

香川大学農学部紀要

第 61 号

1996年11月

MEMOIRS OF FACULTY OF AGRICULTURE
KAGAWA UNIVERSITY

No. 61, November 1996

暖地ダイズの乾物生産特性と収量向上に関する基礎的研究

浅 沼 興 一 郎

香川大学農学部

香川県木田郡三木町

FACULTY OF AGRICULTURE, KAGAWA UNIVERSITY

Miki-chô, Kagawa-ken, Japan

香川大学農学部紀要

第 61 号

1996年11月 発行

各研究室の業績を発表するため、本学部は“香川大学農学部学術報告”と“紀要”を発行している。この“紀要”は研究の完成した比較的長い論文を発表するために発行されている。既刊の標題は最後の i-vi 頁に記載されている。“学術報告”および“紀要”の交換または寄贈については、香川県木田郡三木町、香川大学農学部（〒761-07）あて照会されたい。

Memoirs of Faculty of Agriculture, Kagawa University

No. 61, November, 1996

The Faculty of Agriculture, Kagawa University publishes “Technical Bulletin” (Gakuzyutu Hōkoku) and “Memoirs” (Kiyō), and latter contains extended treatises. The titles of each number of “Memoirs” are printed on the pages i to vi inside back cover. Correspondence concerning the exchange of publications should be directed to Faculty of Agriculture, Kagawa University, Miki-cho, Kagawa-ken, 761-07, Japan.

暖地ダイズの乾物生産特性と収量向上に関する基礎的研究

浅 沼 興一郎

目 次

| | |
|----------------------------------|----|
| 諸 言 | 1 |
| 第1章 暖地におけるダイズの乾物生産特性 | 3 |
| 第1節 生態型を異にする品種の乾物生産特性の差異 | 3 |
| 第2節 光合成特性とその律則要因 | 8 |
| 第2章 生育と乾物生産に及ぼす環境条件の影響 | 13 |
| 第1節 生育時期別昼夜温の影響 | 14 |
| 第2節 生育時期別遮光処理の影響 | 20 |
| 第3節 生育時期別水ストレスの影響 | 25 |
| 第3章 生育と乾物生産に及ぼす栽培条件の影響 | 35 |
| 第1節 播種期の影響 | 35 |
| 第2節 栽植密度の影響 | 41 |
| 第3節 窒素施用量の影響 | 47 |
| 第4章 根粒着生と窒素栄養との関係 | 55 |
| 第1節 根粒着生の有無が生育及び体内成分に及ぼす影響 | 55 |
| 第2節 窒素栄養における吸収窒素と固定窒素の意義 | 61 |
| 第5章 暖地における特殊栽培法の意義 | 70 |
| 第1節 移植栽培について | 70 |
| 第2節 摘心栽培について | 74 |
| 第3節 水田転換畑における畦立栽培について | 79 |
| 総合考察 | 84 |
| 引用文献 | 88 |
| Summary | 96 |

緒 言

ダイズはその子実タンパク質、脂質を多量に含み、古くから米と組み合わせたわが国の伝統的食生活に重要な役割を演じてきた。しかし、近年におけるダイズ需給状況についてみると、総需要量は年々増加の傾向を示し、近年では約500万tの需要が見込まれているが、その内、国内産のものは約6%に過ぎず、自給率はきわめて低い。従って、残りは輸入ダイズに依存している現状であり、わが国経済の面からもダイズの生産振興が大いに図られる必要がある。

一方、わが国におけるダイズの地域別作付状況を見ると、その大部分は北海道、東北、北陸、関東東山などの主要な産地で6割を占め、西南暖地、特に四国における作付はきわめて少ない。近年、水田転換畑での作付が増加したとはいえ、この状況に大きな変化はみられない。これは暖地の収量水準が低いことが最大の原因とされ、なかでも四国地方の収量は150kg/10a未満と著しく低いのが現状である。しかし、豆類経営改善共励会での記録では498kg/10aという高収量の例も報告されており⁴⁸⁾、暖地における低収要因は必ずしも環境条件によるものではないことを示している。従って、わが国におけるダイズの自給率を向上させるためには、暖地における作付面積の増加もさることながら、現在における状況の下では技術水準の一層のレベルアップを図ることが、最も重要な問題であると考えられる。

わが国におけるダイズの栽培に関する生理・生態学的研究の動向についてみると、その大部分はダイズの主要な生産地帯である冷涼地で行われたもので^{21-28 37,40 53-55 59 63-64 65 66-68 70-71 89-90 91-92 93 96 97-100 109-110 124-125 129 140-142)}、暖地ダイズに関する研究はきわめて少ないのが現状である^{3 61 62 77 78 94-95 111 122-123 144)}

ダイズは基本的には短日植物であり、花芽分化は短日条件によって促進され、わが国のダイズ品種は開花限界日長から、大きく夏ダイズ型(早生)、中間ダイズ型(中生)、秋ダイズ型(晩生)に分類されている。また、開花まで日数の長短を基本に結実日数を加味して9型に分類されており²¹⁾、一般に北海道のような高緯度地帯では日長に鈍感な早生の夏ダイズ型が栽培されているが、低緯度になるにつれて感光性中位の中間ダイズ型が分布し、西南暖地では主に感光性の高い秋ダイズ型の品種が栽培されている。このように、わが国では各地で異なった生態型に属する品種が栽培されており、各地で得られた研究結果を直ちに暖地ダイズに適用することには問題があり、生産力の向上を図るには、各地に適応した品種を中心にその生理・生態学的特性を解明する必要があるものと考えられる。

本研究は、このような背景の下で、暖地におけるダイズ生産力の向上を図ることを目的に基礎的研究を開始し、主として乾物生産や収量成立過程に焦点を置き、生理・生態学的観点から暖地ダイズの特性について検討を行った。

本論文では、まず第1章で暖地における品種の乾物生産特性を生長解析と光合成の面から明らかにし、次いで、第2章ではこれらの特性が温度、光、土壌水分などの環境条件によって変動する様相を明らかにしようとした。また、第3章では主要な栽培条件のうち、播種期、栽植密度、窒素施肥と生産力との関係を追究した。第4章ではダイズの窒素栄養において重要な役割を演じている共生根粒菌の問題について、根粒着生の意義について論じるとともに、窒素固定の実態を調査した。さらに、第5章では、暖地で実際に行われるいろいろな栽培法から、移植栽培、摘心栽培、畦立栽培の意義について、生産力向上の可能性の面から考察を加えた。

本研究の遂行に当たっては、香川大学名誉教授中 潤三郎先生、木暮 秩先生、北海道大学名誉教授後藤寛治先生から数々の有益なご助言、ご指導を戴いた。また、重窒素の分析に当たっては、四国農業試験場の金森哲夫室長のご指導を、実験に際しては香川大学農学部作物学研究室の専攻生諸君に熱心な協力を戴いた。さらに、香

-2-

川島農業試験場並びに北海道立十勝農業試験場から供試品種及び系統の提供を戴いた。

本論文は北海道大学審査学位論文として提出したもので、取りまとめに当たっては、北海道大学教授中世古公男博士に懇切なご指導、ご校閲を賜った。また、北海道大学教授島本義也博士及び同教授但野利秋博士には有益なご助言と本稿のご校閲を戴いた。

ここに、これらの方々になんげ心からの謝意を表する次第である。

第1章 暖地におけるダイズの乾物生産特性

一般に、作物の収量は生育期間中に生産される乾物の量と、その目的部分への分配率によって大きく左右される。従ってダイズにおける子実収量の向上を図るには、まず単位土地面積当たり乾物生産量を増大させ、さらに、生産された乾物の子実への分配率を高めることが必要となる¹³⁶⁾。このことから、ダイズの乾物生産特性に関する知見を蓄積することは、生産性の向上を目指す場合には不可欠のことである。

また、ダイズにおける乾物生産の基礎は主として葉身による光合成機能に依存しており、乾物生産を高めるには個体群を構成する個々の葉の光合成能力を最大限に発揮させなければならない。従って、ダイズの光合成の実態を明らかにし、乾物生産特性との関係を把握しておくことはきわめて重要な問題であると考えられる。

そこで、本章ではまず暖地で栽培される主要品種の乾物生産特性並びに収量成立過程の実態を調査し、次いで、各葉位における光合成能の変化について検討を行った。

第1節 生態型を異にする品種の乾物生産特性の差異

わが国におけるダイズの乾物生産特性についての研究は、比較的冷涼な地域で行われたものは多い^{4,37,54,55,65,66,67,68,92,93,98,99,140,141,142)}が、暖地で行われたものは朝日ら³⁾及び夏ダイズに関する松本ら⁷⁾の報告をみるに過ぎない。また、ダイズの品種分布は地域性を示し、四国から九州南部の暖地には中間ダイズ型から秋ダイズ型が分布し、なかでも主力品種となっているのは福井ら²¹⁾の分類によるⅢcからⅣcの品種群である。このことは北海道から関東地方にかけての主要品種がⅠa～Ⅱa品種であることと大きく異なっている。従って、これらの生態型を異にする品種の乾物生産特性を明らかにしておくことはきわめて重要である。

ここでは、まず暖地で栽培されている生態型の異なる4品種を供試し、標準栽培条件下における乾物生産特性と、収量成立過程の実態を調査した結果について述べる。

材 料 と 方 法

実験材料として、福井ら²¹⁾の分類による生態型Ⅱcの金成1号、同Ⅲcのアキシロメ、同Ⅳcの玉錦及びアキヨシを用いた。生態型Ⅱc及びⅢcは中間ダイズ型、Ⅳcは秋ダイズ型に属している。予め圃場にブライトチップ堆肥を10a当たり500kg施し、1987年6月19日に耕起、整地した圃場で実験を行った。栽植様式(密度)は暖地標準栽培に準じ、畦幅60cm、株間25cm(6.7個体/m²)とした。播種は1987年7月2日に1株3粒播きとして行い、7月11日から14日にかけて間引き、補植を行って1株1本立とし、併せて除草を行った。施肥はすべて基肥で、10a当たり窒素3.7kg(硫安)、リン酸8.8kg(過リン酸石灰)、カリ8.8kg(硫酸カリ)の割合で条施した。試験区の構成は乱塊法2反復である。

試料採取は、生育初期の7月22日に第1回目を行い、以後収穫期まで約2週間間隔で行った。試料採取に当たっては、生育中庸な5個体を選び、形態形質を測定した後、葉身、葉柄、茎、地下部、莢及び子実、枯葉に分け、生体重及び乾物重(熱風恒温乾燥器で90℃、30分間のkilling処理後、70℃で一昼夜乾燥)を測定した。葉面積の測定は葉面積計(林電工、AAM-7型)によって行った。

生育は、玉錦、アキヨシで多少の倒伏がみられたものの、きわめて順調で、虫害もほとんどみられなかった。

Table 1. Number of days from sowing to first flowering and maturation.

| Cultivar | No. of days from sowing to first flowering | No. of days from sowing to maturation |
|----------------|--|---------------------------------------|
| Kan-nari No. 1 | 36 | 113 |
| Akishirome | 41 | 119 |
| Tamanishiki | 48 | 132 |
| Akiyoshi | 48 | 140 |

Table 2. Morphological characteristics at maturing stage.

| Cultivar | Stem length (cm) | | | No. of nodes | | | No. of branches | |
|----------------|------------------|------|-----|--------------|-----|-----|-----------------|-------|
| | M* | P | S | M | P | S | P | S |
| Kan-nari No. 1 | 53.2c | 259c | 24d | 13.2b | 34c | 4d | 12.8b | 4.0d |
| Akishirome | 43.4d | 221d | 43c | 13.2b | 30c | 9c | 10.0b | 8.4c |
| Takanishiki | 107.6a | 348b | 56b | 20.0a | 41b | 13b | 11.2b | 11.0b |
| Akiyoshi | 77.6b | 429a | 94a | 18.8a | 61a | 29a | 18.8a | 26.2a |

*: M; Main stem, P; Primary branch, S; Secondary branch.

Data with the same letter are not significantly different at 5% level.

結果と考察

1. 生育特性及び形態的形質の品種間差異

各品種の開花迄日数及び生育日数を Table 1 に示した。開花迄日数は金成 1 号 < アキシロメ < 玉錦 = アキヨシの順に短く、生育日数についても同様の傾向がみられ、生態型による気象反応の差異を反映し、II c の金成 1 号と IV c のアキヨシとの差は、開花迄日数で 12 日、生育日数で 27 日であった。

次に成熟期における形態形質を Table 2 に示した。主茎長はいずれの品種とも生育に伴って直線的に増加し、開花盛期にはほぼ最大に達した後、伸長が停止したが、その値は生態型 II c < III c < IV c の順となり、特に IV c の玉錦で著しく大きく、主茎節数も IV c 型の品種で多かった。一方、主茎節数が最大になる時期と主茎長が最大になる時期は、金成 1 号とアキシロメにおいてはほぼ一致しており、主茎伸長と節数増加がほぼ同時に停止したが、秋ダイズ型の玉錦とアキヨシでは主茎節数の増加が停止した後も主茎伸長は継続し、主茎の伸長特性（節間伸長による）は生態型により異なった。この傾向は特に玉錦で顕著であり、平均節間長は他の 3 品種に比べ 3 割程度長く、この品種の栽培に当たっては蔓化傾向に注意する必要がある。

これに対し、1 次分枝数は生態型間に一定の傾向がみられず、アキヨシで最も多く、他の 3 品種ではほぼ同数であった。2 次分枝数は秋ダイズ型品種で多く、特にアキヨシでは著しく多かった。従って、分枝総茎長、総節数についても同様の結果が得られ、秋ダイズ型品種ではアキヨシ、中間ダイズ型品種ではアキシロメが分枝型とみられた。なおアキシロメでは分枝総節数が登熟初期まで増加したものの、その後 2 週間で弱勢分枝の消失により 30% 減少した。これはアキシロメの収量が低かった要因の一つである。

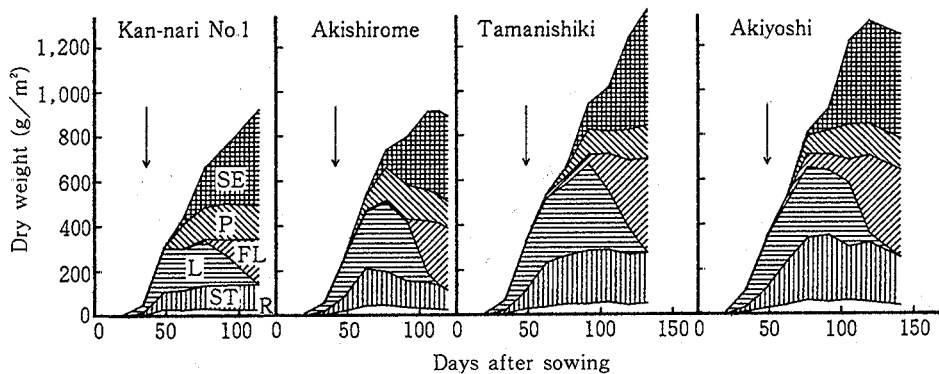


Fig. 1. Changes in dry weight of each organ. Arrows show the first flowering stage.

R: roots, ST: stems, L: leaves (living), FL: leaves (fallen), P: pods, SE: seeds

2. 乾物重の推移

各器官における乾物重の推移を Fig 1 に示した。地下部乾物重は各品種とも登熟初期まで増加し、以後減少する傾向がみられ、この傾向は特にアキシロメで顕著であった。地上部についてみると、莖乾物重は金成1号では開花始期後も増加したが、アキシロメでは分枝の消失により急減し、成熟期には最大期の約1/2まで低下した。秋ダイズ型の玉錦では登熟初期まで増加した後、ほぼ一定に推移したが、アキヨシでは莢の発育に伴って一時的減少がみられ、成熟期にかけて再び増大した。

葉乾物重は各品種とも生育に伴い増加し、開花盛期から登熟初期にかけて最大に達し、以後急減したが、最大期は金成1号、アキシロメ、玉錦、アキヨシで開花始期後、それぞれ12、23、30、44日目であり、秋ダイズ型品種ほど遅くなった。また金成1号では最大値が比較的長期間維持されるのが特徴である。葉の枯れ上がりに伴う枯葉の乾物重(複葉が半分以上黄化したものとし、その乾物重を積算値で示してある)は、金成1号、アキシロメでは成熟期を前に急増したのに対し、玉錦、アキヨシでは開花始期より増加し始め、徐々に黄化が進み、収穫期に急増した。

莢実(莢+子実)乾物重は、いずれの品種も直線的に増加したが、アキシロメとアキヨシでは成熟1週間前からやや減少する傾向を示した。各品種の1日当たり平均莢実乾物重増加速度は、金成1号、アキシロメ、玉錦、アキヨシの順に、それぞれ10.3、11.4、12.8、13.8 g/m²/dayで、登熟日数が長い秋ダイズ型品種ほど大きい傾向がみられた。莢実乾物重のうち、莢の乾物重増加は子実の増加に先行して増加したが、成熟期における莢と子実の比(約1:3)は品種間差が小さかった。

全乾物重はいずれの品種とも登熟中期まで急増し、その後、アキシロメ及びアキヨシではやや減少した。乾物生産量は、Nc型の2品種で著しく大きかった。

3. 生長パラメータ

個体群生長速度(CGR)、葉面積指数(LAI)及び純同化率(NAR)の推移を Fig 2 に示した。まず、CGRはいずれの品種においても、登熟初期までは生育に伴い増加し、その後は概して低下する傾向を示した⁶⁰⁾。LAIは各品種とも開花盛期まで増加し、以後下葉の枯死によって低下した。品種では金成1号で最も少なく、最大LAIで4.3となったが、秋ダイズ型のアキヨシ、玉錦では5~6の高い値を長期間持続した。NARは生育に伴って急減する推移を示した。

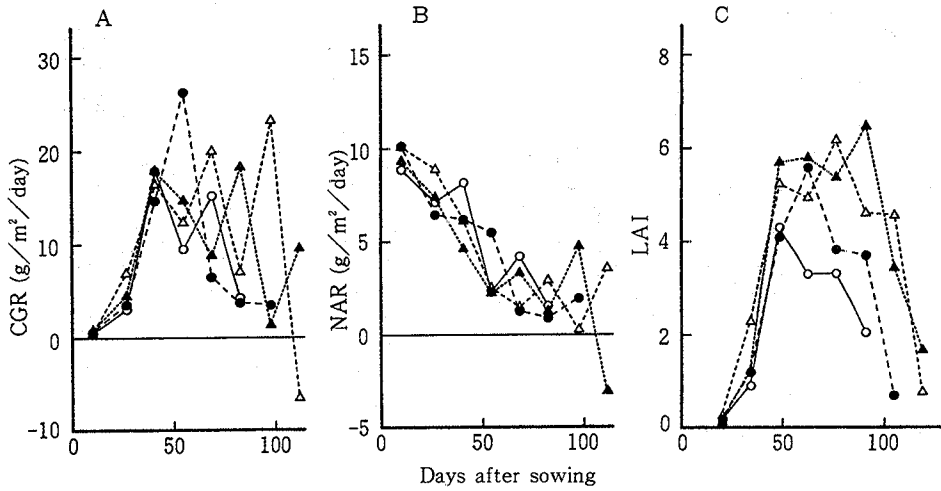


Fig 2 Changes in crop growth rate (CGR, A), net assimilation rate (NAR, B), and leaf area index (LAI, C).

○ : Kan-nari No 1, ● : Akishirome, △ : Tamanishiki, ▲ : Akiyoshi.

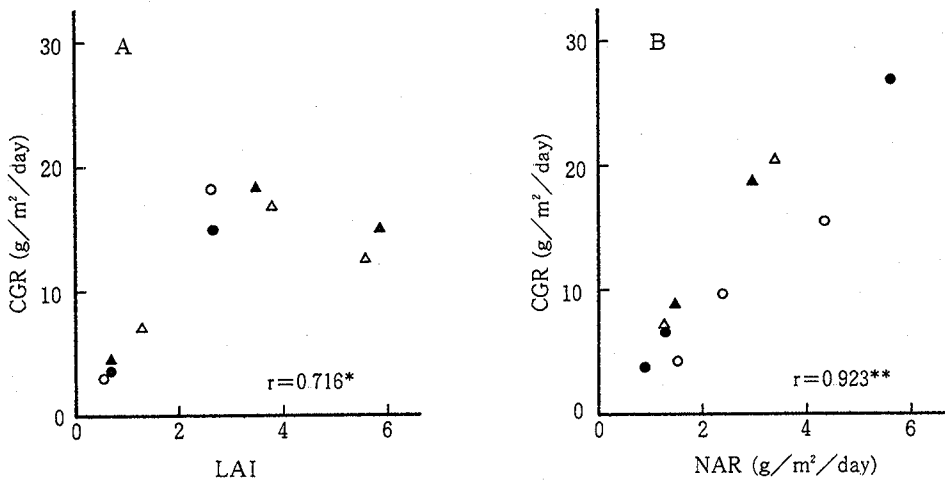


Fig 3. Correlation between CGR and LAI at vegetative stage (A), and CGR and NAR at reproductive stage (B).

Symbols are the same as those in Fig 2.

*, **: Significant at 5% and 1% level, respectively.

次に、これらの間の相互関係を検討するため、生育段階別に相関係数を求めた。Fig 3にはそれらのうち、統計的に有意であったものを示している。すなわち、開花期までの CGR は LAI と高い正の相関を、また開花期から登熟初期にかけては NAR と高い正の相関を示し、乾物生産力は生育の前期においては主として LAI により、中期には NAR によって決定されることを示している。また、開花期までは LAI 約 3.5 を最大に CGR が低下しており、この値を越えると相互遮蔽が激化して乾物生産効率が減少することがうかがえる。一般に、ダイズの最適

Table 3. Yield and its components

| Cultivar | No. of pods per m ² | No. of seeds per m ² | No. of seeds per pod | Hundred | Seed yield | Harvest index |
|----------------|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------|--------------------|------------------|
| | | | | seed weight | per m ² | |
| | | | | g | g | |
| Kan-nari No. 1 | 798b | 1407b | 1.95a | 30.4b | 428b | 54.3ab |
| Akishirome | 675c | 1161c | 1.90a | 27.7b | 322c | 38.1b |
| Tamanishiki | 563d | 984d | 1.84a | 42.2a | 416b | 37.8b |
| Akiyoshi | 1051a | 1987a | 1.89a | 24.2c | 481a | 45.8a |

Data with the same letter are not significantly different at 5% level.

