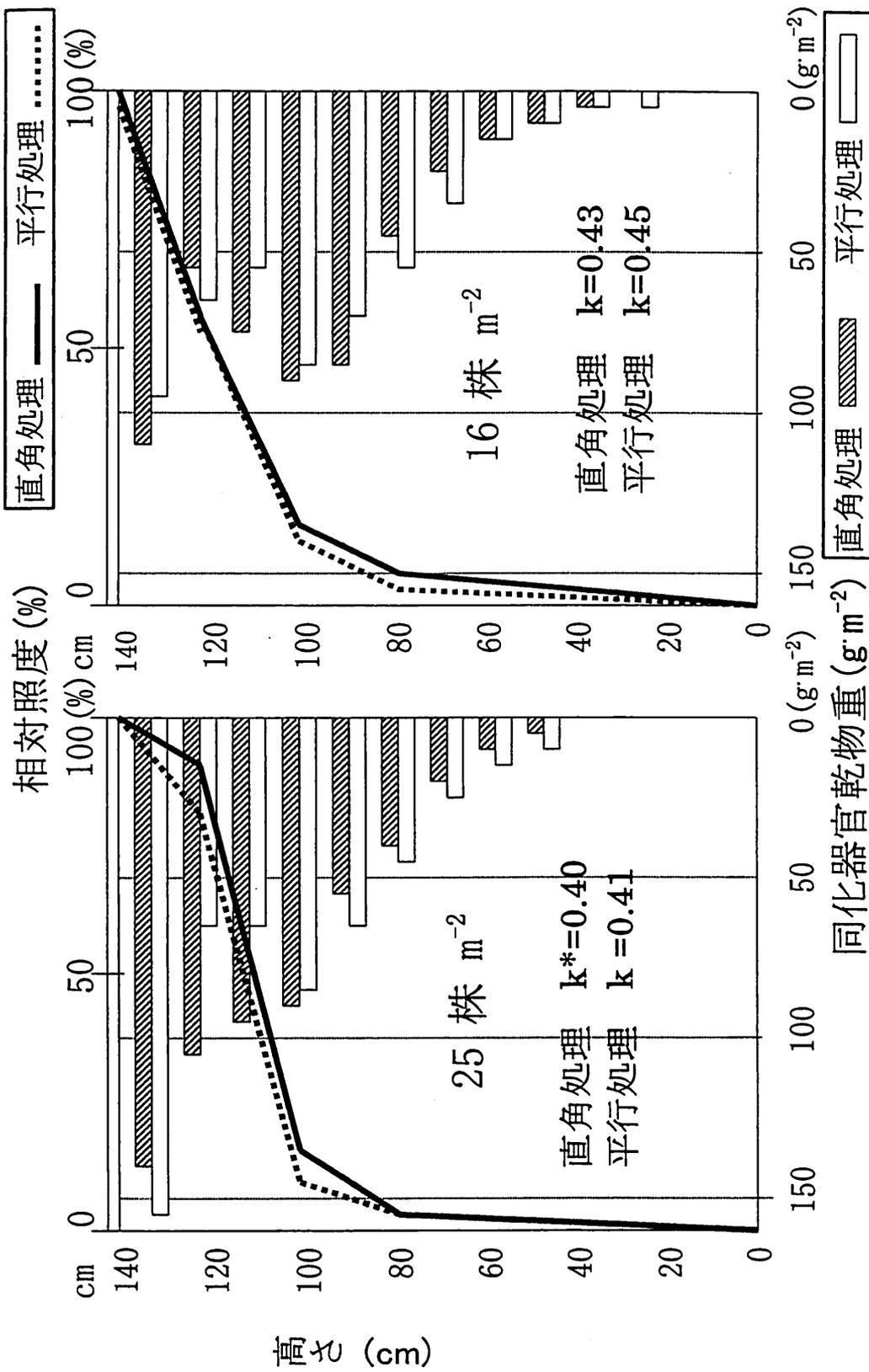


第1-7図 1996年におけるLAIの推移.

示していたと思われた。R6期以降は、葉の枯れ上がりのためにLAIは減少するが、1996年において、R6期においてもR5期までの傾向と同様であり、栽植密度が高いほど、また、各栽植密度の直角処理でLAIは高い値を示し、生殖生長後期においても高く維持された（第1-7図）。

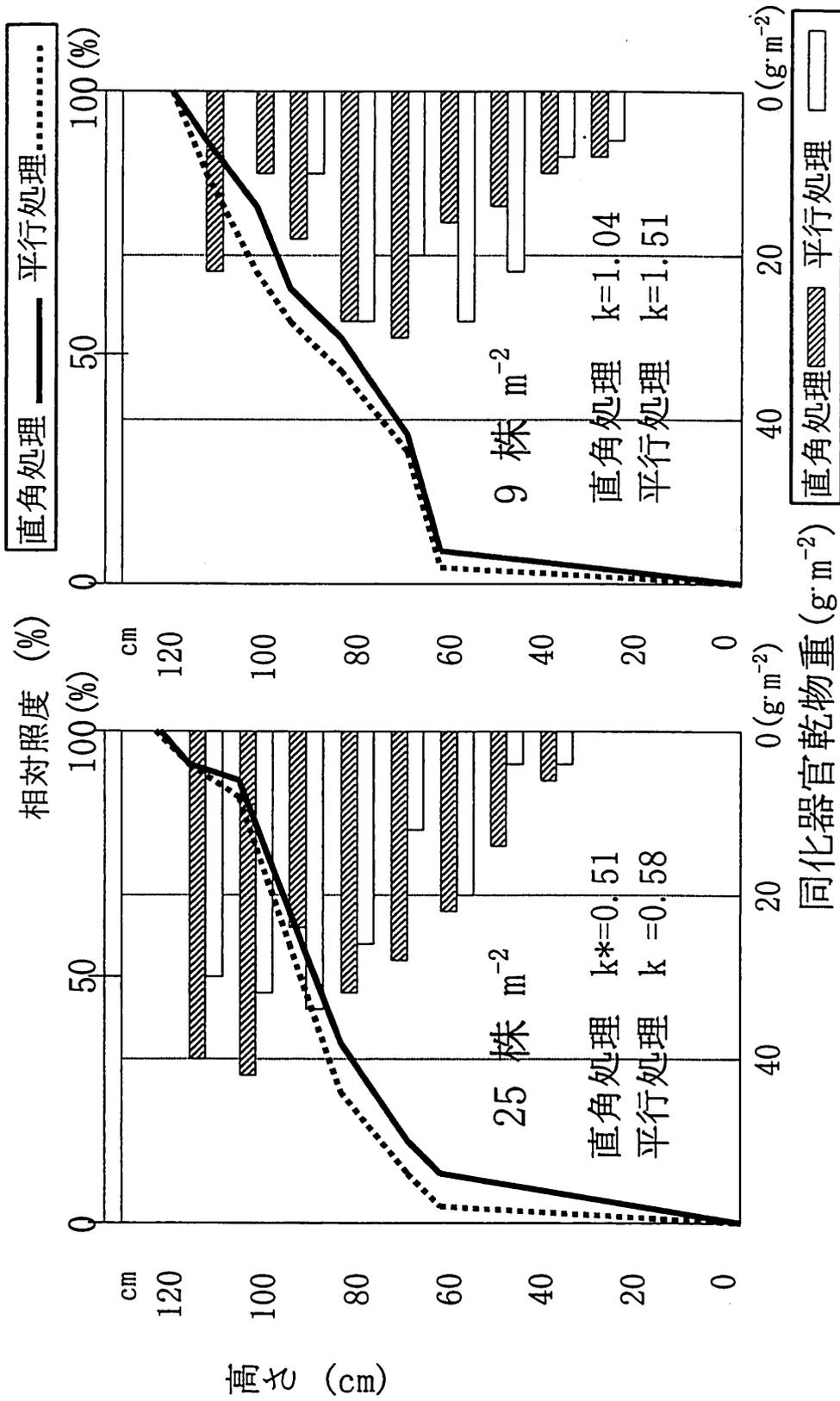
3. 群落構造

乾物生産へ大きな影響を及ぼすと思われる群落内の葉、いわゆる群落内の同化器官の乾物重の分布を調査し、また、各群落内の10cm層毎の相対照度も測定し、群落内の受光態勢及び群落構造を解析した。1994年における25株の同化器官の乾物重は、直角、平行の両処理共に群落上層に乾物が集中したが、直角処理は下層でも乾物の減少が少ないような分布であった（第1-8図）。平行処理は、乾物が最上層に多く分布したが、100～120cmの層では乾物の減少が見られた。中層である80～100cmにかけてまた増加したが、下層にかけては直角処理同様減少した。直角処理の相対照度は、120～140cmにかけて光の透過が見られ、100cmにかけて大きく遮蔽されたが、80cmにかけては緩やかな減少であり、群落中層においても平行処理に比べて光の浸透が見られた。これに対して平行処理は、120～140cmにかけて、直角処理よりも遮蔽が大きく、また、100cmにかけても遮蔽の割合が大きかった。平行処理は最上層に約 $150\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ と多くの乾物が集中しているために遮蔽が大きかったと思われた。16株の乾物の分布は直角、平行処理に大きな違いは見られなかった。最上層に多くの乾物が分布したが、次の層は大きく減少し、中層にかけて増加した。光の群落内への透過のパターンにも大きな違いが見られず、各処理共に100cm付近にかけて約20%まで直線的な相対照度の減少が見られた。栽植密度の違いによる光透過パターンには大きな違いは見られなかった。1995年の同化器官の分布は、25株では100～120cmの上層に多くの分布が見られ、下層にかけて段階的に減少した（第1-9図）。平行処理は上層から中層にかけてほぼ同量の乾物分布が見られ、下層にかけて減少した。相対照度は両処理ともに同様な透過のパターンであったが、直角処理は平行処理と比較して60～100cmにかけて光の浸透が見られた。9株の乾物の分布は各処理で1994年の16株と似通った分布を示したが、全体的に乾物の量が少なかった。しかし、直角処理は平行処理よりも上層に乾物が多く分布していたにもかかわらず、上層で光の浸透が見られており、60～100cmにかけても多く浸透していた。平行処理は上層で約60%まで遮蔽されており、乾物重は小さいが遮蔽の割合が大きかった。1996年の25株は1994年に似た乾物の分布であった（第1-10図）。両処理で上層に集中し、下層にかけて段階的に減



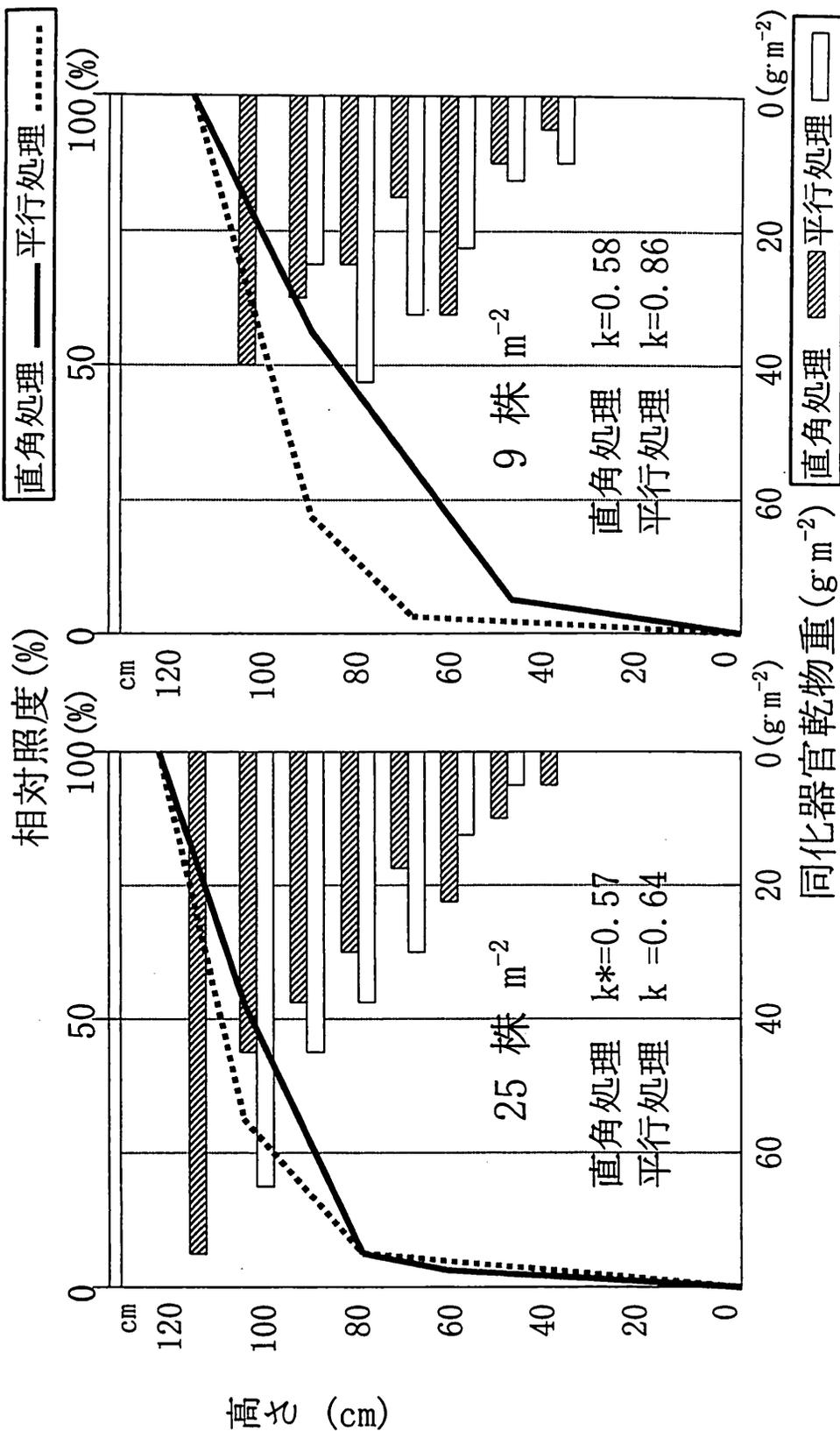
第1-8図 1994年における群落構造.

*:kは吸光係数を示す.



第1-9図 1995年における群落構造.

*:kは吸光係数を示す.



第1-10図 1996年における群落構造.

*:kは吸光係数を示す.

少した。直角処理の相対照度は 80~120cm にかけて直線的な減少であったが、平行処理は最上層において約 30%まで急激に減少していた。相対照度が 50%の値の高さを比較すると平行処理の方が直角処理より高く、上層での遮蔽が強く、一方、直角処理ではより多くの光が群落内部へ透過していた。9 株では直角処理は上層に乾物が集中し、下層にかけて段階的な減少が見られ、平行処理では中層に乾物が集中した。しかしながら、平行処理の相対照度は上層で約 75%の光が遮蔽されており、中層から下層へは光が浸透されなかった。直角処理は 100~60cm にかけて多くの光の透過が見られた。9 株の光の透過パターンは 25 株と似通った形であり、9 株は処理の効果が顕著に現れた。

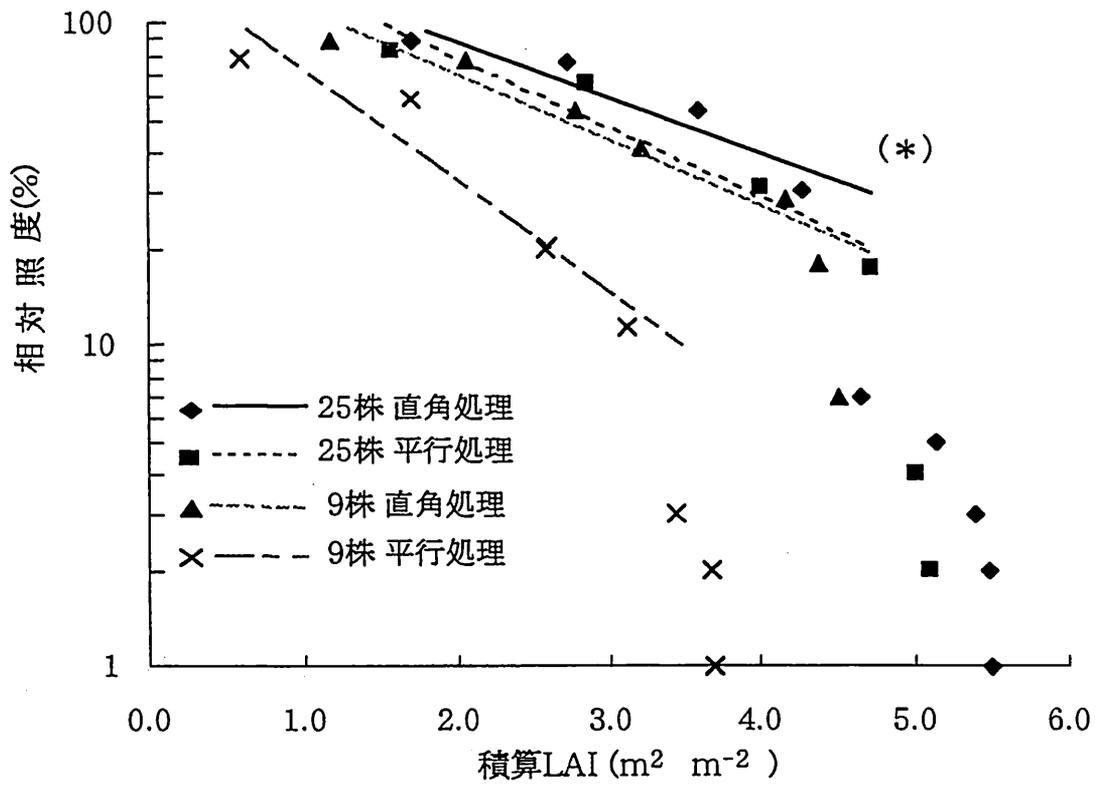
4. 積算 LAI と相対照度との関係と吸光係数

群落内部への光の透過は、3 年間とも直角処理と平行処理で同じ傾向にあったので、1996 年の R5 期の積算 LAI と相対照度との関係のみを示した。25 株の直角処理は LAI の値に対して相対照度の減少割合が最も小さく（第 1-11 図）、また、吸光係数についても $k=0.57$ と最も小さい値を示した。これに対して、25 株の平行処理は LAI が増すにつれて相対照度の減少割合が大きくなった。吸光係数も直角処理と比較して $k=0.64$ と高い値を示しており、群落内部への光の浸透が少なく、受光態勢が悪いことが示唆された。9 株においても同様の傾向を示しており、特に 9 株の平行処理は吸光係数が $k=0.86$ と最も高く、相互遮蔽が強く起こっていることが示唆された。

5. 収量と収量構成要素

収量は各年において栽植密度が高くなるほど高まった（第 1-1 表）。また、各栽植密度において直角処理と平行処理との収量を比較すると、直角処理が大きかった。特に、25 株の直角処理では 1994 年には $515\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、1995 年には $254\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、1996 年には $511\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ と、1995 年の収量は他の年の半分であったが、1994 年、1996 年には高収量が得られた。しかしながら、1995 年においても 25 株の直角処理の収量は処理間で最も高かった。1994 年の収量において、16 株では処理間に有意な差は見られなかったが、25 株では有意な差が見られ、直角処理で高まった。1995 年の収量には栽植密度間で有意な差は見られなかったし、また処理間でも差は見られなかった。1996 年の収量は栽植密度間に有意な差が見られ、25 株と 16 株の直角処理で高まった。9 株でも直角処理の収量が高まっていたが、有意な差は得られなかった。

種子数においても収量と同様の傾向にあり、栽植密度が高いほど増加し、直角処理が平行処理よりも高かった。また、各年において、25 株の直角処理が最



第1-11図 相対照度と積算LAIとの関係 (1996年) .

(*) : 近似直線については相対照度10%以上の値で示した.

第1-1表 収量と収量構成要素

年次	処理	収量 g/m ²	種子数	主茎種子数	分枝種子数	莢数	主莢莢数 #/m ²	分枝莢数	節数	主莖節数	分枝節数	分枝	100粒重 g
1996	25株 直角処理	511 a*	1393 a	931 a	463 ab	887 a	603 a	300 a	662 a	425 a	237 a	62 a	36.7
	25株 平行処理	392 b	1065 b	793 b	322 b	602 b	430 b	172 b	573 b	397 b	177 bc	40 b	36.8
	9株 直角処理	320 c	884 c	393 c	491 a	472 c	211 c	261 ab	350 c	148 c	203 b	36 bc	36.2
	9株 平行処理	276 d	749 d	397 c	352 b	423 c	202 c	202 b	281 d	146 c	136 c	24 c	36.8
1995	25株 直角処理	254 a	750 a	415 a	293 ab	415 a	291 a	124 bc	560 a	390 a	170 b	46 ab	35.8
	25株 平行処理	222 ab	614 b	310 b	304 ab	391 ab	291 a	100 bc	558 a	391 a	167 b	43 ab	36.1
	16株 直角処理	218 ab	609 bc	407 bc	202 b	308 c	164 bc	144 b	461 b	257 b	204 ab	46 ab	35.9
	16株 平行処理	205 b	556 bc	396 bc	160 b	435 a	194 b	241 a	497 ab	249 b	248 a	57 a	36.8
	9株 平行処理	214 ab	590 bc	226 c	364 a	438 a	182 bc	256 a	338 c	141 c	197 ab	38 b	36.3
	9株 平行処理	195 b	540 c	220 c	320 a	360 b	145 bc	215 ab	310 c	126 c	184 ab	39 c	36.1
1994	25株 直角処理	515 a	1338 a	859 a	479 a	942 a	605 a	337 a	698 a	422 a	277 a	55 a	38.5
	25株 平行処理	467 b	1185 b	806 b	379 b	840 b	571 a	269 b	588 b	412 a	176 c	33 c	39.4
	16株 直角処理	366 c	998 c	637 c	361 c	649 c	414 b	235 b	489 c	269 b	220 b	43 b	36.7
	16株 平行処理	362 c	967 c	609 c	358 c	607 c	382 b	225 b	490 c	274 b	216 b	41 b	37.4

*: アルファベットが異なれば5%レベルで有意に差があることを示す。

第1-2表 収量と収量構成要素間の相関係数.