LAIは3~3.5であることが報告されているが^{98,99)}、この値は暖地ダイズにおいてもほぼ同様と考えられた。

以上の結果から、生長パラメータの推移には品種間差異が認められたが、生育に伴う変化のパターンは生育ステージを描えてみるといずれも比較的類似しており、乾物生産量の品種間差異は本質的には品種の生態型による栄養及び生殖生長期間の長短を反映しているものと考察された。

4. 収量及び収量構成要素

収量及び収量構成要素に関する結果を Table 3 に示した。これによると、一莢内粒数はいずれの品種もほぼ2粒であり、収量は着莢数と百粒重によって決定されることを示している。そして着莢数はアキヨシ>金成1号>アキシロメ>玉錦の順に多く、百粒重は玉錦>金成1号>アキシロメ>アキヨシの順に大きかった。最終的な子実収量では、アキヨシ>金成1号>玉錦>アキシロメの順に多かった。また、収穫指数はアキシロメと玉錦で小さく、これら2品種ではこの形質を高めることが増収上の要点である。

以上の結果から生態型Ⅳcではアキヨシが典型的な粒数型、玉錦は粒重型であり、Ⅱc及びⅢcの2品種はそれらの中間的なタイプと考察された。

論 議

生態型を異にするダイズ品種の形態形質については、Ⅱc、Ⅲc型の間接ダイズ型に比べ、秋ダイズ型品種(Ⅳc)では莖長が長く、分枝数が多く、特にアキヨシでは1次及び2次分枝とも著しく多かった。大泉⁹⁶⁾は東北地方でダイズの分枝体系に関する詳細な研究を行っているが、これと対比しても、中間型品種である金成1号、アキシロメでも1次及び2次分枝の数は多く、さらに秋ダイズ型品種の玉錦、アキヨシでは著しく多かった。すなわち、暖地におけるダイズ栽培では分枝の発生数が多いのが特徴である。今後、各品種における分枝発生の様相が栽培、環境条件の変動によってどのように変化するかを明らかにしておく必要がある。

また、子実収量についてみると、これを構成する要素のうち、特に子実数が重要な要素であり、これは莢数と正の相関関係($r=0.856^*$)に、また莢数は総節数と正の相関関係($r=0.742^*$)にあることが明らかになった。従って、暖地においては、品種の選択に当たり、総節数を確保しやすい分枝型の品種、例えば本研究におけるアキヨシの様な品種を選択することが多収につながりやすいものと思われる。

次に暖地ダイズの乾物生産量は山内^{140,141,142)}、中世古ら^{91,92)}の報告と比べても主産地である北海道のそれに決して劣るものではなく、むしろ多い結果となった。後藤³¹⁾はダイズの多収事例について、500kg/10a以上の例はいずれも1.2t/10aを上回る全重であったと報告しているが、本研究におけるⅣc型の2品種ではこれを上回

るものであった。また、品種による乾物生産量は生態型による開花まで日数及び生育日数を反映し、これらが長い品種で大きい結果となった¹⁴⁰⁾。従って、条件が許される範囲内では、西南暖地においてもできる限り生育日数の長い品種（本研究におけるⅣc型）を選択することが生産性の向上の面からは有利であるといえる。Ⅱc、Ⅲc型品種のような、生育日数の短い品種を選択する場合には、本研究の結果からみて、早期にLAIを確保できるような栽培方法、例えば密植などの方策がとられなければならない。前述のように、乾物生産は主として生育前期にはLAI、後期にはNARによって支配されることから、葉面積の早期確保とその後の光合成能力の維持とが生産性の向上にとってきわめて重要である。

一方、生産された乾物の子実への分配について、収穫指数を尺度として考えると、本研究の結果ではかなりの品種間差異が認められた。Spaethら¹¹⁸⁾によると、この値は品種の遺伝的特性による固有のもので、環境条件によって大きくは変動しないとされている。本研究においては、アキシロメと玉錦で低く、金成1号とアキヨシで高かった。玉錦ではこのことが生育量の割に子実収量が低かったことの主要な原因である。また、白目の特性を持つアキシロメの栽培面積が増加しているが、この品種の収穫指数は低く、同じ白目品種で収穫指数の高い品種を選択するのが得策と思われる。また、今後、暖地において、特に生育期間の長い高収性品種の育成に当たっては、収穫指数に着目した選抜が重要であろう。

摘 要

生態型の異なる4品種を標準栽培し、それらの生育特性、乾物生産特性、並びに収量成立過程について検討した。得られた結果の概要は以下のとおりである。

- (1) 開花迄日数、生育日数は生態型間の差異を反映し、金成1号（Ⅱc）＜アキシロメ（Ⅲc）＜玉錦、アキヨシ（Ⅳc）の順となった。
- (2) 乾物生産量は生育日数の長い品種ほど多かったが、その子実への転流はこれと相反する傾向を示し、特に生態型Ⅳc型では旧品種の玉錦の収穫指数が著しく低かった。
- (3) CGRは開花期まではLAIに、開花期から登熟初期にかけてはNARによって決定されていた。乾物生産量の品種間差異は主として品種の生態型による生育期間の長さを反映していた。
- (4) 以上より、暖地においては生育期間が長く、かつ分枝数の多い品種が多収を示すものと考察した。

第2節 光合成特性とその律則要因

ダイズが生産する乾物の大部分は光合成、すなわち二酸化炭素の光による還元反応に由来する炭素化合物である。そして、個体群の光合成は、その葉群を構成する無数の個葉の光合成の総和であり、高い収量を実現するためには個々の葉の光合成能力を最大限に発揮させなければならない。

ダイズの光合成については研究者の関心が高く、わが国においても多くの研究成果の蓄積がある^{28,66,67,68,72,97,100)}。しかし、それらの研究はそのほとんどが関東におけるものであり、また葉位別に検討されたものも比較的小さい。

ここでは、暖地におけるダイズについて、葉位別の光合成の実態を明らかにするとともに、光合成に関連する要因についても検討することとした。

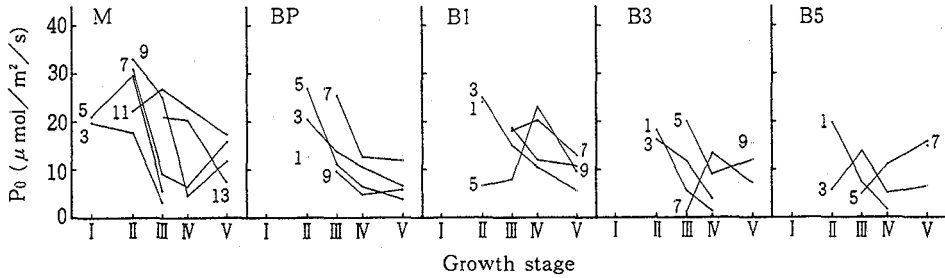


Fig. 4. Changes in photosynthetic rates (P_0) of each leaf (terminal leaflet) on main stem and branches.

I : July 12, II : Aug. 3, III : Aug. 18, IV : Aug. 31, V : Sept. 25,

M : main stem, BP : branches on the node of primary leaves,

B1-B5 : branches on the nodes of 1st-5th trifoliate leaves on main stem,

1-13 : nodal position on main stem or branches.

材料と方法

供試品種としてはアキシロメを使用した。栽植密度は畦幅75cm, 株間20cmで1株1本仕立とした。播種は1988年6月20日に1株3粒播きとして行った。7月6日に間引き, 補植を行って1本立とし, あわせて培土を行った。その他の耕種概要は第1節と同様である。

光合成の測定はいずれも晴天の日である7月12日(生育初期, I), 8月3日(開花始期, II), 8月18日(開花盛期, III), 8月31日(登熟初期, IV), 9月25日(登熟中期, V)の5回, 13時から15時の間に2個体について行った。光合成測定装置はLI-COR社製のLI-6200型で, 測定直前に葉柄の基部から切り離し, 3枚の小葉のうち, 原則として頂小葉について測定した。本装置で測定した光合成速度はみかけの光合成値で, 光条件は大イブの光補償点とされる $25\text{klux}^{9,12)}$ 以上の条件下で測定したことから, その値は各葉のポテンシャルを示しているものと考えられる。光合成測定後, 直ちに葉緑素計(ミノルタ, SPAD-501)を用いて葉緑素含有量を測定した。その後, その葉を1枚毎にビニール袋に入れて研究室内で葉面積及び葉重を測定した。

結果と考察

1. 主茎及び分枝における葉位別光合成特性

主茎及び分枝における各葉位の光合成速度(P_0)の推移をFig 4に示した。最高値は $34\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 平均は $12.4\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であり, かなりの変異が認められた。これによれば, 一般に展開中の葉で光合成速度は低く, 展開直後の葉で高い光合成速度を示し, その後次第に低下するものと考察された。従って生育の時期別にみると, 主茎葉では第5複葉展開期(I)及び開花始期(II)には中位節の葉を最高とし, それ以下及びそれ以上の節で低かった。開花盛期(III)には主茎下位節での光合成速度は低く, 9-10節目で最高値を示し, それ以上の節位では次第に低下していた。登熟初期(IV)には上位5節の葉で高い値を示していた。また登熟中期(V)には全体に低い光合成速度を示し, 概して上位葉でその低下が目だった。

また分枝についてみると, 一般に主茎の場合と同様の傾向が認められたが, 分枝全体としては生育が進むに伴い, 主茎の上位節に着生する分枝へと光合成速度の高い部位が移行する傾向がみられた。

次に光合成速度の平均値を主茎, 分枝並びに個体全体で計算し, その推移をFig 5Aに示した。個体全体の光合成速度の平均値は開花始期に最も高く, 登熟初期にかけて急減し, その後登熟中期にやや増加した。この内訳を

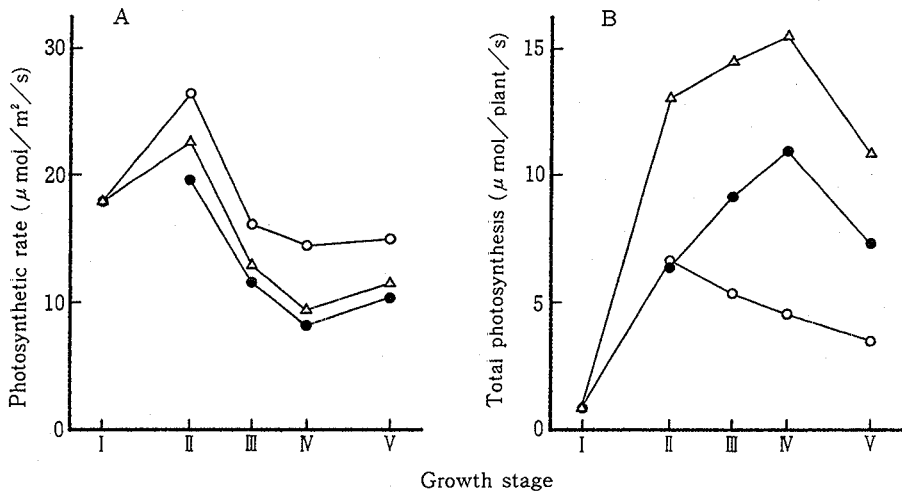


Fig 5 Changes in mean photosynthetic rate (A) and total photosynthesis per plant (B).
Growth stages (I - V) are the same as those in Fig. 4

みると、主茎は分枝よりも常に高い値を示し、開花盛期以降はほぼ一定に推移するのに対し、分枝では登熟初期まで減少し、その後中期にかけてやや上昇する推移を反映していることがわかる。これは、開花始期から盛期にかけては展開直後の葉が多く、高い光合成速度を示すこと、その後は展開葉がなく、葉齢が進んで平均して光合成速度が低下すること、さらに登熟中期には光合成速度の低い分枝下位節の落葉によって、平均光合成速度がやや増加したこと、等によるものと思われる。

2. 主茎及び分枝における光合成ポテンシャル

光合成ポテンシャルを評価する目的で、光合成速度に葉面積を乗じて光合成量の積算値を算出し、その推移を Fig 5B に示した。

個体全体の光合成量は開花始期まで急増し、登熟初期まで増加した後急減した。すなわち、個体当たり光合成量は開花始期までは光合成速度と葉面積との増加に伴って急増し、その後、光合成速度は低下したが、葉面積が多くなってやや増加し、登熟初期からは葉面積の減少によって低下する推移を示した。また、主茎と分枝についてみると、開花始期までは主茎の割合が高く、その後は分枝による光合成量の比重が高くなることが認められた。このことは暖地で測定した楠元ら⁷²⁾の結果とは一致したが、関東地方での玖村ら⁶⁶⁾の報告とは必ずしも一致していなかった。すなわち、暖地においては、前節で述べたように、特に生育後期の物質生産に対する分枝の役割が大きいものと推察された。

論 議

以上述べたように、着生節位別では上位節に、また分枝別では上位節分枝へと光合成速度の高い部位が移行する傾向がみられた。すなわち、一般に展開直後の葉で高い光合成速度を示し、その後次第に低下することが明らかとなった。そこで、光合成速度とそれを支配する各種の要因との関係を検討するため、要因間相互の相関係数を生育時期別に算出し、Table 4 に示した。

葉温についてみると、開花始期から登熟中期にかけて負の相関がみられ、温度の上昇による光合成速度の低下

Table 4 Correlation coefficients between the photosynthetic rate and the various factors.

| Factors | Growth stage | | | | |
|---------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|
| | I | II | III | IV | V |
| Solar radiation | 0.471 | -0.222 | 0.109 | 0.085 | -0.333 |
| Leaf temperature | 0.108 | -0.528** | -0.585** | -0.645** | -0.296 |
| Nodal position | 0.090 | 0.492 | 0.691** | 0.882** | 0.620 |
| Branch position | — | -0.492** | -0.359* | -0.292* | 0.039 |
| Chlorophyll content | 0.229 | 0.739** | 0.692** | 0.435** | 0.421** |
| Stomatal diffusion | 0.563 | 0.901** | 0.934** | 0.901** | 0.643** |
| Transpiration rate | 0.905** | 0.650** | 0.815** | 0.787** | 0.634** |
| Stomatal resistance | -0.453 | -0.779** | -0.784** | -0.601** | -0.647** |
| n | 5 | 30 | 48 | 65 | 51 |

*, **: significant at 5% and 1% level, respectively

I - V are the same as those in Fig. 4.

がうかがえる。すなわち、この時期はほぼ8月に相当し、測定時の葉温は40℃を越えている場合が多く、呼吸量の増大によってみかけの光合成が低下したものと考えられる²⁸⁾。

次に葉の着生節位との関係についてみると、開花盛期、登熟初期における相関係数は、有意な正の値を示したが、それ以外の時期には有意な相関はみられなかった。すなわち、開花盛期及び登熟初期には着生節位が高くなるほど光合成速度が高くなる傾向を示した。このことは下位節の葉が陰葉化した一方で、上位節の葉はより一層の太陽光を受け、陽葉の特徴が十分に発揮されたことを示すと思われる。

さらに、分枝の着生節位との間には開花始期に1%、開花盛期、登熟初期に5%水準で有意な負の相関がみられたが、登熟中期には相関がみられなかった。また、生育が進むにつれて着生節位と光合成速度との相関関係は低くなる傾向を示し、生育に伴って下位節の葉の光合成速度が低下し、分枝間の差が小さくなったことがうかがえる。

葉緑素含量とは開花始期以降高い正の相関を示した。葉緑素は光合成のための太陽エネルギーを直接吸収する物質であり、光合成と密接な関係にある¹⁶⁾とされるが、本研究の結果もこれを裏付けたものといえよう。

気孔伝導度とは、開花始期以後の生育段階で高い正の相関を示した¹¹⁶⁾。特に開花始期、開花盛期、登熟初期には相関係数が0.9を超えていた。

最後に、蒸散とは全ての生育時期で光合成速度との間に高い正の、また、気孔抵抗とは開花始期以降の生育段階で有意な負の相関が認められた。これらは気孔の開閉と密接な関係を有するパラメータであり、蒸散が活発に行われ、気孔がよく開いているときに光合成速度が高いことが知られた。

以上の結果から、暖地におけるダイズ的光合成特性からみた物質生産の特徴について考察すると、まず、光合成速度は開花始期から登熟初期にかけて高温によって低下することが明らかとなった。すなわち、夏期の高温は葉温を過度に上昇させ、その結果として光合成速度を低下させるものと思われる。しかし、この時期、葉温がそれほど高くない葉ではかなり高い光合成速度を示す場合が多いことから、葉温が40℃を越える葉では呼吸速度の上昇による消耗のほか軽い萎凋現象によって気孔が閉鎖し、蒸散作用が低下して光合成速度が低下したものと推察された。

また、光合成量は生育初期には主茎依存型であるのに対し、生育が進むにつれて、次第に分枝に依存する割合が増加して、開花期以降は分枝の光合成がその大半を占めるようになることも明らかとなった。このことは暖地ダイズにおける物質生産上の大きな特徴であると思われ、今後、暖地ダイズの生産力向上の研究に対しては、分枝の重要性を十分に認識したうえで対応するのが望ましいと結論された。

なお、これらの結果は個々の葉を切り離し、高い光強度の下で測定したものであり、今後はそれぞれの葉がおかれた条件下でその実態を明らかにする必要がある。

摘 要

アキシロメ（生態型Ⅲc）を用い、生育の時期別に葉位別光合成速度を測定し、それらが各種の要因とどのように関わっているかについて検討した。得られた結果は次のとおりである。

- (1) 個々の葉についてみると、一般に展開中の光合成速度は低く、展開直後に最高値を示し、その後次第に低下した。
- (2) 個体全体の光合成速度は開花始期から登熟初期まで減少し、登熟中期にやや増加した。
- (3) 主茎では分枝より常に高い光合成速度を示した。しかし、全体の光合成量からみると、生育後半には分枝の占める割合が高くなった。
- (4) 光飽和状態では、光合成速度は葉温とは負の、また気孔伝導度、蒸散速度とは高い正の相関を示し、光合成速度は気孔の開閉と密接な関連のあることが示唆され、夏期の高温は光合成に対して阻害的にはたらくことが明らかとなった。

第2章 乾物生産特性に及ぼす環境条件の影響

ダイズの生育・収量が品種の遺伝的特性に基づいて決定されることはもちろんであるが、その遺伝的特性の発現は環境条件によって大きく左右される。従って、環境条件による変異の様相を明らかにしておくことは、栽培期間中における環境条件の変動に対応するための技術の確立にとってもきわめて意義あることであろう。

この観点から、従来、わが国におけるダイズの生育・収量と各種の環境条件との関係については多くの報告がみられる^{22,23,25,26,27,30,33,41,62,63,83,86,97,108,109,110,121,143)}。しかしながら、暖地の秋ダイズや中間ダイズについて検討されたものはきわめて少ない。また、暖地における播種期は4月～7月にわたり、その幅はかなり広い。Fig 6に暖地における気象条件の推移を、ダイズの栽培または生育時期とともに高松市の年平均値として示した。これによれば、播種期によりかなり異なった気象条件下で生育や開花結実が行われるものと考えることができる。

そこで、ここではダイズの生育、収量並びに乾物生産と各種の環境条件との関係を明らかにするため、温度条件、光条件、土壌水分条件を生育の時期別に設定し、それらの影響について検討した。

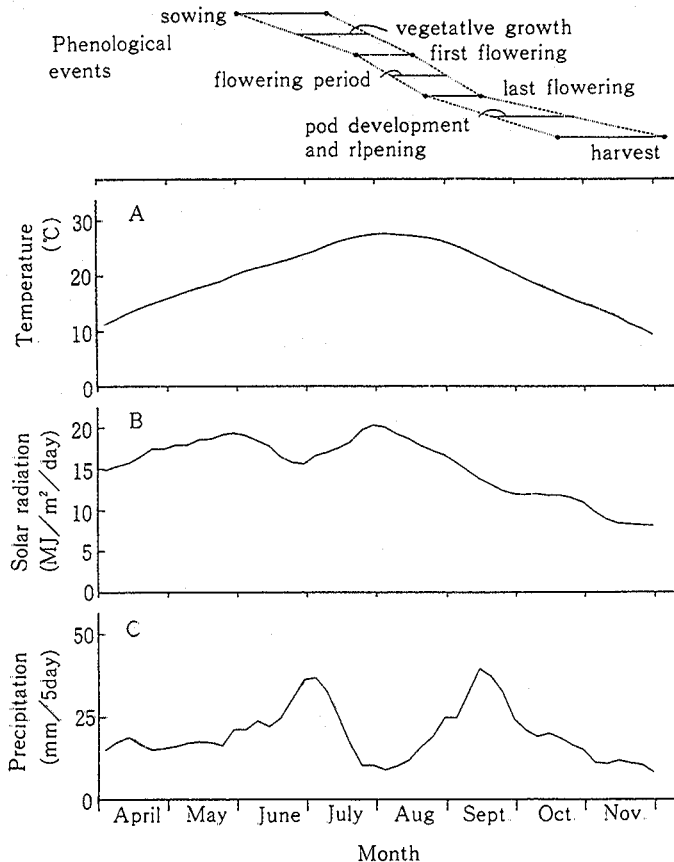


Fig 6. Changes in mean temperature (A), mean solar radiation (B), and precipitation (C) in average year at Takamatsu, with the cultural practice or plant growth stages of soybean.

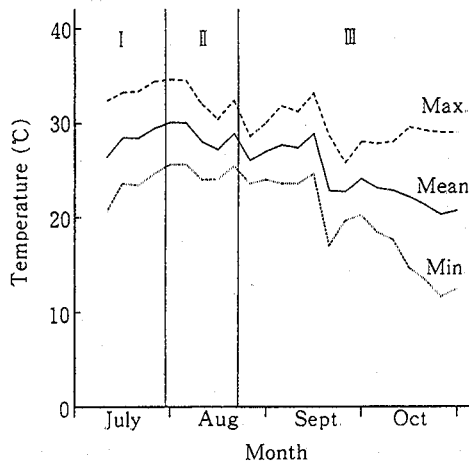


Fig. 7. Changes in temperature in the greenhouse during experimental season, as shown in every half ten days

I, II, III : treatment period (see Table 5).

第1節 生育時期別昼夜温の影響

従来、ダイズ栽培の好適気温条件としては、日較差の大きい冷涼な気候が望ましいとされてきた¹²⁾。このことは北海道、東北地方などの冷涼な地域における作付面積並びに収穫量が全国平均をかなり上回っていることから理解できる。

一方、暖地における播種期は5月～7月にわたり、その幅はかなり広く、播種期によりかなり異なった気温条件下で生育や開花結実が行われる。

そこで本節ではダイズの生育・収量と温度条件との関係を明らかにするため、種々の温度条件を設定し、実験を行った結果について述べる。

材 料 と 方 法

供試品種として金成1号を用いた。1/5,000 aのワグナーポットに砂を約3cmの厚さに入れ、この上に土壌3.3 kgを充填したものを栽培容器とした。肥料は基肥のみとし、ポット当たり硫安1 g、過リン酸石灰3 g、塩化カリ1 gをそれぞれ与え、1977年6月24日に播種を行った。7月1日に間引きを行い、ポット当り1個体とした。そして第2複葉が展開を始めた7月5日から温度処理を開始した。

次に処理区の設定について述べると、無処理の対照区(C区)の生育期間を3つに区分し、Ⅰ期(開花前、7月5日～7月29日)、Ⅱ期(開花期間、7月29日～8月22日)及びⅢ期(開花後、8月22日以降)のそれぞれの時期に昼夜の温度(15, 20, 25, 30°C)を組み合わせた処理区を設定し、それぞれの処理区に4個体(反復)を供試して実験を行った。ただし、夜温が昼温よりも高い条件は設定しなかったため、設定した温度処理は10組合せである(Table 5)。温度処理はいずれもファイトロンで行い、昼温から夜温へ、夜温から昼温への切り替え時刻はそれぞれ午後6時及び午前8時とした。各区とも生育調査は成熟期まで1週間毎に、また開花数調査は開花始めから開花が終了するまで毎日実施した。なお処理期間以外及び無処理の対照区はガラス室内で栽培管理を行っ

Table 5. Effect of day/night temperature on flowering and growth period.

| Treatment period* | Day/night temperature (°C) | | | | | | | | | | LSD** | |
|--|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| | 30/30 | 30/25 | 30/20 | 30/15 | 25/25 | 25/20 | 25/15 | 20/20 | 20/15 | 15/15 | | |
| No. of days from sowing to first flowering | | | | | | | | | | | | |
| C | 35 | | | | | | | | | | | 0.3 |
| I | | 39 | 35 | 35 | 48 | 35 | 39 | 48 | 42 | 50 | 54 | |
| No. of days from first to last flowering | | | | | | | | | | | | |
| C | 22 | | | | | | | | | | | 0.3 |
| I | | 17 | 18 | 13 | 11 | 20 | 17 | 11 | 14 | 12 | 10 | |
| II | | 10 | 20 | 21 | 21 | 18 | 22 | 22 | 21 | 26 | 16 | |
| No. of flowers | | | | | | | | | | | | |
| C | 132 | | | | | | | | | | | 6.5 |
| I | | 192 | 102 | 99 | 169 | 139 | 115 | 157 | 87 | 85 | 96 | |
| II | | 128 | 140 | 103 | 112 | 155 | 177 | 147 | 156 | 124 | 73 | |
| No. of days from sowing to maturing | | | | | | | | | | | | |
| C | 107 | | | | | | | | | | | 3.1 |
| I | | 103 | 106 | 104 | 109 | 106 | 109 | 108 | 104 | 106 | 109 | |
| II | | 111 | 109 | 110 | 99 | 92 | 106 | 98 | 108 | 110 | 115 | |
| III | | 125 | 107 | 106 | 99 | 112 | 94 | 97 | 96 | 103 | 96 | |

* : C: Control, I ; July 5-July 29, II ; July 29-Aug. 22, III ; Aug. 22-maturing

** : Least significant difference at 5% level.

たが、ガラス室内における最高、最低並びに平均気温の推移は Fig. 7 に示したとおりである。

結果と考察

1. 温度処理が開花及び生育期間に及ぼす影響

まず対照区の開花状況 (Table 5 参照) について述べると、開花は播種後35日目にあたる7月29日に始まり、8月3日までの1週間の間に全開花数の半数である65個が開花した。その後、1日平均4~5個の開花を続け、8月18日をもって終了し、全開花数は132個、開花期間は22日であった。また、成熟期は10月10日となり、生育日数は107日であった。

次に、温度処理が開花及び生育期間に及ぼす影響を Table 5 に示した。I 期処理区についてみると、開花始は昼温30°C/夜温30°Cの処理区 (以下30/30と記す) 及び夜温20°Cの処理区でやや遅くなり、夜温15°Cの場合には著しく遅れ、しかもその遅延程度は昼温が低くなるほど大きかった。一方、開花始期までの積算温度は夜温15°Cの各区を除き、875°C~960°Cの範囲で、比較的安定していたが、夜温15°Cの場合には1,100°C~1,200°Cとなり、夜温15°Cの条件は積算温度からみても著しい開花の遅延をもたらした。また、開花期間は一般に処理区では対照区に比べて短くなっていたが、特に30/30区、及び夜温15°Cの各区で短くなった。開花数は20/20, 20/15, 15/15°Cの場合に1日当たり開花数が少なく、合計としても少なくなったが、これらを除くと処理温度との間に一定の傾向は認められなかった。生育期間に関しては、温度処理の影響はほとんど認められなかった。

開花始め直後から処理を始めたⅡ期処理区においては、開花期間では30/30、及び15/15℃、開花数では15/15℃の条件下で著しく小となったが、それ以外の各区では対照区との差が比較的小さく、処理温度との間に明確な対応関係は認められなかった。しかし、昼温25℃以下、夜温20℃以下の各区で閉花がみられた。その数は低温になるほど多く、特に昼夜とも15℃の処理区ではすべてが閉花受精であった。しかもがく片が異常に肥大し、花卉は紫紅色を呈さず、白色に近い色彩であった。また、生育期間は25/25℃区で特異的に短縮したが、これを除くと温度処理の影響は明確ではなかった。

一方、開花が終了したⅢ期処理が生育期間に及ぼす影響についてみると、30/30℃処理で長くなるほか、昼温25℃以下では、20、15℃区で短縮する傾向が見られた。

以上要するに、開花前の温度条件は開花までの日数や開花期間、開花数に大きな影響を及ぼし、昼夜とも30℃及び著しい低夜温で開花は遅延した。また、開花期間中の温度、特に低温は開花に大きな影響を及ぼした。

2. 温度処理が主茎の伸長に及ぼす影響

開花前の温度処理（Ⅰ期処理区）が主茎長の推移に及ぼす影響を Fig 8 に示した。まず、対照区においては、開花期に最大となった。

処理期間中は昼夜とも低くなるほど伸長速度は遅くなった^{128 130)}。しかし、処理終了後には各区とも伸長が旺盛となり、成熟期においては25/25、25/20、20/20℃で処理した場合は対照区よりも短かったが、それ以外の区では対照区と同様あるいはそれ以上の茎長を示した。夜温15℃の各区で主茎長が対照区より大となった原因は、主として開花始めの遅延によって伸長期間が延長されたことによるものと考えられた。

また、Ⅱ期処理区では対照区での伸長がほぼ90%終了した後での処理のため、15/15℃の場合のみわずかに低かったことを除けば温度処理の影響がほとんどみられなかった（データ省略）。

3. 温度処理が収量と収量構成要素に及ぼす影響

温度処理が収量と収量構成要素に及ぼす影響を Fig 9 に示した。これをみると、まずⅠ期処理区では英数は夜温15℃の場合には対照区より劣ってはいたが、昼温が上昇するにつれて増加した。しかし、夜温20℃以上では昼温が高くなるほど少なくなった。結莢率は概して昼温が高くなるほど低くなり、同一昼温では昼温25℃までは夜温が高くなるほど高く、昼温30℃では夜温30℃でかえって低下した。また子実数については概ね英数の場合と同様の結果が得られ、平均一莢内粒数は処理による大きな変化を示さなかった。百粒重は夜温15℃及び昼夜とも高温の場合に低くなったが、結局、収量は子実数を反映したものとなり、全乾物重も同様の結果となった。なお、粒茎比は概して昼温が高くなるほど小さく、夜温が高くなるほど大きくなった。

次に、Ⅱ期処理区では、まず英数は夜温15℃の場合には対照区より劣ってはいたが、昼温が25℃までは温度の上昇に伴って増加し、30℃では少なくなった。しかし、夜温20℃以上では昼温が高くなるほど少なくなっていた。結莢率は15/15℃の場合に高く、それ以外の区においては概して対照区よりも低い値を示した。15/15℃区で高い値を示したのは、開花数が著しく少なかったためであると思われる。子実数は英数の場合と類似していた。平均一莢内粒数は温度処理による大きな変動がみられなかった。百粒重は概して子実数の場合と相反する結果が得られた。子実重並びに全重はⅠ期処理の場合と類似した傾向を示したが、全体としてはⅠ期処理区よりも低い値を示していた。粒茎比は昼温30℃で夜温が20-25℃のとき、大きな値を示していた。すなわち、開花期間中の温度条件は特に低温の場合には開花や結実に対して悪影響を及ぼすが、比較的高温の場合には特記すべき影響を及ぼさないものと考察された。

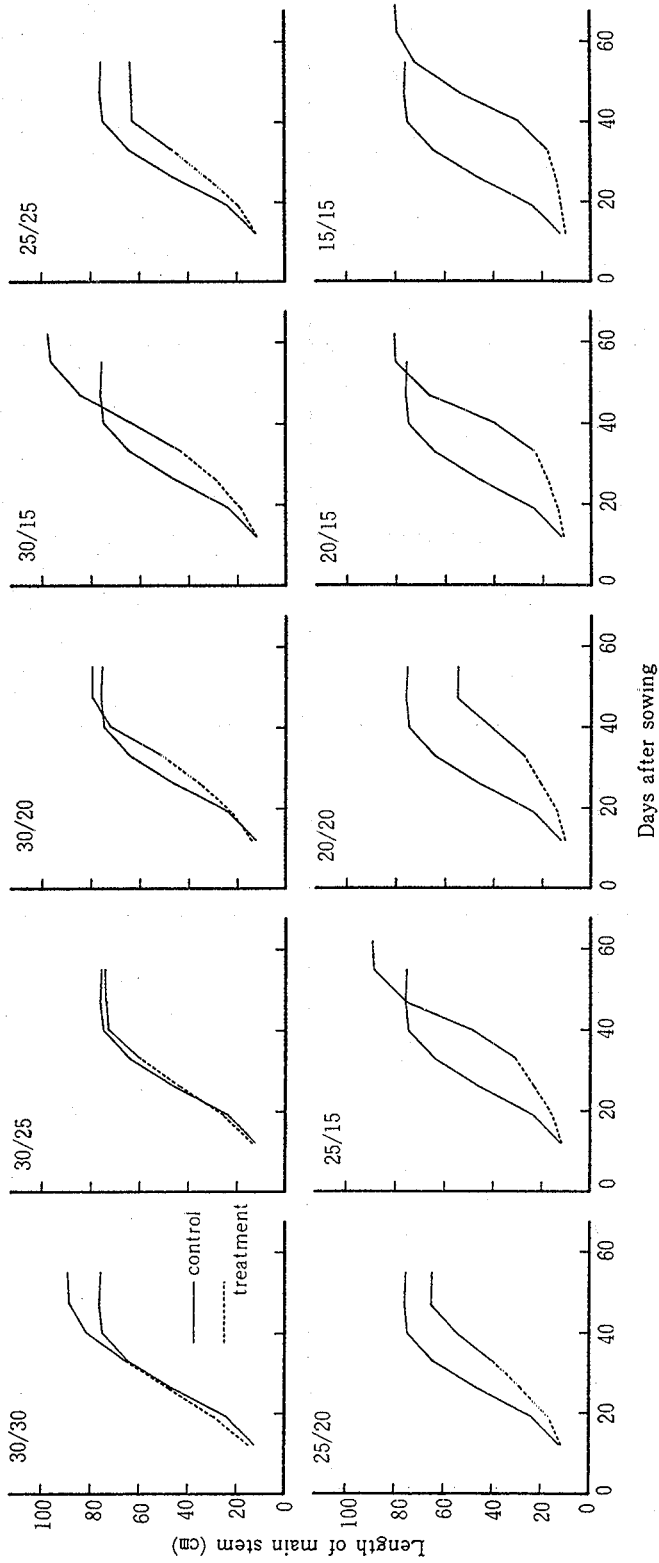


Fig. 8. Effect of day/night temperature at vegetative stage on the elongation of main stem.

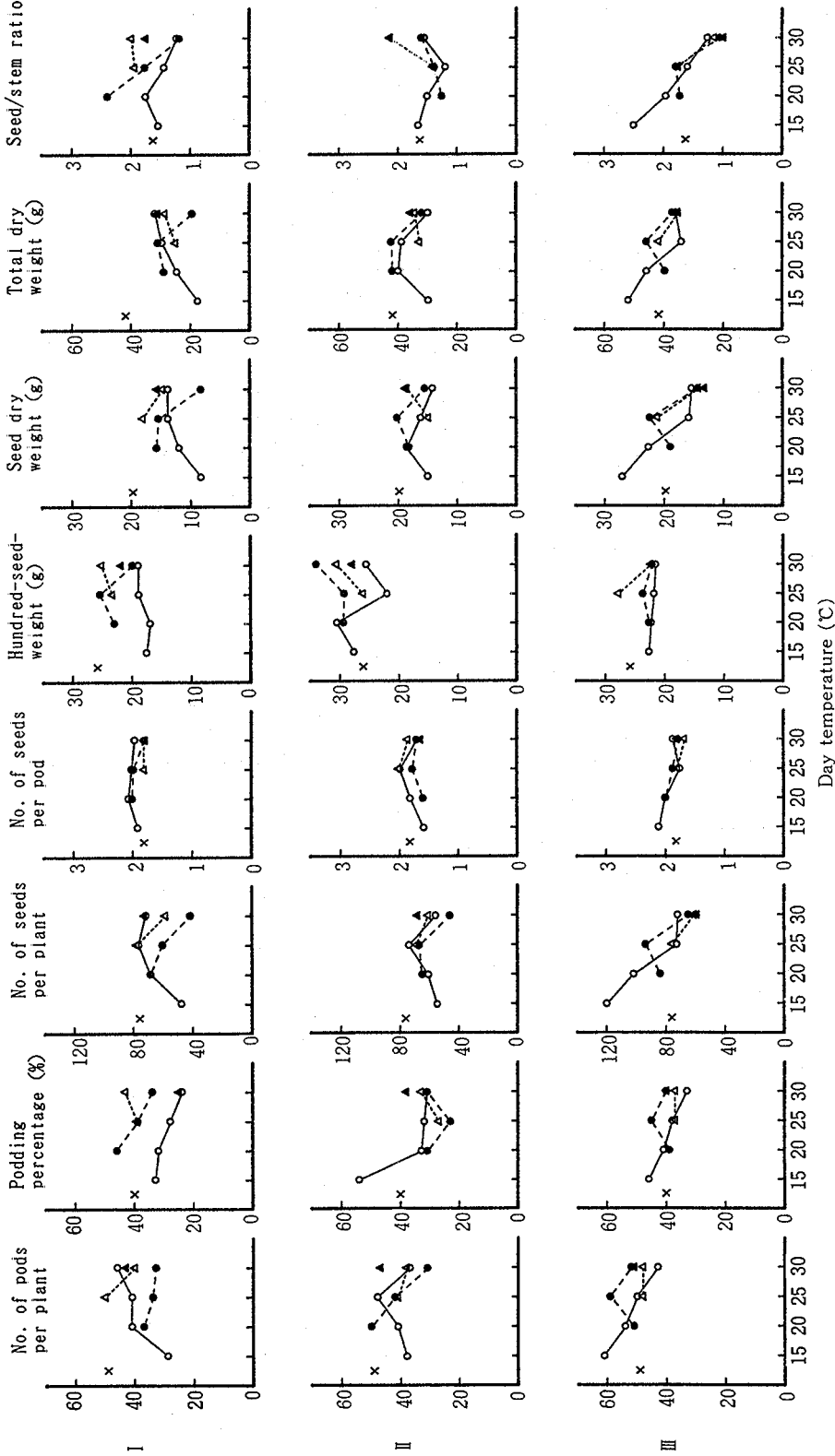


Fig. 9. Effect of day/night temperature on the yield and its components.

I - III are the same as those in Table 5.

x : control, o : 15, ● : 20, △ : 25, ▲ : 30°C night temperature.

一方、登熟期（Ⅲ期）に温度処理を行った場合についてみると、莢数は夜温15℃では昼温が高くなるほど少なくなり、夜温20℃では昼温25℃で優れ、夜温25℃では昼温による差異はみられなかった。特に15/15℃の処理区では本実験の全区中の最高値が得られた。結莢率、子実数、平均一莢内粒数についても概ね莢数の場合と同様の結果が得られた。百粒重については温度による差異が明瞭でなく、結局、子実収量、全乾物重、粒茎比はいずれも子実数の結果を反映したものとなった。これらより、登熟期における高温条件は収量構成要素の結果からみて好ましいものではなく、むしろ低温条件で好結果が得られた。これは発達中の莢や子実の呼吸消費と関連しているものと考えられる。

論 議

以上の結果より、ダイズの生育並びに収量と温度との関係について考察すると、まず開花始めまでは比較的高温の条件が生育に適するが、30/30℃の場合のような極端な高温条件は開花をむしろ遅らせる。これらの点から考えると、開花始めまで暖地では一般に好適温度環境下にあるものといえよう。しかし、開花期には開花状況、収量などの結果からみて高温が必ずしも好ましいとは限らないように思われる¹³²⁾。これは高温による同化量の低下、及び高夜温における呼吸量の増大などがその原因になっているものと考えられ、花芽の分化開始期から開花期にかけては20℃から25℃の温度が適しており、暖地のダイズは必ずしも好適な温度条件下にあるとはいえないものと考えられた。また、登熟期においては、収量並びに収量構成要素は昼夜温ともに低温の場合に好成績が得られた。従って、本研究に用いた中間ダイズの場合には、開花期から登熟の前半における高温条件が暖地ダイズの収量を大きく制限しているものと考えられた。

一方、6月中旬から7月中旬までの間に播種される秋ダイズについては、開花期間が中間ダイズよりも遅くなり、開花期間の後半はやや低温条件下に、登熟期もより低い温度条件下におかれる。従って、前章でも述べたように、播種期をこの時期に限定していえば、秋ダイズの中間ダイズに対する優位性が温度条件からも裏付けられた。

摘 要

金成1号を供試品種とし、生育の時期別に10種類の昼夜温を組み合わせた処理を実施し、生育並びに収量に及ぼす影響について検討した。

(1) 開花前の低い温度条件は開花迄日数や茎長の推移に大きな影響を及ぼすが、その後、通常温度条件下におくことにより、生長はかなりの程度まで回復した。

(2) 開花期間中の温度条件は特に低温の場合には開花や結実に対して悪影響を及ぼすが、比較的高温の場合には特記すべき影響を及ぼさなかった。

(3) 登熟期における高温条件は好ましいものではなく、むしろ低温条件で好結果が得られた。これは発達中の莢や子実の呼吸消費と関連しているものと考えられる。

(4) 以上より、暖地ダイズの場合には、開花期及び登熟期の高温条件が収量の制限要因になっているものと推論した。

Table 6. Design of the shading experiment.

| Plot | Treatment period | Growth stage |
|--------------|-----------------------------|-----------------------|
| C | — | — |
| L1 } H1 } | July 25—Aug. 7 (I—II) | Flower bud formation |
| L2 } H2 } | Aug. 8—Aug. 21 (II—III) | Early flowering |
| L3 } H3 } | Aug. 22—Sept. 4 (III—IV) | Full flowering |
| L4 } H4 } | Sept. 5—Sept. 18 (IV—V) | Late flowering |
| L5 } H5 } | Sept. 19—Oct. 3 (V—VI) | Young pod development |

L: 48% of solar radiation shaded, H: 76% of solar radiation shaded, C: untreated control.

第2節 生育時期別遮光処理の影響

ダイズの生育・収量にとって、その基本となるのは光エネルギーを捕捉して行う光合成である。すなわち、日射条件は直接光合成を支配し、乾物生産に大きな影響を及ぼすであろうことは容易に推察されるところである。日射条件とダイズの生育・収量との関係についてはいくつかの報告があるが^{83,86,96,125,143)}、暖地においては乾物生産や収量成立過程との関連から行われた研究はみられない。

そこで、本節においては、秋ダイズ型品種を供試し、開花期前後の時期別に2週間ずつ異なる程度の遮光処理を実施し、各生育時期における日射条件が形態形質や乾物生産に及ぼす影響を明らかにするとともに、収量成立との関連について検討した。

材 料 と 方 法

実験材料としては秋ダイズ型品種アキヨシを供試し、1977年7月6日に播種した。育成法は直径約30cmの素焼鉢を用い、1鉢2本仕立とした。肥料はすべて基肥とし、1鉢当たり硫酸1.7g、過リン酸石灰4.2g、硫酸カリ1.7gを施した。遮光処理は幅4cm、厚さ1cmの板を用いて作成した庇陰格子で行い、遮光の程度は板の間隔を変化させて調節した。すなわち、軽遮光区(L区)においては4.0cm、強遮光区(H区)においては1.9cmの間隔とした。対照区(C区)に対する日射量の割合は実測値でそれぞれ52%及び24%であった。処理時期はTable6に示したように、花芽分化期、開花前期、開花盛期、開花後期及び幼莢期で、処理期間はいずれも約2週間である。なお、乾物重の測定は3鉢(反復)6個体について行ったが、扱える個体数が限られることからH1~H4区については処理終了時と成熟期、対照区及びL1~L2区については9月18日までの毎回と成熟期、その他については成熟期のみとした。

結果と考察

1. 遮光処理が形態形質及び乾物生産に及ぼす影響

まず、生育の概況について述べると、主茎長、主茎節数、1次分枝数、総茎長、総節数及び総葉数は各区とも開花盛期（9月4日、Ⅳ）から開花終期（9月18日、Ⅴ）にかけてほぼ最大となり、その後落葉によって主茎葉数、総葉数が減少した。

Table 7は、主茎長、1次分枝数、葉面積及び全乾物重に及ぼす遮光処理の影響を示したものである。主茎長は、茎の伸長がほぼ停止する開花盛期までは遮光により著しく伸長し、その影響は処理時期が早く、かつ遮光の程度が大きいほど大きかった。1次分枝数は花芽分化期処理（L₁、H₁）では処理終了直後では著しく抑制されたが、その後は回復し、幼莢期には対照区を若干上回った。しかし、開花期間中の3時期における各遮光処理区では処理直後の影響は認められないものの幼莢期には対照区をやや下回った。これらの結果は、これまで報告された研究結果^{83,86,125}とよく一致しており、ダイズは地上部最大期までは寡照条件により茎が著しく徒長し、分枝の発達抑制されることがわかる。

一方、個体当たり葉面積は各処理時期とも遮光処理の影響がほとんど認められなかったが、全乾物重はいずれの処理時期においても減少し、強遮光区ほど減少程度が大きく、かつその影響が継続して認められた。そこで、遮光処理が乾物生産に及ぼす要因を明らかにするため、各時期の個体当たり乾物重増加速度（CGR）及び純同化率（NAR）を算出してTable 8に示した。表に明らかなように、遮光処理区のCGRとNARは、いずれの処理時期においても対照区より低く、強遮光区ほど大きく低下しており、両者の間には各処理時期ともきわめて高い正の相関関係（ $r = 0.98$ 以上）が認められた。前述したように、葉面積は遮光処理によってほとんど変化しなかったことから、遮光による全乾物重の減少は、処理期間中における日射強度の低下による純同化率の低下、言い換えれば光合成速度の低下を反映したものと理解され、その影響は一時的なものではなく、生育の後期まで継続することが示された。

2. 遮光処理が収量及び収量構成要素に及ぼす影響

遮光処理が収量及び収量構成要素に及ぼす影響をTable 9に示した。子実収量はいずれの時期の遮光処理によっても減少し、その程度は開花後期までの処理区では処理の時期が遅くなるほど大きく、その後の幼莢期では若干小さくなる傾向がうかがわれた。また遮光の程度による差異については一定の傾向を認め難かった。

次に収量構成要素に及ぼす影響について検討してみると、開花数は花芽分化期及び開花前期処理で減少したが、その後の処理時期では対照区と全く差がなかった。稔実英数は花芽分化期処理区を除くと、いずれの処理時期でも対照区より低く、特に開花期間中の処理によって大きく減少したが⁷⁶、遮光程度とは一定の傾向を示さなかった。結莢率は花芽分化期処理では対照区を上回ったが、その後の処理時期では処理によりやや低くなる傾向がみられた。また平均一莢内粒数及び百粒重は処理間差が小さく、遮光程度による一定の傾向が認められなかった。粒数については稔実英数と同様の傾向を示した。

論 議

ダイズの乾物生産と収量との関係について小島ら⁹⁹は関東地方で中間ダイズを供試して実験を行い、総胚珠数は花芽分化期から開花期にかけての乾物生産量と正の相関を示し、また稔実粒数の増大に対しては莢への乾物分配率を高めることが重要であると指摘している。また著者ら⁴は北海道で伸育性の異なる菜豆及びダイズ品種を供試して実験し、収量に対する葉面積の重要性を指摘した。ここでは得られた結果を基に各生育時期における乾

Table 7. Effect of shading at various growth stages on some agronomic traits

| Treatment plot | Growth stage | | | | | | |
|------------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII |
| Length of main stem (cm) | | | | | | | |
| C | 23.5 | 41.8 | 70.7 | 83.4 | 85.4 | 88.8 | 88.3 |
| L ₁ | | 73.0 | 112.5 | 138.3 | 116.5 | 120.0 | 162.3 |
| H ₁ | | 110.8 | 137.8 | 163.3 | 158.8 | 161.2 | 162.3 |
| L ₂ | | | 83.7 | 100.5 | 104.5 | 98.0 | 99.5 |
| H ₂ | | | 138.5 | 144.0 | 139.5 | 143.0 | 143.0 |
| L ₃ | | | | 90.0 | 90.0 | 89.5 | 90.0 |
| H ₃ | | | | 115.7 | 108.8 | 110.8 | 108.3 |
| L ₄ | | | | | 86.0 | 85.0 | 85.3 |
| H ₄ | | | | | 87.5 | 86.8 | 82.8 |
| L ₅ | | | | | | 90.0 | 90.2 |
| H ₅ | | | | | | 84.3 | 86.7 |
| No of primary branches (✓/plant) | | | | | | | |
| C | — | 1.8 | 2.5 | 5.2 | 6.2 | 5.3 | 6.0 |
| L ₁ | | 0.0 | 1.5 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 7.3 |
| H ₁ | | 0.0 | 1.7 | 6.5 | 6.0 | 8.8 | 6.5 |
| L ₂ | | | 1.3 | 2.3 | 3.8 | 4.3 | 4.8 |
| H ₂ | | | 1.0 | 4.0 | 5.5 | 5.3 | 5.0 |
| L ₃ | | | | 3.7 | 5.8 | 4.3 | 4.5 |
| H ₃ | | | | 3.8 | 5.3 | 5.0 | 5.3 |
| L ₄ | | | | | 6.3 | 5.3 | 5.3 |
| H ₄ | | | | | 6.0 | 5.8 | 6.0 |
| L ₅ | | | | | | 7.0 | 7.0 |
| H ₅ | | | | | | 7.0 | 6.3 |
| Leaf area (dm ² /plant) | | | | | | | |
| C | 3.1 | 13.1 | 22.3 | 37.2 | 45.7 | | |
| L ₁ | | 12.9 | 20.8 | 30.3 | 46.1 | | |
| H ₁ | | 11.7 | | | | | |
| L ₂ | | | 19.6 | 31.6 | 44.2 | | |
| H ₂ | | | 19.6 | | | | |
| L ₃ | | | | 37.9 | 43.1 | | |
| H ₃ | | | | 38.8 | | | |
| L ₄ | | | | | 45.3 | | |
| H ₄ | | | | | 45.8 | | |
| Total Dry weight (g/plant) | | | | | | | |
| C | 1.8 | 8.9 | 16.6 | 28.5 | 44.0 | | |
| L ₁ | | 7.0 | 14.2 | 22.6 | 37.8 | | |
| H ₁ | | 4.4 | | | | | |
| L ₂ | | | 13.7 | 23.4 | 34.4 | | |
| H ₂ | | | 11.9 | | | | |
| L ₃ | | | | 24.3 | 36.5 | | |
| H ₃ | | | | 21.1 | | | |
| L ₄ | | | | | 34.5 | | |
| H ₄ | | | | | 33.2 | | |

The symbols of the treatment plot are indicated in Table 6.