	収量 (g/m ²)	種子数 (#/m ²)	莢数 (#/m ²)	節数 (#/m ²)	分枝数 (#/m ²)
種子数 (#/m ²)	0.9970***				
莢数 (#/m ²)	0.9664***	0.9539***			
節数 (#/m ²)	0.6442**	0.6811**	0.7099**		
分枝数 (#/m ²)	0.2662	0.2877	0.3556	0.6681*	
100粒重 (g)	0.7127**	0.6574*	0.7743**	0.4586	-0.03750

***, **, * は, それぞれ0.1%, 1%, 5%で有意な相関があることを示す.

も高い種子数を示した。1994年、1995年では25株で処理間に有意な差が認められた。16株、9株では直角処理が平行処理よりも増加していたが、有意な差は認められなかった。1996年では、各栽植密度で処理間に有意な差が見られ、直角処理が高かった。種子数を主茎と分枝とで分けてみると、密植になるほど主茎の種子数の割合が大きく、疎植では分枝の種子の割合が多くなった。また、主茎、分枝においても1995年を除いて、各栽植密度で処理間に差が見られる傾向にあった。

莢数は1994年、1996年は栽植密度が高まるほど増加し、また、直角処理で平行処理よりも高まる傾向にあった。1995年では9株の直角処理で最も高まったが、栽植密度、処理間に大きな差は見られなかった。種子数同様、密植では主茎莢数は高まったが、1994年、1996年の直角処理の莢数が高かったのは、分枝においても莢数が増加したためであり、直角処理で有意に高まった。

節数は栽植密度が高まるほど増加し、栽植密度間に有意な差が見られた。また、主茎莢数は処理間に大きな差はなかったが、分枝節数には1994年、1996年で大きな有意な差がみられた。1995年は16株で分枝節数が高まり、ついで9株で、25株は最も低かった。

分枝数は1994、1996年では栽植密度の増加に伴って増加し、また、1996年では処理間においても有意な差が見られ、直角処理で高まった。1994年では25株の直角処理が平行処理よりも有意に高まったが、16株には差が見られなかった。1995年では16株の平行処理で大きく高まったが、そのほかの処理区に有意な差はなかった。

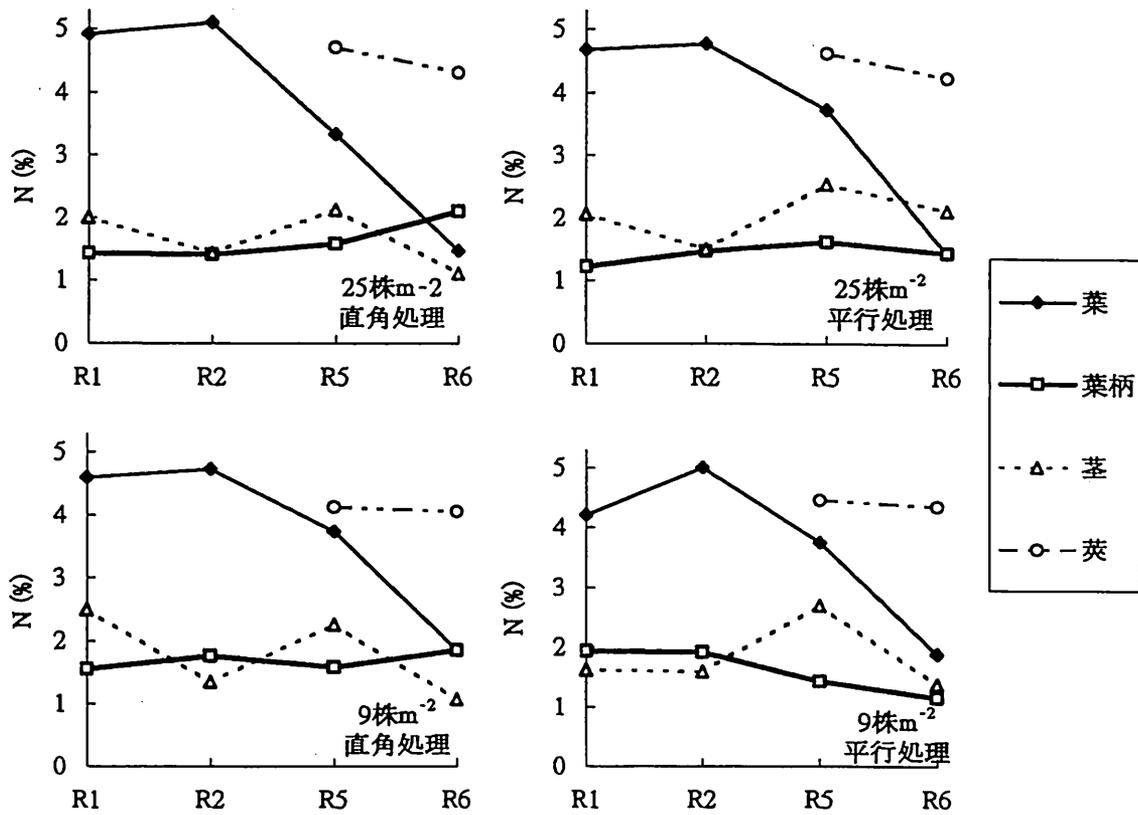
100粒重は3年間で35.8~39.4gの値をとり、1994年のものが最も高い傾向にあり、1995年が低い傾向にあった。

6. 収量と収量構成要素間の相関係数

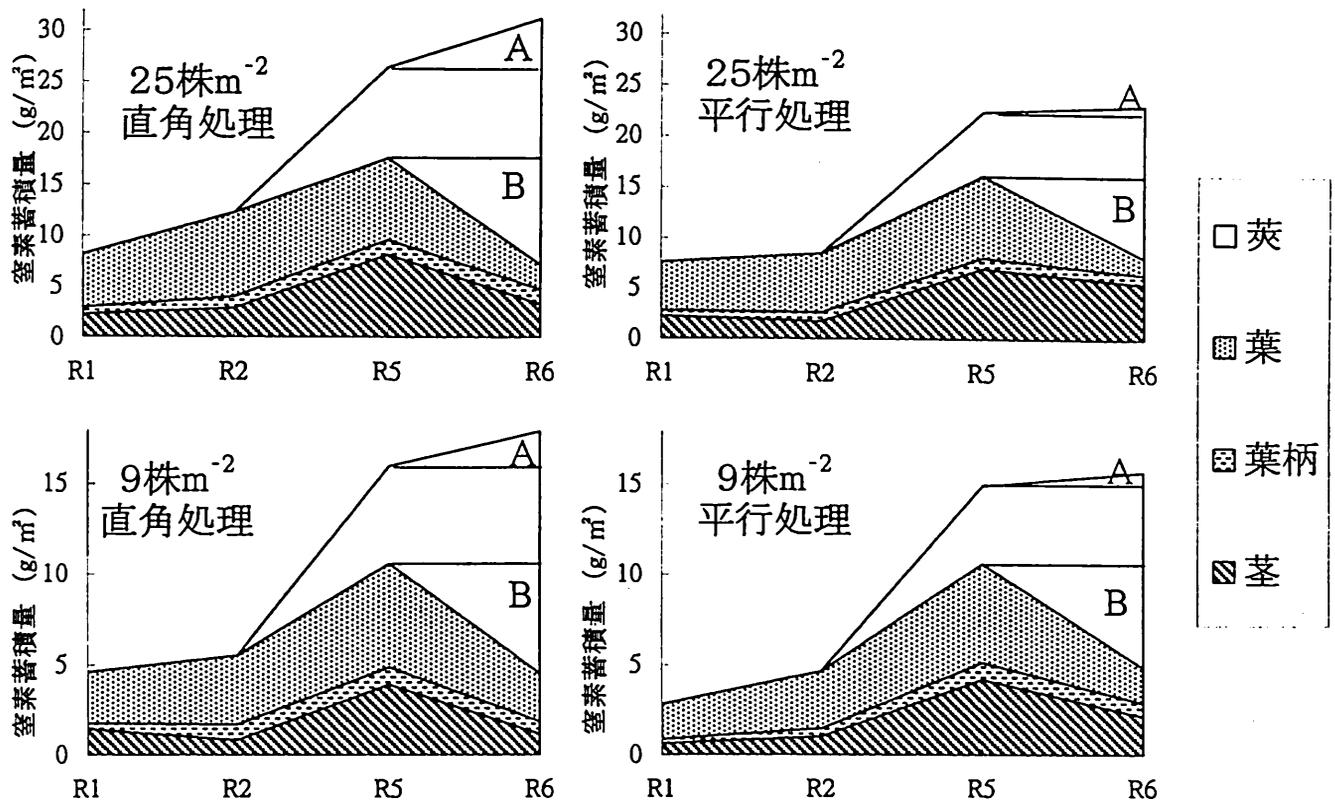
3年間の収量と収量構成要素の相関係数を第1-2表に示した。収量は種子数、莢数、節数、100粒重との間に有意な正の相関関係がみられた。種子数は莢数、節数と有意な正の相関関係にあり、莢数は、節数と有意な正の相関関係にあった。分枝数は節数と有意な正の相関関係にあったが、収量及び他の収量構成要素間に有意な相関関係は得られなかった。

7. 窒素濃度

1996年に窒素動態の調査を行った。ダイズ植物体内の窒素濃度を生殖生長期についてみた(第1-12図)。葉はR2期に各処理とも約5%前後の高い値を示し、特に25株の直角処理で5.09%と最も高い値を示した。その後、生殖生長



第1-12図 部位別に見た窒素濃度の推移 (1996年) .



第1-13図 部位別にみた窒素蓄積量の推移 (1996年).
 A: 莢形成後窒素同化量. B: 莢への窒素転流量.

第1-3表 1996年のR5期からR6期の莢への窒素転流量と莢における莢形成後窒素同化量.

処理区	莢への窒素転流量			
	莢形成後窒素同化量 g m ⁻²	莢への窒素転流量の合計 g m ⁻²	葉 g m ⁻²	莖 g m ⁻²
25株 直角処理	4.78	10.42 (43%)*	5.57 (53%)**	4.85 (47%)
25株 平行処理	1.24	8.10 (54%)	6.47 (80%)	1.46 (18%)
9株 直角処理	1.94	6.05 (45%)	3.07 (51%)	2.74 (45%)
9株 平行処理	0.76	5.75 (53%)	3.53 (61%)	2.04 (35%)
				0 (0%)
				0.16 (2%)
				0.25 (4%)
				0.18 (3%)

* : パーセントはR6期の莢窒素蓄積量に対する窒素転流量の割合.

** : パーセントは各器官から莢への窒素転流量寄与率.

期が進むにつれて窒素濃度は一様に低下した。25 株では R2 期以降、直角処理は直線的に減少し、R5 期で 3.3%と、処理中最も低い値を示したのに対して、平行処理は R5 期での低下が少なかった。9 株では直角処理も平行処理も 25 株の平行処理に類似した低下を示し、R6 期で約 1.8%を示した。R2 期から R5 期までは低下の割合は小さいが、R6 期にかけて急激な低下が見られた。葉柄の窒素濃度は各処理間で約 1.0~2.0%の値を示し、処理間、栽植密度、時期別に大きな違いはみられなかった。茎の窒素濃度は R1 期から R2 期にかけていったん減少する傾向にあったが、R5 期に向かって増加し、この時期に最も高い値を示した。莢の窒素濃度は莢の伸長の終了した R5 期から R6 期にかけて僅かな減少を示し、25 株の直角処理で 4.71%から 4.31%と最も高い値での推移が見られた。

8. 窒素蓄積量

窒素蓄積量は乾物重の推移と類似して推移した（第 1-13 図）。開花期から結莢期までの窒素蓄積量は 葉>茎>葉柄 の順であった。葉は R1 期から R2 期までは徐々に増加した。R5 期にかけて大きく増加して最も高い蓄積量を示したがそれ以降は急激な減少が見られた。茎も葉と同様の傾向にあり、R5 期に最も高い蓄積量を示し、その後低下した。葉柄の全体に占める割合は小さいが、その推移は R1 期から R2 期にかけて増加し、その後はほぼ一定の蓄積量を示した。R5 期以降は、他部位に比べて莢の蓄積量が最も高く、R6 期にかけて大きく増加した。また、全窒素蓄積量は生殖生長期間を通して 25 株の直角処理>25 株の平行処理>9 株の直角処理>9 株の平行処理 の順に大きく、特に 25 株の直角処理では R2 期以降、著しく高く推移した。

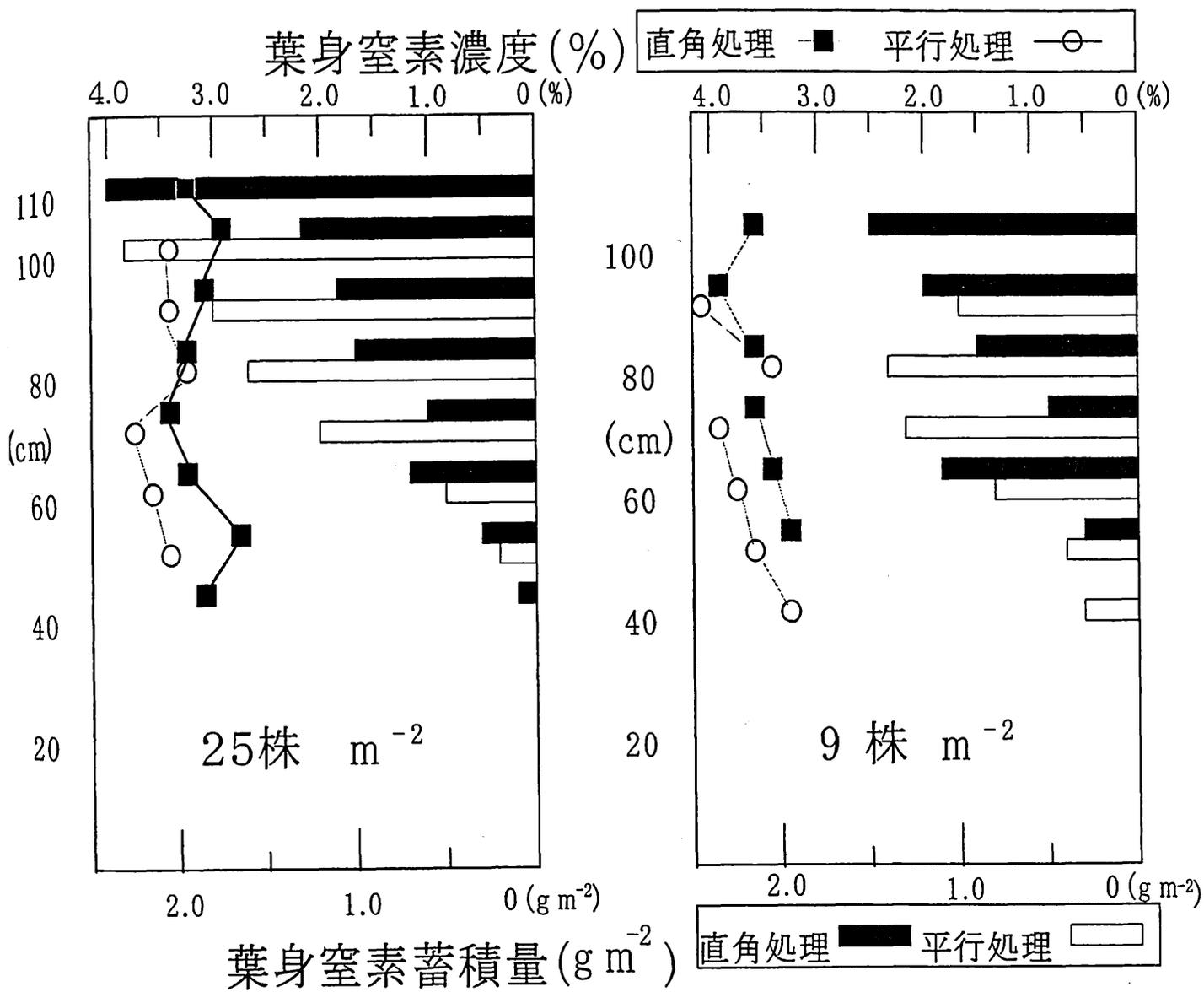
赤尾ら（1987）は、ダイズは葉、茎などに同化炭素をいったん貯蔵蓄積し、子実肥大盛期以後に子実へ転流することを報告している。本報においても、R5 期から R6 期にかけての葉、茎、葉柄の窒素蓄積減少量を莢への窒素転流量としてみた時、栄養器官からの転流量は 25 株の直角処理で $10.42\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ と最も大きく、次いで 25 株の平行処理>9 株の直角処理>9 株の平行処理 の順であった（第 1-3 表）。R6 期の莢窒素蓄積量における転流量の割合は直角処理の 25 株で 43%、9 株では 45%であった。これに対して平行処理では 25 株で 54%、9 株では 53%となり、直角処理よりも平行処理の莢窒素蓄積は転流量に依存する割合が高かった。R5 期から R6 期の莢における莢形成後窒素同化量は各栽植密度別にみると直角処理が平行処理よりも高い値だった。莢への窒素転流量の内訳の割合を葉、葉柄、茎の三器官から見ると、葉については 25 株の直角処理では 53%、25 株の平行処理は 80%、9 株の直角処理は 51%、9 株の平行処理では 61%と

直角処理で平行処理よりも低い傾向にあったが、茎では逆に直角処理で大きく高まった。葉柄による窒素再分配量は僅かであった。茎に由来するところに違いが見られたことが処理間の違いにつながり、直角処理は葉、茎の両器官から効率よく莢へ転流したと思われた。

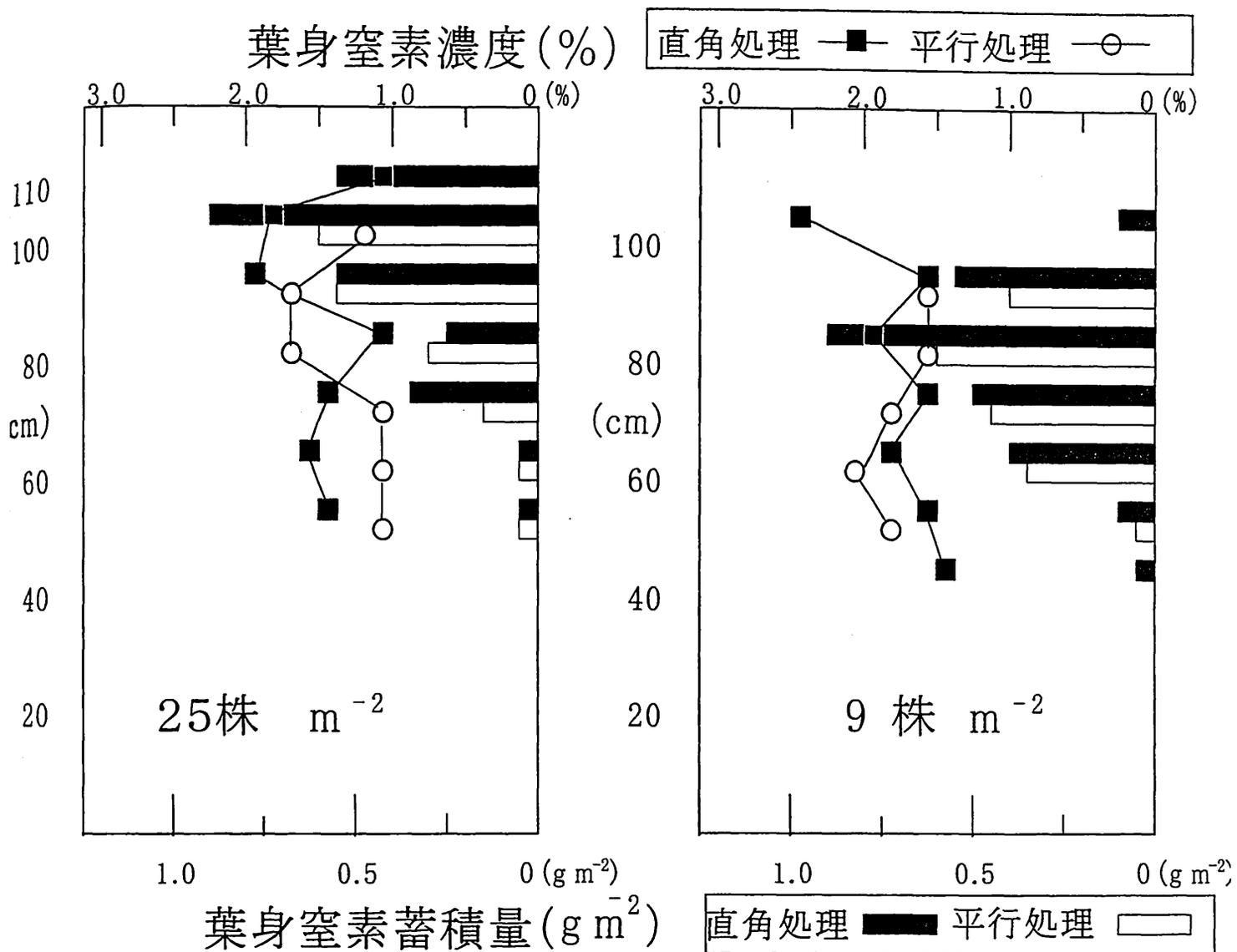
9. 群落内の窒素分配

R5 期の群落内の窒素分配をみると（第 1-14 図），葉の窒素蓄積量は両栽植密度ともに乾物重と同じような分布傾向を示した。しかし，25 株の直角処理では最頂部の層で $2.45\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ と最も多く，その直下の層で $1.31\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ まで大きく減少し，それ以下では層の低下とともに徐々に減少した。25 株の平行処理においても上層から下層にかけての段階的な減少傾向は同様であった。25 株での各層の葉の窒素蓄積量の和を比較してみると，直角処理は平行処理に対して上下ともに 1 層ずつ多く，葉の乾物重は直角処理が平行処理よりも高いが，葉の窒素濃度が直角処理は各層で 3% 前後と，平行処理の 3.5% 前後に比べて低い値を示したため，蓄積量の和は，ほぼ同じであった。9 株の各層の葉の窒素濃度は直角処理で 3.6% 前後，平行処理で 3.7% 前後と，平行処理で僅かに高い傾向にあったが，葉の窒素蓄積量の和は両処理でほぼ等しく，25 株と同様の傾向を示した。

R6 期の群落内の葉の窒素分配は窒素濃度，窒素蓄積量ともに R5 期と比較して大きく減少した（第 1-15 図）。25 株の両処理とも光条件の良い上層部の葉の窒素蓄積量が高いが下層部の低下が著しかった。葉の窒素濃度は 25 株の直角処理では 90~100cm で約 2%，50~70cm の層で約 1.5% と比較的高く，80cm の層で 1.0% と低かった。25 株の平行処理は 80~90cm の層で 1.7% と高いが，50~70cm の層では約 1.1% と，直角処理よりも低い値であった。9 株の葉の窒素濃度は，直角処理では最上層で 2.6% と高いが，それ以下の層は約 1.7% と，各層に大きな違いがみられなかった。葉の窒素蓄積量について，25 株の直角処理は 60~80cm 層の窒素蓄積量が R5 期では $1.28\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ であったが，R6 期では $0.33\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ と $0.95\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 減少した。これに対して，25 株の平行処理の 60~80cm 層の R5 期における葉の窒素蓄積量は $1.67\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ から $0.25\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ へと $1.42\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 減少しており，中層から下層の窒素蓄積量減少割合は平行処理で大きかった。9 株においては 50~80cm 層の R5 期の葉の窒素蓄積量は $1.91\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ であったが R6 期には $0.91\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ であり， $1\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 減少した。一方，平行処理は $2.63\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ から $0.91\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ へと $1.39\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 減少しており，25 株同様，中層から下層にかけての葉の窒素蓄積量は平行処理で減少した。また，葉の窒素蓄積量の和を R5 期と R6 期



第1-14図 R5期における葉の窒素濃度と葉の窒素蓄積量の群落内分布 (1996年) .



第1-15図 R6期における葉の窒素濃度と葉の窒素蓄積量の群落内分布 (1996年) .

とで比較すると、25株の直角処理はR5期が 7.6 g m^{-2} 、R6期は 2.47 g m^{-2} と約3分の1に低下した。25株の平行処理はR5期が 7.65 g m^{-2} 、R6期は 1.71 g m^{-2} と約4分の1に低下し、平行処理の低下が大きかった（第1-13図）。9株の直角処理はR5期が 5.48 g m^{-2} 、R6期は 2.59 g m^{-2} と約2分の1に、9株の平行処理はR5期が 5.36 g m^{-2} 、R6期は 1.83 g m^{-2} と約3分の1に減少し、9株の直角処理の減少割合が処理間で最も小さかった。

10. 生長パラメータ

生殖生長期間の生長パラメータを第1-4表に示した。R1期からR2期にかけて25株の直角処理のCGRが顕著に高い値を示し、NAR、平均LAIにおいても他の処理と比較して高かった。9株においてはNARが平行処理で直角処理よりも高かったが平均LAIは直角処理で高く、CGRに大きな違いはみられなかった。R2期からR5期にかけては、各パラメータにおいて直角処理で高まる傾向にあった。R5期からR6期にかけて25株の直角処理の平均LAIは高く、生殖生長期後半にかけて高く維持されていた。また、CGR、NARの値においても最も高い値を示した。

考 察

乾物生産は群落の光合成速度、LAI、受光量などの要因によって決定される。直角処理と平行処理との間には生殖生長期間を通して乾物重に違いが見られ、また、1995年においては栄養生長期の第10葉期から違いが見られた。そこで、その要因について考察してみた。本実験では栽植様式をジグザグ植えとし、さらに供試品種ミヤギシロメの葉序が1/2であることを利用した。その結果、1995年の第10葉期では、25株の直角処理で最も高いLAIを示し、また、1994年、1996年のR2期、R5期においても同様の傾向であった。これにより直角処理は発芽以降、葉の展開において相互遮蔽が少なく、栄養生長初期から葉面積の展開が促進されたと推察された。一方、平行処理は直角処理よりも生育期間を通して低く推移し、乾物重も同じ傾向であり低い推移であった。よって、高い乾物生産を可能にする高いLAI、それをもたらす良好な受光態勢は栄養生長期より形成され、生殖生長期間においても維持されたと考えられた。ダイズ個体群の光合成にはLAI6.5までは光飽和が認められるが（村田・猪山1960）、LAIが大きい場合には下位の葉は光不飽和のままに止まり、上位のすでに光飽和に達した葉の受ける光の強さのみが強まるために、みかけ上、全体が光飽和を示

第1-4表 1996年の生殖生長期間の生長パラメータ.