Stage: I; 7/25, II; 8/7, III; 8/21, IV; 9/4, V; 9/18, VI; 10/3, VII; 10/17.

☐ : Treatment period.

Table 8. Effect of shading at various growth stages on crop growth rate and net assimilation rate.

| Treatment plot | Growth stage | | | |
|-------------------|---|----------|----------|--------|
| | I - II | II - III | III - IV | IV - V |
| | Crop growth rate (g/plant/week) | | | |
| C | 3.82 | 3.17 | 6.41 | 7.75 |
| L1 | 2.80 | 2.97 | 5.34 | 7.60 |
| H1 | 1.40 | | | |
| L2 | | 1.98 | 6.17 | 5.50 |
| H2 | | 1.24 | | |
| L3 | | | 4.90 | 6.10 |
| H3 | | | 2.86 | |
| L4 | | | | 3.00 |
| H4 | | | | 2.35 |
| | Net assimilation rate (g/dm ² /week) | | | |
| C | 0.551 | 0.183 | 0.260 | 0.188 |
| L1 | 0.407 | 0.179 | 0.212 | 0.202 |
| H1 | 0.216 | | | |
| L2 | | 0.123 | 0.246 | 0.146 |
| H2 | | 0.097 | | |
| L3 | | | 0.167 | 0.151 |
| H3 | | | 0.096 | |
| L4 | | | | 0.073 |
| H4 | | | | 0.057 |

Symbols of the treatment plot and growth stages (I - V) are indicated in Table 6

☐ : Treatment period.

Table 9. Effect of shading at various growth stages on yield and its components

| Treatment plot | No. of flowers* | No. of fertile pods* | Podding percentage | No. of seeds per pod | Hundred seed weight | No. of seeds* | Seed yield* |
|-------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|------------------|----------------|
| | | | % | | g | | g |
| C | 219a | 59.0a | 26.9c | 1.73b | 21.4b | 101.7a | 21.8a |
| L1 | 182bc | 60.0a | 33.1b | 1.50c | 21.6b | 89.8ab | 19.4b |
| H1 | 136d | 58.8a | 43.4a | 1.63bc | 19.1c | 95.8a | 18.3b |
| L2 | 173c | 49.0b | 28.4c | 1.65bc | 22.9a | 80.8c | 18.6b |
| H2 | 191ab | 42.3c | 22.1d | 1.86a | 18.7d | 78.7c | 14.7d |
| L3 | 219a | 49.8b | 22.7d | 1.70b | 19.6c | 84.5b | 16.6c |
| H3 | 219a | 51.2b | 23.3d | 1.68b | 20.0c | 85.8b | 17.2c |
| L4 | 219a | 41.8c | 19.1e | 1.70b | 19.9c | 71.2d | 14.1d |
| H4 | 219a | 43.8c | 20.0de | 1.70b | 20.6bc | 74.3d | 15.3d |
| L5 | 219a | 55.5ab | 25.3cd | 1.57c | 21.8b | 87.0b | 19.0b |
| H5 | 219a | 52.0b | 23.7d | 1.65bc | 19.6c | 86.0b | 16.8c |

Data with the same letter are not significantly different at 5% level.

Symbols of the treatment plot are indicated in Table 6.

*: per plant

Table 10 Correlation coefficients between each yield components

| | No. of flowers | No. of fertile pods | Podding percentage | No. of seeds per pod | Hundred seeds weight | No. of seeds |
|----------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|
| No. of fertile pods | -0.331 | | | | | |
| Podding percentage | -0.867** | 0.736** | | | | |
| No. of seeds per pod | 0.206 | -0.670* | -0.482 | | | |
| Hundred seed weight | 0.040 | 0.324 | 0.078 | -0.535 | | |
| No. of seeds | -0.283 | 0.912** | 0.662** | 0.310 | 0.142 | |
| Seed yield | -0.199 | 0.888** | 0.700* | -0.499 | 0.603* | 0.873** |

*, **: significant at 5% and 1% level, respectively.

よっても減少し、その程度は開花後期までの処理区では処理の時期が遅くなるほど大きく、その後の幼莢期では若干小さくなる傾向がうかがわれた。また遮光の程度による差異については一定の傾向を認め難かった。

次に収量構成要素に及ぼす影響について検討してみると、開花数は花芽分化期及び開花前期処理で減少したが、その後の処理時期では対照区と全く差がなかった。稔実莢数は花芽分化期処理区を除くと、いずれの処理時期でも対照区より低く、特に開花期間中の処理によって大きく減少したが⁷⁶⁾、遮光程度とは一定の傾向を示さなかった。結莢率は花芽分化期処理では対照区を上回ったが、その後の処理時期では処理によりやや低くなる傾向がみられた。また平均一莢内粒数及び百粒重は処理間差が小さく、遮光程度による一定の傾向が認められなかった。粒数については稔実莢数と同様の傾向を示した。

論 議

ダイズの乾物生産と収量との関係について小島ら⁹⁹⁾は関東地方で中間ダイズを供試して実験を行い、総胚珠数は花芽分化期から開花期にかけての乾物生産量と正の相関を示し、また稔実粒数の増大に対しては莢への乾物分配率を高めることが重要であると指摘している。また著者ら⁴⁾は北海道で生育性の異なる菜豆及びダイズ品種を供試して実験し、収量に対する葉面積の重要性を指摘した。ここでは得られた結果を基に各生育時期における乾物生産と収量成立過程との関係について考察しておきたい。Table 10は収量並びに収量構成要素間の相関関係を示したものである。収量は稔実莢数及び粒数と最も高い相関 ($r=0.888^{**}$, $r=0.873^{**}$)を示し、ついで結莢率、百粒重と密接な正の相関を示した。従って、一莢内粒数が処理によってほとんど変化を示さなかったことを考え合わせると、収量は主として稔実莢数の増加によって高くなることわかる。一方、稔実莢数は結莢率と高い正の相関 ($r=0.736^{**}$)を示したが、結莢率は開花数と、また一莢内粒数は稔実莢数と負の相関を示し⁴⁷⁾、遮光による同化産物の減少は収量成立過程におけるシンク側の要因に大きく影響することがうかがわれる。

次に収量構成要素の成立が乾物生産とどのような関係にあるかを検討するため、各時期における生長パラメータと各要素間の相関係数を算出し、Table 11に示した。これによれば、開花数は花芽分化期のCGR及びNARと、稔実莢数は開花前期及び後期の両パラメータとそれぞれ有意な正の相関を示した。一方、結莢率はCGR及びNARとの間に花芽分化期では負の、開花後期では正の高い相関を示した。また、子実収量と開花期間中のNARとの間には高い正の相関が認められた。

これらの結果を総括的に考察すると、まず花芽分化期では開花数を確保する意味で日射はきわめて重要な意味を持っており、乾物生産の増大は開花数の増加をもたらす⁹⁹⁾。しかし、開花数と結莢率との間には強い負の相関

Table 11. Correlation coefficients between yield components and crop growth rate, and net assimilation rate.

| | Stage | No. of flowers | No. of fertile pods | Podding percentage | Seed yield |
|-------------|----------|----------------|---------------------|--------------------|------------|
| C G R | I ~ II | 0.999* | 0.242 | -0.996 | 0.961 |
| | II ~ III | 0.012 | 0.991** | 0.714 | 0.939 |
| | III ~ IV | -0.214 | 0.441 | 0.406 | 0.810 |
| | IV ~ V | -0.362 | 0.946** | 0.823* | 0.329 |
| N A R | I ~ II | 0.999* | 0.203 | -0.997* | -0.960 |
| | II ~ III | 0.362 | 0.995** | 0.761 | 0.931 |
| | III ~ IV | -0.478 | 0.393 | 0.569 | 0.751 |
| | IV ~ V | -0.459 | 0.942** | 0.876* | 0.872* |

The growth stage is indicated in Table 6.

*, **: significant at 5% and 1% level, respectively.

関係が認められることから、開花後の稔実英数の確保は登熟期間中の同化産物の多少によって大きく左右され、日射条件によっては落花、落莢が生じ結莢率が低下するものと推察される。このことは開花期間中、特に開花前期と後期の CGR や NAR が結莢率と高い正の相関を示すことから裏付けられよう。Table 9 に示されたように、花芽分化期から幼莢期の日射条件は子実収量に大きな影響を与えることが明らかとなったが、暖地においては、収量を増加させる上で開花期前後の日射条件が特に重要な意味を持つものと考えられた。

摘 要

アキヨンを供試し、開花期を中心として時期別に異なる程度の遮光処理を行い、秋ダイズの収量成立過程を個体の乾物生産の面から解明しようとした。

(1) 遮光処理の時期が早く、かつその程度が大きいかほど植物体は徒長し、分枝の発達及び乾物生産は抑制された。

(2) 子実収量はすべての処理区において低下したが、この低下と最も密接な関係が認められる収量構成要素は稔実英数及び粒数であった。

(3) 収量構成要素と生長パラメータとの相関係数について検討した結果、暖地においては、開花期前後の日射条件は稔実英数の増加に対し重要な意味を有することが明らかとなった。

第3節 生育時期別水ストレスの影響

水は植物における光合成の基本的素材であるとともに、体内における物質代謝の円滑な進行に不可欠な成分である。従って、その多少は乾物生産にも大きな影響を及ぼすものである。土壌水分とダイズの生育・収量との関係については福井ら^{22,23,26,27)}の広範な研究が知られている。それらの報告によると、土壌水分に対するダイズの生育反応は生育の時期によって異なるものとされている。

Table 12. Design of the water stress experiment.

| Plot | Treatment period | Growth stage |
|--------------|----------------------------------|-----------------------|
| C | | |
| L1 } H1 } | Aug. 4—Aug. 17 (I) — (II) | Early flowering |
| L2 } H2 } | Aug. 18—Aug. 31 (II) — (III) | Late flowering |
| L3 } H3 } | Sept. 1—Sept. 17 (III) — (IV) | Young pod development |

L: low stress (62.5%), H: high stress (45%), C: untreated control (80% of maximum water capacity).

一方、暖地におけるダイズは夏期の高温・少雨による早魃の危機に遭遇し、著しい生育障害がしばしば認められる。従って、水ストレスに対するダイズの生育反応を明らかにしておくことは、生産性の向上の面からきわめて重要である。

そこでここでは、生育の異なる時期に水ストレス処理を行い、生育・収量に及ぼす影響を調査するとともに、光合成、体内成分、並びに同化産物の転流の面から要因解析を行った。

材 料 と 方 法

供試材料としては、秋ダイズ型品種のアキモンを用いた。1988年6月22日、水田土壌と砂を2対1に混合した培土を詰めた素焼の植木鉢（径30cm）に播種した。肥料はすべて基肥として与え、1鉢当たり硫酸1.7g、過リン酸石灰4.2g、硫酸カリ1.7gを施した。第1複葉が展開した7月6日、1鉢当たり2個体に揃え、処理開始まで水分条件を最大容水量の80%として栽培を続けた。開花は8月1日に認められ、供試個体の95%に開花がみられた8月4日から処理を開始した。

処理区的设计はTable 12に示したとおりである。土壤水分は最大容水量に対して、対照区(C)で80%、弱ストレス区(L)で62.5%、強ストレス区(H)で45%となるように重量法によって調節した。灌水の回数は気象の状態によって1日に1~2回とした。そして、各々の処理が終了した後は、成熟期まで対照区と同じ水分レベルになるように灌水を行った。

試料採取は8月4日（開花始期，I），8月17日（開花盛期，II），8月31日（開花終期及び着莢始期，III），9月17日（登熟初期，IV），10月12日（登熟中期，V），及び11月18日（成熟期，VI）の6回にわたり、3鉢（反復）6個体を対象に行った。葉面積は林電工製の葉面積計（AAM-7型）によって測定し、各器官の乾物重は熱風恒温乾燥器で70℃、48時間乾燥して測定した。収量及び収量構成要素は成熟期の試料について測定した。

光合成速度は主茎の先端から数えて4及び5節目の2枚の葉の頂小葉について、LI-COR社製携帯型光合成測定装置（LI-6200型）によって測定し、2枚の平均値で示した。この2枚は前章で明らかにしたとおり、光合成活性が最大の葉である。

処理終了後、各区から1鉢を選び、¹⁴CO₂実験に供した。すなわち、鉢をビニールフィルム製の同化箱に入れ、25℃、10kluxのファイトロン内に持ち込んで、Na¹⁴CO₃にHCLを加えて発生させた¹⁴CO₂を1時間同化させた。余剰の¹⁴CO₂を排除してから鉢をガラス室にもどして栽培を続け、収穫後、子実の着生部位別にオートラジ

Table 13 Effect of water stress at various growth stages on some agronomic traits

| Treatment plot | Stage | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | I | II | III | IV | V | VI |
| Length of main stem (cm) | | | | | | |
| C | 50.7 | 84.1a | 87.2a | 88.3a | 88.2a | 88.2a |
| L1 | | 76.1b | 79.0ab | 84.0ab | 82.8ab | 82.8ab |
| H1 | | 63.3c | 76.9b | 76.2c | 77.8b | 77.8b |
| L2 | | | 85.2a | 87.0ab | 87.5a | 87.5a |
| H2 | | | 84.4ab | 82.2bc | 84.6a | 84.6a |
| L3 | | | | 85.6ab | 86.5a | 86.5a |
| H3 | | | | 86.5ab | 88.7a | 88.7a |
| No. of primary branches (/plant) | | | | | | |
| C | 4.8 | 6.4a | 8.8a | 10.3a | 10.0ab | 10.0ab |
| L1 | | 5.8a | 7.8a | 8.6a | 10.0ab | 10.0ab |
| H1 | | 5.8a | 7.3a | 9.9a | 9.3bc | 9.3bc |
| L2 | | | 6.3b | 8.6a | 10.5a | 10.5a |
| H2 | | | 4.3b | 8.9a | 8.4c | 8.4c |
| L3 | | | | 9.8a | 8.2c | 8.2c |
| H3 | | | | 9.9a | 8.0c | 8.0c |
| Leaf area (dm ² /plant) | | | | | | |
| C | 23.0 | 27.8a | 59.0a | 42.9a | 33.7ab | |
| L1 | | 17.9b | 55.5a | 62.4b | 33.8ab | |
| H1 | | 13.2b | 45.3b | 57.0b | 29.1c | |
| L2 | | | 55.4a | 65.0b | 35.8a | |
| H2 | | | 43.5a | 55.4c | 29.7bc | |
| L3 | | | | 36.8d | 34.3ab | |
| H3 | | | | 37.4d | 39.6a | |
| Total dry weight (g/plant) | | | | | | |
| C | 16.7 | 36.8 | 50.5 | 69.4 | 69.6 | 48.3 |
| L1 | | 33.1 | 48.0 | 61.6 | 72.4 | 45.8 |
| H1 | | 25.4 | 40.4 | 60.9 | 66.0 | 46.9 |
| L2 | | | 47.3 | 69.6 | 69.0 | 51.4 |
| H2 | | | 41.0 | 61.5 | 66.0 | 43.3 |
| L3 | | | | 60.7 | 62.7 | 49.3 |
| H3 | | | | 49.4 | 63.2 | 41.0 |

Symbols of the treatment plot are indicated in Table 12.

Stage: I ; 8/4, II ; 8/17, III ; 8/31, IV ; 9/17, V ; 10/12, VI ; 11/18.

Data with the same letter are not significantly different at 1% level.

☐ : Treatment period.

オグラフを作成した。その方法は、子実を半分に割って、X線フィルム上におき、96時間感光させてから現像し、各々の子実に含まれる放射能活性をコンカ製のデンストメータ (PDA-85型) で直径2mmの大きさについて測定した。

脂肪含量はソックスレー抽出器による重量法、窒素含量はケルダール法、全有効態炭水化物はソモジー・ネルソン法によって分析した。

Table 14. Effect of water stress at various growth stages on dry weights of each organ.

| Plot | Stage | | | | | |
|------------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|
| | I | II | III | IV | V | VI |
| Leaf blade | | | | | | |
| C | 6.7 | 15.3a | 20.0a | 21.2ab | 15.2a | |
| L1 | | 12.5a | 18.9ab | 20.4ab | 18.0abc | |
| H1 | | 9.7b | 16.6bc | 19.8ab | 16.6ab | |
| L2 | | | 17.8ab | 22.0a | 19.7bc | |
| H2 | | | 13.8c | 18.8b | 16.1ab | |
| L3 | | | | 18.9b | 20.9c | |
| H3 | | | | 11.4c | 16.8ab | |
| Petiole | | | | | | |
| C | 1.9 | 4.8a | 7.8a | 8.5a | 6.0ab | |
| L1 | | 4.3a | 7.4a | 7.6bc | 6.8ab | |
| H1 | | 3.2a | 5.8b | 6.6de | 5.4a | |
| L2 | | | 7.2a | 8.1ac | 7.2bc | |
| H2 | | | 5.9b | 6.8e | 5.4a | |
| L3 | | | | 7.5b | 7.9c | |
| H3 | | | | 5.6d | 7.0bc | |
| Stem | | | | | | |
| C | 3.1 | 6.2a | 11.4a | 16.0a | 12.3ab | 11.6ab |
| L1 | | 6.2a | 10.7a | 11.8b | 10.9ac | 10.0ab |
| H1 | | 4.0b | 8.7b | 11.6b | 9.8c | 9.8bc |
| L2 | | | 11.2a | 12.6b | 12.3ab | 12.2ab |
| H2 | | | 10.5a | 11.2b | 10.6ac | 8.7c |
| L3 | | | | 12.6ab | 13.9a | 12.3a |
| H3 | | | | 16.3a | 13.8a | 11.8ab |
| Root | | | | | | |
| C | 4.5 | 10.5a | 11.4a | 13.1ab | 8.0a | 5.2a |
| L1 | | 10.1a | 11.0a | 13.0ab | 7.8a | 6.2a |
| H1 | | 8.5b | 9.3a | 15.1bc | 7.0a | 5.7a |
| L2 | | | 11.2a | 16.3c | 7.2a | 8.3b |
| H2 | | | 10.8a | 14.3b | 6.7a | 5.8a |
| L3 | | | | 14.2b | 7.8a | 7.5b |
| H3 | | | | 11.6b | 7.2a | 7.6b |
| Pod | | | | | | |
| C | | | | 10.7a | 8.4ab | 9.0a |
| L1 | | | | 8.9ab | 9.0a | 8.1bc |
| H1 | | | | 7.8b | 8.5ab | 9.0a |
| L2 | | | | 10.5a | 8.4ab | 9.7d |
| H2 | | | | 10.4a | 8.4ab | 8.5ab |
| L3 | | | | 7.5bc | 7.4bc | 8.7ab |
| H3 | | | | 4.6c | 6.8c | 6.6c |
| Seed | | | | | | |
| C | | | | | 19.7a | 22.5a |
| L1 | | | | | 19.9a | 21.5a |
| H1 | | | | | 18.6a | 22.4a |
| L2 | | | | | 14.2b | 21.3a |
| H2 | | | | | 18.7a | 20.2a |
| L3 | | | | | 12.8b | 20.8a |
| H3 | | | | | 11.6b | 15.0b |

Symbols of the treatment plot are indicated in Table 12

Growth stages (I - VI) are indicated in Table 13.

Data with the same letter are not significantly different at 1% level.

▨ : Treatment period.

Table 15 Effect of water stress at various growth stages on some growth parameters.

| Treatment plot | Growth stage | | | |
|---|--------------|----------|----------|--------|
| | I - II | II - III | III - IV | IV - V |
| Crop growth rate (g/plant/week) | | | | |
| C | 8.54 | 2.80 | 7.28 | 1.54 |
| L1 | 6.58 | 3.92 | 4.83 | 3.50 |
| H1 | 4.20 | 3.22 | 7.42 | 2.38 |
| L2 | | 3.99 | 7.56 | 0.35 |
| H2 | | 2.80 | 6.37 | 2.03 |
| L3 | | | 5.11 | 2.17 |
| H3 | | | 3.43 | 2.45 |
| Net assimilation rate (g/dm ² /week) | | | | |
| C | 0.393 | 0.011 | 0.147 | 0.049 |
| L1 | 0.319 | 0.137 | 0.081 | 0.077 |
| H1 | 0.245 | 0.119 | 0.130 | 0.053 |
| L2 | | 0.140 | 0.140 | 0.007 |
| H2 | | 0.081 | 0.119 | 0.048 |
| L3 | | | 0.123 | 0.063 |
| H3 | | | 0.091 | 0.035 |
| Relative growth rate (g/g/week) | | | | |
| C | 0.532 | 0.161 | 0.175 | 0.028 |
| L1 | 0.448 | 0.168 | 0.126 | 0.070 |
| H1 | 0.322 | 0.175 | 0.217 | 0.056 |
| L2 | | 0.196 | 0.209 | 0.007 |
| H2 | | 0.105 | 0.186 | 0.042 |
| L3 | | | 0.140 | 0.049 |
| H3 | | | 0.105 | 0.053 |
| Leaf area ratio (dm ² /g) | | | | |
| C | 1.600 | 1.471 | 1.248 | 0.733 |
| L1 | 1.393 | 1.125 | 1.670 | 1.281 |
| H1 | 1.366 | 1.332 | 1.681 | 0.895 |
| L2 | | 1.298 | 1.395 | 0.980 |
| H2 | | 1.415 | 1.618 | 0.880 |
| L3 | | | 1.220 | 0.772 |
| H3 | | | 1.190 | 0.881 |

Symbols of the treatment plot and growth stages (I - V) are indicated in Table 12 and 13, respectively.

▨ : Treatment period

結果と考察

1. 水ストレスが形態形質及び乾物生産に及ぼす影響

Table 13 に主茎長、1次分枝数、葉面積及び全乾物重の推移を示した。まず主茎長はC区を含む各処理区とも開花盛期～開花終期にほぼ最大となったが、水ストレスの影響は開花初期処理区(L1, H1)で最も大きく、主茎長はストレスが大きいほど短くなった。また、処理終了後はL1区ではかなりの程度まで回復したが、H1区では成熟期まで低い値を示した。しかし、開花後期処理や結実期処理では水ストレスによりやや短縮するものの、対照区との間に有意な差は認められなかった。

次に1次分枝数についてみると、開花初期及び開花後期処理では分枝数の抑制がみられ、弱ストレス区は処理終了後回復したが、強ストレス区では完熟期において有意に減少した。一方、結実期処理では処理直後に差はみ

られなかったが、完熟期には強弱両ストレス区ともC区より少なくなった。

葉面積は開花初期処理では強弱両処理区とも下位葉の脱落により著しく減少したが、処理終了後（再灌水）は回復し、最大期が遅れて現れたほか、その最大値は弱ストレス区では対照区を上回った。この傾向は開花後期処理でもほぼ同様に認められ、処理後再灌水すると新葉が展開し（主として分枝）、葉数が増加して葉面積が拡大することが明らかになった。しかし強ストレス区では回復の程度が小さく、登熟中期では対照区を下回った。一方、栄養生長がほぼ完了した結莢期処理では両処理区とも落葉により葉面積が著しく減少し（対照区の約62%）、再灌水後の回復はほとんどみられなかった。

全乾物重は各処理区とも生育に伴って増加し、結莢初期（Ⅳ）にはほぼ最大となったが、処理終了直後は水ストレスの影響が顕著に認められ、いずれの処理期においても減少し、ストレスの程度が大きいかほど影響が大きかった。しかし、処理終了後は葉面積と同様、再灌水によって乾物重は増加したが、その回復の程度は弱ストレスの場合に大きく、強ストレスの場合には終始、対照区に及ばなかった。次に乾物重に及ぼす影響を器官別にみると（Table 14）、葉身、葉柄の乾物重は水ストレスによって減少し、再灌水後回復する傾向が認められた。茎の場合もほぼ同様の傾向を示したが、その影響は葉身の場合ほど大きくなかった。また、根では茎葉に比べ、再灌水後の回復が大きく、成熟期にはすべての処理区で対照区を上回った。さらに、莢、子実重に及ぼす影響は結莢期の処理で大きいのが特徴である。

個体当たり乾物重増加速度（CGR）、相対生長率（RGR）、純同化率（NAR）、葉面積比（LAR）の推移をTable 15に示した。まずCGRについてみると、開花後期を除くすべての処理区で処理期間中は対照区よりも低くなった。しかし、再灌水後には明らかに乾物生産量が多くなって、対照区より高くなった。RGRはCGRと類似の反応を示したが、NARについてはRGRにおいてみられた開花後期処理区の低下がみられなかった。LARはすべての処理区で低い値を示したが、再灌水後には高くなった。このことは再灌水が多数の新葉展開を促進したことによるものである。

以上の結果から考察すると、水ストレスは生長及び乾物生産を低下させるが、生育抑制の程度が小さい場合、その後の灌水によって生育はかなり回復することが明らかとなった。

なお、全体の灌水量に基づいて要水量を算出してみたところ、C区に対する比はH₁、H₂、H₃区でそれぞれ58.1、48.6、57.1%、L₁、L₂、L₃区で80.6、70.3、73.4%となり、要水量は強ストレス区ほど小さく、処理期間中の灌水量と全乾物重との間には正の相関（ $r = 0.765^{**}$ ）が認められた。

2. 水ストレスが光合成並びに同化産物の転流に及ぼす影響

見かけの光合成の推移をFig. 10に示した。対照区の光合成は開花盛期を最高とし、以後低下した。開花初期及び後期の水ストレスは明らかに光合成を低下させたが、結莢初期の水ストレスは大きな影響を及ぼさなかった。すなわち、開花初期及び後期の強ストレスにより、光合成速度はそれぞれ58及び82%、弱ストレスでは41及び68%低下した。しかし、開花初期処理では再灌水後光合成が顕著に回復したのが注目される。また、結莢期処理では水ストレスの影響は全く認められなかった。以上のように、光合成の水ストレスに対する反応は開花初期よりも開花後期において敏感であった。

次に、ストレス処理終了直後に供与した¹⁴CO₂のオートラジオグラフによる子実への分布パターンをFig. 11に示した。¹⁴CO₂の子実への移行は結莢初期に同化されたもので最も高く、開花初期と後期に同化されたものはきわめて少なく^{238 58)}、処理の影響は明らかではなかった。しかし、結莢初期のストレス処理では活性量は対照区で最も高く、次いで弱ストレス区、強ストレス区の順であった。対照区では主茎の子実における¹⁴C活性は概して先

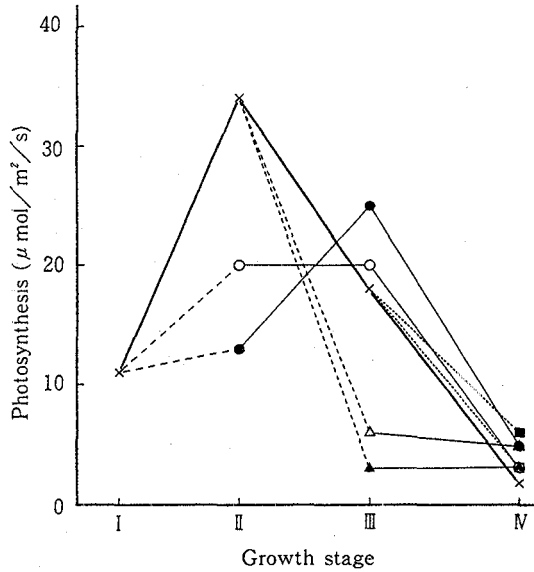


Fig. 10. Changes in photosynthetic rate under water stress conditions. The growth stage and the period of water stress treatment are shown in Table 12

x : C, o : L1, ● : H1, △ : L2, ▲ : H2, □ : L3, ■ : H3

Table 16. Effect of water stress at various growth stages on yield and its components.

| Plot | No of pods flowers | No. of seeds per plant | No. of seeds per pod | Hundred seed weight (g) | Seed yield (g) |
|------|--------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|----------------|
| C | 59.3ab | 89.7a | 2.21a | 25.1a | 22.5a |
| L1 | 58.7ab | 82.7a | 2.08a | 26.0a | 21.5a |
| H1 | 57.7ab | 84.4a | 2.14a | 26.5a | 22.4a |
| L2 | 60.3a | 74.8a | 2.27a | 28.5a | 21.3a |
| H2 | 51.8ab | 77.5a | 2.19a | 26.1a | 20.2a |
| L3 | 56.3ab | 77.1a | 2.17a | 27.1a | 20.9a |
| H3 | 44.4c | 55.4b | 2.12a | 27.1a | 15.0b |

Symbols of the treatment plot are indicated in Table 12.

Data with the same letter within a column are not significantly different at 5% level

端から基部へと節位が下がるにつれて低下していた。また一次分枝では主茎に着生する節位が高くなるほど低くなる傾向が認められた。しかし、処理区においてはこの傾向が乱れており、特に強ストレス区では子実の¹⁴C活性が著しく低かった。Fig 10に示したように、この時期では光合成速度は全般的に低く、処理区と対照区との間に大きな差がなかったことから、これらの結果は主として水ストレスによる転流阻害に起因するものと思われる¹¹⁴⁾

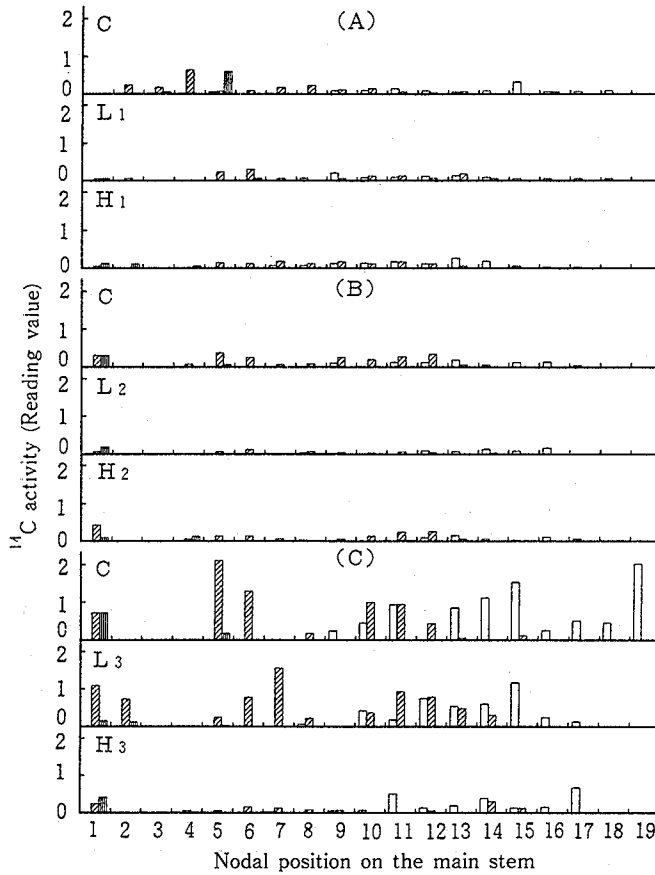


Fig 11. Effect of water stress on the distribution of labeled ¹⁴C in seeds fed at early flowering (A), late flowering (B), and early pod filling (C) stage.

Symbols of the treatment plot are indicated in Table 12

□ : main stem, ▨ : primary branch, ▩ : secondary branch.

3. ウォーターストレスが体内成分に及ぼす影響

葉の窒素含量及び茎の全有効態炭水化物 (TAC) の推移を Fig 12 に示した。まず窒素含量についてみると、開花後期及び結莢期のウォーターストレスは葉の窒素含有率を低下させたが、開花初期の処理区では影響がみられなかった。一般に葉の窒素含量は結莢期から漸減するが、すべての区において2.5%以上で推移した。

一方、茎のTAC含有率は開花後期処理区を除き、ウォーターストレスによって若干低下した。特に開花後期処理では処理直後が高く、再灌水後は著しく上昇し、成熟期で差がなくなるものの、登熟期を通じて対照区を上回った。また、結莢期処理においても再灌水後の上昇がみられ、完熟期には多量の炭水化物が茎内に蓄積されていた。このことから、開花後期から以降のウォーターストレスは炭水化物の子実への転流を著しく阻害するものと考察された。

4. ウォーターストレスが収量及び収量構成要素に及ぼす影響

Table 16 に収量及び収量構成要素について得られた結果を示した。収量はすべての処理区において対照区より低くなったが、特に着莢期の強ストレス区で有意に減少した。その内訳を収量構成要素についてみると、収量と

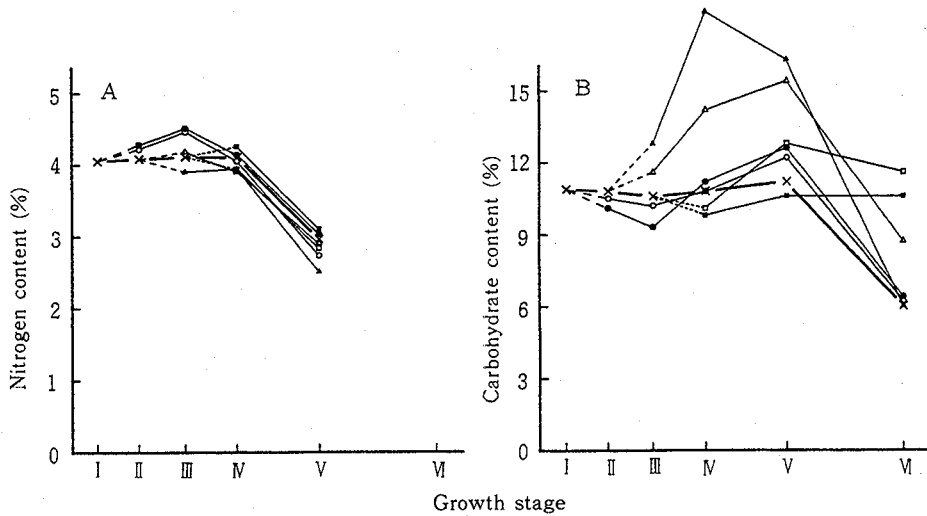


Fig 12. Effect of water stress at various growth stages on nitrogen content in leaf blade (A), and total available carbohydrate content in stem (B)
Growth stages (I – IV) and the symbols are the same as those in Fig 10
V: 10/12, N: 11/18.

関連が認められたのは莢数、子実数であり、一莢内粒数及び百粒重は処理によって大きな影響を受けなかった。しかし、有意ではないものの、百粒重はすべての処理区で対照区より高い値を示し、子実数の場合とは相反する結果が得られた。

一方、H3区における顕著な収量の低下は、莢形成あるいは莢充実期の水ストレスで減収程度が最も大きかったとする Sionit ら¹¹⁵⁾の報告と一致する。また、Momen ら⁸¹⁾は莢数が水ストレスによって顕著に減少したことを、さらに Meckel ら⁷⁹⁾は子実数が減少したことを報じている。

以上の結果から、子実収量に対する水ストレスの影響は着莢期に最も大きいことが明らかとなったが、子実の脂肪とタンパク質含量を調査（データ省略）したところ変動幅は小さいものの、水ストレスによって脂肪含量は高くなり、タンパク質含量は低下する傾向がみられ、その程度はH3区で最も顕著に認められた。

論 議

以上のとおり、水ストレスはダイズの収量を減少させるが、その程度は着莢期の処理区において最も大きく、それ以前の水ストレスは生育や光合成を抑制しても、その後の再灌水によってかなりの程度まで回復することが明らかとなった。この結果と他の報告^{14 18 22 23 27 79 81 114 115)}の結果とをあわせて考えると、着莢期はダイズの発育における critical stage と考えられ、水ストレスは減収をもたらす。従って、暖地のダイズ栽培に当たっては、この時期の土壌水分管理が最も重要であると考えられる。

また、着莢期における水ストレスは転流抑制をもたらすのが特徴である。Silvius ら¹¹⁴⁾によれば水ストレスはダイズにおける光合成産物の分布の変化をもたらすとしているが、本研究では、子実中への¹⁴C分布のパターンは開花後に同化された光合成産物が、開花中に同化されたものよりも効率よく子実へ転流していた。一方、成熟期における茎の炭水化物はL3, H3区で明らかに高く、かなりの炭水化物が子実へ転流することなく、茎に蓄積さ

れていることを示していた。また、アキヨンは有限伸育型の品種ではあるが、栄養生長が開花後直ちに停止したのではないことがその原因の一つであろう。

すなわち、暖地においては、ダイズに対する水ストレスの影響は生育のステージによって異なり、特に着莢期の水ストレスは子実収量を減少させるが、これはストレスによる乾物生産の低下と、再灌水後の転流阻害がその原因であると考察された。

摘 要

アキヨンを供試して生育の時期別に異なる程度の水ストレス処理を行い、次の結果を得た。

- (1) 水ストレス処理の期間中は生育、光合成は抑制されたが、再灌水により回復がみられた。抑制の程度は強水ストレス処理の場合に大きく、回復も十分ではなかった。
- (2) 子実収量は水ストレスにより減少した。しかし、着莢期における強水ストレス処理区を除けば、対照区との差は大きいものではなかった。この原因は莢数及び子実数の減少に基づくものであった。
- (3) 着莢期における水ストレスは同化産物の子実への転流を阻害し、このことが同処理区における減収をもたらしたものと推察された。
- (4) 以上の諸点から、ダイズにおいては、着莢期が水ストレスに対する critical stage であると考察された。

第3章 生育と乾物生産に及ぼす栽培条件の影響

ダイズの栽培に当たってまず問題となるのは品種の選択であるが、利用目的や収益性を加味して適当な品種が選択されれば、栽培時期や栽植様式（密度）、施肥量などの主要な栽培条件をどの様に設定するかが重要な課題となる。これらの点については、古くより各地の農業試験場において毎年のように試験が繰り返され、多大の労力と経費が投入されてきた。そして暖地においても近年の転作ダイズの増加とともに再び栽培条件に関する試験が増加する傾向にある⁴⁸⁾

播種期や栽植様式、施肥量などの栽培条件はいうまでもなく各地の気象条件や土壌条件を加味して設定されなければならないが、的確な条件を設定するには、まず各種条件に対する植物体側の反応を乾物生産面や体内成分の動向面から正確に把握し、その収量成立過程における意義を明らかにしておく必要がある。

そこで、本章では主要な栽培条件として、播種期、栽植密度、及び窒素施用量の問題を取り上げ、乾物生産、体内成分、収量成立過程の面から解析を試みた。

第1節 播種期の影響

暖地におけるダイズの栽培は、北海道や東北地方と異なり、播種期の幅が広いのが特徴である。九州地方で行われた播種期に関する研究^{56 87 88 94 95 126)}は、その多くは、梅雨のために晩播栽培を余儀なくされていた同地方での作季拡大を図ろうとするもので、一般に早播きの効果が認められている。中国地方における播種期に関する研究は比較的少なく、早播きが栄養生長量の増大を促して多収に結びつくことが報告され¹¹¹⁾ているほか、四国地方では玉置ら¹²³⁾が中間ダイズの播種適期を体内成分の面から論じているに過ぎない。一方、外国においてははかなり広範な播種期を設定した試験が行われ^{17 11 13 46 102 103)}、いずれも収量に対する最適播種期が存在することが報告されている。播種適期は、いうまでもなく地域固有の気象条件によって異なるほか、品種によっても変動する。

そこで本節では、暖地で一般に栽培されている中間ダイズ型品種と秋ダイズ型品種を供試し、5月下旬～7月中・下旬に至る幅広い播種期を設定し、両タイプの播種期に対する反応性を乾物生産並びに子実生産の面から比較・検討した。

材 料 と 方 法

供試品種には、中間ダイズ型品種として金成1号（Ⅱc）、秋ダイズ型品種としてアキオン（Ⅳc）を用いた。実験は1982年及び1983年の2か年にわたって行った。播種期は1982年には5月31日、6月21日、7月21日の3回、1983年には5月30日、6月23日、7月18日の3回とした。そして、両年の5月播きを早播き区、6月播きを中播き区、7月播きを晩播き区とした。栽植密度は6.67個体/m²（60cm×25cm）である。1区の供試面積は90m²である。施肥量は10a当たり硫安5.2kg、過リン酸石灰32.0kg、硫酸カリ11.7kgとし、それぞれ条施した。その他については慣行に従って、除草、中耕培土、病虫害防除を適宜実施した。なお、1982年には、アキオンの早播き区、中播き区で一部に倒伏のおそれがあったため、支柱を用いて倒伏の防止に努めた。

調査は播種後、概ね3週間毎に行った。すなわち、各区より生育中庸と認められる6個体を採取して、形態形質を測定した後、葉面積、器官別乾物重（70℃、24時間乾燥）を測定した。また、栄養生育量がほぼ最大に達した登熟初期（開花始めから3～4週間後）に10cm毎の層別刈取を行い、群落構造について調査した。

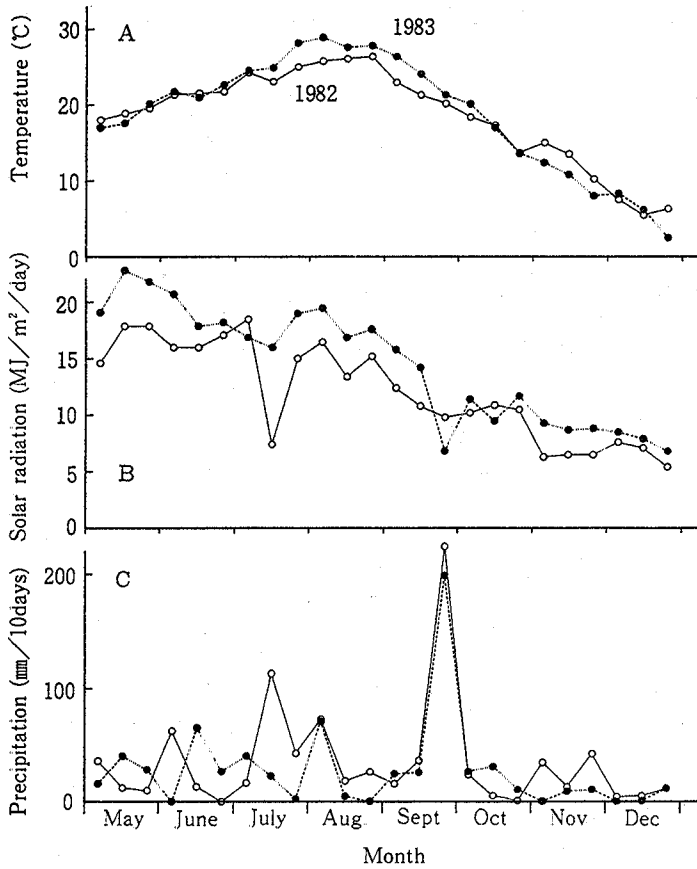


Fig 13. Changes in mean temperature (A), mean solar radiation (B), and precipitation (C) in 1982 and 1983.

両年における気象条件は Fig 13に示したとおりで、1983年が1982年に比べて、高温・多照で、特に7・8月に降水量が少ない状態で推移した。また1982年は、7・8月に降水量がやや多かったことを除けば、ほぼ平年並みに推移した。

結果と考察

1. 播種期が生育日数及び形態形質に及ぼす影響

Table 17に播種期が生育日数及び形態形質に及ぼす影響を示した。各形質は品種、年次、播種期に関係なく、いずれも登熟初期にほぼ最大となったが、両年を比べると、7、8月に降水量が多く、寡照に経過した1982年では主茎長が長くなり、節数がやや増加したものの、分枝数が減少し、特に早播き区では徒長する傾向がみられた。一方、1983年では、金成1号の早播き区は登熟初期における著しい土壌水分不足により、結莢不良を招き、緑葉が長く残って成熟期も遅れ、極端な減収となった。しかし、これを除くと、子実収量は1983年が優っていた (Table 18 参照)。

播種期の影響についてみると、開花迄日数及び生育日数は、品種、年次に関係なく晩播きほど短縮し、生育は全般的に促進される傾向が認められた。また、生育期間を開花迄日数 (栄養生長期) と開花後日数 (生殖生長

Table 17. Effect of sowing time on some agronomic traits

| Cultivar | Sowing time | No. of days to flowering* | No. of days to maturing* | Length of main stem (cm) | No. of nodes on main stem | No. of primary branches |
|---------------|-------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1982 | | | | | | |
| Kan-nari No.1 | early | 51 | 138 | 89.6a | 17.4a | 11.8a |
| | middle | 41 | 116 | 74.8b | 15.8b | 10.8a |
| | late | 32 | 97 | 67.8c | 14.0c | 8.0b |
| Akiyoshi | early | 64 | 168 | 108.6a | 24.0a | 15.6a |
| | middle | 50 | 154 | 107.8a | 20.8b | 14.8a |
| | late | 40 | 147 | 78.4b | 17.0c | 12.4b |
| 1983 | | | | | | |
| Kan-nari No.1 | early | 45 | 175 | 75.8a | 15.6a | 15.6a |
| | middle | 31 | 120 | 52.8b | 13.5b | 13.0b |
| | late | 31 | 95 | 45.3c | 12.4c | 12.8b |
| Akiyoshi | early | 65 | 173 | 90.0a | 21.2a | 20.8a |
| | middle | 54 | 149 | 88.8a | 20.6a | 17.4b |
| | late | 36 | 124 | 52.8b | 17.0b | 13.0c |

Early sowing: May 31 in 1982, May 30 in 1983, Middle sowing: June 21 in 1982, June 23 in 1983,

Late sowing: July 21 in 1982, July 18 in 1983

*: from sowing

Data with the same letter are not significantly different at 5% level.