処理区	R1-R2		R2-R5		R5-R6				
	CGR $\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$	NAR $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$	平均 LAI $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$	CGR $\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$	NAR $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$	平均 LAI $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$	CGR $\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$	NAR $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$	平均 LAI $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$
25株 直角処理	25.7	6.04	4.3	13.1	2.16	6.1	6.8	1.17	5.9
25株 平行処理	6.3	1.71	3.7	11.4	2.12	5.5	3.8	0.79	5
9株 直角処理	7.3	3.53	2.1	9.3	2.69	3.6	3.8	0.89	4.3
9株 平行処理	7.7	5.59	1.5	8.9	2.92	3.2	4.1	1.01	4.1

すようになる(玖村 1965)。ダイズは光合成に対して散光の利用率が高いために光の強さが同じであっても、その中に含まれる散光成分の割合が増すほど群落内の光の分布が均一化され、群落光合成量は増大し、群落光合成に対して散光成分が特に重要となる(玖村 1968)。よって中位葉、下位葉は群落内部に透過した光をいかに利用するかということになるが、ダイズ群落は葉面照度に差が生じないように調位運動が行われ、上位葉の葉面傾斜の変化は下層の葉面受光に大きな変化を及ぼす(川嶋 1969)。いったん強度の光が群落へ照射されれば、葉の角度や直角処理といった葉の配置により群落内部へ光は透過し、群落の中層や下層は光合成活性が増加するようになる(Board and Harvill 1992)。本実験では、R5期の直角処理において群落内部へより多くの光の透過が明らかとなり、有効利用されたと考えられた。積算LAIと相対照度との関係からも直角処理の光環境の改善がなされたと考えられ、吸光係数においても低い値を示した。また、LAIは受光量を決定する重要な要因であると同時に、葉の配置、葉の角度といった群落の特徴的な要素は高い受光量を維持するためにLAIに対して補助的な役割を果たしていると考えられた(Board and Harvill 1992)。

子実生産には子実肥大期間の窒素蓄積量が関与しているとされているが(Shiraiwa and Hashikawa 1995)、窒素蓄積量の生殖生長期間の推移に処理間で違いが見られたため(第13図)、葉の窒素濃度と窒素蓄積量について、R5期のLAIと相対照度から推察される受光態勢を含めて、各処理を群落構造の視点から検討した。

R2期以降、各処理とも葉の窒素濃度は低下するが、窒素蓄積量は増加した。25株の直角処理はR1期から高い葉の窒素濃度が維持され、R1期からR2期のNARは高い値を示したことから(第4表)、個葉の光合成能力も高いと推察された。R2期以降、葉の窒素濃度の低下からNARは低下し、光合成能力の低下が推察されたが、平均LAIが高まったためCGRの値は高く、乾物生産は高く維持されていたと推察した。25株の平行処理では生殖生長期間を通してNARが低く推移したことから、個葉の光合成能力ではなく群落構造に由来する相互遮蔽がNAR低下の要因となっており、このためCGRの値が低いと推察された。その結果、R1期からR2期のCGRに大きな差が生じたと考えた。浅沼(1977)は開花期間中の乾物生産の多少が収量に大きな影響を及ぼしたことを報告している。収量の大きな決定要因である莢数は総開花数と密接な関係があり(斉藤ら 1998a)、花蕾数確保のためには花芽分化期から開花期にかけての乾物生産を

高く維持する必要がある(郡ら 1998)。本実験において、R1 期から R2 期にかけて CGR が高かった直角処理で単位面積当たりの莢数は平行処理よりも高まっていた。また、大庭ら(1961)は、開花後 30 日間の日射量が結莢率に与える影響の大きいことを報告している。シンク能としての莢数の増加には花蕾数や結莢率を介して日射量が関係していると考えられ、相互遮蔽が小さくシンク能が高まった直角処理は、R5 期以降の莢の窒素蓄積量が高まったと推察された。ダイズは水平葉を持つため、自然光の多くが群落上部で受光される。栽植密度が密植になるほどその傾向は強くなり、生育後半は葉群が上層に集中して受光態勢が悪くなるという報告が多い(Isoda ら 1992, Johnston ら 1969)。本実験においても R5 期には上層に葉の窒素蓄積が集中していることから葉群の集中により、受光態勢が良くないことが推察された。そのなかで相対照度と LAI との関係を見ると 25 株の直角処理は LAI の値が大きくなっても相対照度の減少が小さく、吸光係数も最も低い値を示した(第 11 図)。また、生殖生長期間において CGR の値は処理中で最も高い値の推移を示し、NAR においても高い値で推移した。特に R1 期から R2 期と R5 期から R6 期にはその値が顕著に高く、生育に伴う CGR の変化が個体群の受光量と密接な直線関係を示すことから(Shibles ら 1975)、直角処理による葉の配列様式が相互遮蔽を軽減させ、良好な受光態勢が保たれたと推察された。これにより R2 期から R6 期にかけて葉の乾物重と関係する LAI は高く維持されたが、R5 期での葉の窒素蓄積量の群落分配は最上層を除いて各層で平行処理の約半分であった(第 14 図)。ダイズは新しい葉を形成するときに用いられる再転流窒素の割合は 70~80%とされ(Kato and Kitada 1979)、結実期の後半には作物体内に存在する全窒素の約 2 分の 1 が種子へ転流するが(Hanway and Weber 1971)、この場合、莢の発達が始まるとすぐに栄養器官の窒素蓄積は減少し、その窒素は再転流窒素として莢に転流されることから(Weaver and Morris 1982)、R6 期にかけて葉から莢への窒素転流が進んでいると思われた。9 株についてもこの傾向は見受けられ、結莢が最も多いと考えられる中層の 60cm から 80cm の層においての葉の窒素蓄積量は直角処理が平行処理よりも大きく下回っていた。Kokubun ら(1988)は開花期から子実肥大期までのソース能によってシンク能は決定されると指摘している。葉の窒素濃度が生殖生長初期で高かった直角処理では R5 期にかけて莢の窒素蓄積量は高まる傾向にあった(第 13 図)。また、LAI と関係する葉の窒素蓄積量においても高く推移した。池田・佐藤(1990)は主茎第 1 節間の m^2 当たり全断面積は開花期、登熟期の LAI と正の相関を持ち、茎の断面積の増加が

増収パラメータの増加を支えているとしている。本実験においても R5 期にかけて直角処理では葉と茎の窒素蓄積量が高まった。光合成産物が葉のみでなく、茎においても受容され、葉、及び茎の窒素蓄積増加につながったと思われた。これが R6 期にかけて莢への転流量へ寄与し、莢の窒素蓄積量増加へ貢献していた（第 3 表）。栄養器官のうち、葉に加えて茎が莢への窒素転流量に重要な役割を果たしており、茎は転流窒素の中間的プールの役割を担っている可能性が示唆された。白岩ら（1994）は、高い乾物生産力を可能にする葉面積当たり窒素濃度はより豊富な窒素の供給を伴うことによって可能になることと、葉面積当たり窒素濃度は比葉重という品種の形態特性と相関関係が強いことを認めている。しかし、形態特性に変化が生じない本実験のような単一品種の中では群落構造の違いによる受光態勢の変化の影響が葉の窒素蓄積量、窒素転流様式に現れたと考えた。

次に、莢形成後の窒素同化量においても直角処理と平行処理に違いが見られたため、受光態勢と葉の老化の関係について考えてみた。Hayati ら（1995）は葉から莢への窒素の再転流による葉の老化促進を指摘しており、シンクサイズが制限されると葉からの窒素の移動が阻害され葉の老化が遅れる（Crafts-Brandner and Egli 1987）ことや、下層への光の透過量以外の葉の老化要因についても報告されている（大川ら 1999）。葉の窒素濃度が低下すると密植ほど葉の老化が進行するが（小松ら 1989）、本実験の R6 期において密植である 25 株の直角処理の群落下層で葉の窒素濃度は高まっていた。また、R5 期から R6 期にかけて葉の窒素蓄積量の減少割合は平行処理で大きく、葉の窒素濃度に伴う光合成能力の維持が窒素同化量の増加、及び老化の遅延につながったと推察した。ダイズの調位運動は広く知られているが、Isoda ら（1994 a）はミヤギシロメの調位運動活性が低いことを報告しており、葉の動きが鈍いことで処理の影響が受光態勢に強く現れ、老化にも影響したと考えられた。中世古ら（1984）は多収性を示すダイズ品種では受光態勢がよく、登熟期の葉の生存期間が長く落葉が遅いとしている。また、本実験で使用した品種ミヤギシロメのような晩生品種は子実肥大期の光合成速度と子実収量とは密接な正の相関があり、大きなシンク能によって光合成能が昂進され（Kokubun ら 1988）、葉の老化が抑えられたと考えた。

収量は直角処理で高まったが、それは種子数の増加による貢献が大きい（第 1 表、第 2 表）。Egli and Yu（1990）は収量は CGR によって制御され、種子数に影響を及ぼすとしている。また、収量は莢数、節数とも有意な正の相関にあ

った。Boardら(1992)は、栄養生長期からR5期までのCGRと受光量が高まることで莢数が高まり、収量に影響を与えている。生殖生長期間の受光量と関係して莢数は節当たりの莢数によって決定され(Board and Harville 1993)、節当たりの莢数は莢が伸長し、最終的な莢数が決定されるR5期の10~12日後に決定される(Board and Tan 1995)。R5期において光を有効利用するような群落が節当たりの莢数を増やし、収量を増加させると考えられた。また、節数は分枝数と正の相関関係にあり、分枝収量構成要素は分枝乾物重(分枝数、分枝長、分枝節数)によって影響され(Boardら1990)、収量増は分枝節数の増加によってもたらされる(池田・佐藤1990, Ikedaら1994)。下位の葉に補光して光合成を促進すると分枝の節数を増して増収したという報告もある(Johnstonら1969)。増収するための分枝乾物重の確保は理想的な分枝の配置である直角処理で分枝数及び分枝収量構成要素が高まったことから栄養生長期より乾物生産が高まっていたことが考えられた。Johnsonら(1982)は密植において収量は生殖生長のみに影響されるとしているが、Duncan(1986)、Egliら(1987)はR5期の乾物重増加が収量増加の重要な要因となっておりとし、R5期の乾物重は莢をつける節と関係があり、栄養生長期からR5期にかけての受光量を増加させるためのLAIとも関係があると考えられた(Boardら1992)。よって、受光量の増加は生殖生長期のみならず、栄養生長期においても乾物重を増加し、節数、莢数の増加が種子数、収量の増加につながることを示唆された。

第2章

ダイズ群落内の光利用効率が乾物生産,開花数と莢数
成立の関係及び収量に与える影響

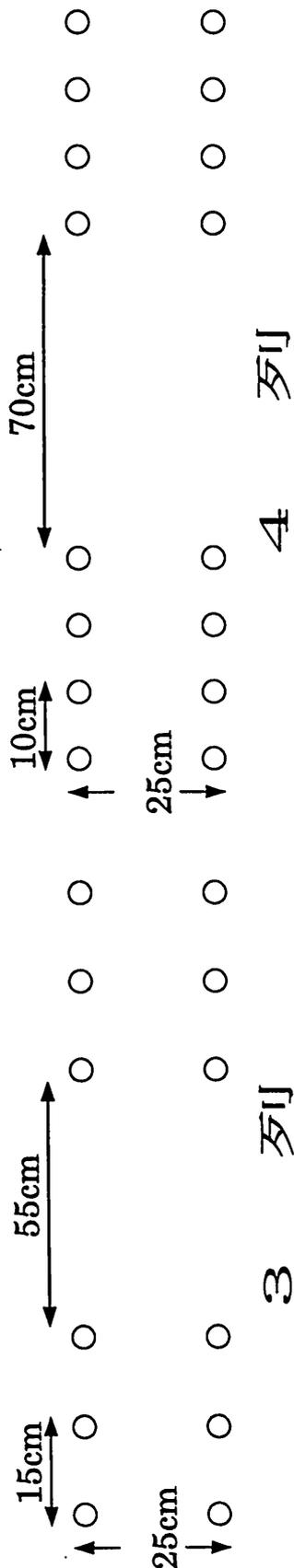
第2章 ダイズ群落内の光利用効率が乾物生産、開花数と莢数成立の関係及び収量に与える影響

ダイズの収量は莢数と最も密接に関係しているということが明らかにされている。莢数を確保するためには開花数を増やすことが重要である。ダイズは花器の30~80%が脱落することから、莢数を確保するためには花器脱落の抑制が不可欠である。莢数の成立過程は複雑で、不明な点が数多く残されていて、花器と莢数の決定に関わる要因を明らかにする必要がある(斉藤ら1998a)。Boardら(1994)は、R1期からR5期の受光量が高まったときに高収量へ結びつくとしている。つまり、R5期までの受光量が花器、莢数の成立過程に大きな影響を及ぼしている可能性が高い。よって本実験では、受光量の決定要因である栽植密度を一定とし、栽植様式を変化させることで、光の利用効率が乾物生産、開花数と莢数成立の関係、窒素蓄積及び収量に与える影響を調査した。

材料と方法

品種ミヤギシロメ(極晩生)を供試し、1998、1999年に新潟大学農学部圃場(砂質土壌)に2粒ずつ播種した。初生葉完全展開後の6月上旬に間引きを行い1株1本立てとした。栽植密度は m^2 当たり16株とし、株間は変化させずに畝間を変化することで栽植様式を4処理設けた。各処理区は畝間と列の間が25cmで等間隔の対照区、列と列との間を20cmとして2列にし、畝間を30cmとした2列区、列と列との間を15cmにして3列にし、畝間を55cmにした3列区、列と列との間を10cmにして4列にし、畝間を70cmにした4列区とした(第2-1図)。各区を 20 m^2 ($4 \times 5\text{ m}$)の3反復とした。施肥は播種前に $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=3:10:10\text{ kg}/10\text{ a}$ 、石灰 $10\text{ kg}/10\text{ a}$ を施した。灌水は十分に行い、また除草は適宜行った。病虫害駆除は害虫の発生に合わせて殺虫剤(スミチオン乳剤、トレボン乳剤など)を4~5回散布した。

1998年には開花盛期(R2期)、子実肥大開始期(R5期)に、1999年には開花盛期(R2期)、子実肥大開始期(R5期)、子実登熟期(R6期)に、それぞれ各区から生育中庸な3個体(処理毎に合計9株)を採取し、葉、葉柄、莖、莢に分け、9株中の平均的な個体1株の全葉について葉面積を葉面積計(林電工社製、AAM-7型)で測定した。分解後、各部位を3日間 65°C で通風乾燥した。その後、乾物重を測り、平均個体の葉重より比例式でLAIを算出した。なお、



第 2-1 図 栽植様式 (栽植密度は各処理区とも 16 株/m². 縦方向は畝方向の株間、横方向は列の株間と畝間を表す.)

各年の R5 期には層別刈り取りを行い、群落構造の調査を行った。各群落の生育が揃った部分を選び、まず上層から 10cm ごとに光量子計 (LI-COR 社製, LI-189) にライン光量子センサー (LI-COR 社製, LI-191S) を接続して光量子束密度を測定し、これより相対照度を算出した (相対照度は R5 期のみ)。次に 10cm の層ごとに植物体を刈り取った。採取した植物体は前述と同様に通風乾燥し、同化器官と非同化器官に分けて乾物重を測定した。

1999 年には開花数の調査を行った。各処理区より生育中庸な 2 個体 (処理毎に合計 6 個体) を選び、開花始めの 7 月 25 日より各主茎節及び各分枝節の開花数の調査を開始した。開花終了の 8 月 31 日までの約 1 ヶ月間行い、開花数の推移、結莢率について調査した。

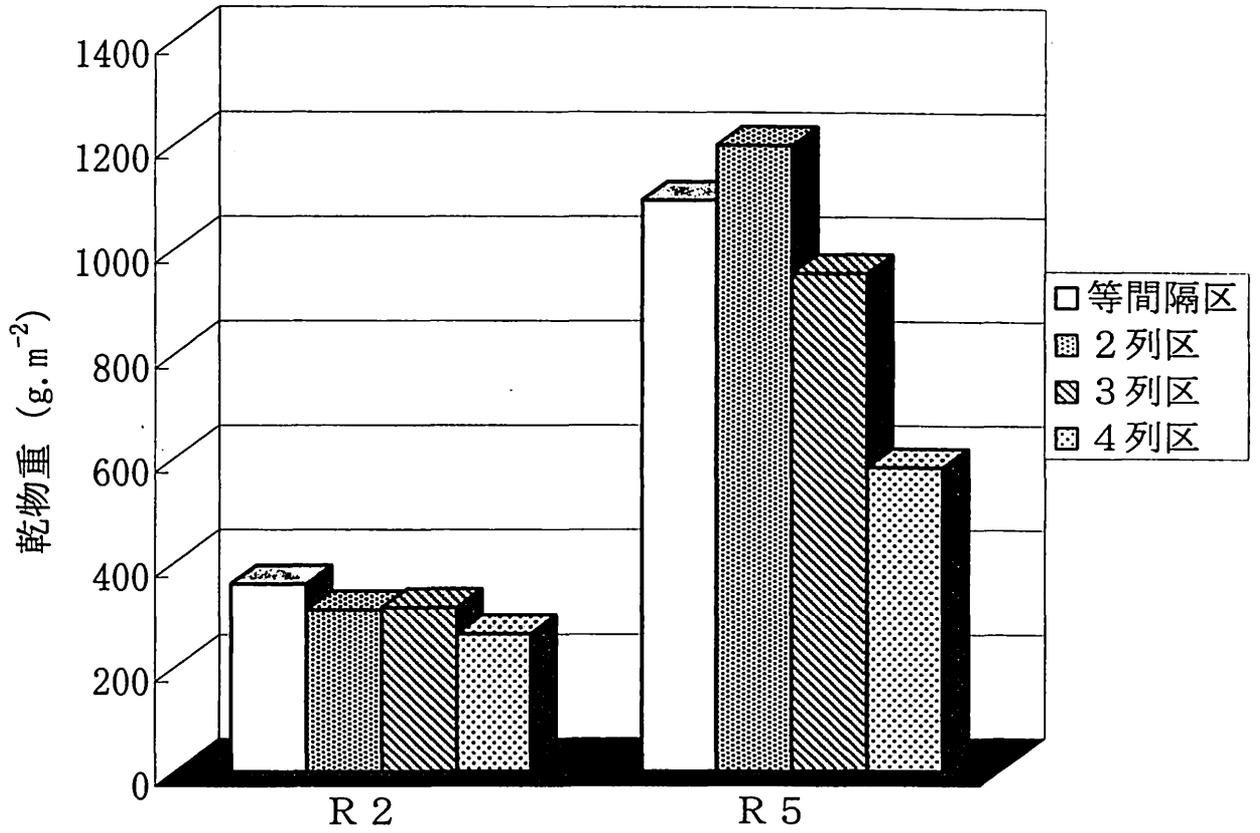
収穫期においては各年とも、各区より 10 個体以上 (各処理毎で 30 個体以上) の株を収穫し、主茎と分枝とに分けて、その後に収量、種子数、莢数、節数、分枝数、100 粒重を調査した。

窒素については 1999 年に分析を行い、採取した各ステージ毎の乾物をセミマイクロケルダール法及び近赤外分析装置 (BRAN+LUEBBE 社製, InfraAlyzer 260) にて分析後、植物体の窒素濃度および窒素蓄積量を算出した。また、R5 期と R6.3 期には、層別刈り取りを行った各層毎の植物体を前述と同様に通風乾燥し、同化器官と非同化器官に分けて乾物重を測定し、その後層毎に葉の窒素濃度を測定し、葉の窒素蓄積量を算出した。

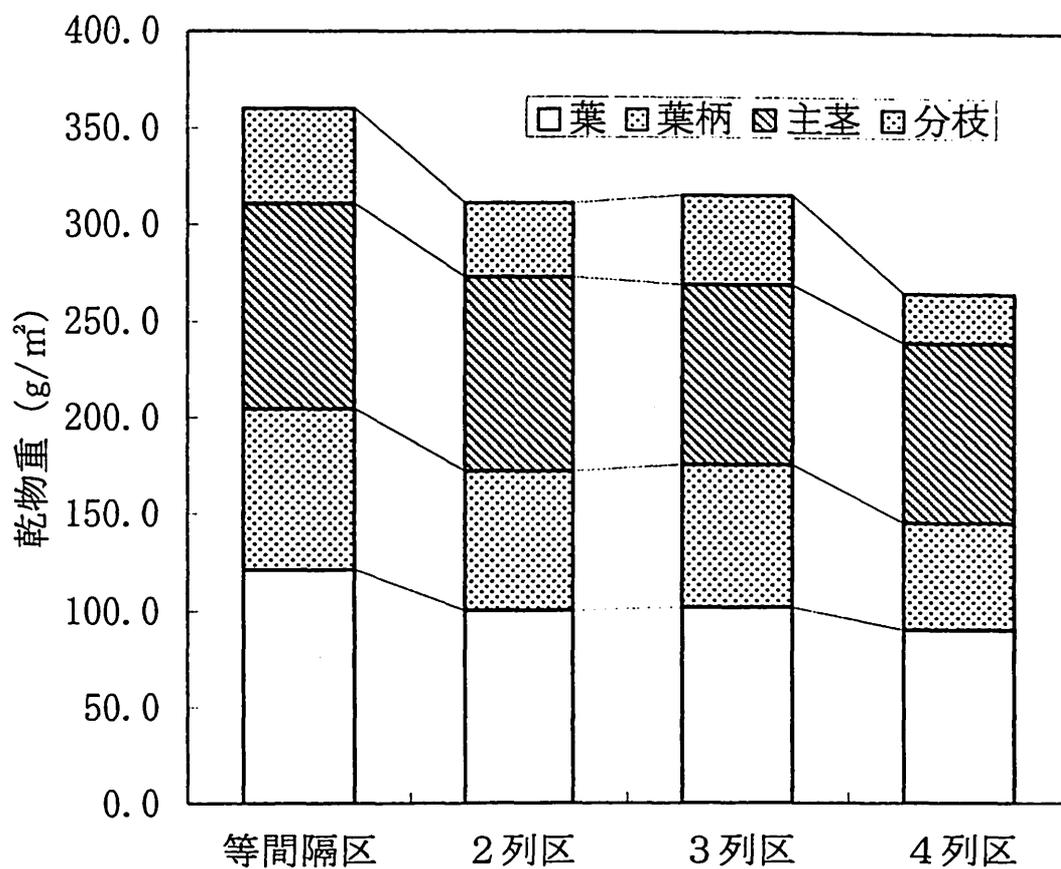
結 果

1. 乾物重

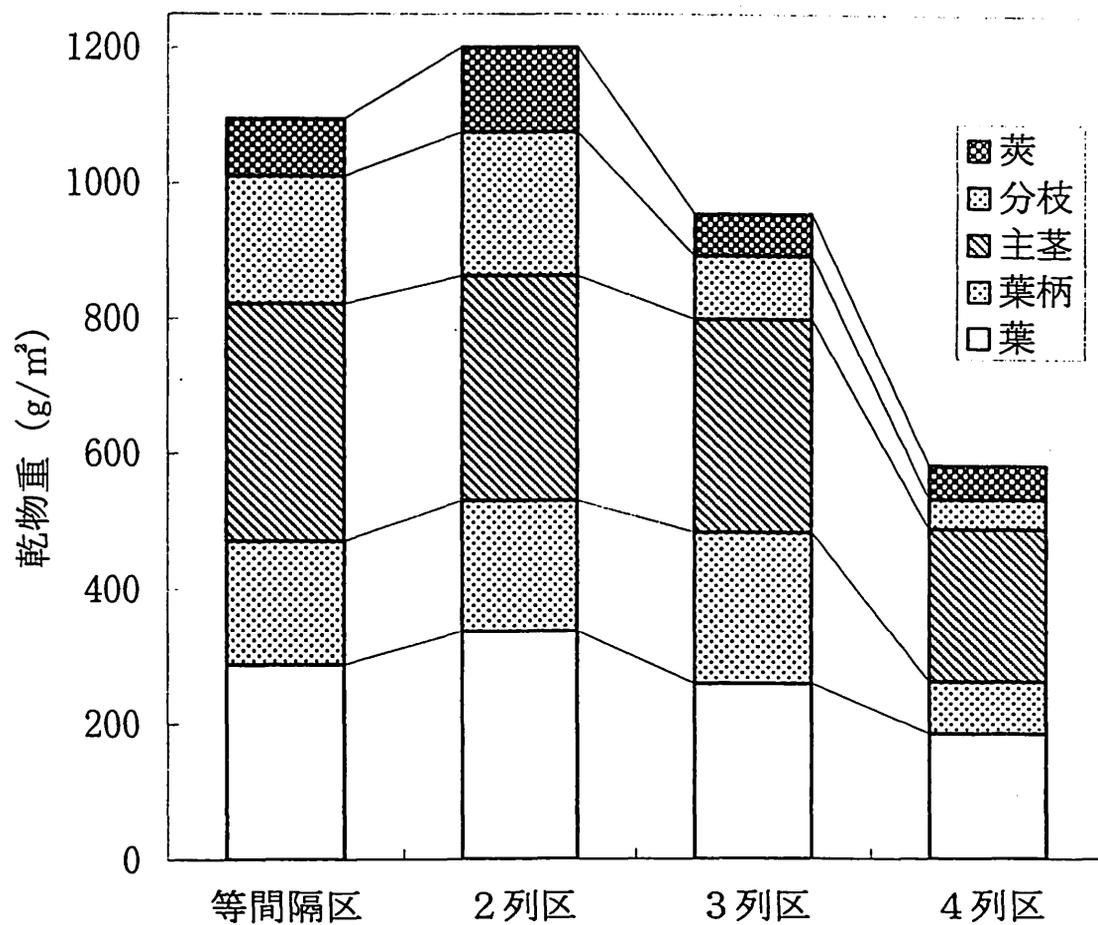
乾物重は生殖生長期になると大きくなるが、特に R5 期にかけて急激に増加し、R6 期以降は高く推移した。R6 期から R8 期にかけては、わずかな減少が見られた。1998 年は各処理において R5 期に最も高い乾物重を示した (第 2-2 図)。1999 年においては R6 期に、わずかであるが R5 期より高い乾物重を示し、生殖期間中で最も高い値を示した (第 2-5 図)。1998 年の R2 期では $300\sim 400\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ と処理間の差は小さく、等間隔区 > 2 列区 > 3 列区 > 4 列区 の順であった。R5 期には処理間で $600\sim 1200\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ と大きな差が見られ、2 列区 > 等間隔区 > 3 列区 > 4 列区 の順で、2 列区で最も高まった。2 列区で大きな増加が見られたが、4 列区では増加の割合が小さく、2 列区の約半分の乾物重であった。乾物重の処理間の違いを各器官で比較してみると、葉及び分枝の乾物重の差が処理間の差となったと思われた (第 2-3 図, 第 2-4 図)。1999 年の乾物重は R2 期におい