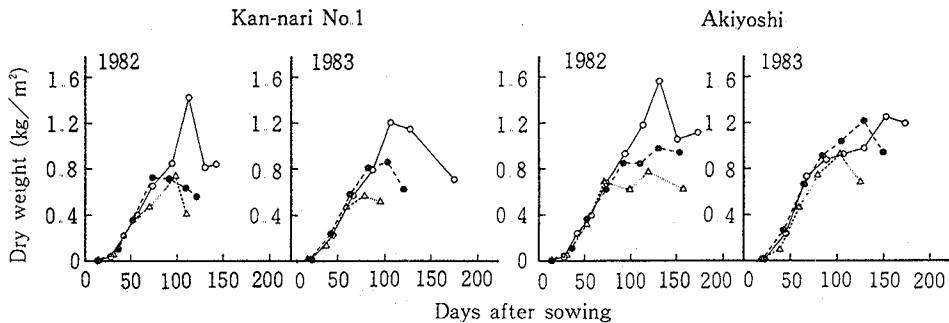


Fig. 14. Changes in total dry weight at three sowing times

○ : early sowing, ● : middle sowing, △ : late sowing.

期)に分けてみると、両品種とも開花迄日数の短縮効果が大きく、開花後日数では、金成1号に比べアキヨシで短縮効果が小さいのが特徴である。このように開花迄日数は晩播きほど短縮し、それに伴って主茎長、主茎節数、分枝数も大きく減少した。

2. 播種期が乾物生産に及ぼす影響

播種期が全乾物重の推移に及ぼす影響を Fig 14 に示した。全乾物重は両品種とも早播きほど生育の後半に高い値を示した。次に、生長パラメータの推移に及ぼす影響を Fig 15 に示した。まず LAI は品種や年次をとわず、晩播きになるほど小となった。CGR は葉面積の変化に追従して変化していたが、その最大値は播種期による差がほとんどなく、この点では葉面積が晩播きになるほど小さく推移する様相と異なった。これは CGR で最大値がみられる開花始めから登熟初期にかけての NAR が晩播きになるほど高く推移したことによるものである。NAR は各

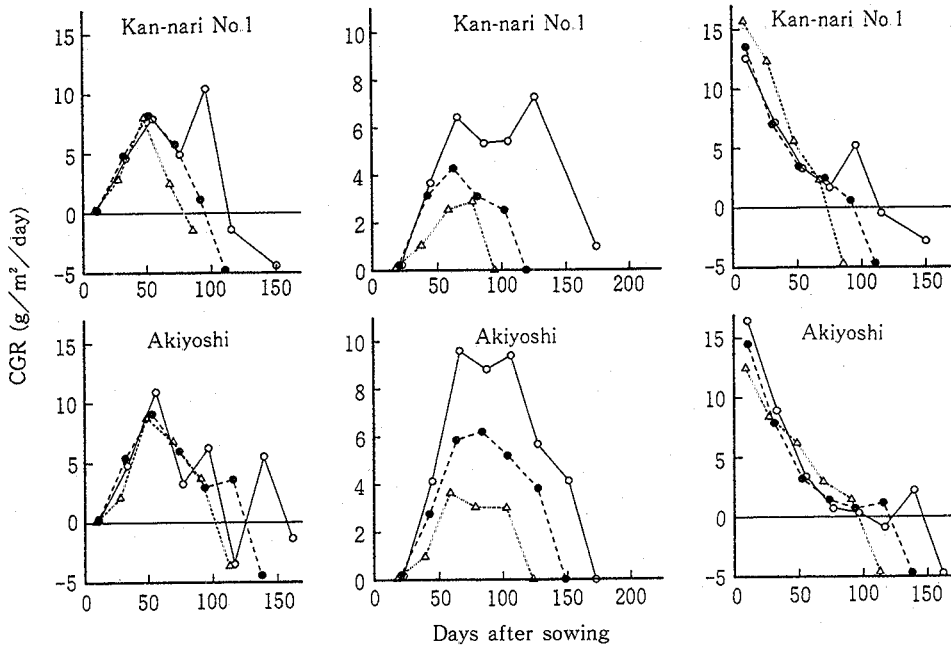


Fig 15. Effect of sowing time on changes in crop growth rate (CGR), leaf area index (LAI), and net assimilation rate (NAR) (1983)
 ○ : early sowing, ● : middle sowing, △ : late sowing.

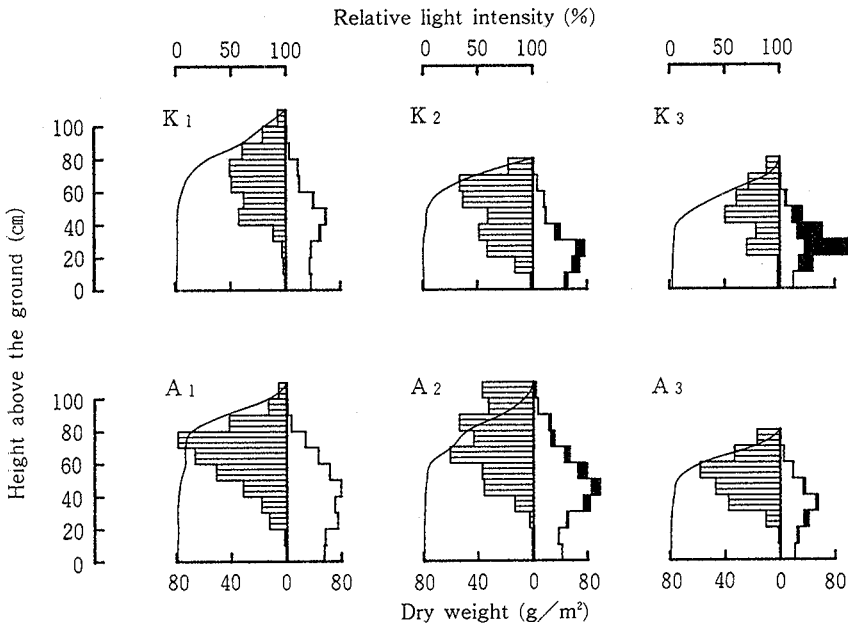


Fig 16. Effect of sowing time on the productive structure of two cultivars at early opening stage (1983)
 K : Kan-nari No.1, A : Akiyoshi, 1 : early sowing, 2 : middle sowing, 3 : late sowing.
 ▨ : leaf blade, □ : stem+petiole, ■ : pod+seed.

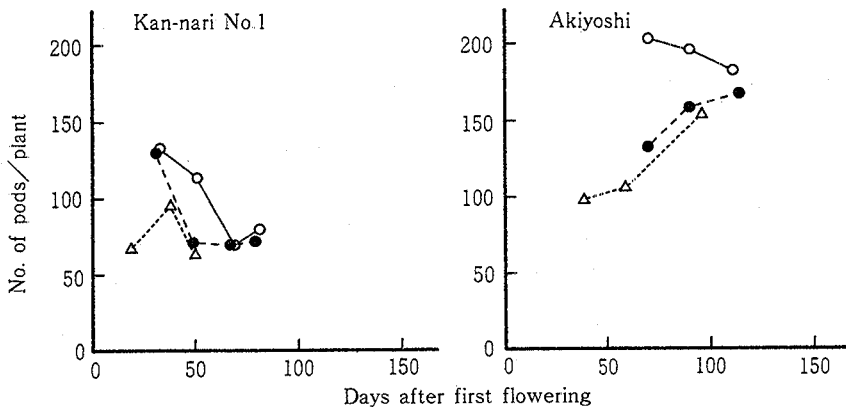


Fig. 17 Changes in number of pods at three sowing times (1982).

○ : early sowing, ● : middle sowing, △ : late sowing.

区とも生育初期に最大で、以後生育に伴って低下した。金成1号では、初期には晩播きほど高い値を示したが、その後の低下の度合は晩播きになるほど急激で、晩播きでは登熟期の生育速度が急速に衰え、登熟期間が短縮することが示唆された。これに対し、アキヨシでは生育初期には早播きほど高かったが、開花始めから登熟初期にかけての値は晩播きになるほど高く推移した。これは後述のとおり、晩播きになるほど早く開花した花が結莢することと関連しているものと推察された。

3. 播種期が群落構造に及ぼす影響

生育量がほぼ最大に達した登熟初期における群落構造を Fig. 16 に示した。光合成系（葉身）は各区とも中層位から上層位に多く分布し、アキヨシに比べ、金成1号で少なく、また晩播きになるほど少なくなる傾向が認められた。一方、非光合成系（葉身以外）はいずれの場合も中層位から下層位にかけて多く分布し、それぞれの区における分枝の発達程度及び莢の発育程度を反映した分布状況がみられた。

4. 播種期が結莢に及ぼす影響

次に結莢状況を Fig. 17 に示した。これによると、金成1号では早期に開花した花がよく結莢したのに対し、アキヨシでは早期に開花した花が結莢せず、結莢期間も長くなった。また、両品種とも、晩播きほど早期に開花した花がよく結莢し、この傾向はアキヨシで顕著であった。早播き区では早期の落莢が多く認められた。これらの結果は、栄養生長から生殖生長への転換は品種では金成1号で、播種期別では晩播きほど速やかに進行することを示唆している。

5. 播種期が収量及び収量構成要素に及ぼす影響

Table 18 に示した収量構成要素並びに収量について、結莢不良を示した1983年の金成1号の早播き区を除いて考察すると、収量は年次別では1983年、品種別ではアキヨシが大きかった。播種期の影響についてみると、一般に晩播きほど収量が低下する傾向が認められたが、金成1号では播種期による変動幅が比較的小さいのに対して、アキヨシでは晩播きほど大きく低下しており、播種期に対する収量反応は品種によって異なることが明らか

Table 18. Effect of sowing time on yield and its components.

| Cultivar | Sowing time | Seed yield per m ² (g) | No. of pods per m ² | No. of seeds per m ² | No. of seeds per pod | Hundred seed weight (g) | Seed/stem ratio |
|----------------|-------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------|
| 1982 | | | | | | | |
| Kan-nari No. 1 | early | 246ab | 537a | 944a | 1.76b | 26.0c | 0.72c |
| | middle | 259a | 480b | 851b | 1.77b | 30.5a | 1.57b |
| | late | 239b | 421c | 859b | 2.04a | 27.8b | 3.18a |
| Akiyoshi | early | 469a | 1,217a | 2,043a | 1.68a | 23.0b | 1.10c |
| | middle | 404b | 1,116b | 1,721b | 1.54b | 23.5b | 1.32b |
| | late | 360c | 1,025c | 1,236c | 1.21c | 29.1a | 3.54a |
| 1983 | | | | | | | |
| Kan-nari No. 1 | early | 26b | 139b | 100b | 0.72b | 25.6a | 0.08c |
| | middle | 293a | 604a | 1,157a | 1.92a | 25.3a | 2.14b |
| | late | 281a | 602a | 1,067a | 1.77b | 26.4a | 3.79a |
| Akiyoshi | early | 534a | 1,521a | 2,314a | 1.52a | 23.1b | 1.42c |
| | middle | 461b | 1,149b | 1,900b | 1.65a | 24.3ab | 1.73b |
| | late | 386c | 955c | 1,565c | 1.64a | 24.7a | 3.45a |

Data with the same letter are not significantly different at 5% level

になった。

そこで収量構成要素に対する播種期の影響について検討してみると、両品種とも着莢数及び子実数は収量とはほぼ同様の傾向を示し、いずれも収量との間に正の有意な相関関係 ($r > 0.811^*$) が認められることから、播種期に対する収量反応性の品種間差異は主として着莢数の差異に起因しているものと推察された。一方、一莢内粒数は播種期に対して一定の傾向を示さなかったが、1982年のアキヨシでは晩播きほど減少しており、着莢数の減少と相俟って子実数を大きく減少させたものと考えられる。百粒重は両品種とも晩播きほどやや大きくなる傾向がみられるが、着莢数、子実数との間には高い負の相関が見られた。また、粒茎比は、着莢数とは異なり、晩播きほど高く、晩播き区では栄養生長量が著しく抑制されたことがうかがえる。

論 議

これら両品種にみられた播種期の早晩に対する収量反応の差異を、第1章で述べた両品種の特性と関連させて検討してみると、まず金成1号では、栄養生長から生殖生長への移行が速やかであり、1次分枝を中心として比較的短期間に開花・結莢が行われるのに対し、アキヨシでは2次分枝の発達と並行して開花・結莢が長期間にわたるため、莢数が金成1号に比べて多くなったと思われる。そしてこれらはいずれの品種とも晩播きになるほど減少したが、金成1号では登熟初期における高いNARにより、3粒莢を増加させ、粒数を確保することによって、収量はそれほど低下しなかった。しかしアキヨシではそのほとんどが2粒莢で、総節数の低下がそのまま莢数・粒数ひいては収量の低下を招いたものと考察された。

以上の結果より、本実験の範囲内では、中間ダイズ型の金成1号は播種期の早晩に対する収量反応性が低く、播種期は適宜選定できるものと思われるが、晩播き区においては、なおLAIを高くすることも可能であり、例えば栽植密度を増加させることなどの方策^{54,82)}によって、さらに増収が期待できるものと考えられた。一方、秋ダイズ型のアキヨシでは晩播きになるほど生育量は小さくなり、収量も低下するが、他面、早播きによる過繁茂などの不安定要因も問題となる。従って、これらの要因を克服することも追究されなければならないものと考えられるが、暖地における播種適期を6月下旬と設定し、安定多収を目指す栽培技術を追究するのが望ましいと考察された。

摘 要

生態型の異なる中間ダイズ型の金成1号と、秋ダイズ型のアキヨシの2品種を供試し、1982、1983の両年度に、それぞれ5月末から7月下旬まで3回の播種期を設定して栽培し、生育、乾物生産、及び子実生産について検討した。

(1) 両品種とも晩播きになるほど開花迄日数、生育日数が短縮し、それに伴って主茎長、節数、分枝数、葉面積指数が小となった。

(2) 登熟初期における乾物生産構造からみると、光合成系は品種ではアキヨシが大きく、播種期では晩播きになるほど小さかった。吸光係数は晩播きになるほど大きく、比葉面積との間に負の相関関係が認められた。

(3) 各生長パラメータは品種、播種期をとわず同様なパターンで推移していたが、生育後半には晩播きになるほどその低下の度合いが大きかった。

(4) 収量は両品種とも晩播きになるほど低くなった。これは英数・子実数の減少によるもので、生育量と密接な関係を有するものと考察された。

(5) 本実験の範囲内では、暖地において、中間ダイズは播種期に対する反応性が低く、播種期を適宜選定できるのに対し、秋ダイズでは播種適期が存在し、それを6月下旬と推定した。

第2節 栽植密度の影響

ダイズの収量を決定する主要な要因の一つである栽植密度に関しては、これまでも数多くの研究が行われてきたが^{40 54 61 82 111 141 144}、生育期間が高温、過湿に経過する暖地では栄養生長が旺盛となり易く、過繁茂になると倒伏などの障害を受けるため、従来から少肥、疎植などにより栄養生長量を抑制する栽培法がとられてきた¹¹¹。既往の報告からみればわが国における適栽植密度は、概ね16株～27株/m²の範囲にあるが、池田ら⁴⁰は100株/m²まで収量が増加した例を報告している。また、適栽植密度は、栽植様式⁵⁵、品種¹¹¹、年次(気象条件)¹¹¹によっても変動するが、国分⁵⁹は密植では主茎型の品種が有効であることを指摘している。

暖地における栽植密度に関する研究はきわめて少なく、島田ら¹¹¹の報告をみるのみであるが、収量はLAI約9まで直線的に増加したと報告している。そこで、本研究では暖地における適栽植密度に関する基礎的知見を得るため、生長量の大きい秋ダイズ型品種を供試し、その密度反応性について検討を行った。

材 料 と 方 法

供試品種としてアキヨシ(生態型Ⅳc、秋ダイズ型)を用い、1966年6月22日、香川大学農学部の研究圃場に播種した。栽植密度は個体数がm²当たり疎植3.3、中植6.6、密植13.2の3区を設定し、畦幅75cm、1本仕立て、株間を変化させて調節した。肥料はすべて基肥とし、アール当たり硫酸1.9kg、過リン酸石灰5.6kg、硫酸カリ5.6kgを施した。区制は2反復(乱塊法)である。

形態調査並びに試料採取は7月14日(生育初期、Ⅰ)、8月3日(伸長期、Ⅱ)、8月23日(開花盛期、Ⅲ)、9月13日(登熟初期、Ⅳ)、10月7日(登熟中期、Ⅴ)、及び11月15日(成熟期、Ⅵ)の6回にわたって行った。まず各区において生育中庸な5個体を対象に形態調査を行った後、地上10cmごとに層別刈取法を実施して試料を採取し、葉面積並びに器官別乾物重を測定した。また同時に硫化カドミウム光導電体を用いた群落相対照度計(三紳工業製)によって10cmごとの水平面相対照度を測定した。このほか、生葉中の葉緑素を、85%アセトンで抽出

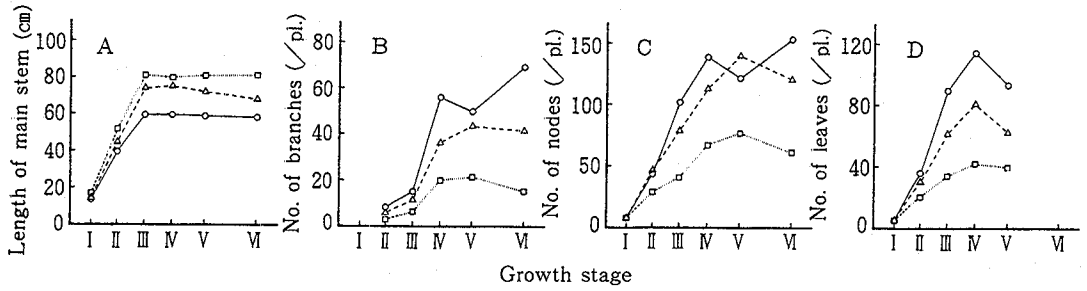


Fig. 18. Changes in length of main stems (A), and the number of branches (B), nodes (C), and leaves (D) at three population densities.

○ : low density (3.3 plants/m²), △ : medium density (6.6 plants/m²),
 □ : high density (13.2 plants/m²).

I : July 14, II : Aug 3, III : Aug 23, IV : Sept 13, V : Oct. 7, VI : Nov. 15.

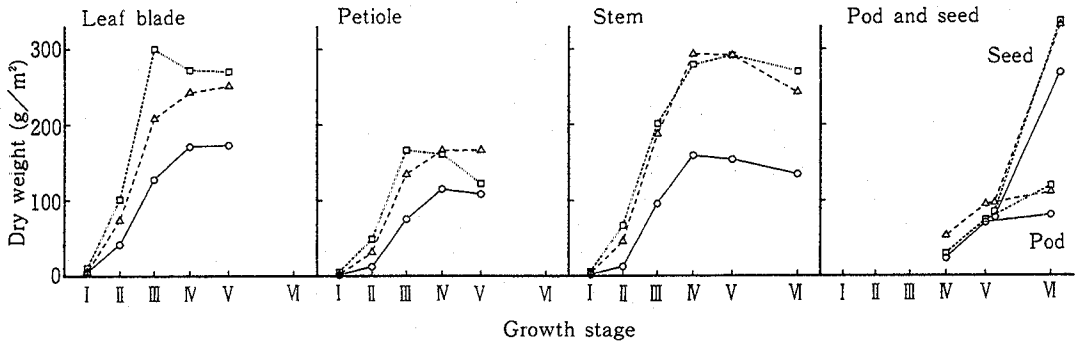


Fig. 19 Changes in dry weight of each organ per m² at three population densities

Symbols are the same as those in Fig. 18

し、比色分析(波長660mμ)によって葉緑素含有量を定量した。

結果及び考察

1. 栽植密度が形態形質に及ぼす影響

各密度区における形態形質の推移を Fig. 18 に示した。主茎長はいずれの密度区においても開花盛期(Ⅲ)にはば最大となり、以後一定に経過したが、密植ほど大きく推移する傾向がみられた³⁶⁾。しかし、主茎節数には密度間差異がなく(平均17.1節)、主茎長の差異は第6複葉節より上部の節間長の差に基づいており、この節間が伸長を開始する前後から密植による個体間競争が生じ徒長したものと考えられる。個体当たりの分枝数、総節数、総葉数は、いずれも開花盛期から登熟初期(Ⅳ)にかけて最大となり、密植区ほど低く推移したが、特に2次分枝数の占める割合は密植区で大きく減少しており、分枝の生長は密植により著しく抑制された。この結果、成熟期における面積あたりの総葉数は中植区で最も多く、総節数は密植区で最大となるものの、中植区との差はきわめて小さかった (Table 19 参照)。

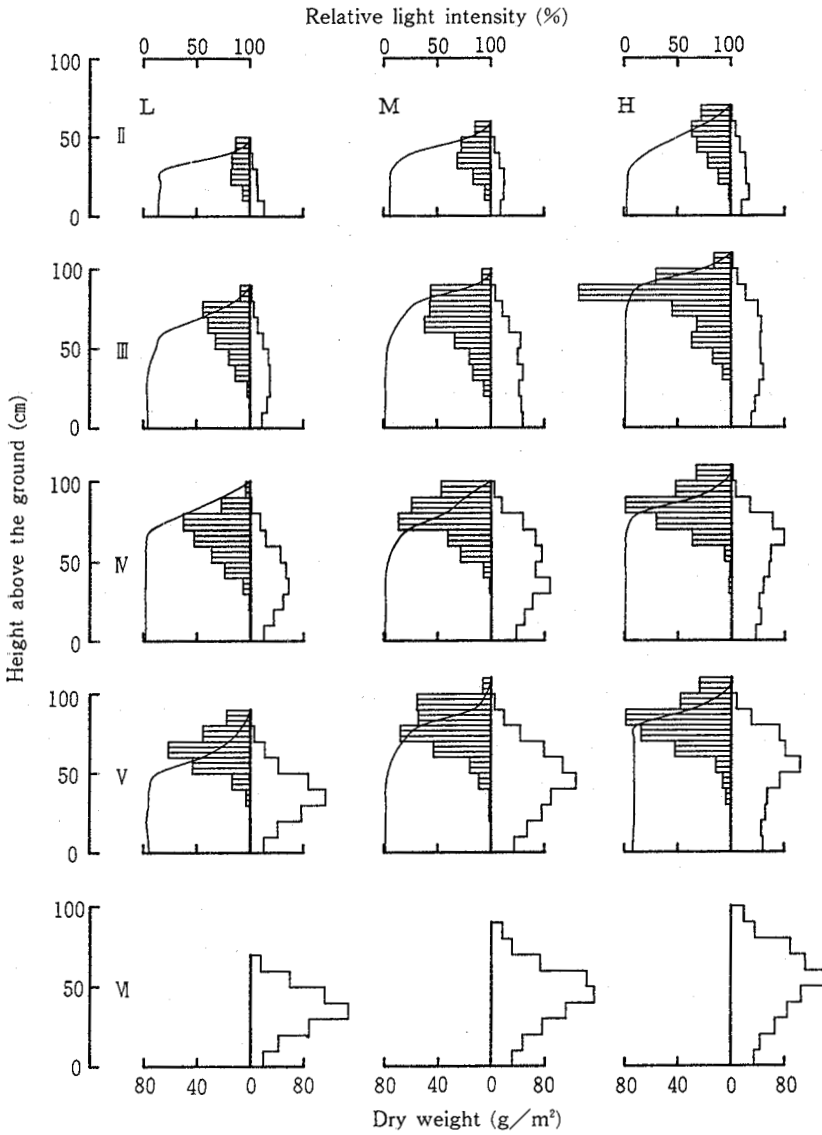


Fig 20. Effect of planting density on productive structure.

L : low, M : medium, H : high density.

▨ : leaf blade, □ : petiole+stem+pod+seed.

Growth stages (II - IV) are the same as those in Fig 18.