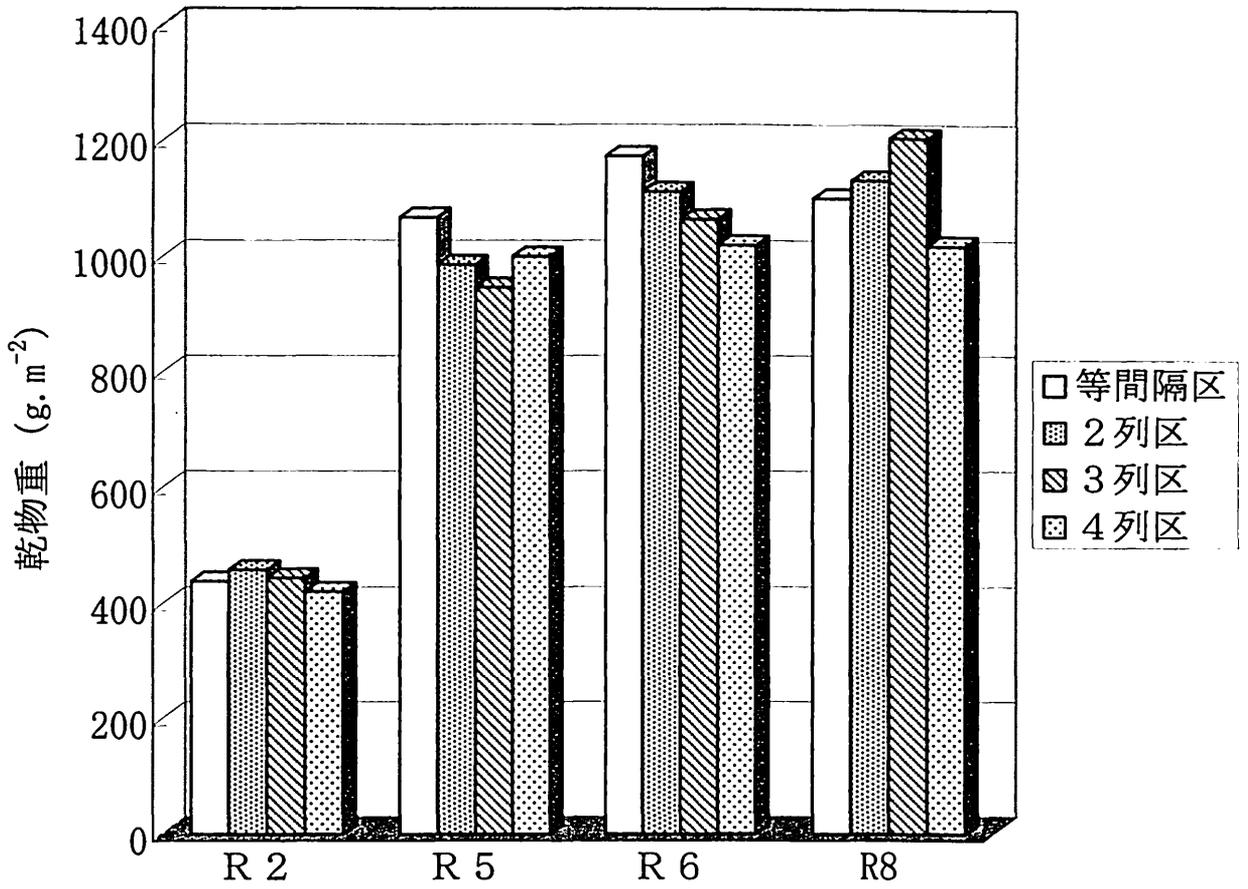
第2-2図 1998年における乾物重の推移.



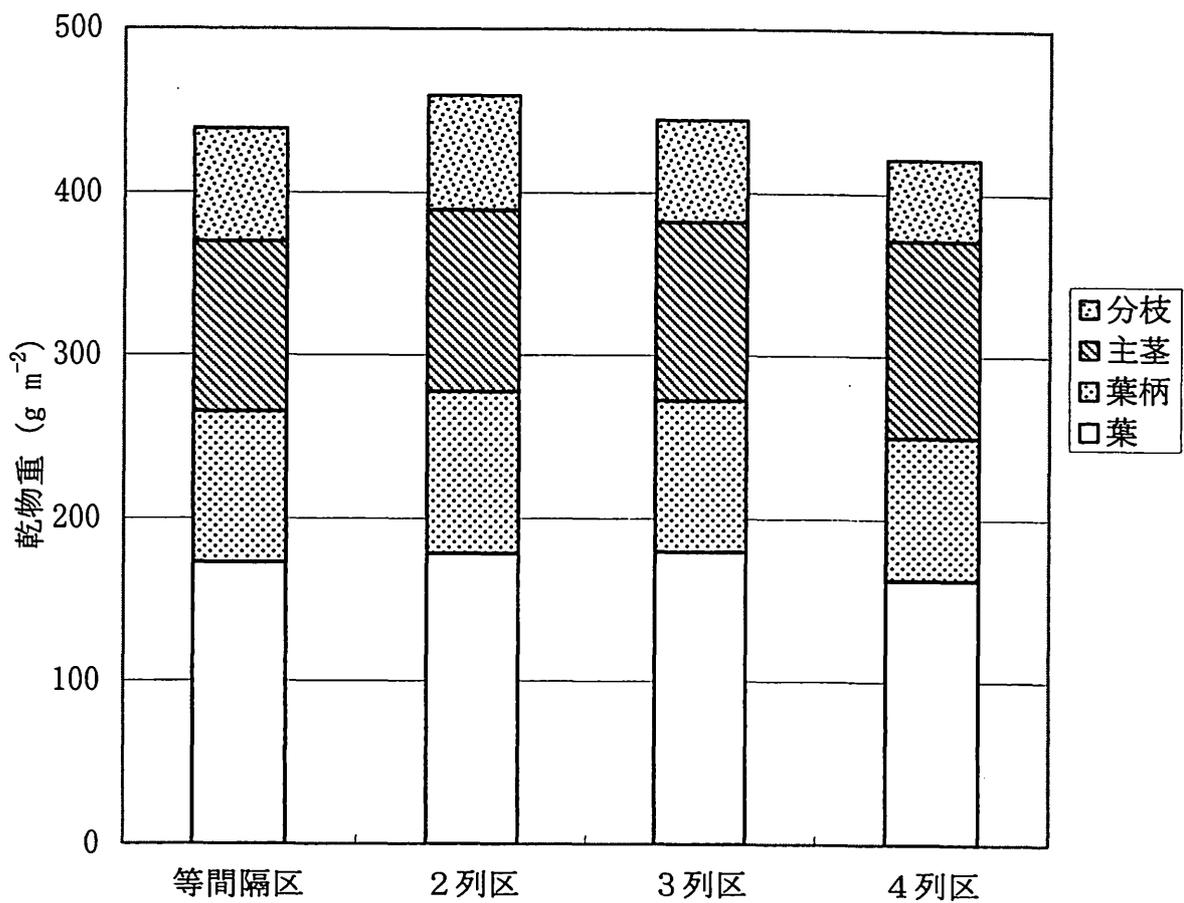
第2-3図 R2期における乾物重の比較 (1998年) .



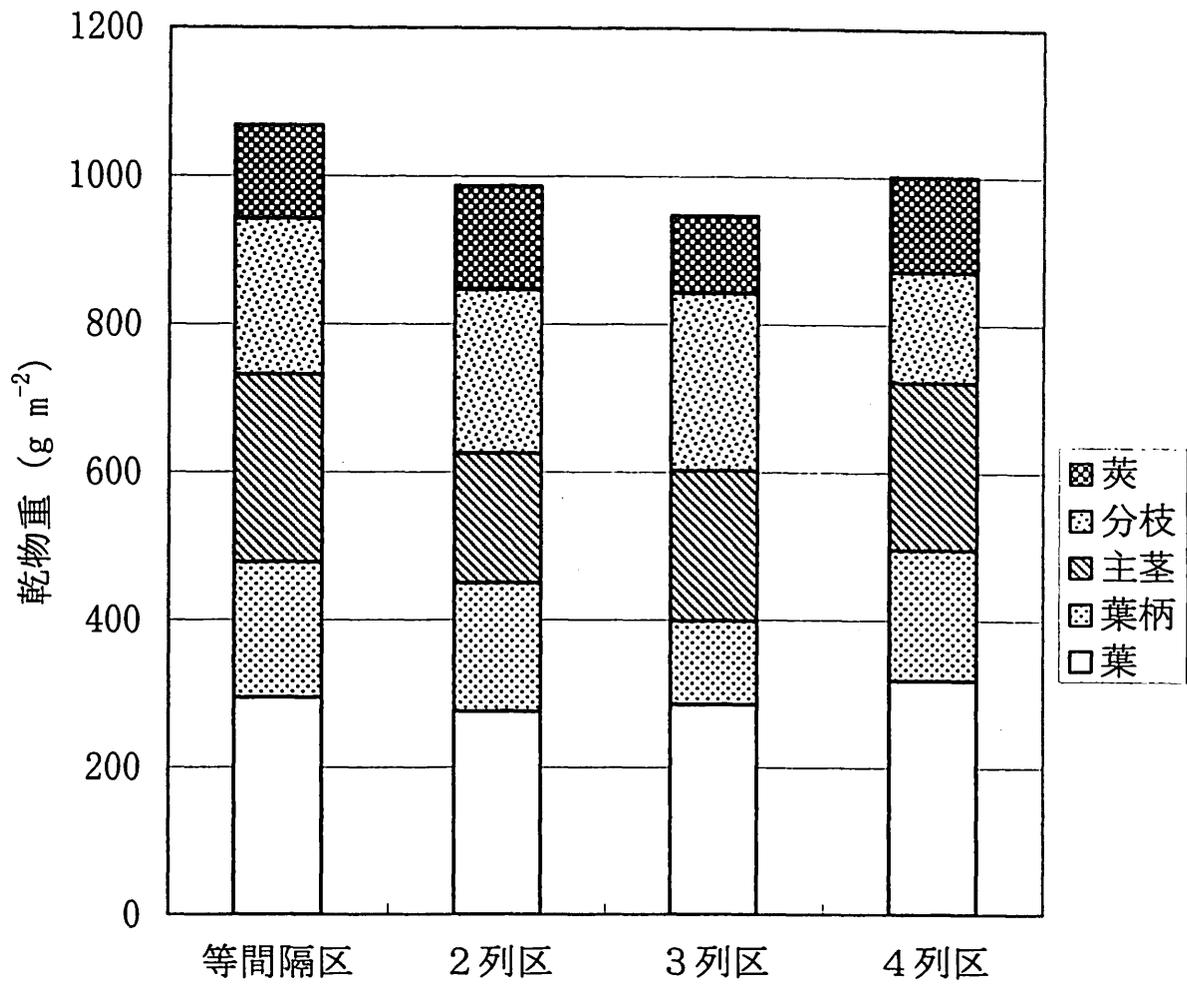
第2-4図 R5期における乾物重の比較 (1998年) .



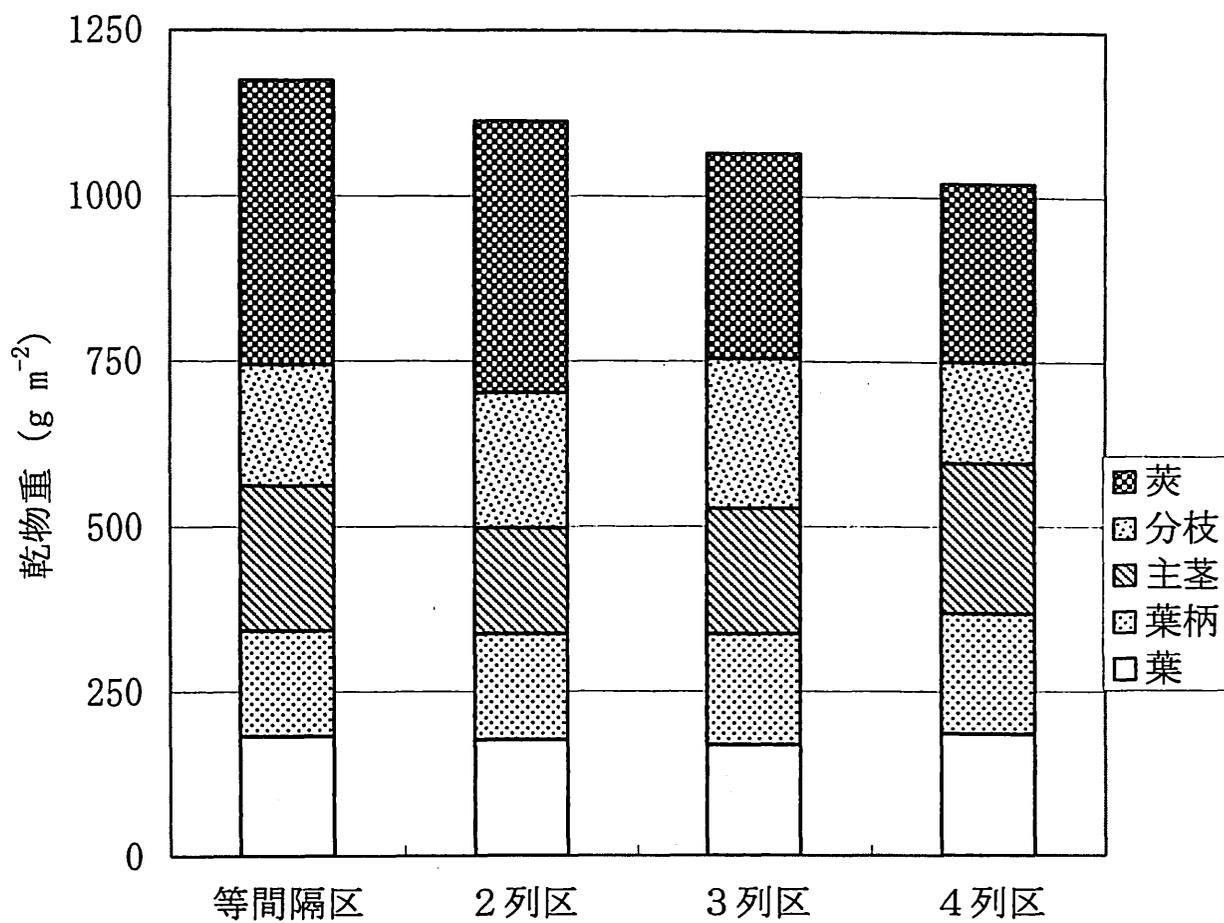
第2-5図 1999年における乾物重の推移.



第2-6図 R2期における各器官の乾物重の比較 (1999年) .



第2-7図 R5期にける各器官の乾物重の比較（1999年）。



第2-8図 R6期における各器官の乾物重の比較 (1999年) .

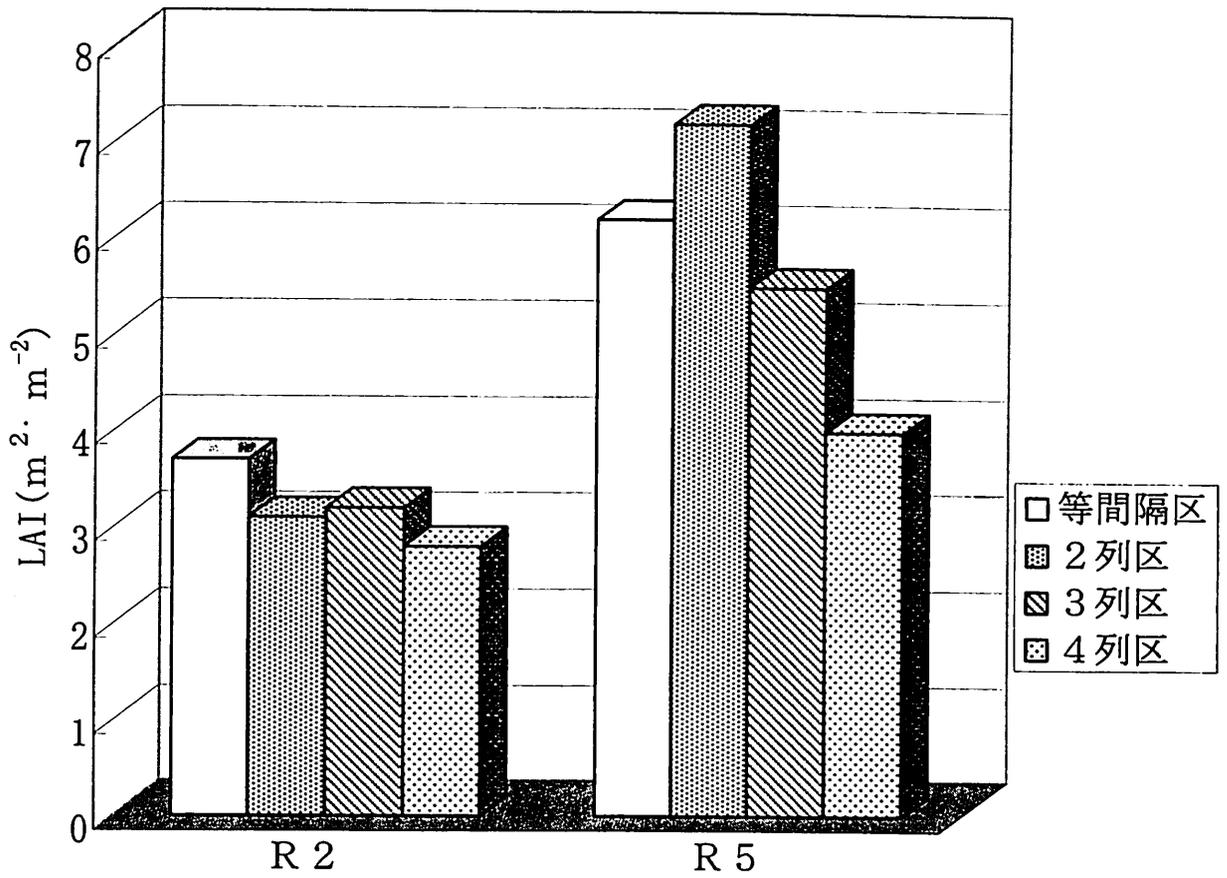
て 2 列区 > 等間隔区 > 3 列区 > 4 列区 の順で、2 列区で最も高かったが、処理間に大きな差は見られなかった。R5 期は等間隔区で大きく高まり、処理間で最も高い値を示した。2 列区、3 列区では等間隔ほど高まらなかったが、4 列区では増加の割合が高く、処理間に差が見られた。R6 期にはさらに乾物重の増加が見られ、等間隔区 > 2 列区 > 3 列区 > 4 列区 の順であった。等間隔区、2 列区、3 列区は増加したが、4 列区に大きな変化は見られなかった。R8 期にかけては等間隔区で減少したが、2 列区、4 列区では大きな増減は無く、3 列区は増加した。2 年間を通して、生殖生長初期は等間隔区で高かったが、生殖生長後期は 2 列区、3 列区で高まる傾向にあった。また、1999 年は生殖生長後期の乾物重の減少割合が小さく、維持される傾向にあった。各器官の乾物重の比率を第 2-6、2-7、2-8 図に示したが、処理間に大きな差は見られず、R6 期には莢の乾物重が高い等間隔区で乾物重が高まった。

2. LAI

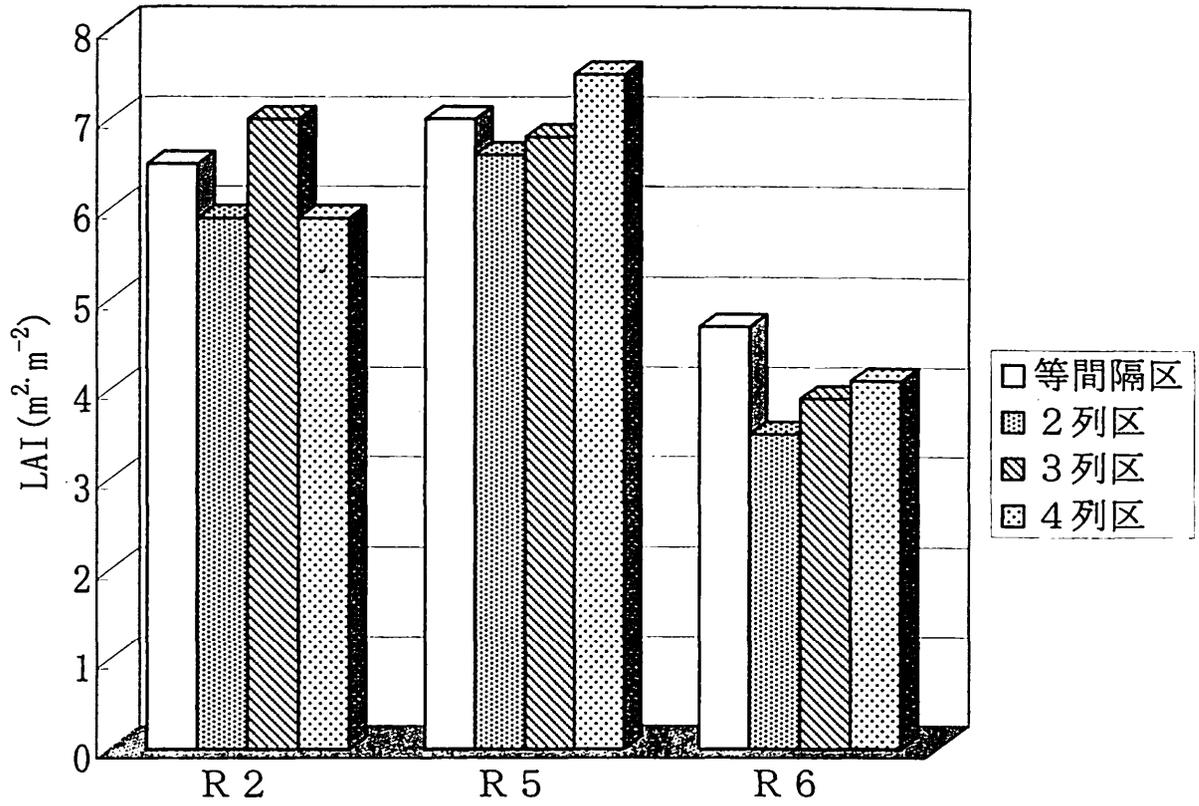
LAI は生殖生長期に高まり、R5 期に最大値を示した。1998 年には、R2 期において等間隔の LAI が $3.7\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$ と最も高かったが、他の区は $3.0\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$ 前後の値で、処理間に大きな差はなかった（第 2-9 図）。R5 期では大きく高まり、特に 2 列区で $7.2\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$ を示した。2 列区 > 等間隔区 > 3 列区 > 4 列区 の順であり、4 列区では $2.8\sim 4.0\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$ と、大きな高まりは見られなかった。1999 年には、生殖生長初期である R2 期で $7.0\sim 5.9\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$ とすでに高い LAI が見られ（第 2-10 図）、1998 年と比較して約 2 倍の値であった。そのうち、3 列区が最も高く、3 列区 > 等間隔区 > 2 列区 > 4 列区 の順であった。同様に R5 期に最も高い値を示し、処理区中では 4 列区で高まった。等間隔区と 3 列区には大きな差は見られず、2 列区が最も低かった。しかし、1998 年と比較して処理間の差は小さく、各処理区とも $6.6\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$ 以上の高い LAI であった。R6 期には各処理は大きく減少したが、等間隔区で最も高い値を示し、等間隔区 > 4 列区 > 3 列区 > 2 列区 の順になった。そのうち、4 列区で $7.5\sim 4.1\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$ へと減少し、減少割合が大きかった。

3. 開花

1999 年に開花数の推移を調査した（第 2-11 図）。開花数は、各処理において開花開始から開花 5 日後にかけて急激に増加し、開花 5~7 日後に最も多い開花数が見られ、その後急激に低下した。低下後、開花 13 日にかけてまた増加して第 2 のピークを示し、その後も急激な減少が見られ、それ以降は 1 個体当たり 2~3 個の開花は見られるものの、開花はほとんど見られなかった。等



第2-9図 1998年におけるLAIの推移.