2. 栽植密度が乾物重の推移に及ぼす影響

Fig 19に各器官における m^2 当たり乾物重の推移を示した。葉身及び葉柄では、密植区ほど高く推移したが、その最大期は密植区では開花盛期、中・疎植区では登熟初期に現れ、分枝の生長が抑制される密植区では葉の生長が早く停止したものと考えられる。一方、茎では各区とも登熟初期に最大となったが、密植区と中植区はほぼ同様に推移し、疎植区との間に大きな差が認められた。また、莢実では、密植区と中植区ではほぼ同様に推移したが、他の器官に比べ密度間差異が小さいのが特徴である。これらの結果は、形態形質も含

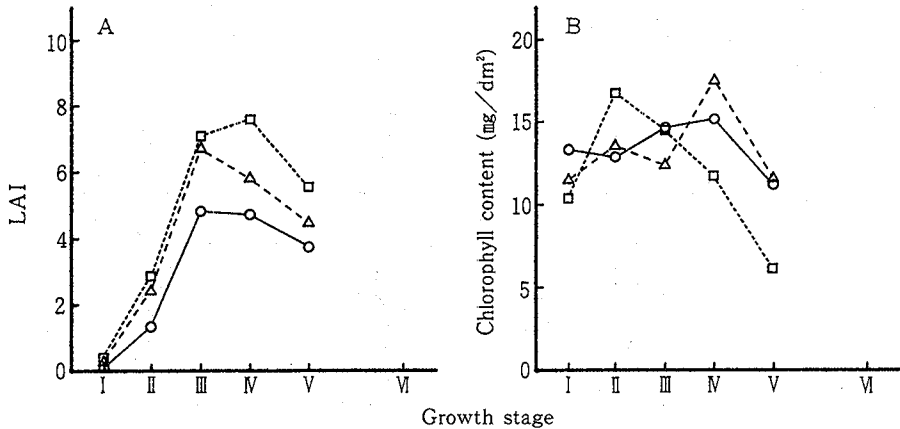


Fig 21 Changes in LAI (A) and chlorophyll content (B) at three planting densities
Symbols are the same as those in Fig. 18.

め、既往の研究報告^{15 45 54 75 82 111 141 144)}ともよく一致していた。

3. 栽植密度が群落構造、葉面積指数及び葉緑素含有率に及ぼす影響

Fig 20は生育に伴う群落構造の変化を示したものである。ダイズは、中・上位節ほど葉が大きくなるほか、葉柄の角度も水平から垂直方向へ変化する特性を有することから、葉は一般に上層に密に分布する天井型の構造を示す場合が多い⁹⁹⁾。本実験においても、疎植区では葉（光合成系）は比較的中層に密に分布しているが、最大葉層は密植になるほど上層に移行する傾向が認められる。これは、光競合が早期から始まる中・密植区では茎が徒長するほか、葉柄の立ち上がり角度が大きくなることによるものと考えられる。また、生育に伴う落葉によって下層葉が次第に減少するが、減少は密植区ほど早期から生じていることがうかがえる。長瀬ら⁸²⁾は土壤水分が十分にある場合、ダイズの落葉は相対照度10%以下のところで認められると報告している。群落内部における光透過のパターンについてみると、葉面積がほぼ最大になる（Fig 21-A参照）開花盛期では90%以上の光が吸収される層は、疎植区で上層50cm、中植区で40cm、密植区では30cmで、相対照度が10%以下になる層位は密植区ほど高い位置で生じていることがわかる。

一方、莢実からなる非光合成系の構造は、比較的密度間差異が小さく、各区とも開花盛期までは下位層でやや大きい。莢実の発達に伴って中層が大きい構造に変化した。

このように、ダイズの群落構造は生育の進展や栽植密度によって大きく変化するが、Fig 21-Aに示すように、葉面積指数が大きく推移する密植区では最大期以降における減少速度が大きく、下位層では光の不足により急速に落葉が生じていることがわかる。また、Fig 21-Bに明らかのように、葉緑素含有率は、登熟期では密植区で低く推移しており、密植区では落葉による葉面積の減少だけでなく、光合成活性も低下しているものと推察された。

4. 栽植密度が収量及び収量構成要素に及ぼす影響

収量関連形質をTable 19に示した。収量を一義的に支配する面積当たりの総茎数と総節数についてみると、総茎数は中植区で最も多かったが、総節数は密植区で最大となるものの中植区との差はきわめて小さかった。そこ

Table 19. Effect of planting density on yield and its components.

| Plot | No. of stems /m ² | No. of nodes /m ² | No. of fertile pods/m ² | Ratio of fertile pods(%) | No. of seeds /m ² | No. of seeds /pod | Hundred seed weight(g) | Seed yield (g/m ²) |
|--------|------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------|--------------------------------|
| Low | M | 3.3 (1) | 57 (11) | 47 (7) | 68.2 | | | |
| | P | 49.3 (21) | 218 (42) | 313 (48) | 82.9 | | | |
| | S | 184.1 (78) | 240 (47) | 297 (45) | 88.4 | | | |
| T | 236.7b(100) | 515b(100) | 657b(100) | 83.6 | 1096c | 1.64a | 28.5a | 268.4b |
| Medium | M | 6.6 (2) | 110 (14) | 102 (12) | 67.6 | | | |
| | P | 102.6 (36) | 456 (56) | 502 (57) | 81.1 | | | |
| | S | 173.8 (62) | 248 (30) | 272 (31) | 87.5 | | | |
| T | 284.0a(100) | 814a(100) | 876a(100) | 81.1 | 1342b | 1.59a | 27.9a | 334.2a |
| High | M | 13.2 (6) | 232 (28) | 229 (26) | 74.6 | | | |
| | P | 158.1 (72) | 510 (62) | 585 (66) | 83.8 | | | |
| | S | 48.9 (22) | 82 (10) | 73 (8) | 91.7 | | | |
| T | 220.2b(100) | 842a(100) | 887a(100) | 81.8 | 1410a | 1.59a | 28.3aa | 342.6a |

M : main stem, P : primary branch, S : secondary branch, T : total () : relative value.

Data with the same letter are not significantly different at 5% level

で主茎と分枝の構成割合について検討してみると、疎植区では分枝、特に2次分枝の占める割合が高いが、2次分枝の割合は密植に伴って次第に減少し、密植区では大きく低下した。このことから、密植に伴う茎数や節数の変化は、主として分枝、特に高次分枝の抑制を反映しているものと解される。

次に収量構成要素についてみると、一莢粒数及び百粒重には密度間差異は認められなかったが、稔実莢数は総節数におけると同様密植区で最も多かったものの中植区との差はきわめて小さかった。また、稔実歩合は主茎で低く2次分枝で高い傾向が認められたが、平均すると密度間にほとんど差がなかった。

論 議

最高収量が得られる栽植密度（適栽植密度）に関する既往の研究報告について検討してみると、中世古⁹²⁾は正方形植の場合16個体/m²で、Wrightら¹³⁷⁾は畦間を76cmと一定にした場合26個体/m²で、大庭ら⁹³⁾は土壌肥沃度との関係から27個体/m²で最高の収量が得られたと報告している。また、池田ら⁴⁰⁾は5品種の密度反応特性を検討し、10a当たり300kg以上の収量を安定的に得るためには、25個体/m²以上の栽植密度が必要であると指摘している。本実験では、分枝型で乾物生産力の高い秋ダイズ型品種（Mc型）アキヨシの密度反応性について検討したが、子実収量は密植（13.2個体/m²）ほど増加したものの中植区（6.6個体/m²）との差はきわめて小さく、13.2個体/m²の栽植密度は最高収量が得られる限界密度に近いものと推定された。このように、本試験で得られた適栽植密度は、既往の報告と比べてかなり低いことから、ここではこの点に焦点を当てて検討しておきたい。

一般に、多収が得られた事例では、栄養生長量が大きく、最大葉面積指数も6~7の旺盛な生長を示すことが報告⁹⁹⁾されている。本実験では、中・密植区における乾物生産量は約1.1kg/m²（Fig. 19）、最大葉面積指数は6~7（Fig. 21）を示しており、栽植密度が7~13個体/m²の比較的低密度においてもかなりの栄養生長量が確保されていることがわかる。

一方、中世古⁹²⁾は、ダイズの子実収量は、個体に与えられた生育領域（密度）に対する分枝の反応性に強く規制されると指摘している。この点を Table 19 について検討してみると、面積当たりの茎数は、疎植区及び中植区では2次分枝、密植区では1次分枝の占める割合が最も大きく、総節数及び稔実莢数は密植ほど2次分枝の占める割合が減少し、中・密植区ではいずれも1次分枝が主体となっており、本試験では、分枝、特に2次分枝の生長が密度反応性を大きく左右しているといえる。池田ら⁴⁰⁾は、10a 当たり300kg以上の収量を得るためには120本/m²以上の分枝数が必要であると指摘しているが、本試験では、中植区においても2次分枝数を含めると、約270本/m²の分枝が確保されており、適栽植密度は品種の分枝性やその環境反応性によって大きく異なるものと推察される。

次に、収量構成要素についてみると、一莢内粒数及び百粒重は密度間に有意な差はなく、子実収量の密度反応は子実数、言い換えれば、稔実莢数の差を反映していることがわかる。稔実莢数は総莢数と稔実莢歩合によって規定されるが、詳細に検討してみると、稔実莢歩合は総莢数が多くなるほど低くなり ($r = -0.933^{**}$)、総莢数が1,200を越えるとそれ以上では増加しない傾向が認められた。小島ら⁹⁹⁾は総胚珠数が2,400を越えると稔実莢数に停滞が認められると報告しており、アキヨンは大部分が2粒莢であったことを考慮すると、面積当たりの莢数1,200を確保することは多収のための一要件と考えられる。また、総莢数は生育初期から開花盛期までの乾物増加量及び総節数ときわめて高い正の相関 ($r = 0.989^{**}$, $r = 0.901^{*}$) を示すほか、乾物増加量と葉面積指数との間にも $r = 0.956^{**}$ の相関が認められることから、生育前半における栄養生長の良否は莢数の確保に大きな影響を与えるものと考えられる。

以上の諸点を考慮すると、一般に高温、過湿に経過する暖地においては品種の分枝性に注目して栽植密度を決定することがきわめて重要な要件であると考えられ、密植による増収を期待するには、倒伏防止技術の開発、または品種の耐倒伏性の改善が必要である。また、密植では分枝数の少ない主莖型品種が有利であると指摘されていること⁵⁹⁾から、暖地においても短莖、主莖型品種の育成が課題と考えられる。

摘 要

秋ダイズ型品種アキヨンを供試し、栽植密度を疎植区 (3.3個体/m²)、中植区 (6.6)、密植区 (13.2) の3段階に栽培し、その密度反応性について検討した。

(1) 主莖長は密植ほど高く推移し、その差は第6節より上位の節間長の差に基づいていた。また、主莖節数は密度間に差がなかったが、個体当たり分枝数、総節数、総葉数、総莢数は密植ほど減少し、特に2次分枝の生長が大きく抑制された。

(2) 面積当たりの地上部乾物重は密植ほど高く推移したが、分枝の生長が抑制される密植区では葉の生長が早期に停止した。また莢実重は、密植区と中植区との差が小さく、他の器官に比べ密度間差異が小さかった。

(3) 疎植区では葉は比較的中層に密に分布していたが、密植ほど最大葉層が上層に移行する傾向が認められた。また、90%以上の光が吸収される層は、疎植区で上層50cm、中植区で40cm、密植区では30cmであった。

(4) 子実収量は密植区ほど高かったが、中植区との差はきわめて小さく、13.2個体/m²の栽植密度は最高収量が得られる限界密度と推定された。また、一莢粒数及び百粒重には密度間差異は認められず、子実収量の密度間差異は稔実莢数の差に起因していた。

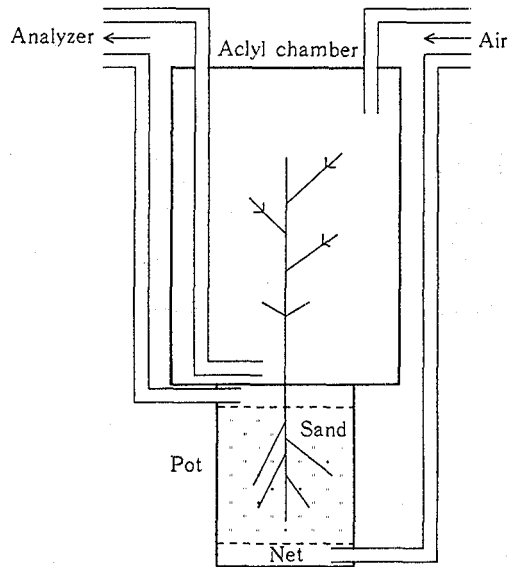


Fig. 22 Method of CO₂ exchange measurement.

第3節 窒素施用量の影響

ダイズにおける生育、収量の窒素施肥に対する反応は、研究報告によって必ずしも一致した結果が得られていない^{6 10 20 34 52.78 89 90 101 104 124 133)}。その理由は他のマメ科作物と同様に、ダイズがその生育に必要な窒素成分を吸収窒素のみでなく、固定窒素にも依存しているからである。加えて、ダイズはその子実に多量のタンパク質を蓄積することから、他の作物とは異なる窒素代謝上の特徴を有しているものと考えられている⁴⁴⁾。

そこでここでは、根粒を着生したダイズを窒素レベルを変えた培養液を用いて栽培し、生育、根粒発達、光合成、呼吸、転流などの面から窒素施用の意義について検討した。

材 料 と 方 法

供試品種としては秋ダイズ型品種アキヨンをを用いた。1988年6月28日、土壌を充填した播種箱に根粒菌の接種をかねて播種し、発芽後7日目に砂を入れた1/5000 a ワグナーポットに1個体ずつ移植し、リン酸、カリウム及び必須微量元素をすべて含む培養液によって栽培した。窒素の施用量は培養液の窒素濃度を変えることにより行い、0 (0N区)、100 (1N区)、及び200 (2N区) ppmの3段階とした。そして成熟期まで1週間に2回培養液を交換しながら栽培した。

生育調査及び試料採取は7月26日(花芽分化期, I)、8月25日(開花期, II)、9月11日(登熟初期, III)、10月12日(登熟後期, IV)、及び10月31日(成熟期, V)に5ポット(反復)を供試して行った。乾物重は70°Cで48時間、熱風乾燥器で乾燥させて測定し、葉面積は林電工製自動葉面積計(AAM-7型)を用いて測定した。

光合成及び呼吸の測定はFig 22に示したように、ポットにアクリル製の同化箱をセットし、地上部と地下部とを別々に測定できるようにした。炭酸ガスの測定には日立 VIA-300 型の赤外線分析計を用いた。

窒素成分はケルダール法、脂肪はソックスレー脂肪抽出器によって分析した。

また、I~IVの時期には¹⁴Cを供与した。その方法は第2章第3節に記したと同様である。

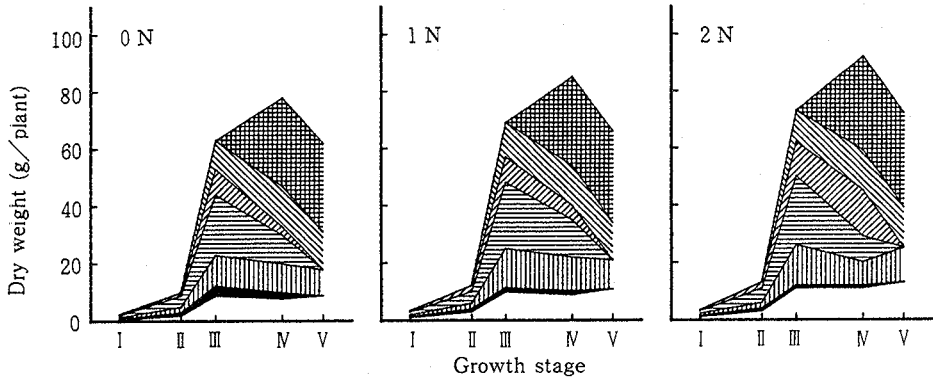


Fig. 23 Effect of nitrogen level on changes in dry weight of each organ

□ : root, ■ : nodule, ▨ : stem, ▩ : leaf blade, ▪ : petiole, ▫ : pod, ▬ : seed, I : 7/26, II : 8/25, III : 9/11, IV : 10/12, V : 10/31.

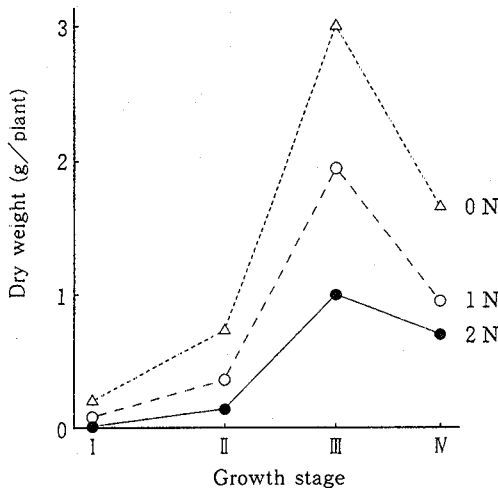


Fig. 24 Effect of nitrogen level on changes in dry weight of nodules

結果と考察

1. 窒素施肥量が乾物生産に及ぼす影響

開花期及び成熟期は窒素施用レベルによって変化しなかったが、Fig. 23に示すように、全乾物重は窒素施肥量が多くなるほど増加した。これは主として茎葉部の増加によるもので、登熟初期(Ⅲ)以降の莢実重の推移には大きな差異は認められなかった。また、これらの差異は生育前半に現れていることから、0N区では窒素固定開始前に窒素欠乏症状が発現し、施用した窒素濃度の上昇に伴って固定窒素が確保される以前の窒素ストレスが回避されたためと考えられる¹⁰⁾¹⁷⁾

一方、根粒重に及ぼす影響をFig. 24についてみると、各区とも生育に伴って増加し、登熟初期に最大になりその後急減する推移を示すが、窒素施用レベルが高い区ほど低く推移しており、根粒の着生は窒素の施用により抑制されることがわかる¹⁰⁾¹⁰⁷⁾。これを根粒着生指数(地上部重に対する根粒重の比)として比較すると、0N, 1N,

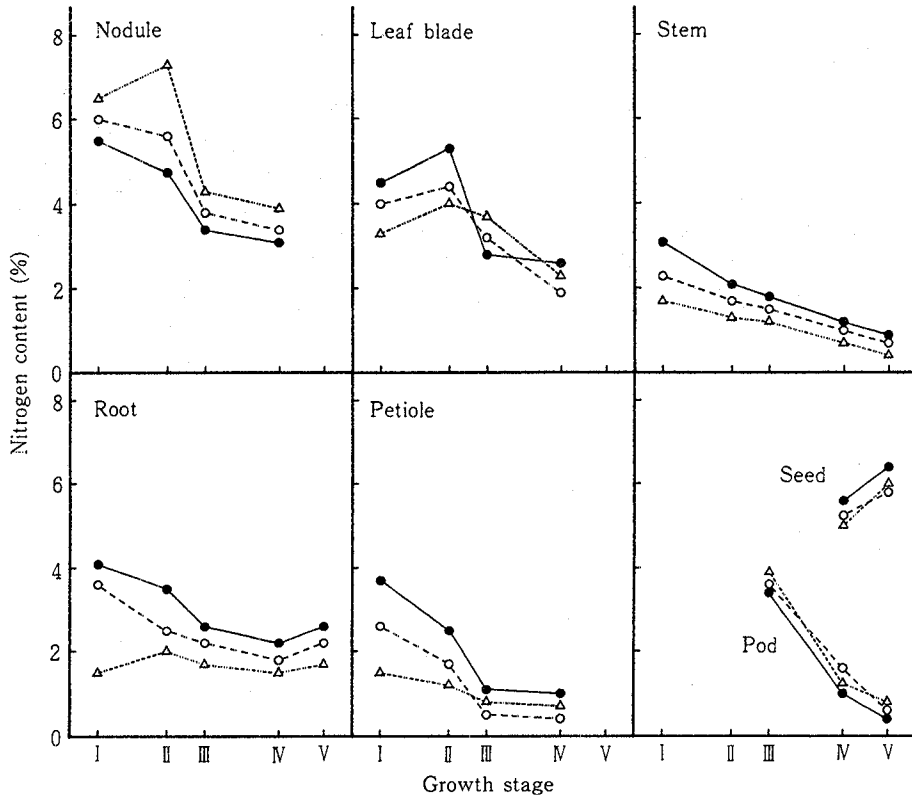


Fig. 25 Effect of nitrogen level on changes in nitrogen content in each organ
 Symbols are the same as those in Fig. 24.

2N区の順にそれぞれ、2.37-12.21, 1.28-4.49, 0.68-1.71となり、根粒着生指数は窒素施用レベルの増加に伴って大きく低下した。根粒乾物重は窒素固定能を直接表わすものではないが、固定窒素の生長への貢献度は窒素施用量の増加に伴って大きく低下するものと推察された。

2. 窒素施用量が体内成分に及ぼす影響

器官別窒素含有率の推移をFig. 25に示した。窒素含有率は子実を除く各器官で各区とも生育初期に高く、生育に伴って低下する推移を示し、特に葉では開花期以降急激に低下した。器官別では根粒で最も高く、葉柄で最も低かった。また、栄養器官の窒素含有率は窒素施用レベルが高くなるほど高く推移する傾向が認められたが、根粒においてはこれとは逆に低窒素レベルほど高く推移しており、根粒の活性は窒素施用レベルが高いほど低かったものと推察される。

各器官における全窒素含有量 (Fig. 26) は、概して各器官における乾物重の推移を反映して登熟初期まで増加し、その後減少した^{43 70 106 117)}が、特に葉での減少は栄養器官から生殖器官への窒素の転流、及び登熟初期から成熟期にかけての枯死葉の増加によるものである。花芽分化期から開花期にかけては、葉の窒素含有量は個体全体含有量の40%以上を占めたが、成熟期には全体の80%以上が子実に分布していた。

さらに、成熟期における子実内タンパク質含有率及び脂肪含有率を測定したところ (データ省略)、有意差は認

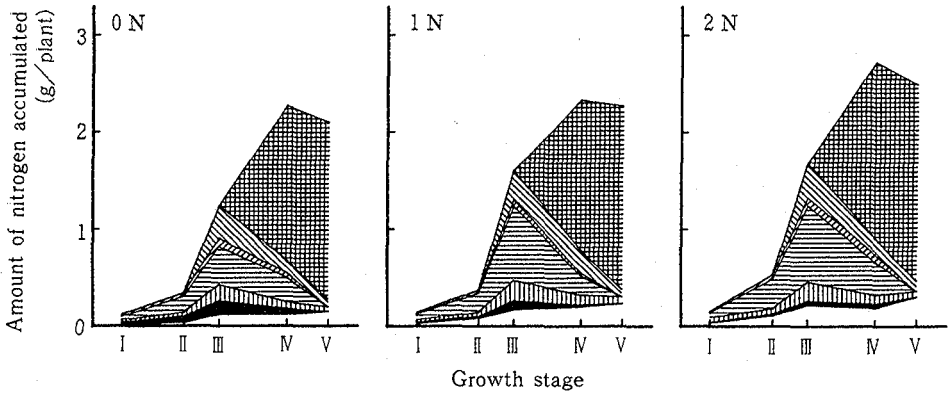


Fig. 26. Effect of nitrogen level on nitrogen accumulation in each organ.