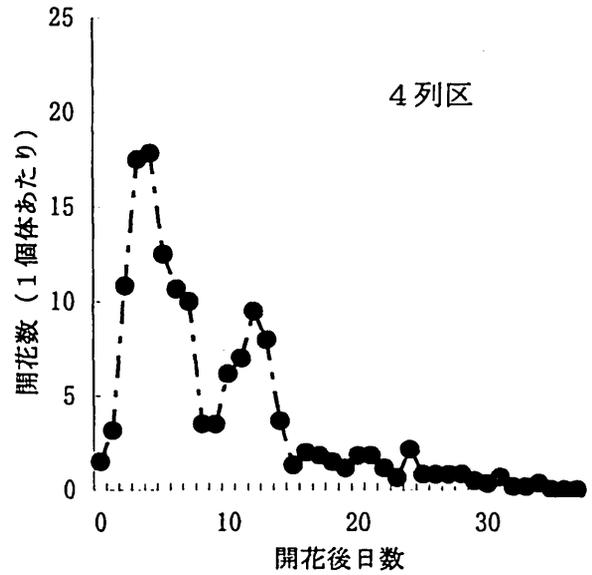
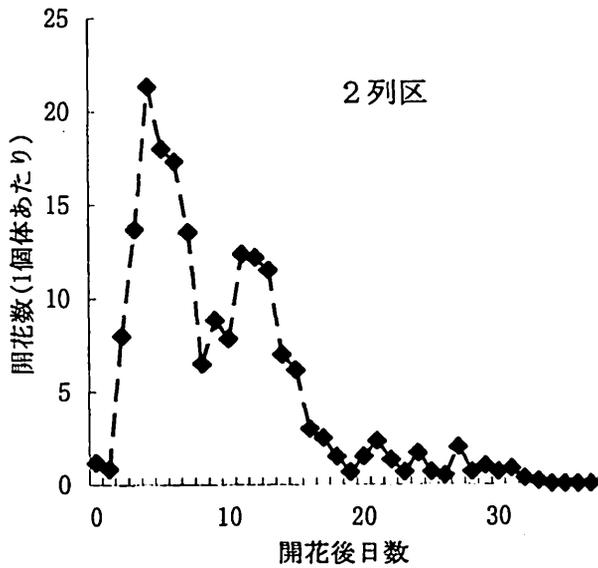
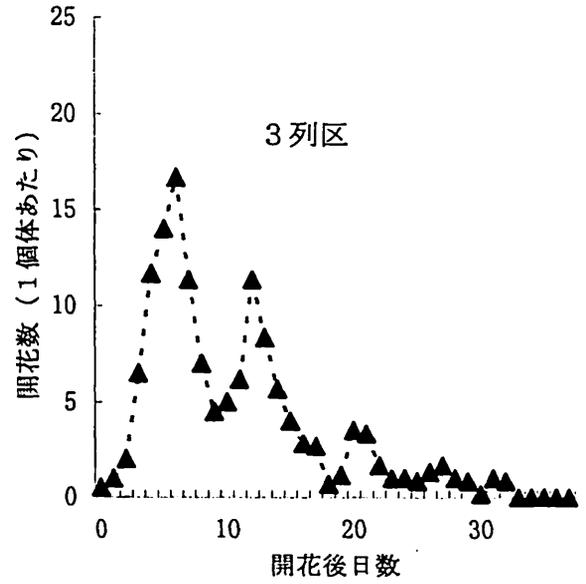
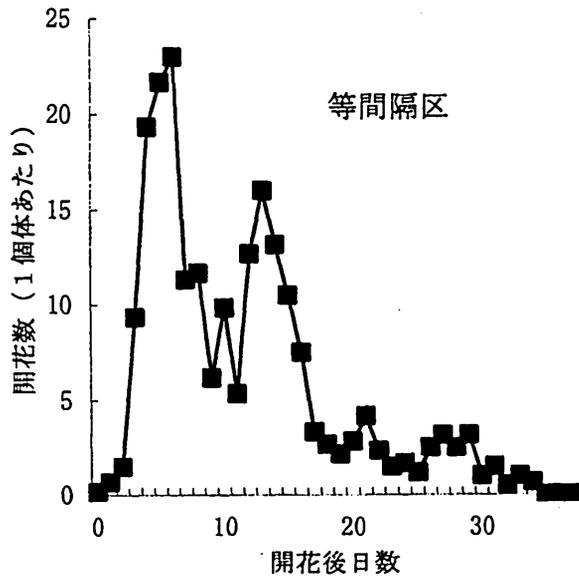
第2-10図 1999年におけるLAIの推移.

間隔区は、開花始めの3日間はわずかな開花しか見られなかったが、開花4日後から開花7日後に最も高い開花数を示し、また、処理間で最も高い開花数を示した。これ以降は開花10日後にかけて急激な開花数の減少が見られたが、開花13日後にかけて再び増加した。17日以降はわずかな開花であり、ほとんど開花は見られなかった。2列区は開花初期に急激な開花数の増加が見られ、その後、等間隔区と同様に急激に減少し、再度増加が見られたが、2度目の増加からそれ以降は緩やかな減少であり、19日以降は開花がほとんど見られなかった。3列区は等間隔区に、また、4列区は2列区にそれぞれ類似した開花数の推移が見られたが、各開花後日数において開花数が等間隔区、2列区と比較して少なく、全体的に少ない値での推移であった。

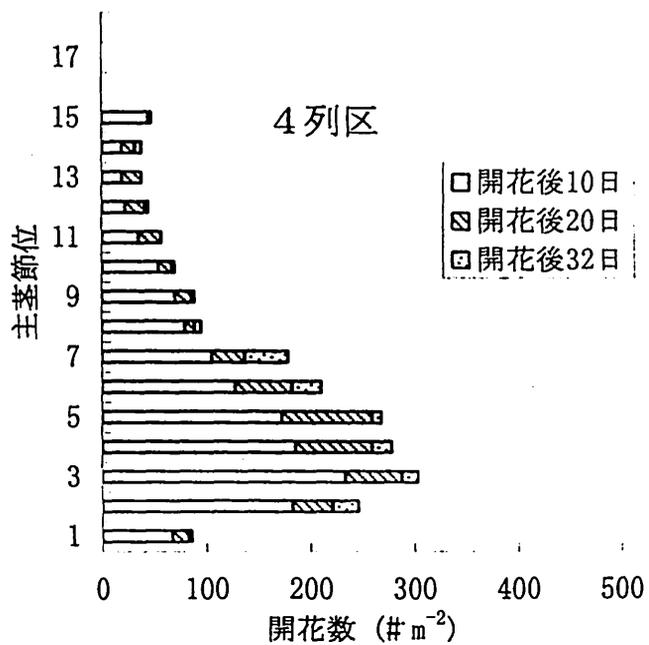
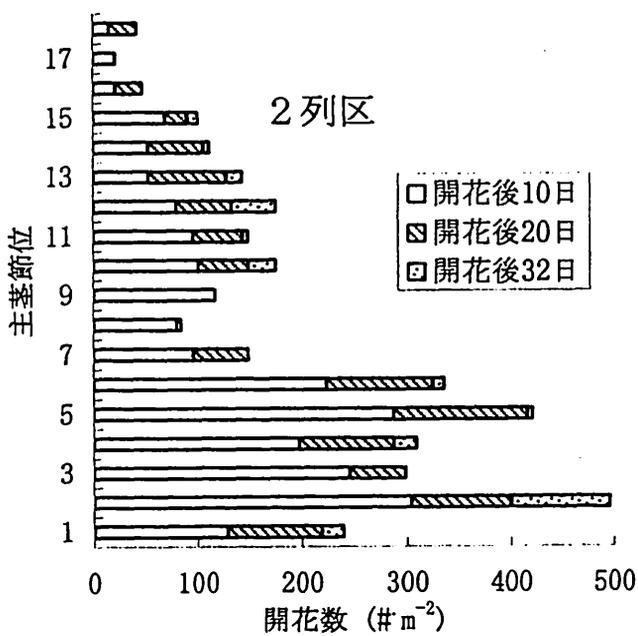
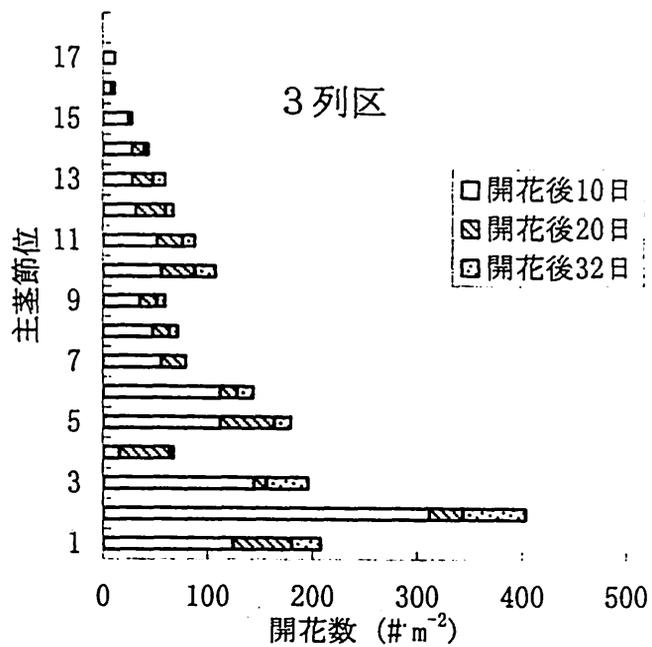
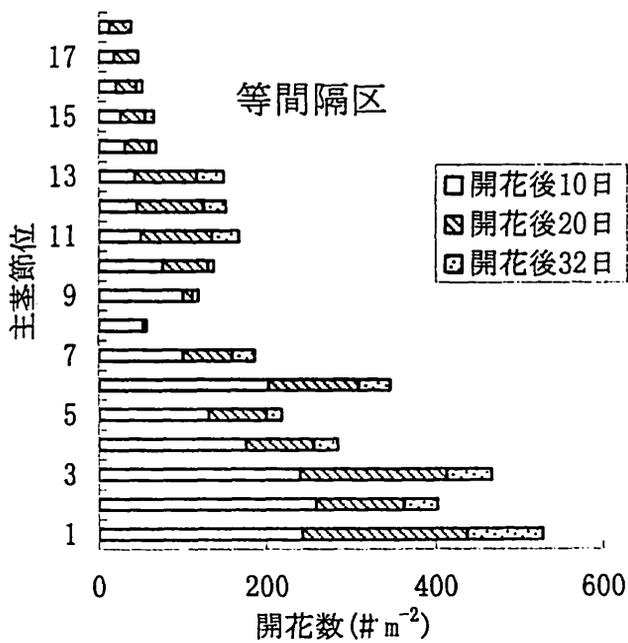
主茎節位別における開花数の分布を第2-12図に示し、主茎第5節より下のものは各節から伸長した分枝に咲いた花の数を加えた。等間隔区、2列区は開花後10日までの開花数が中層に多く見られた。また、分枝の開花数が多く、開花数の増加に貢献していた。開花後10日より数は少なくなるものの、開花後20日までの開花数も多く、主茎中層、及び分枝に多くの開花が見られた。開花後32日までには開花はほとんど見られなかったが、開花は中層、下層から伸長した分枝に見られた。3列区は全体的に開花数は多くなかったが、中層を中心に上下層に開花が見られ、またそれは開花後10日までのものが多かった。分枝については下位節から伸長した分枝に開花後10日までの開花数が多く、それ以降についてもある程度の開花数が確保されていた。4列区は3列区と似通った開花数の分布を示したが、開花後10日までに集中した。また、中層の開花が少なく、分枝によって開花数の確保はあるものの、開花10日以降の主茎の開花は多くは見られなかった。

調査個体の莢数の分布を第2-13図に示した。等間隔区は主茎第9~17節位に多くの莢が見られた。各分枝においても第1, 3節より伸長した分枝には m^2 当たり50個前後の莢が、第2, 4節より伸長した分枝には100個以上の莢が見られた。2列区は主茎第9~16節位に多くの莢が見られたが、等間隔区ほど上層に莢は見られなかった。2列区では、分枝の着莢が多く、莢数増へ貢献していた。3列区は等間隔区に似通った着莢パターンを示し、主茎第9~16節位に多くの着莢が見られたことに加えて、上層や分枝にも着莢が見られた。4列区は主茎節の莢数が他の処理区と比較して約3分の1ほどであり、着莢が少なかった。また、この傾向は分枝においても同様であり、全体的に莢数は少なかった。

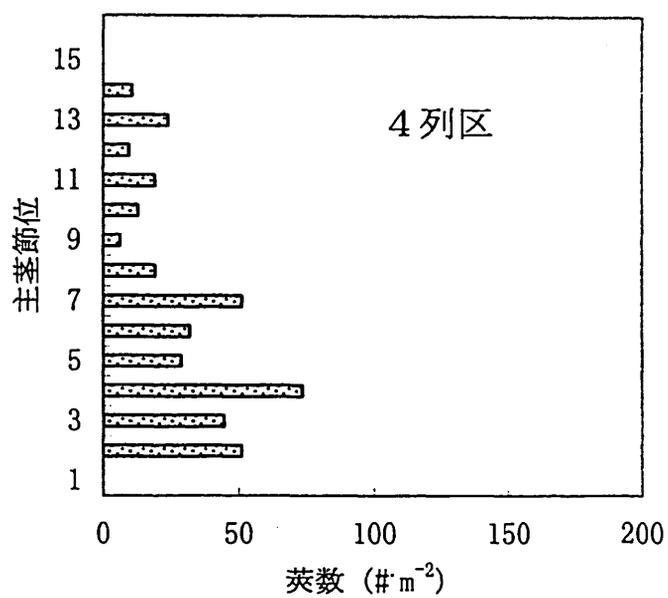
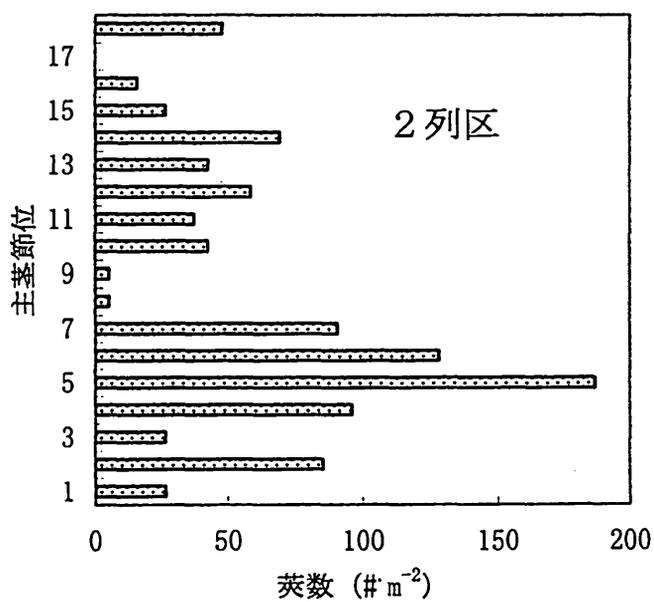
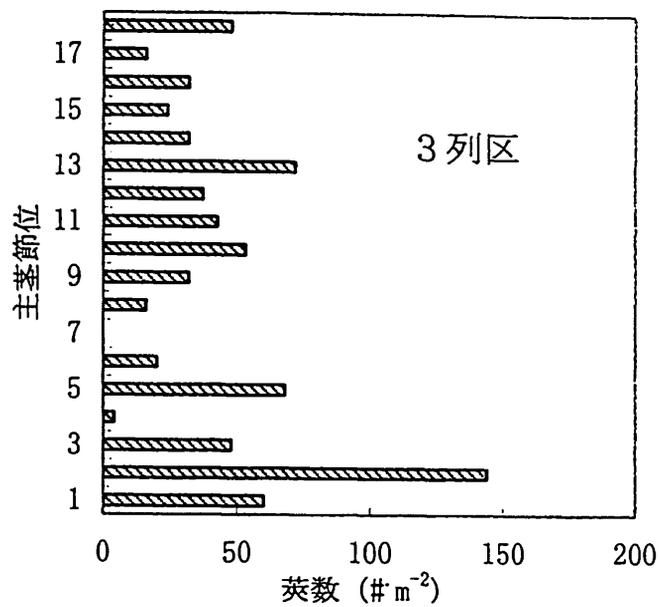
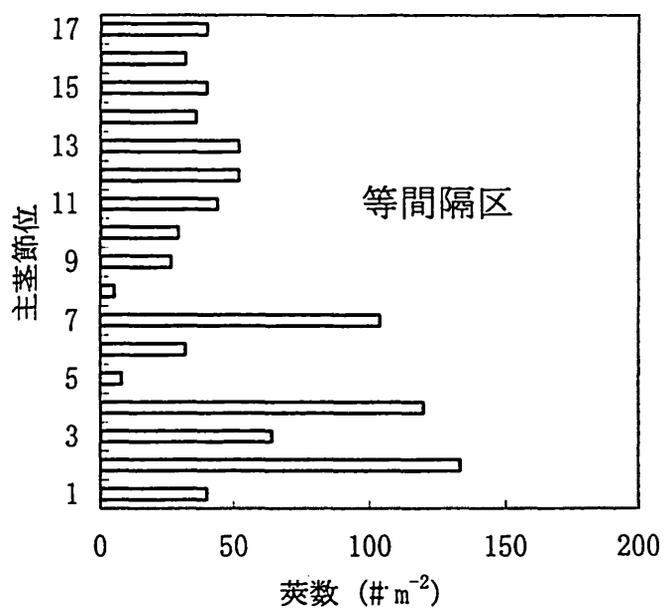
調査個体より算出した開花数と結莢率、及び莢数を処理間で比較すると（第



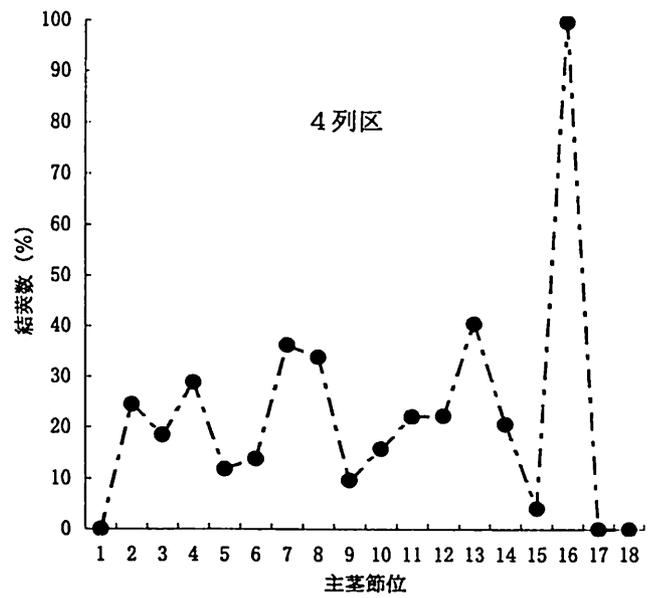
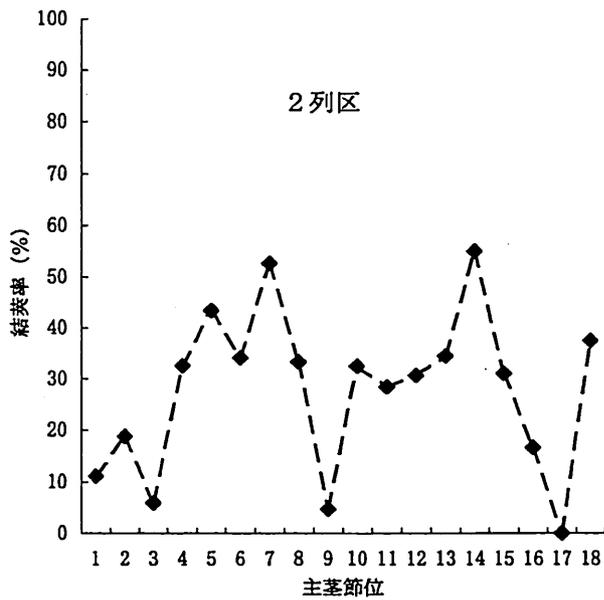
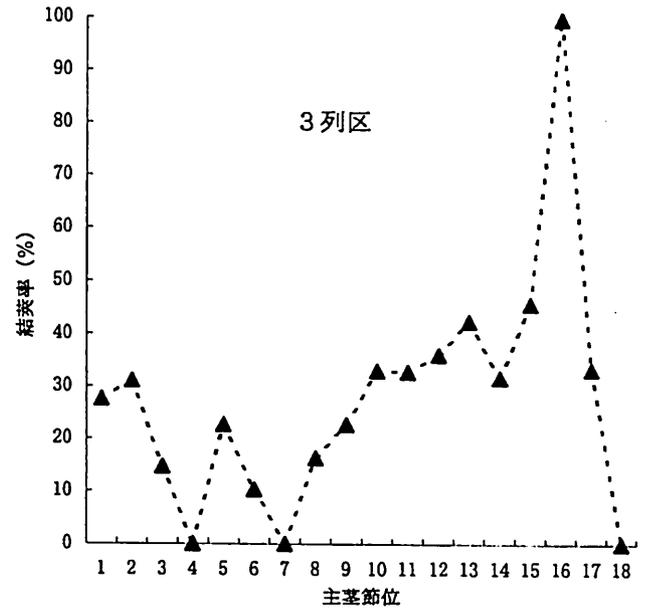
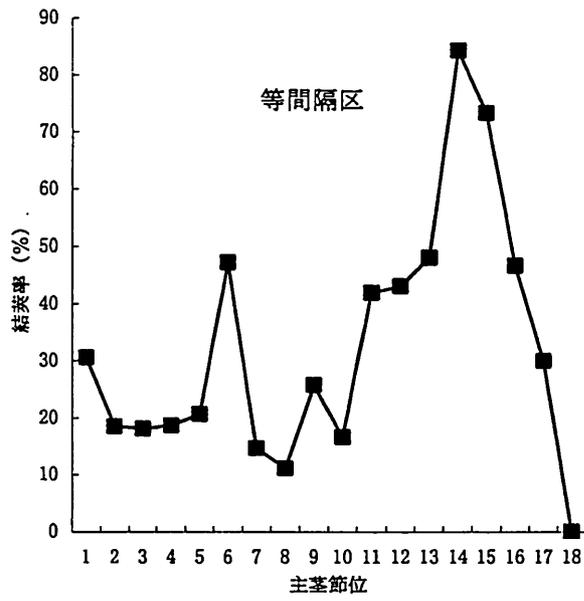
第2-11図 1999年における各栽植様式の開花数の推移.



第2-12図 1999年の主茎節位別における開花数の分布.



第2-13図 1999年における各栽植様式の莢の分布.



第2-14図 1999年における主茎節位別の結莢率.

第2-1表 調査個体より算出した開花数, 結莢率, 莢数.

処理区	開花数 # m ⁻²	結莢率 %	莢数 # m ⁻²
等間隔	3062	28.3	867
2列	3011	24.8	747
3列	2656	33.2	882
4列	2341	21	492

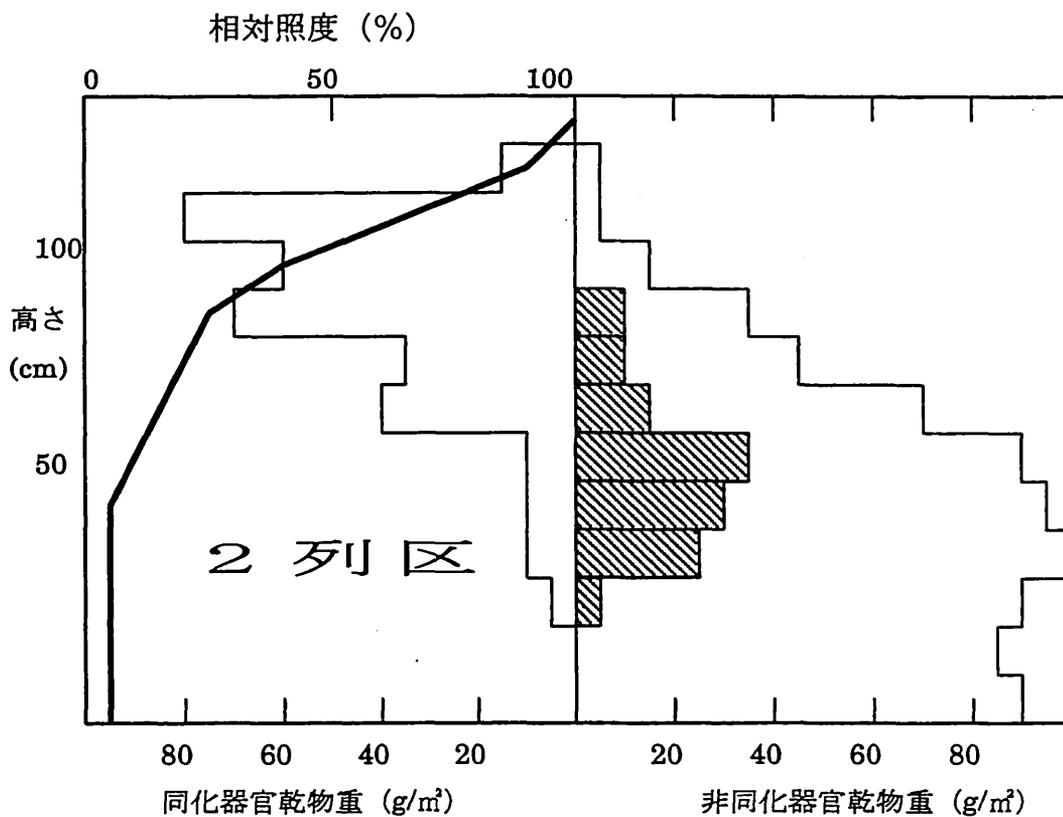
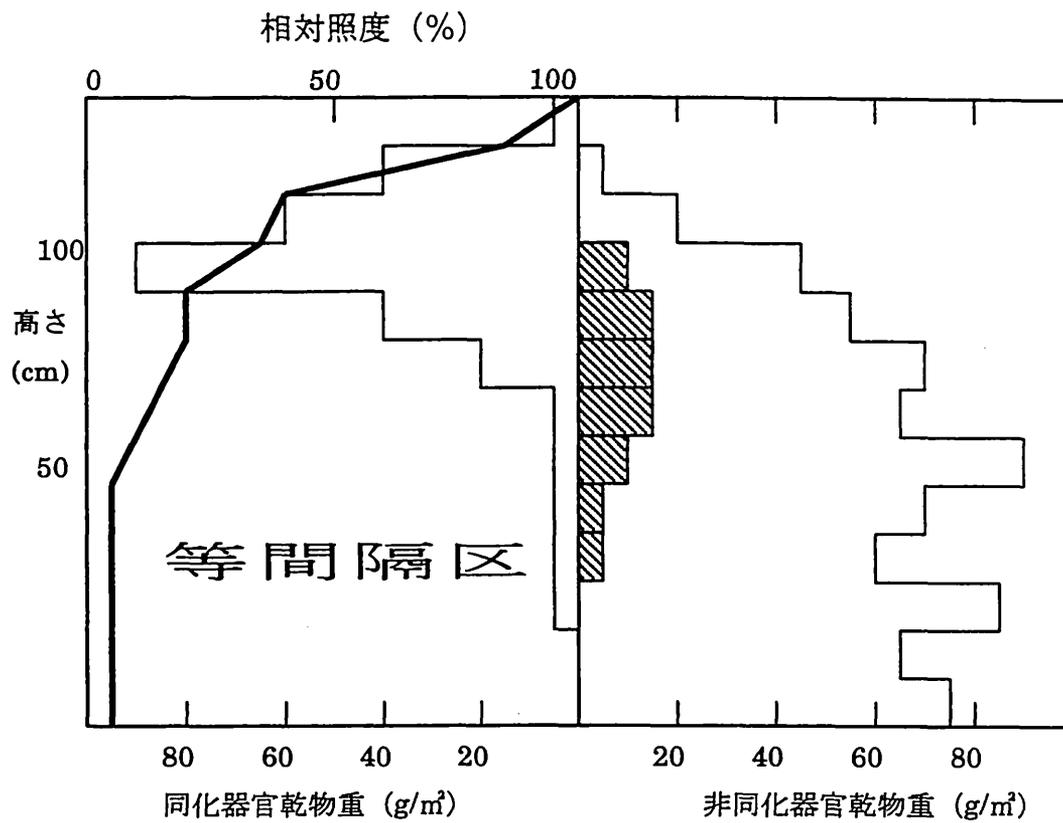
2-1 表), 開花数は 等間隔区 > 2 列区 > 3 列区 > 4 列区 の順であった。2 列区は開花数が高いものの, 結莢率は低く, 莢数は等間隔区, 3 列区ほど高まらなかった。一方, 3 列区は開花数等間隔区, 2 列区ほど高くないが結莢率が高く, これが反映して莢数が高まった。等間隔区は結莢率は 3 列区ほど高くなかったが, 開花数が多いために莢数も高まった。4 列区は開花数, 結莢率共に他の処理区よりも低く, 莢数において最も低い値であった。

主莖節位別の結莢率は等間隔区, 3 列区は上位節で高く, 中位節にかけて減少した(第 2-14 図)。中位節から下位節にかけては 0~50%の大きな変異があり, 節位ごとに大きな差があった。2 列区は上位節の結莢率は等間隔区, 3 列区ほど高まらなかったものの, 40~60%の結莢率があり, 中位節にかけて低下したが, 第 4~8 節には他の処理区と比較して高い結莢率が見られた。4 列区は各節位で結莢率が低く, 特に上位節の結莢率が低かった。

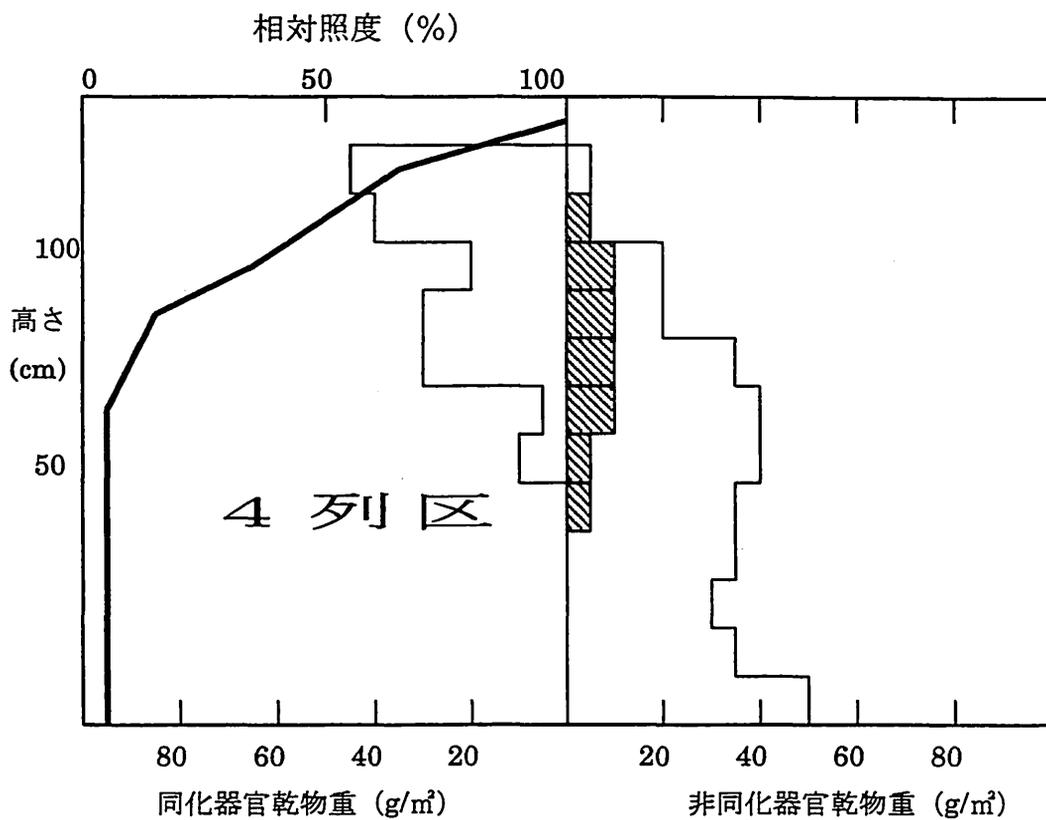
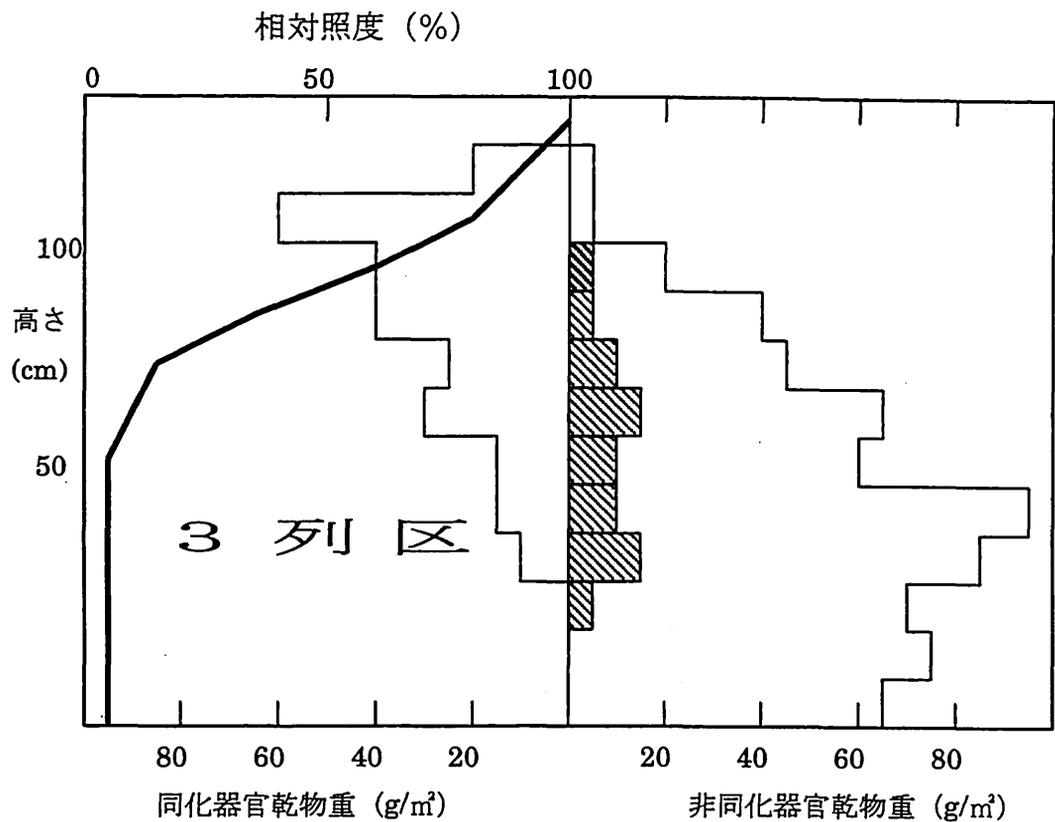
4. 群落構造

1998 年の等間隔区は 100cm の層から最上層にかけて段階的に同化器官乾物重が増加し, それより下の層では急激な乾物重の低下が見られた(第 2-15 図)。莢の乾物重は中層を中心にして上下層にほぼ同じ乾物重の分布が見られた。相対照度は同化器官乾物重の増加に伴い, 100cm にかけては段階的な減少が見られた。50~90cm にかけては大きな変化はなく, 緩やかに低下した。2 列区は 80~110cm の上層に同化器官乾物重の集中が見られたが, 50~80cm の中層においても約 $50\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 乾物重の分布が見られ, 上層のみに偏った乾物重の分布はみられなかった(第 2-15 図)。莢乾物重は中層を中心に等間隔区と比較して多くの乾物の分布が見られ, 40~60cm 層の莢乾物重は約 2 倍の量であった。相対照度は 90cm にかけて段階的に減少し, 群落中層へ光が透過していることを示していた。90cm 以下では緩やかな減少であり, 中層から下層では大きな変化はなかった。3 列区は同化器官乾物重が上層から下層にかけて段階的に減少するような分布を示した(第 2-16 図)。莢乾物重は中層に分布していたが, 各層の乾物重は少なかった。4 列区は上層から中層にかけてほぼ同じ同化器官乾物重の分布が見られたが, 各層の乾物重は少なく分布幅も小さかった(第 2-16 図)。莢乾物重も各層の乾物重は小さく, 非同化器官乾物重も他の処理区と比較して約半分の量であった。相対照度は乾物重が小さいのに対して上層の遮蔽が大きく, 群落内部への光透過が小さかった。

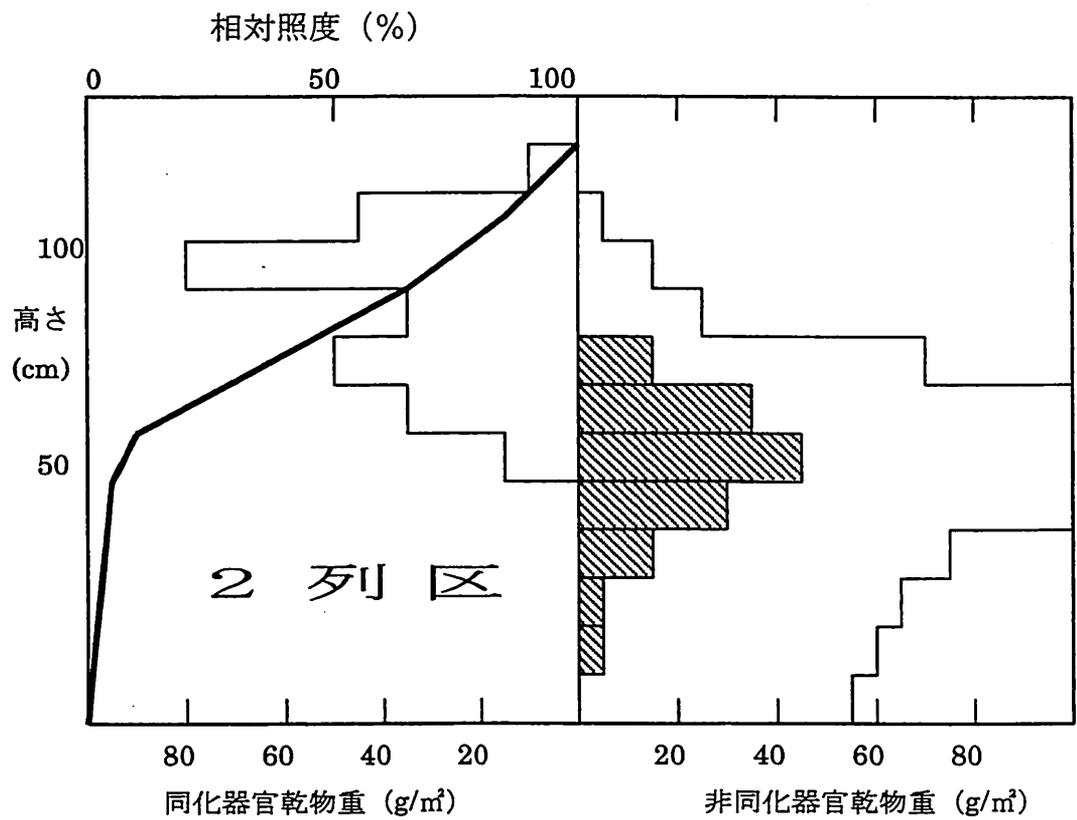
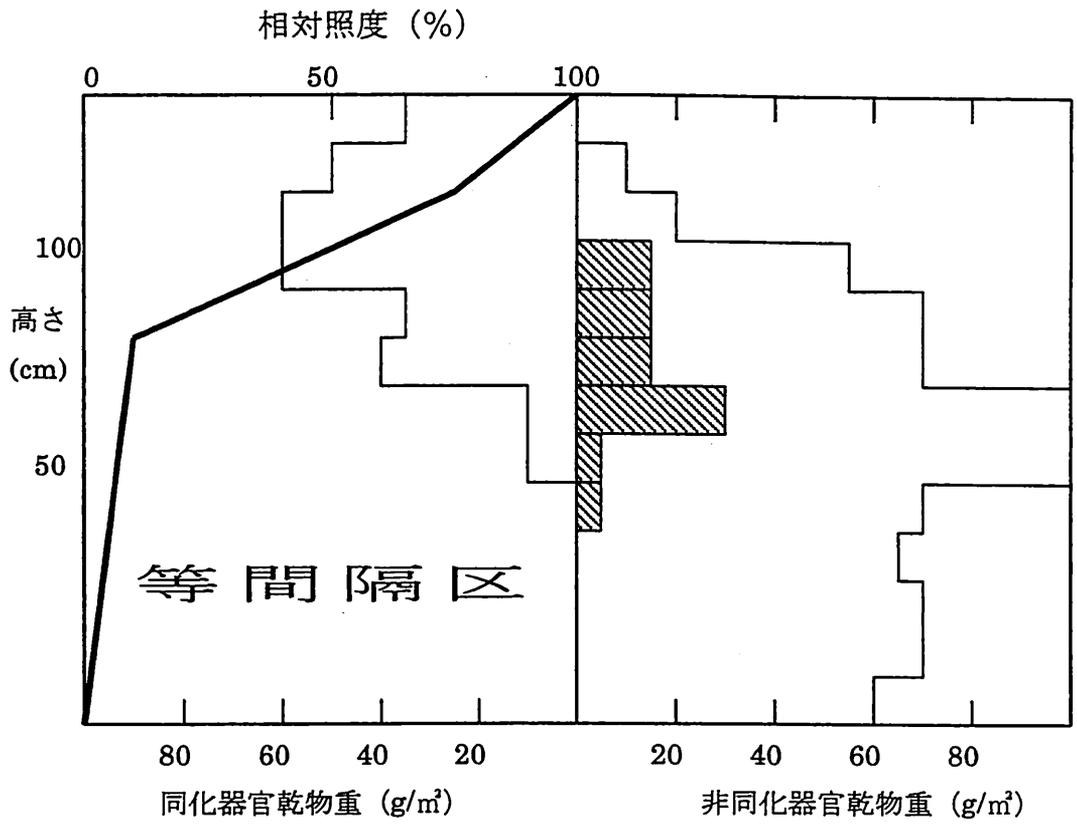
1999 年の群落構造は 1998 年と比較して各処理区で乾物重が大きかったが, 相対照度の傾向は 1998 年と同様の傾向にあった(第 2-17 図, 第 2-18 図)。



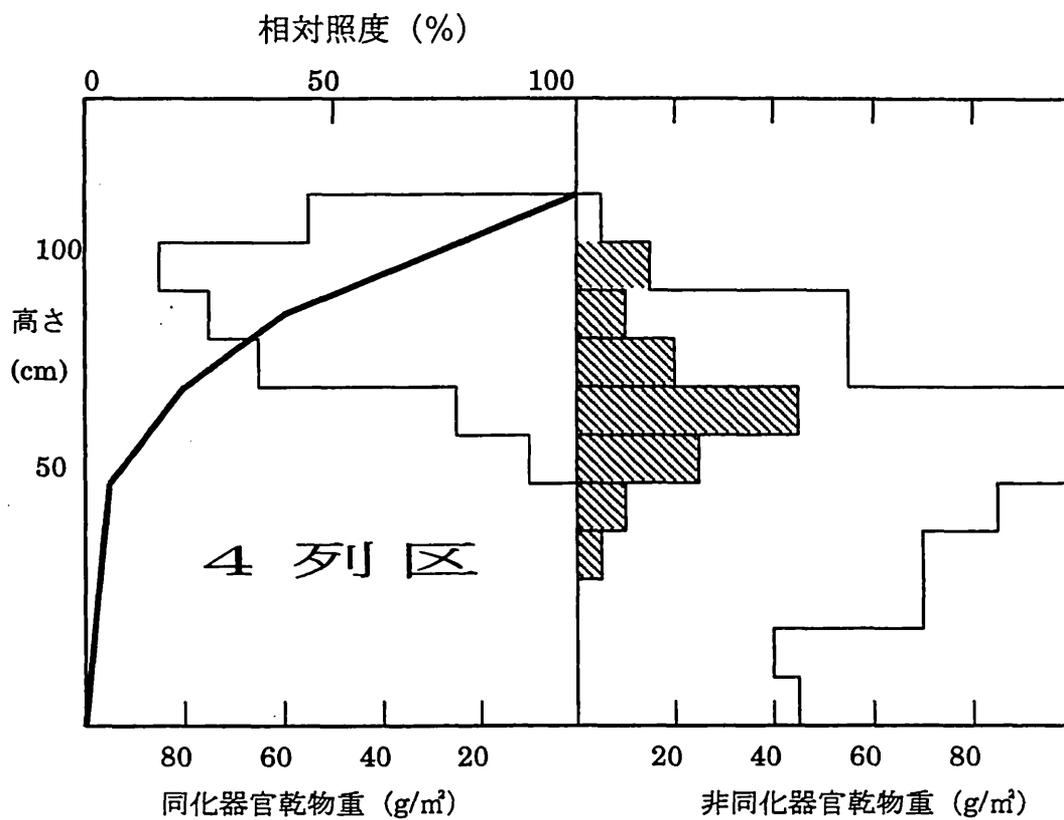
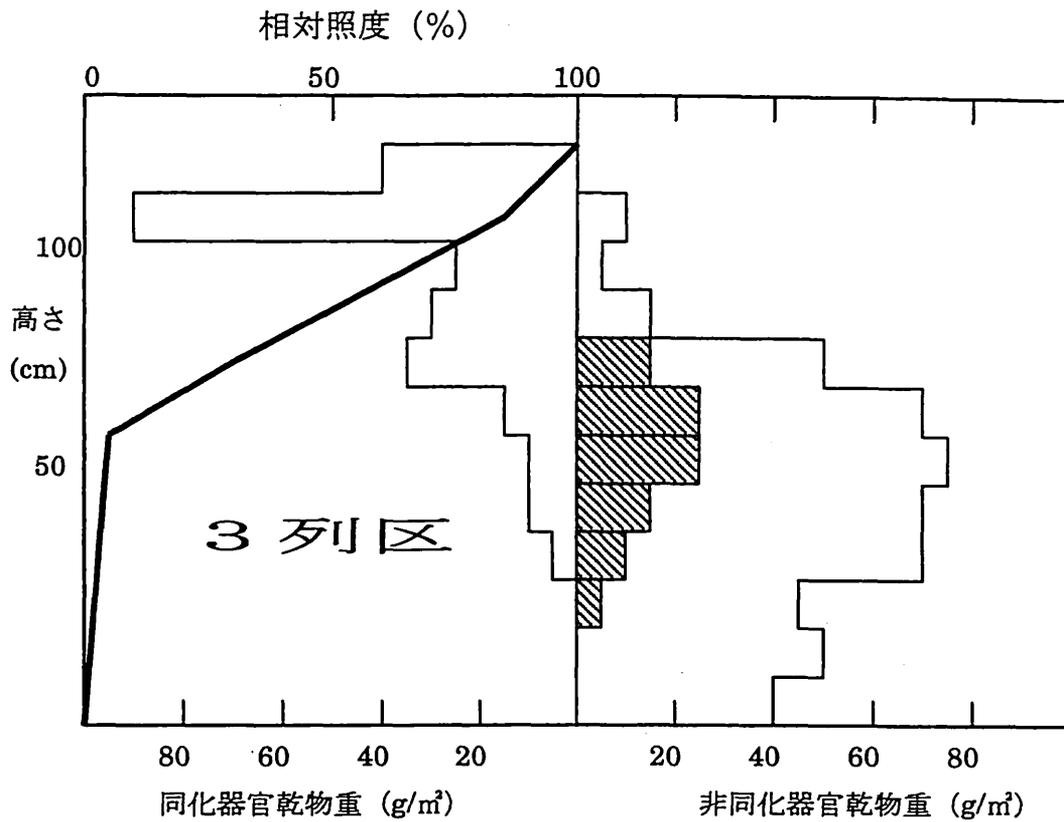
第2-15 図 1998年における群落構造（等間隔区，2列区）．
非同化器官の斜線部は莢乾物重を示す．



第2-16図 1998年における群落構造(3列区, 4列区).
非同化器官の斜線部は莢乾物重を示す.



第2-17図 1999年における群落構造（等間隔区，2列区）．
非同化器官の斜線部は莢乾物重を示す．



第2-18図 1999年における群落構造(3列区, 4列区)。
非同化器官の斜線部は莢乾物重を示す。

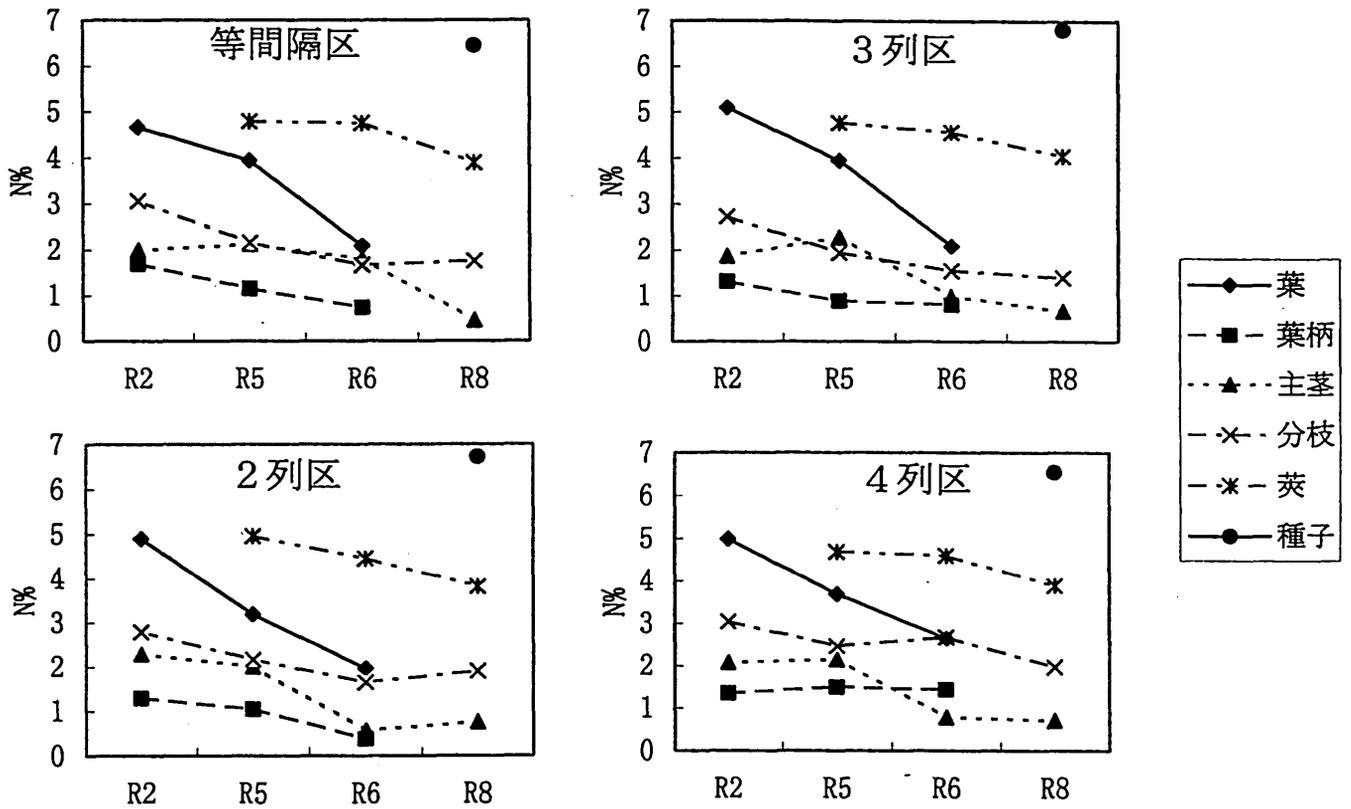
等間隔区は 100cm の層から最上層にかけて同化器官乾物重の $60\sim 30\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ の段階的な減少が見られた。莢乾物重は 60cm の層に大きな乾物が見られた(第 2-17 図)。相対照度は最上層から 100cm にかけて大きく光が透過しており、中層にかけも浸透が見られた。2 列区の同化器官乾物重は 90~100cm の層に大きな乾物重の集中があるが、そのほかの層は $50\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 前後の分布が見られた(第 2-17 図)。莢乾物重は中層に $50\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ と、多くの乾物重が見られ、上下各層にかけては段階的に減少した。相対照度は等間隔区と比較してより多くの光が群落内部へ浸透しており、最上層から 50cm にかけて段階的な減少を示した。3 列区は 110cm の層に大きな同化器官乾物重が見られるが、他の層は上層から 60cm の中層にかけて約 $50\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ の乾物重の分布が見られた(第 2-18 図)。莢乾物重は 2 列区に似た分布を示したが、乾物重は 2 列区ほど中層で多くなかった。相対照度も 2 列区に類似した光の透過パターンであり、群落内部への光透過が見られた。4 列区は上層から中層にかけて同化器官乾物重の大きな分布が見られたが、50cm 以下には乾物重が見られず、1998 年同様、上層に偏った分布であった(第 2-18 図)。莢乾物重は中層に多くの乾物重が見られ、上下各層にかけては段階的に減少するような分布であった。相対照度においても 1998 年に似たパターンを示し、他の処理区と比較して上層から 80cm にかけて遮蔽が大きく、それ以下は緩やかな減少であった。

5. 窒素濃度

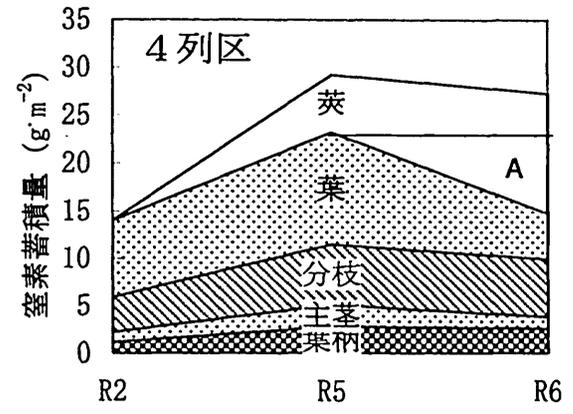
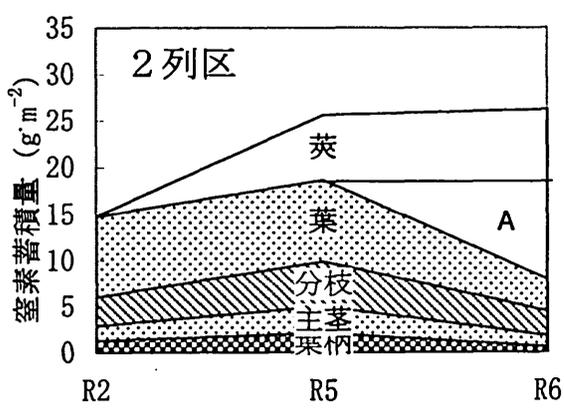
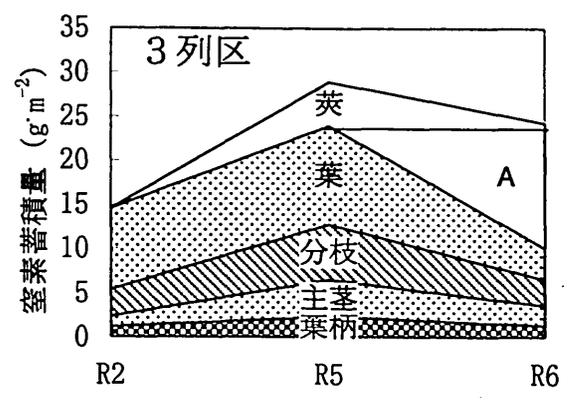
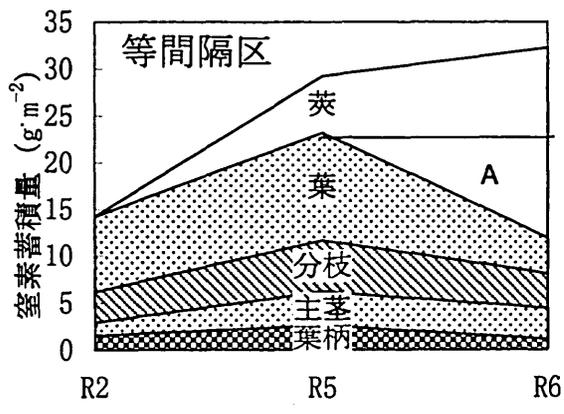
1999 年に窒素分析を行い、各部位の窒素濃度を第 2-19 図に示した。葉の窒素濃度は R2 期に最も高い値を示し、各処理区で約 5% の値をとり、R6 期にかけて約 2% まで大きく減少した。等間隔区は R2 期から R5 期にかけて 1% 弱の減少を示したが、2 列区は約 2% の急激な減少が見られた。葉柄は 4 列区を除いて生殖生長期間を通して 2~1% の値をとったが、R6 期にかけて減少傾向にあり、R6 期は最も低くなった。4 列区は葉柄の窒素濃度に大きな変化は見られず、ほぼ同じ値で推移した。主茎は R2 期から R5 期にかけては変化せず、R6 にかけて減少し、その後変化がなかった。しかし、等間隔区は R5 期から R6 期にかけての減少割合が小さかったが、R8 期にかけては急激に減少した。分枝は各処理区で R2 期から R8 期にかけて約 2~3% へ段階的に減少した。種子は R8 期のみ調査したが、各処理で 6.7% 前後の値を示し、処理間で大きな差はなかった。

6. 窒素蓄積量

窒素蓄積量は乾物重の増加に伴い、各部位で R5 期にかけて大きく増加するが、R6 期にかけては生殖器官である莢の窒素蓄積量が高まり、一方栄養器官は減少



第2-19図 1999年における各部位の窒素濃度の推移.



第2-20図 1999年における窒素蓄積量の推移. A: 莢への窒素転流量.

した(第2-20図)。R2期においては葉>分枝>主茎>葉柄の順であり、R5期では葉>莢>分枝>主茎>葉柄の順であった。各処理とも、R2期からR5期にかけて葉の窒素蓄積量が高く推移し、R6期にかけては約半分に減少した。分枝においてもR2期からR5期にかけて増加し、R5期からR6期にかけては減少したが、4列区においては減少が見られなかった。主茎、葉柄については窒素蓄積量が小さく、生殖生長期間を通して増減の値はわずかであった。

R5期からR6期にかけての栄養器官の窒素蓄積量の減少量を莢への再分配量として考えると、転流量は3列区で最も高く、3列区>等間隔区>2列区>4列区の順であった(第2-2表)。莢における転流量の割合は等間隔区、2列区、4列区では約60%であり、再転流量と増加量からの効率よい窒素蓄積量増加であったのに対して、3列区では97%と再転流量の占める割合が最も高く、再転流に依存した窒素蓄積であった。各栄養器官からの内訳をしてみると、等間隔区、2列区、3列区では葉が49~69%と最も高いが、主茎、分枝、葉柄からも効率よく分配されており、特に2列区、3列区では分枝による貢献が大きかった。これに対して4列区は葉に偏った再分配様式であり、主茎からの転流量が見られるものの、分枝、葉柄の貢献はわずかであった。

7. 収量と収量構成要素

収量は1998年において2列区で高まり、2列区>3列区>等間隔区>4列区の順であったが、等間隔区、2列区、3列区の間には有意差はなく、4列区のみ有意に小さかった(第2-3表)。1999年は各処理区で1998年の約2倍の収量が得られ、等間隔区>2列区>3列区>4列区の順であり、等間隔区で $480\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ と高まった。処理間には有意な差がなかったが、4列区は1998年同様、他の処理区と比較して大きく低下した。

種子数は各年とも、収量と同じ傾向にあったが、種子数を主茎種子数と分枝種子数とに分けると、主茎種子数には1998年は4列区と他の処理間に有意差があるが、1998年の等間隔区、2列区、3列区、及び1999年の処理間には有意差が無く、分枝種子数において有意差は見られなかったものの、数値に差が見られ、種子数の差につながった。

莢数においても種子数に似た傾向にあり、1998年は2列区で高まり、1999年は3列区で高まった。また、1998年、1999年ともに4列区と他の処理間に有意差があった。1999年における主茎莢数には処理間に有意差が見られず、分枝莢数は3列区と4列区、等間隔区と4列区の間には有意差が認められ、分枝莢数の違いが莢数の違いにつながった。

第2-2表 R5期からR6期の莢への窒素転流量.

処理区	莢への窒素転流量			
	莢への窒素転流量の合計 g m ⁻²	葉 g m ⁻²	主茎 g m ⁻²	分枝 葉柄
等間隔区	11.32(56%)*	7.77(69%)**	0.28(2%)	1.83(16%) 1.44(13%)
2列区	10.76(59%)	5.31(49%)	1.69(16%)	2.27(21%) 1.49(14%)
3列区	13.81(97%)	7.67(56%)	1.87(14%)	3.30(24%) 0.97(7%)
4列区	8.39(67%)	6.81(81%)	1.09(13%)	0.31(4%) 0.18(2%)

* : パーセントはR6期の莢窒素蓄積量に対する窒素転流量の割合.

** : パーセントは各器官から莢への窒素転流量寄与率.

第2-3表 収量及び収量構成要素.

年次	処理区	収量 g/m ²	種子数	主茎種子数	分枝種子数	莢数	主莢莢数	分枝莢数 #/m ²	節数	主莖節数	分枝節数	分枝数	100粒重 g
1998	等間隔	229a*	605a	255a	350a	483a	202a	281a	594a	247a	346a	77a	37.8
	2列	278a	726a	321a	405a	540a	233a	307a	593a	239a	354a	62a	38.3
	3列	262a	706a	335a	371a	506a	230a	275a	528a	229ab	299a	58ab	37.1
	4列	138b	372b	241b	131b	258b	134b	125b	399b	231a	168b	41b	36.8
1999	等間隔	480a	1141a	366a	775a	736a	255a	481a	666ab	251a	415ab	57ab	42.1
	2列	471a	1198a	424a	774a	687a	254a	434ac	667ab	231a	436ab	53ab	39.3
	3列	446a	1140a	364a	776a	786a	275a	510a	733a	252a	481a	67a	39.2
	4列	393a	1013a	424a	589a	535b	229a	306bc	582b	257a	325b	49b	38.8

*: アルファベットが異なれば, 5%レベルで有意差があることを示す.

第2-4表 収量と収量構成要素間の相関係数 (1998, 1999年) .

収量		種子数	莢数	節数	分枝数	開花数
		— # m ⁻² —				
種子数		0.992**				
莢数		0.994**	0.924**			
節数	# m ⁻²	0.890**	0.871**	0.967**		
分枝数		0.116	0.089	0.387	0.539	
開花数		0.744*	0.717*	0.829**	0.974**	0.924**
結莢率	%	0.658	0.694	0.673	0.502	0.516
						0.327

** , *は, それぞれ1%, 5%水準でそれぞれ有意であることを示す.

節数は 1998 年、1999 年ともに種子数、莢数と同様の傾向にあった。主茎節数は処理間に大きな差は見られず、分枝節に差が見られた。

分枝数は 1998 年では 2 列区、3 列区とそれぞれ有意差は見られなかったが、等間隔区で高まり、4 列区は少なかった。1999 年は収量が高かった 3 列区で分枝数が高まり、3 列区 > 等間隔区 > 2 列区 > 4 列区 の順であった。3 列区と 4 列区との間のみに有意差が認められた。

100 粒重は 1998 年は大きな差はなかったが、1999 年は等間隔区で 42.1g と他の処理と比較して大きく高まり、2 列区、3 列区、4 列区に大きな差は見られなかった。

収量と収量構成要素間の相関係数を第 2-4 表に示した。収量は種子数、莢数、節数、開花数とそれぞれ正の有意な相関関係にあった。また、種子数は莢数、節数、開花数と正の有意な相関を示し、莢数は節数、開花数と正の有意な相関関係にあった。開花数は節数、分枝数と正の有意な相関関係を示したが、分枝数は開花数以外の収量構成要素と相関関係は認められなかった。また、結莢率と収量構成要素間には有意な相関は得られなかった。収量は、節数、開花数、莢数、種子数の増加に伴って増加することがわかった。

考 察

一般に、ダイズの収量は栽植密度が高くなるにつれて増加し (Parvez ら 1989) , 増収が可能な密度の範囲は平方メートル当たり 10~30 株とされる (川嶋 1965) 。一方でダイズ収量に及ぼす栽植密度の影響は小さいとする報告もある (Lueschen and Hicks 1977) 。また、栽植様式によっても収量は影響を受けるとする報告も多い (Egli 1976, Miura ら 1987, Duncan 1986) 。本実験においては栽植密度を一定とし、栽植様式を変化させたことで収量に影響が見られたので、その要因について検討してみた。

収量は生殖生長期間の乾物生産に影響され、特に R5 期における乾物重が収量の大きな要因となっている (Duncan 1986, Egli ら 1987) 。杉山ら (1967) は密植により促進される形質は、茎長、LAI、面積茎重、a 当たり節数などの量的形質であり、抑制されるものは開花時期、最頂葉展開時期、主茎節数、粒茎比などの個体の発育的形質であるとしている。本実験において、栽植密度は 16 株であり密植栽培の部類に入る。乾物重は、生殖生長初期には処理間に大きな差は見られなかったが、茎長、LAI、節数の増加などによる乾物重の促進が見

られ、乾物重が最大となる R5 期から R6 期にかけて処理間に大きな差が見られた。乾物重をシンク，ソースでとらえた場合，1998 年の等間隔区は R2 期において他の処理区と比較してソースである葉の乾物重が多く，株と株の間が他の処理区よりも広いことから，葉面積の拡大速度が速く，栄養生長量が増加したためと考えられた。R5 期においては 2 列区の乾物重が高まり，その内訳はソースの葉，シンクである莢及び分枝の乾物重が高まっていた。高収量，莢数の増加を得るためには R1 期から R5 期にかけてのソース能が重要である (Board and Tan 1995)。分枝は節数の増加により，莢をつける節が増加することで収量へ貢献している (Herbert and Litchfield 1982)。一方で 4 列区は分枝の乾物重が低く，分枝節数，分枝莢数へのつながりが見られなかった。Board and Settini (1986) は，R1 期から R5 期までの日長が減少することで分枝数，分枝長，分枝節数が減少するとしている。このことは，R1 期から R5 期まで受光量が減少したことで分枝の生長が抑制されたと考えることができ，株間が狭く，受光態勢の良くなかった 4 列区に分枝乾物重の減少要因であると考えた。

ダイズの開花期は 15～50 日にも及び，受光態勢の違いによる受光量が節形成後の花器の発達においても影響を受けると考えられるため，栽植様式の違いによる受光態勢の違いが，花器，莢の発達に及ぼす影響について検討してみた。ダイズの花芽の分化は栄養生長とは無関係に各節で一斉に開始される (斉藤ら 1998b)。花器として成立するためには開花期以降に高い NAR を維持し，高次位花器の分化，発育を促進することが重要である (郡ら 1998)。つまり，高い LAI を介して NAR を維持し，花器の分化促進を図る必要があると考えられる。本実験においては，等間隔区，2 列区は群落内部への光の浸透が見られ，同化器官乾物重の高まりが見られた。開花数においても受光態勢の良い等間隔区，2 列区で高い値が見られた。また，開花数の高まりは分枝における開花数増加が全開花数へ貢献しており，分枝の果たす役割は節数のみならず，開花数においても重要であることがわかった。また，ダイズの花器は 30～80% が脱落するために (van Schaik and Probst 1958b, Wiebold ら 1981, Antos and Wiebold 1984, Jiang and Egli 1993)，莢数を確保するためには花器脱落の抑制が不可欠である (van Schaik and Probst 1958a, Lehman and Lambert 1960, Heindl and Brun 1984)。花器の開花から脱落までの頻度分布は開花始後 10 日を境に大別できる (加藤 1964)。この結果は開花始後約 10 日で落花から落莢に移行することを示唆しており (斉藤ら 1998a)，子実生産に有効な開花期間は開花から 10 日間であった (由田ら 1983)。2 列区，4 列区は開花後 10 日までの開

花数が高まり、2列区は莢数へとつながっていたが、4列区は莢数の増加は見られなかった。ダイズは水平葉を持つために群落下層への光透過が悪く（玖村 1965）、中上位節の葉の光合成が高い（玖村 1968）。また、光合成産物の大部分が上位葉で生産され（Hatfield and Carlson 1978）、莢実の生長はその着生位置と密接に関連している（Howell 1960）。このように、等間隔区や、2列区のように受光態勢が良く、光合成と光合成産物の転流に有利な条件で開花数が多く、着莢率が高い（由田ら 1983）。収量の高かった等間隔区は、主茎 12~15 節位の同化器官乾物重が多かったにもかかわらず、光の透過が見られて結莢率が高かった。1~5 節より伸育した分枝の結莢率は低かったが、開花数が多かったため多くの莢が見られた。2列区では 13~15 節の結莢率と 4~6 節より伸長した分枝の結莢率が高く、等間隔区同様に、同化器官乾物重が多く、光環境の良い群落下層と、上層まで伸長した 4~6 節からの分枝において結莢率が高まったと推察された。4列区は全体的に結莢率が低く、受光量が低いことを要因とする光合成の低下が結莢率を低下させ、莢数減につながったと推察された。よって収量へ結びつくための開花数、莢数は受光量を要因とした光合成を介して群落構造と密接に関係しているものと示唆された（由田ら 1983）。結莢率と各収量構成要素間には有意な相関は見られなかったが、開花数は収量、種子数、莢数、節数、分枝数とそれぞれ有意な正の相関にあり、ソース機能の充実している部位では多くの花器が分化発育したことから莢数は開花数の多少によって大きく影響されることが示唆された。ダイズの花芽分化は播種後 15 日前後に始まることから（Guard 1931, 福井・後藤 1962, 加藤 1964）、生育初期の栄養生長量は気温や日射量などの環境条件の影響を通じて花器数の決定に関わっていると思われる。一節花器数よりも m^2 当たり節数を通じて総花器数を増加させているという報告もあるが（斉藤ら 1998a）、本実験では栽植密度を一定にし、栽植様式を変えた状態で実験を行ったが、受光態勢、群落構造の違いが生殖生長初期にかけて節数とそれを通じて開花数及び莢数に影響を及ぼした。

3列区は開花数が少なかったが、結莢率が高く、莢数が処理間で最も高い値を示した。しかし、種子数は高まらず、収量は高まらなかった。斉藤ら（1998a）は、莢数が増え、光合成量が増えなければ結実率が低下し、さらに一莢粒数、100 粒重が減少するとしている。この結果は、莢数（シンク容量）が最初に大きく決められた場合、ソース量が不足するとすべての胚珠が稔実できず、不稔となる胚珠が多くなり、種子数へ結びつかないことを示している。窒素蓄積量

の推移において、3列区はR5期からR6期にかけて莢窒素蓄積量は増加したが、全窒素蓄積量は減少していた。これは、栄養器官から転流し、莢へ蓄積されるべき窒素が胚珠の発達に有効利用されていないと考えられた。これにより、莢当たりの稔実粒数が減少して一莢粒数が低下し、さらに稔実した子実も十分な同化産物を得ることができず、100粒重が低下したものと考えた(斉藤ら1998a)。この傾向は4列区においても同様であった。これに対して等間隔区、2列区は葉、主茎、分枝の栄養器官から効率よく転流され、また、莢の窒素蓄積量の転流量に対する依存も少なく、効率の良い窒素蓄積であった。

以上より、高収量、莢数の増加を得るためにはR1期からR5期にかけてのソース能が重要である。分枝は節数の増加により、莢をつける節が増加することで収量へ貢献していた。また、開花数の高まりは分枝における開花数増加が全開花数へ貢献しており、分枝の果たす役割は節数のみならず、開花数においても重要であることがわかった。収量へ結びつくための開花数、莢数は受光量を要因とした光合成を介して群落構造と密接に関係しているものと示唆され、ソース機能の充実している部位では多くの花器が分化発育したことから、莢数は開花数の多少によって大きく影響されることが示唆された。

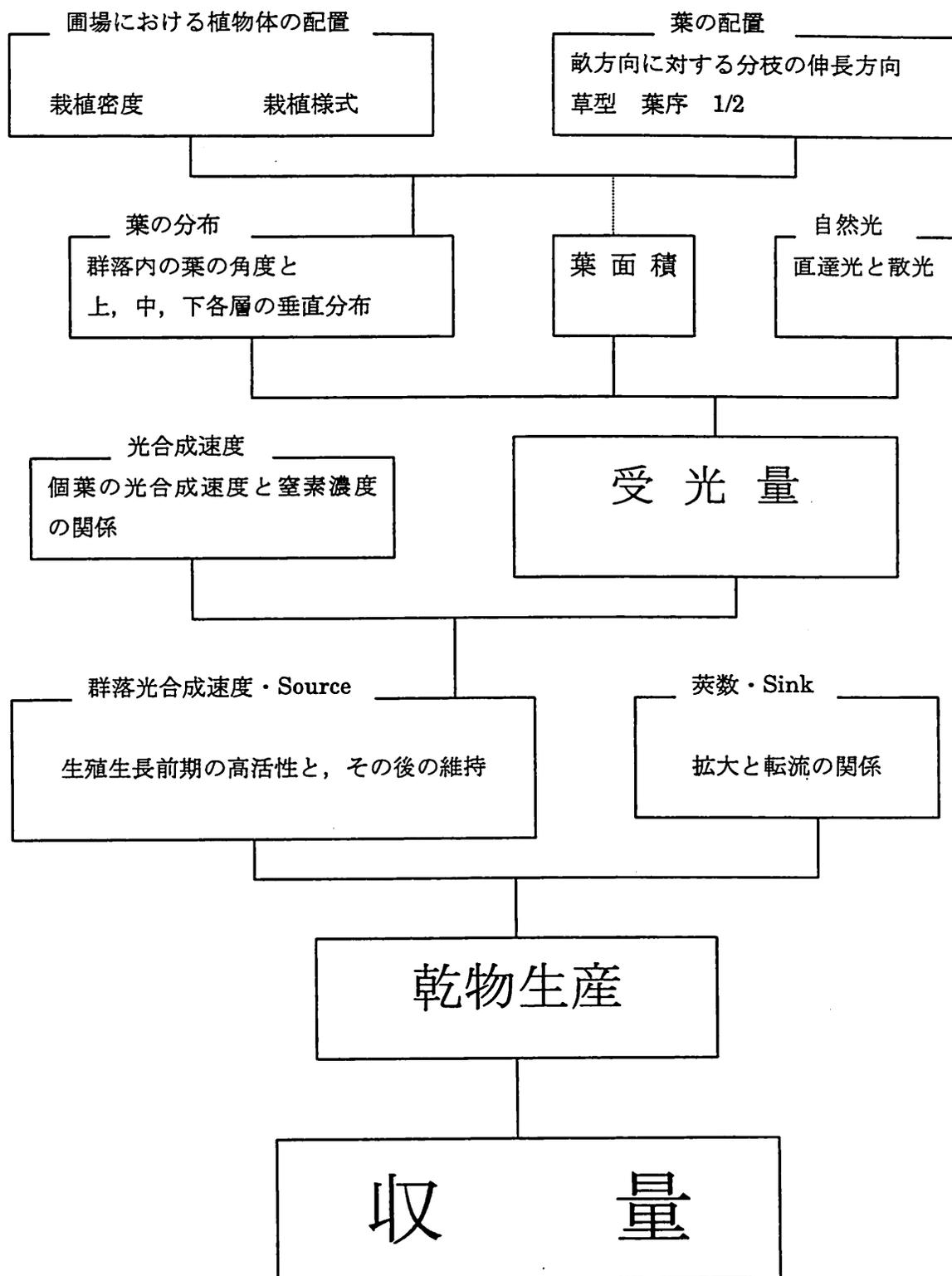
第3章

総合考察

第3章 総合考察

第3-1図にダイズの収量成立過程とそれに関する要因を示した。ダイズ群落において、受光量は大きな収量の決定要因である。ダイズは水平葉を持ち、その葉は複葉から構成される。さらに分枝を伸長させるために群落構造、群落内の葉の配置は極めて複雑なものとなる。そのために群落内の光環境を改善し、群落内部へ光透過させることが乾物重、収量の増加へつなぐと考えられる (Asanome and Ikeda 1998)。群落受光量を増加させるためには LAI の拡大をはかることが重要である。面積当たりの種子生産を最も高める最適の葉面積指数は開花終期で3~6といわれるが (大庭・大久保 1970)、最適 LAI は受光態勢や栄養条件、収量レベルによっても異なる。池田 (2000) は6.0以下では著しい増収は望めないとしている。本実験で $500\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上の高収量が得られたときの LAI は7.2~10.1であり、それは密植栽培において得られた。栽植密度が小さい疎植だと分枝は多く、茎は太く、節間長が短く育つ (昆野 1976)。一方栽植密度を高めると茎長が増し、節間長が長くなり、分枝も少ない。密植は面積当たり茎葉増加が早く、群落上部が早く被覆されるため、単位面積当たりの受光量増加のためには必要な条件である。しかしながら、密植栽培は徒長や倒伏の危険性がある。栽植密度の他に栽植様式により光を有効に利用する方法が考えられ、両者を組み合わせ、栽植様式を考慮し、受光態勢を良くして群落内部の光環境を改善し、群落光合成量を増加させ、乾物生産を高めることが必要である。これらの点を考慮したうえで、さらにラケット型を示す品種ミヤギシロメの草型を用いて、光を有効に利用するように群落を構成した。受光態勢が良好に維持された場合、R2期までの乾物重が高まり、分枝数、節数が増加した。開花数も増加が見られ、節数を介して開花数へ寄与した。収量の大きな決定要因は莢数であるという報告が多く (川嶋 1965, 杉山ら 1967, 国分 1988, 池田・佐藤 1990)、収量へ結びつくための莢数は光合成を介して群落構造と密接に関係していることが示唆された (由田ら 1983)。また、ソース機能の充実している部位では多くの花器が分化発育していたことから、莢数は開花数の多少によって大きく影響されることが示唆された。R5期にかけて LAI は最大を示したが、ダイズは調位運動をすることも知られている。大きな LAI を維持するために葉の角度を調節することで、結果的に個体群の葉面照度に差が生じないように調位運動が行われていると考えられた (川嶋 1969)。よって、密植でも群落内部への光の透過が見られ、群落内部の散光が増すことによって光合

成速度も大きくなる（玖村 1965）。個葉の光合成は葉の窒素濃度と関係が深く、高い乾物生産能力を可能にする葉面積当たりの窒素濃度はより豊富な窒素の供給を伴う事によって可能になる（白岩ら 1994）。群落内部に光が浸透するような群落は生殖生長期後半においても群落下層で葉の窒素濃度は高まり、葉の窒素濃度に伴う光合成能力の維持が窒素同化量の増加及び老化の遅延につながったと推察した。ソース能が維持されたということは大きなシンク能が伴っており、莢及び種子への光合成産物の転流が促進され、莢数、種子数の増加へと貢献したことが示唆された。収量は莢数や種子数に支配され、栽植密度、栽植様式を考慮し、群落受光量を高めることで高収量が得られることが示唆された。



第 3-1 図 ダイズの収量成立過程とそれに関する要因。

謝 辞

本研究の遂行ならびに本論文の作成にあたり，終始ご懇篤なるご指導を賜りました新潟大学農学部農業生産科学科教授池田武博士に衷心より深謝いたします。ならびに，懇切なご指導，ご助言をいただきました新潟大学農学部農業生産科学科助教授伊藤亮一博士に深謝いたします。また，有益なご助言をいただいたとともに，本論文校閲の労をとられた新潟大学農学部農業生産科学科教授新美芳二博士，教授福山利範博士，応用生物科学科教授大山卓爾博士，新潟大学大学院自然科学研究科教授石澤進博士に深謝いたします。

本研究の遂行にあたり，終始惜しみないご協力と激励をいただいた新潟大学作物学研究室の谷本高広氏，ならびに新田見浩由氏に心より厚く感謝いたします。また，植木武士氏，徳永幸代氏，首藤正人氏，丹羽茂嘉氏，長谷部美幸氏をはじめとし，大学院生・学部生諸氏には調査にあたり多大なご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 赤尾勝一朗・河内宏・米山忠克 1987. 生育時期別に同化された炭素のダイズ子実への転流と子実生産への寄与について. 日作紀 56 : 18—23.
- Antos, M and W.J. Wiebold 1984. Abscission, total soluble sugars, and starch profiles within a soybean canopy. Agron. J. 76: 715-719.
- 有賀武典 1943. 草性に依る大豆品種の分類. 農及園 18 : 669—670.
- Asanome, N. and T. Ikeda 1998. Effect of branch direction's arrangement on soybean yield and yield components. J. Agronomy & Crop Science 181 : 95—102.
- 浅沼興一郎 1977. 開花期前後の遮光が秋ダイズの収量成立に及ぼす影響. 香川大学農学部学術報告 29 (61) : 11—16.
- 浅沼興一郎・中潤三郎・木暮秩 1977. 秋ダイズにおける乾物生産と栽植様式との関係. 香川大学農学部学術報告 28 (60) : 11—18.
- Board, J. E. 1985. Yield components associated with soybean yield reductions at nonoptimal planting dates. Agron. J. 77: 135-140.
- Board, J.E., and B.G. Harville 1992. Explanations for greater light interception in narrow- vs. wide-row soybean. Crop Sci. 32 : 198—202.
- Board, J. E., and B. G. Harville. 1993. Soybean yield component responses to a light interception gradient during the reproductive period. Crop Sci. 33: 772-777.
- Board, J. E., B. G. Harville, and A. M. Saxton. 1990. Branch dry weight in relation to yield increases in narrow-row soybean. Agron. J. 82: 540-544.
- Board, J. E., and J.R. Settimi. 1986. Photoperiod effect before and after flowering on branch development in determinate soybean. Agron. J. 78: 995-1002.
- Board, J. E., M. Kamal and B. G. Harville. 1992. Temporal importance of greater light interception to increase yield in narrow-row soybean. Agron. J. 84: 575-579.
- Board, J. E., and Q. Tan. 1995. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number. Crop Sci. 35: 846-851.
- Boon-Long, P., D.B. Egli, and J.E. Leggett 1983. Leaf N and photosynthesis

- during reproductive growth in soybean. *Crop Sci.* 23 : 617—620.
- Brevedan, R. E., D. B. Egli and J. E. Leggett 1978. Influence of N nutrition on flower and pod abortion and yield of soybean. *Agron. J.* 70: 81-84.
- Brun, W. A. and K. J. Betts 1984. Source/sink relations of abscising and nonabscising soybean flowers. *Plant Physiol.* 75: 187-191.
- Crafts-Brandner, S. J. and D. B. Egli 1987. Sink removal and leaf senescence in soybean. *Plant Physiol.* 85 : 662—666.
- Cooper, R. L. 1977. Response of soybean cultivars to narrow rows and planting rates under weed-free contributions. *Agron. J.* 69: 89-92.
- Dominguez, C. and D. J. Hume 1978. Flowering, abortion, and yield of early-maturing soybeans at three densities. *Agron. J.* 70: 801-805.
- Doss, B. D., R. W. Pearson and H. T. Rogers 1974. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. *Agron. J.* 66: 297-299.
- Duncan, W. G. 1986. Planting patterns and soybean yields. *Crop Sci.* 26: 584-588.
- Dyer, D. J., D. R. Carlson, C. D. Cotterman, J. A. Sikorski and S. L. Ditson 1987. Soybean pod set enhancement with synthetic cytokinin analogs. *Plant Physiol.* 84: 240-243.
- Egli, D. B. 1976. Planting date, row width, population, growth regulators. p. 56-62. In L. D. Hill (ed.) *Proc. World Soybean Res. Conf.* Interstate Printers and Publishers, Danville, IL.
- Egli, D. B., R. D. Guffy, and J. J. Heitholt. 1987. Factors associated with reduced yields of delayed plantings of soybean. *J. Agron. Crop Sci.* 159: 176-185.
- Egli, D. B., and Z. Yu. 1991. Crop growth rate and seeds per unit area in soybean. *Crop Sci.* 31: 439-442.
- Fehr, W. R. and C. E. Caviness 1977. Stages of soybean development. Spec. Rep. No. 80, Coop. Ext. Serv., Agric and Econ Exp. Stn., Iowa State Univ., Ames., IA.
- 福井重郎・後藤虎夫 1962. 日長及び温度がダイズの花芽の分化並びに花器の発達に及ぼす影響の品種間差異. I 大豆花器の発達過程. *育雑* 12: 17-26.
- 藤井弘志・安達忠弘・桃谷英・鈴木武・大沼彪・阿部吉克・今野周・荒垣憲一 1987. 水田転換畑における多収ダイズの栄養特性. *土肥誌* 58 : 217—221.

- Guard, A.T 1931. Development of floral organs of the soybean. Bot. Gaz. 91: 97-102.
- Hanway, J.J. and C.R. Weber 1971. Dry matter accumulation in eight soybean varieties. Agron. J. 63: 263-266
- Hatfield, J.L. and R.E. Carlson 1978. Photosynthetically active radiation, CO₂ uptake, and stomatal defusive resistance profiles within soybean canopies. Agron. J. 70: 592-596.
- Hayati, R., D.B. Egri and S.J. Crafts-Brandner 1995. Carbon and nitrogen supply during seed filling and leaf senescence in soybean. Crop Sci. 35 : 1063-1069.
- Heindl, J.C. and W.A. Brun 1984. Patterns of reproductive abscission, seed yield, and yield components in soybean. Crop. Sci. 24: 542-546.
- Heitholt, J. C., D. B. Egli and J. E. Leggett 1986. Characteristics of reproductive abortion in soybean. Crop Sci. 26: 589-594.
- Herbert, S. J., and G. V. Litchfield. 1982. Partitioning soybean seed yield components. Crop Sci. 22: 1074-1079.
- Huff, A. and D. Dybing 1980. Factors affecting shedding of flowers in soybean. J. Exp. Bot. 31: 751-762.
- Howell, R.W. 1960. Physiology of the soybean. Adv. Agron. 12: 265-310.
- Ikeda, T. 1992. Soybean planting patterns in relation to yield and yield components. Agron. J. 84: 923-926.
- 池田武 2000. ダイズ個体群の純生産に関わる要因. 日作紀 69 : 12-19.
- Ikeda, T., H. Sato, R. Matsuda and S. Sato 1994. Soybean yield and Yield components in two planting patterns. J. Agronomy & Crop Sci. 173: 73-78.
- Ikeda, T. and M. Ino 1995. Inclination of soybean terminal leaflet under different plant populations and planting patterns. Bulletin of the Faculty of Agriculture Niigata Uni. 47 : 27-33.
- 池田武・佐藤庚 1978. ダイズ「ミヤギシロメ」の分枝の方向性について. 日作紀 47 : 438-439.
- 池田武・佐藤庚 1990. ダイズ栽培における栽植密度と収量構成要素との関係. 日作紀 59 : 219-224.
- Isoda, A., T. Yoshimura, T. Ishikawa, H. Nojima and Y. Takasaki 1992. Radiation interception in field grown soybeans measured by integrated

- solarimeter films. Jpn. J. Crop Sci. 61 : 124—130.
- Isoda, A., T. Yoshimura, T. Ishikawa, H. Nojima and Y. Takasaki 1994a. Effects of leaf movement on radiation interception in field grown leguminous crop. Jpn. J. Crop Sci. 63 : 657—663.
- Isoda, A., T. Yoshimura, T. Ishikawa, H. Nojima and Y. Takasaki 1994b. Solar radiation penetration and distribution in soybean communities. Jpn. J. Crop Sci. 63 : 298—304.
- Jiang, H. and D. B. Egli 1993. Shade induced changes in flower and pod number and flower and fruit abscission in soybean. Agron. J. 85: 221-225.
- Johnston, T. J., J. W. Pendleton, D. B. Peters and D. R. Hicks 1969. Influence of supplemental light on apparent photosynthesis, yield and yield components of soybeans (*Glycine max* L.). Crop Sci. 9 : 577—581.
- 加藤一郎 1964. ダイズにおける脱落花器及び不稔実粒の組織学的並びに発生学的研究. 東海近畿農業試験場報告 11: 1-52.
- Kato, Y. and S. Kitada 1979. Studies on nitrogen metabolism of soybean plants. IV. The dynamic aspect of leaf nitrogen and its relation to protein turnover. Jpn. J. Crop Sci. 48 : 229—242.
- 川嶋良一 1965. 大豆の密植多収栽培法. 農及園 40 : 770—774.
- 川嶋良一 1969. 大豆の葉の調位運動に関する研究. 第1報 調位運動と葉面受光. 日作紀 38 : 718—729.
- 国分牧衛 1988. 大豆の Ideotype の設計と検証. 東北農業試験場研究報告. 77:77-137.
- Kokubun, M., H. Mochida and Y. Asahi 1988. Soybean cultivar difference in leaf photosynthetic rate and its relation to seed yield. Jpn. J. Crop Sci. 57 : 743—748.
- 小松典行・津川兵衛・西川欽一・丹下宗俊 1989. ダイズの窒素固定能と収量に及ぼす栽植密度の影響. 日作紀 58 : 164—170.
- 昆野昭晨 1976. マメ類の登熟. 北条, 星川編. 作物—その形態と機能. 下. 農業技術協会 : 76.
- 昆野昭晨・福井重郎・小島睦男 1964. 土壤水分が大豆の体内成分ならびに結莢に及ぼす影響. 農技研報 D11: 111-147.
- 郡健次・斉藤邦行・黒田俊郎・熊野誠一 1998. ダイズ収量成立過程における花器の分化と発育について. 一時期別遮光が花蕾数と結莢率に及ぼす影響

- 一. 日作紀 67 : 79—84.
- 玖村敦彦 1965. ダイズの物質生産に関する研究. 第2報ダイズ個体群の光合成に及ぼす光の強さの影響. その1天候によって光の強さが変わる場合の受光態勢と光合成 日作紀 33 : 473—481.
- 玖村敦彦 1968. ダイズの物質生産に関する研究. 第5報 個体群の光合成系について 日作紀 37 : 570—582.
- Lehman, W.F. and J.W. Lambert 1960. Effect of spacing of soybean plants between and within rows on yield and its components. *Agron. J.* 52: 84-86.
- Lueschen, W. E. and D. R. Hicks 1977. Influence of plant population on field performance of three soybean cultivars. *Agron. J.* 69:390-393.
- 牧野周・前忠彦・大平幸次 1988. ダイズ単葉の窒素含量と大気条件下における光合成速度およびその律速因子との関係. 土肥誌 59 : 377—381.
- Mann, J. D. and E. G. Jaworski 1970. Comparison of stresses which may limit soybean yields. *Crop Sci.* 10: 620-624.
- 松本重男・朝日幸光 1970. 暖地における畑作物の理想的生育経過型の解明に関する研究 第6報 収量および耕種条件と生育経過との対応. 日作紀 39(別1) : 69—70.
- Miura, H., K. Wijeyathungam, and T. gemma 1987. Variation in seed yield components in soybean as affected by planting patterns. *Japan. J. Crop Sci.* 56:652-656.
- 村田吉男・猪山純一郎 1960. 畑作物の光合成に関する研究 (1) 8種の夏作物における圃場の個体群の光合成の日変化と日射および気温の関係 日作紀 29 : 151—154.
- 中世古公男・後藤寛治 1975. 豆類の生産生態に関する比較作物学的研究 第3報 大豆の密植反応性について. 日作紀 44 (別2) : 71—72.
- 中世古公男・野村文夫・後藤寛治・大沼彪・阿部吉克・今野周 1984. 水田転換畑多収ダイズの乾物生産特性. 日作紀 53 : 510—518.
- Neyshabouri, M. R. and J.L. Hatfield 1986. Soil water deficit effects on semi-determinate and indeterminate soybean growth and yield. *Field Crops Res.* 15: 73-84.
- 大庭寅雄・大泉久一・工藤壮六・上田邦彦 1961. 大豆の開花結実性に関する研究. 一気象並びに耕種条件と大豆の部位別開花結実性との関係— . 日作紀 30 : 68—71.

- 大庭寅雄・大久保隆弘 1970. 大豆の増収要因解析に関する研究—土壤肥沃度と適栽植密度との関係. 日作紀 39 (別 2) : 11-12.
- 大川泰一郎・高瀬陽子・石原邦・平沢正 1999. ダイズ品種エンレイとタチナガハの収量, 乾物生産の異なる要因の生理生態学的解析. 日作紀 68 : 105—111.
- Parks, W.L., J. Davis, R. Evans, M. Smith, T. Cutchen, L. Safley and W. Sanders 1983. Soybean yield as affected by row spacing and within row plant density. Tennessee Agric. Exp. Stn. Bull. 615.
- Parvez, A.Q., F.P. Gardner and K.J. Boote 1989. Determinate- and indeterminate-type soybean cultivar responses to pattern, density, and planting date. Crop Sci. 29:150-157.
- 斉藤邦行・磯部祥子・黒田俊郎 1998a. ダイズの収量成立過程における花器の分化と発育について. —莢数と花蕾数の関係—. 日作紀 67 : 70—78.
- 斉藤邦行・磯部祥子・黒田俊郎 1998b. 有限伸育型ダイズ品種における花器の分化と発育過程. —花房の着生位置に着目して—. 日作紀 67 : 85—90.
- 佐藤庚・池田武 1985. 大豆における密度と収量構成要素との関係. 日作紀 54 (別 1) : 54—55.
- 関山太・黒岩澄雄・原登志彦 1983. ダイズ個体群の収量と栽植密度との関係. 日作紀 52 (別 2) : 48—49.
- 島田信二・広川文彦・後藤淳一 1986. 栽植密度がダイズ品種の生育収量に及ぼす影響. 日作紀 55 (別 2) : 43—44.
- 島田信二・広川文彦・宮川敏男 1990. 山陽地域の水田転換畑高収量ダイズに対する播種期および栽植密度の効果. 日作紀 59 : 257—264.
- Shiraiwa, T. and U. Hashikawa 1995. Accumulation and partitioning of nitrogen during seed filling in old and modern soybean cultivars in relation to seed production. Jpn. J. Crop Sci. 64 : 754—759.
- Sionit, N. and P. J. Kramer 1977. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. Agron. J. 69: 274-278.
- 白岩立彦・橋川潮・高進吾・酒井綾子 1994. ダイズ品種の光エネルギー変換効率と受光態勢ならびに葉身窒素濃度との関係. 日作紀 63 : 1—8.
- Spollen, W.G., W.J. Wiebold and S. Glenn 1986a. Intraraceme competition in field-grown soybean. Agron. J. 78:280-283.
- Spollen, W.G., W.J. Wiebold and S. Glenn 1986b. Effect of altered

- intraraceme competition on carbon-14-labeled assimilate and abscisic acid in soybean. *Crop Sci.* 26: 1216-1219.
- 杉山信太郎・松沢宏・堀内寿郎・川嶋良一 1967. 栽植密度・様式の変動がダイズの生育と収量に及ぼす影響について. 長野県農業試験場報告 32:34-50.
- Van Schaik, P.H. and A.H. Probst 1958a. The inheritance of inflorescence type, peduncle length, flowers per node and percent flower shedding in soybeans. *Agron. J.* 50: 98-102.
- Van Schaik, P.H. and A.H. Probst 1958b. Effect of some environmental factors on flower production and reproductive efficiency in soybeans. *Agron. J.* 50: 192-197.
- Weaver, R.W. and D.R. Morris 1982. Mobilization of labeled N in soybean leaves during early podfill. *J. Plant Nut.* 5 : 1009—1108.
- Wiebold, W. J. 1982. Rescue of soybean flower destined to abscise. *Agron. J.* 73: 43-43.
- Wiebold, W. J., D.A. Ashley and H.R. Boerma 1981. Reproductive abscission levels and patterns for eleven determinate soybean cultivars. *Agron. J.* 73: 43-46.
- Wiggins, R. G. 1939 The influence of space and arrangement on the production of soybean plants. *J. Am. Soc. Agron.* 31: 314-321.
- Wilcox, J. R. 1974. Response of three soybean strains to equidistant spacings. *Agron. J.* 66: 409-412.
- Wright, D.L., F.M. Shokes and R. K. Sprenkel 1984. Planting method and plant population influence on soybean. *Agron. J.* 76: 921-924.
- 由田宏一・野村文雄・後藤寛治 1983. ダイズにおける個体内の開花時期と子実生産. 第2報 開花日別にみた着莢率, 着莢相および収量諸形質. 日作紀 52 : 567—573.

Summary

Useful light interception is very important for dry matter production and yield in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. Plant population, planting pattern and plant type usually determine leaf arrangement in canopy. Leaf arrangement and leaf angle relate with light interception. Soybean with horizontal leaves often shows canopy structure which happens easily to be mutual shading. Therefore, it is important to improve light condition in canopy. Leaf arrangement relates with leaf area index (LAI). Higher LAI increases light interception. High efficiency light interception maintains a supportive role in relation to LAI. Photosynthetic rate is increased by greater light interception in an individual leaf. So, greater light interception increases canopy photosynthesis. Pod number was restricted by reproductive growth from R1 to R5. Pod number as sink increased with higher source activity. Light interception during reproductive stages influenced on dry matter production and yield.

In this research, Canopy consisted of some plant densities and planting patterns to activate and not activate light efficiency (CE and CN). The objective in this study was to investigate the light utilization in the canopy for yield and yield components in case of arranging leaf and branch in CE and CN. Moreover, it was progressed to consider about the effect of light utilization on nitrogen accumulation, on translocation into the pod and on relation between sink and source.

Total dry weight (TDW) was greater in higher plant density and was the greatest value at R5 stage. TDW from R1 to R5 correlated with yield, because this period including flower opening and pod formation. Compared with TDW between CE and CN, TDW was higher in CE than CN under both high and low plant densities. After R5, LAI decreased due to defoliation. At R6, CE maintained a high LAI by greater light interception and, moreover, greater canopy photosynthesis.

Assimilate dry matter distributed into high layers of canopy (more than 70cm) and it declined gradually to the ground in high plant density. Although greater dry weight of assimilate organs distributed at high

layers(above 120cm), more light penetration into middle layers(above 80cm) was shown at CE. The leaflets of middle and lower layers utilized the penetrated light. CE might be advantageous for radiation transmission and distribution. A lower light extinction coefficient indicated light penetration into the middle and lower canopy layers.

Greater flower number m^{-2} was shown at early R2, and then declined gradually. Total flower number was higher in CE than in CN. Flower numbers at high and middle layers were greater in CE than in CN. These tendencies were found in branch flower number. The increases flower number related with high pod set in CE.

After R2, leaf nitrogen concentration decreased sharply in CE, but gradually in CN. Total nitrogen accumulation was higher in CE than in CN from early reproductive stages. Leaf nitrogen accumulation distributed into higher layers of canopy and declined gradually to the ground in all treatments. But the nitrogen concentration level in leaf was higher in CE than in CN at low layers. Higher nitrogen concentration kept high photosynthetic ability because of more light penetration. Leaf and stem nitrogen accumulation increased in CE, however only leaf did in CN at R5. Nitrogen accumulation in vegetative organs contributed to the amount of nitrogen partitioning into the pod after R5. Light condition affected on nitrogen concentration and nitrogen accumulation in vegetative organs that contributed to the increase of nitrogen partitioning into the pod.

Seed yield was greater in higher densities than in lower ones, and in CE than in CN in each density. The same were also found in seed number, pod number, and node number. Increased yield responded to increase seed number. Seed number contributed to yield, and yield was highly correlated with pod number. Also seed number correlated highly with pod number. Seed number was directly controlled by pod number. In response to light interception during reproductive stages, pod number was regulated by pods per node. Pods per reproductive node were restricted by pod initiation and pod set at R5.

In conclusion, higher TDW at CE caused to increase photosynthesis activity during reproductive stages. Greater light interception related with

higher TDW, and it was caused by higher LAI. Light penetration into the middle and lower layers of canopy maintained high nitrogen concentration. Flower numbers at middle and lower layers were greater in CE than in CN. The increase of flower number related with high pod set. Greater pod number was able to increase the amount of nitrogen into the pod. Therefore, increased pod number contributed to increase seed number and yield. The increase of yield was suggested to be due to greater light interception in canopy.