Symbols are the same as those in Fig. 23

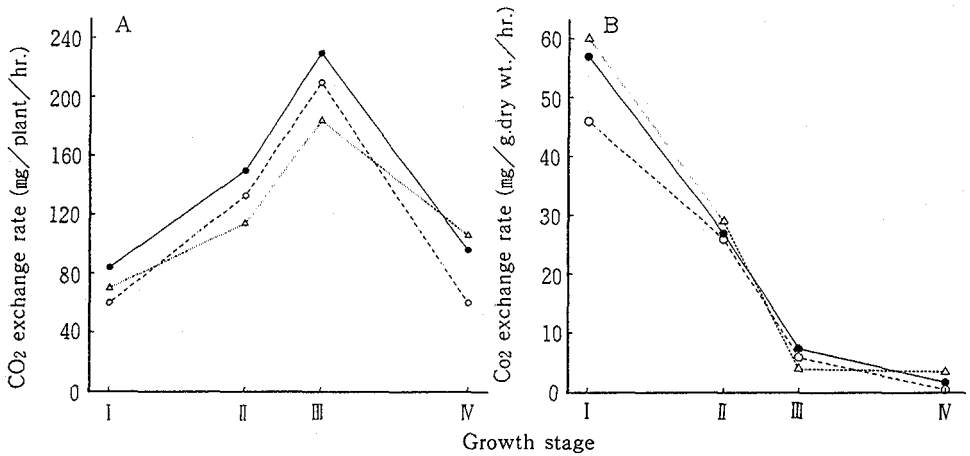


Fig. 27 Effect of nitrogen level on CO₂ exchange rates (CER) [A: per plant base, B: per dry weight base] of above ground parts

Symbols are the same as those in Fig. 24.

められないものの、子実のタンパク質含有率は2N>0N>1N区、脂肪含有率は1N>2N>0N区となる傾向があった。このことから、タンパク質と脂肪含量との合成に対し光合成産物の競合が存在するものと推察された。

3. 窒素施用量が光合成及び呼吸速度に及ぼす影響

Fig 27 は、晴天日に測定した地上部の CO₂ ガス交換速度 (CER) を示したものである。個体当たりで見ると、CER は各区とも生育に伴って上昇し、登熟初期 (Ⅲ) に最大に達した後急減した。また、登熟後期 (Ⅳ) には 0N 区で高かったが、これを除くと概ね窒素施用量の多い区で高く推移する傾向が認められた¹³⁸⁾。一方、単位乾物当りに換算してみると、CER は栄養生長期 (Ⅰ) で最も高く、登熟初期にかけて直線的に低下したが、花芽分化期を除くと処理間にはほとんど差がみられなかった。このことから、個体当たりでみた CER の処理間差は、主として各生育時期における器官の大きさや葉面積の差を反映したものと考えられる。

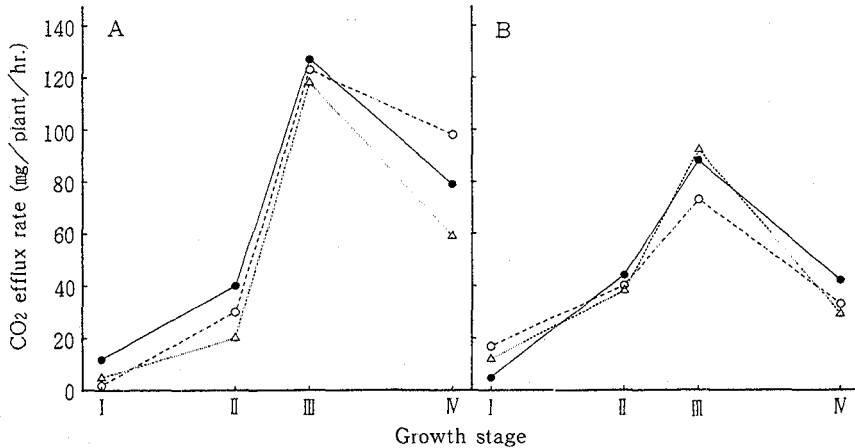


Fig 28 Effect of nitrogen level on CO₂ efflux rates of shoot (A),
and underground organs (B) under the dark conditions
Symbols are the same as those in Fig 24

ところで、本実験で測定した CER は、その測定方法 (Fig 22) から明らかなように、葉身、葉柄、茎のほか、登熟期では莢実をも含む地上部全体のガス交換速度であり、必ずしも光合成速度を表すものではない。Fig 25 に示したように、葉身の窒素含有率は、開花期 (II) までは窒素施用量の多い区ほど高く推移しており、光合成速度と窒素含有率の間には正の相関関係があることが指摘¹⁰⁰⁾されていることから、葉身の光合成速度は窒素施用区で高かったものと推察される。しかし、単位乾物当たりの CER は、開花期以降処理間に差がなかったことから、窒素の施用は登熟期間における炭素の収支にほとんど影響しないものと考えられた。

夜間に測定した個体当たりの CO₂ 排出速度 (呼吸速度) を Fig 28 に示した。個体の呼吸速度は、地上部、地下部とも生育量の拡大に伴って上昇し、登熟初期に最大に達した後減少したが、概ね 2N 区で高く推移する傾向が認められた。また、平均すると開花期までは地下部の呼吸速度が地上部を若干上回っていた。一方、呼吸速度を単位乾物当たりに換算してみると (Fig 29)、地上部、地下部とも生育に伴って低下し、各生育時期とも地下部で高かった。また、開花期までは、地上部では生育が旺盛な 2N 区で高かったが、地下部では逆に 0N 区で高く、窒素施用量が多い区ほど低かった。この原因の詳細は明らかではないが、山口ら¹³⁹⁾は根粒の呼吸速度は根の 3~4 倍に達すると指摘しており、根粒の着生は 0N 区で多かったことから、根粒の呼吸速度を反映しているものと推察された。

4. 窒素施用量が同化産物の子実への転流に及ぼす影響

各生育時期に供与した ¹⁴C のオートラジオグラフを検討してみると、¹⁴C は、花芽分化期に供与した場合、子実中には全く検出されず、開花期でも 2N 区でわずかに検出されたに過ぎなかった (データ省略)¹¹⁹⁾¹²⁰⁾。しかし、Fig 30 に示すように、登熟初期及び後期に供与した ¹⁴C は各節の子実にかなり分布しており、登熟後期でより多く、子実の肥大は登熟期間における同化産物の転流によって賄われていることがうかがえる。主茎、1 次分枝及び 2 次分枝の各節に形成された子実における ¹⁴C 分布パターンについて検討してみると、登熟初期では 1N 及び 2N 区では主茎最上位節で多く、2N 区では上位節の 1 次分枝への分配が少ない傾向が認められた。また、登熟後期では、1N 区で転流量自体が少なく、特に 2 次分枝への分配割合が少ないほか、2N 区で 1 次分枝への分配が他の区に

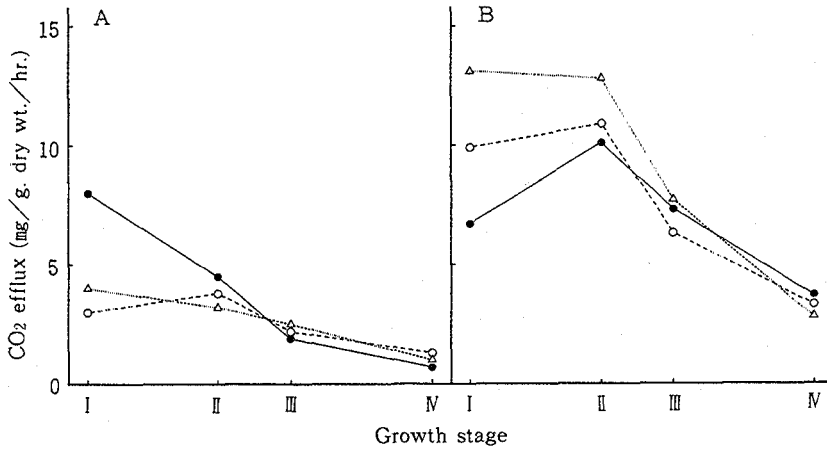


Fig 29. Effect of nitrogen level on changes in respiratory rate of shoot (A), and underground organs (B) under the dark conditions.

Symbols are the same those in Fig 24.

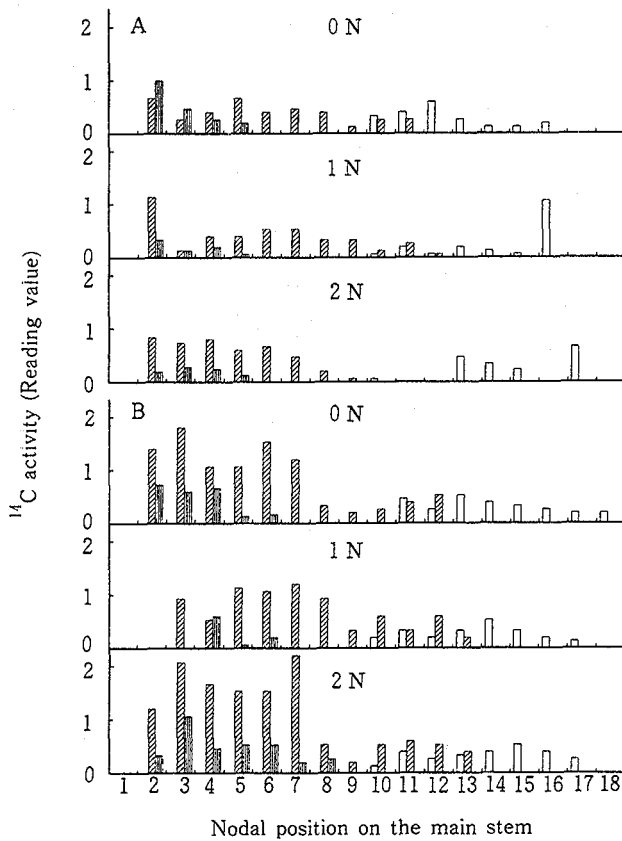


Fig 30. Effect of nitrogen level on amount and distribution pattern of ¹⁴C activity in the seeds fed at early (A) and late (B) pod filling stage of growth.

□ : main stem, ▨ : primary branch, ▩ : secondary branch.

Table 20. Effect of nitrogen level on yield and its components.

| Treatment | Seed yield (g/plant) | | | | No. of pods per plant | No. of seeds per pod | Hundred seed weight (g) | Harvest index |
|-----------|----------------------|-------|------|--------|-----------------------|----------------------|-------------------------|---------------|
| | M | P | S | Total | | | | |
| 0N | 3.1b | 20.4b | 6.7a | 30.1b | 86.1b | 1.83a | 19.1b | 0.59a |
| 1N | 4.5a | 23.4a | 3.5c | 31.4ab | 88.9ab | 1.78a | 19.8b | 0.57ab |
| 2N | 4.5a | 23.7a | 4.1b | 32.6a | 90.4a | 1.82a | 21.1a | 0.55b |

M: main stem, P: primary branch, S: secondary branch.

Data with the same letter are not significantly different at 5% level

比べ大きい傾向が認められた。しかし、相対的な分布パターンは3区とも類似していた。

5. 窒素施用量が収量及び収量構成要素に及ぼす影響

収量及び収量構成要素を Table 20 に示した。子実収量は、2次分枝では0N区で、主茎及び1次分枝では窒素施用区で高く、個体当たり収量は窒素施用量の多い区で高かった。しかし、無窒素区(0N)の収量は、1N区の4.1%、2N区の7.1%減にとどまっており、サイズでは根粒による窒素固定の役割がきわめて大きいことがうかがえる。収量構成要素についてみると、百粒重は2N区で若干高い傾向が認められたが、一莢内粒数には有意差はなく、収量は概ね莢数の差を反映していた。また、収穫指数は、収量とは逆に窒素施用区で小さく、窒素の施用は栄養器官の生長は促進するが、子実重への効果はきわめて小さいことが示唆された^{100,122)}

論 議

Deibertら¹⁷⁾及び田中ら¹²⁴⁾は、サイズにおいては、窒素の施用は子実収量をほとんど、あるいは全く増加させないと報告している。本実験においても、子実収量は窒素施用区で多かったものの、その増収効果は小さく、根粒による窒素固定の役割はきわめて大きいことがうかがわれたが、ここでは、窒素施用の生育に及ぼす効果について若干考察を加えておきたい。

Fig 23 に示したように、茎葉の生長量は窒素施用区で増加したことから、サイズにおける基肥の施用は根粒が着生するまでの、いわゆるスターターとしての役割を果たしているが、過剰の窒素施用は根粒の着生を大きく抑制(Fig 24)するものと考えられる。また、各器官の窒素含有率の推移(Fig 25)を詳細に検討してみると、茎葉部と根では窒素施用区で高く推移するが、根粒では逆に無施用区で高く、窒素の施用は根粒の着生量だけではなく、その固定能をも低下させるものと推察される。

一方、地上部が最大となった登熟初期以降について検討してみると、光合成の場である葉身の窒素含有率は開花期を境に窒素施用区で低く推移する傾向があり、窒素施用が光合成機能に及ぼす効果は登熟期に入るとほとんど消失するものと考えられる。事実、登熟初期以降における莢実重の増加には処理間差がほとんどなく、同化産物の各子実への分配パターンにも無施用区と大きな差異が認められなかった。

以上のように、サイズでは窒素の供給と窒素固定を行っている根粒の発達との間には相反する関係が存在し、サイズの窒素代謝はきわめて複雑であること¹²⁴⁾が示唆される。東北、北海道に比べ、高温、過湿に経過する暖地においては、過剰の窒素施用は栄養生長を刺激することが指摘されている⁴⁴⁾ことから、播種期や栽植密度との関連において窒素施用法の確立はきわめて重要である。そこで、次章では根粒着生と窒素栄養との関係をさらに詳細に検討することとした。

摘 要

根粒を着生させたダイズ品種アキオンを窒素レベルを変えて栽培し、窒素の施用が生育量、体内成分、CO₂代謝、同化産物の転流及び子実収量に及ぼす影響について検討した。

(1) 窒素の施用は栄養生長量を増加させたが、莢実重に及ぼす効果はきわめて小さかった。また、根粒乾物重は窒素の施用により著しく抑制された。

(2) 茎葉部及び根の窒素含有率は、窒素施用量の増加に伴って高くなったが、根粒では逆に低下した。また、葉身では開花期を境に低下し、登熟期間中は無施用区をやや下回った。

(3) 地上部における個体当たりのガス交換速度は、器官の大きさや葉面積の差を反映して窒素施用区で高かったが、乾物当たりでは花芽分化期を除くと処理間に差がなかった。また、単位乾物当たりの呼吸速度は、地上部に比べ地下部で大きく、根粒の呼吸速度を反映しているものと推察された。

(4) 各生育期に¹⁴Cを供与して子実への転流パターンを検討したところ、子実肥大は登熟初期以降の同化産物によって賄われていることが明らかになった。また、¹⁴Cの各節における子実の分布パターンには大きな処理間差が認められなかった。

(5) 子実収量は窒素施用量が多い区ほど高かったが、無窒素区(0N)の収量は1N(100ppm)区の4.1%、2N(200ppm)区の7.1%減にとどまり、根粒による窒素固定の役割がきわめて大きいことがうかがえた。

第4章 根粒着生と窒素栄養との関係

前章第3節で述べたように、ダイズはその生育に必要な窒素を土壌中からの吸収ばかりでなく、共生する根粒菌が固定した窒素に大きく依存している。そのため、ダイズの窒素施肥に対する反応は他作物に比べて鈍く、土壌の肥沃度に対する依存性が高いといわれている。従って、ダイズの増収を図るためには、吸収窒素と固定窒素との栄養生理学的意義を十分に把握することがきわめて重要となる。

この分野においては、近年になってとみに関心が高まり、数多くの研究成果が蓄積され始めている。それらの研究成果は、1) アセチレン還元法によるもの^{8 34 80)}、2) 重窒素利用法によるもの^{49 50 51 90 105)}、及び、3) 根粒非着生系統を利用したもの^{10 19 20 70 71 74 78 125 134 135)}、等に大別される。

これらの研究成果を背景として、ダイズの窒素施肥に関しては異なった2つの意見がある。その一つは、根粒菌の固定窒素を最大限に利用するため、施肥窒素をひかえるべきだとするものであり、他の一つは施肥窒素の吸収を中心にしてダイズの増収栽培体系を確立すべきだとするものである。

ここではこれらの論点に焦点を当て、まず根粒非着生系統を利用して、根粒の有無がダイズの窒素栄養に及ぼす影響を検討し、次いで、アセチレン還元法と重窒素法を用いて吸収窒素と固定窒素の動態について検討を行った。

第1節 根粒着生の有無が生育及び体内成分に及ぼす影響

前述したように、ダイズの窒素栄養は著しく複雑でかつ特異的な側面を持っているため、根粒菌共生の意義についての報告は多い^{10 19 34 43 47 70 71 125 134 135)}。しかし、ダイズの乾物生産や子実生産の面から根粒菌共生の意義を論じたものは串崎ら⁷⁰⁾、及び田中ら¹²⁵⁾の報告をみるに過ぎない。本節では根粒着生及び非着生の同質遺伝子系統を利用した接木実験を行い、生育、収量、体内成分の面から根粒菌共生の意義を解明しようとした。

材 料 と 方 法

著者は、同質遺伝子系統である根粒着生系統 T202 と非着生系統 T201 を直接比較する試験を実施したが、生態型が暖地の環境に適應せず、満足のいく生育を示さなかったことから、接木植物を利用することとした。

すなわち、T201、T202 を地下部(台木)とし、それぞれに秋ダイズ型品種アキヨンを地上部(接穂)とした接木植物を育成し、実験を行った。その結果、T201 を台木とした場合には全生育期間を通じて根粒着生が認められず、T202 を台木とした場合には多量の根粒着生が認められた。

接木の方法について述べると、まず台木とする T201、T202 を1976年6月12日に、次いで接穂とするアキヨンを6月17日にそれぞれ播種し、アキヨンの子葉が展開した6月23日に上胚軸の部分で割接を行った。その後は十分に灌水し、寒冷紗を覆って活着を促進させた。

次に7月1日、活着した個体の中から平均的な個体を選び根をよく水洗した後、直径30cmの植木鉢に2個体ずつ移植した。肥料は基肥として硫酸1.7g、過リン酸石灰4.2g、硫酸カリ1.7gを施し、8月20日(開花盛期)に追肥(硫酸1.0g)を施した区を加え、計4区を設けた。

調査は7月1日(移植日, I)、7月20日(生育初期, II)、8月6日(花芽形成期, III)、8月21日(開花盛期, IV)、9月6日(開花終期, V)、9月21日(登熟期, VI)、11月3日(成熟期, VII)の7回にわたって行っ

た。すなわち、生育のよく揃った3鉢(反復)6個体について生育状況を調査した後、器官別に凍結乾燥して乾物重を測定し、その試料を粉砕して分析に供した。

分析方法について述べると、葉緑素は生葉を用い、80%アセトンで抽出後、比色法(波長660nm)で、C、Nは柳本工業製の元素分析計(CHNコーダー)によって定量した。また、各鉢を反復(3反復)とし、統計分析を行った。

結果と考察

1. 根粒着生の有無が生育並びに乾物生産に及ぼす影響

形態形質と器官別乾物重の推移を Fig 31 及び Fig 32 に示した。形態形質及び茎葉の乾物重は、生育初期(Ⅱ期)までは根粒着生系統 T202 を台木とした接穂個体(以下着生区)で生育がやや良好であったが、非着生系統 T201 を台木とした接穂個体(以下非着生区)との差は比較的小さく、有意差は認められなかった。しかし、分枝数、葉数、及び茎葉乾物重は生育が進むにつれて差が顕著となり、茎葉の生長が完了する開花終期(Ⅴ)では非着生区の生育量は着生区の約1/2となった。Fig 33 に示したように、非着生区における葉緑素含有率は、移植後20日目の花芽形成期(Ⅲ)では着生区の1/5まで低下し、その後回復が見られないほか、非着生区では生育後期に茎色が赤褐色を呈し、明らかな窒素欠乏症状が認められた。このことから、非着生区では窒素欠乏により葉緑素の合成が阻害され、光合成が低下して生育が著しく抑制されたものと推察された。

一方、これら両区を追肥区と比較してみると、非着生区では追肥効果が認められ、葉身は緑色を回復し、生育も良好となったが、着生区では、根粒重(乾物)が減少し、その効果は非着生区に比べて小さかった。鎌田⁴⁷⁾及び田中ら¹²⁴⁾は、ダイズでは窒素施肥が根粒の着生と活性を低下させると報告していることから、着生区では追肥により同様の現象が生じたものと考えられる。また Bhangoora¹⁰⁾、Olsen ら¹⁰¹⁾及び Weber¹³⁵⁾も、窒素施与量が多くなるに従って根粒による固定窒素の占める割合が低下することを指摘している。

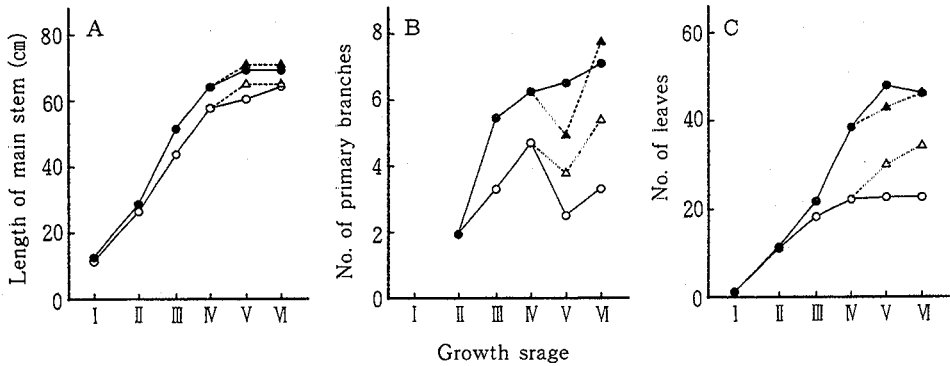


Fig 31. Changes in length of main stems (A), and the numer of branches (B), and leaves (C) of the scion (Akiyoshi) grafted on nodulating (T202) and 'non-nodulating (T201) isolines (stock).

○ : non-nodulating stock (T201),

● : nodulating stock (T202),

△ and ▲ : with topdressing

I : 7/01, II : 7/20, III : 8/06, IV : 8/21,

V : 9/06, VI : 9/21, VII : 11/03.

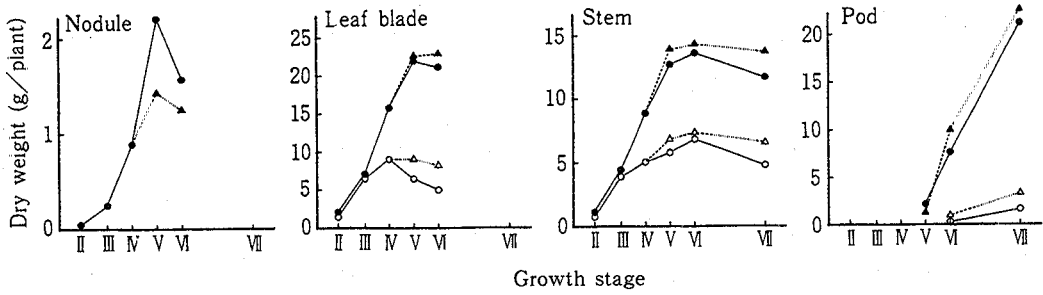


Fig 32. Changes in dry weights of each organ of the scion (Akiyoshi) grafted on nodulating (T202) and non-nodulating (T201) isolines (stock). Growth stages and symbols are the same as those in Fig 31.

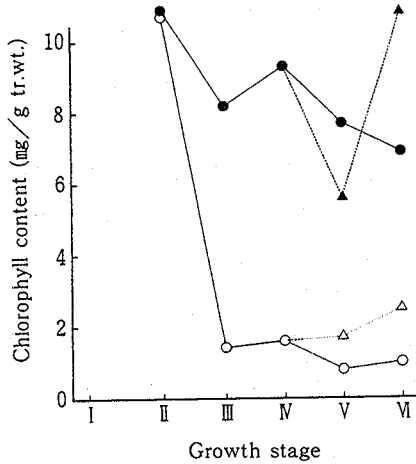


Fig 33. Changes in chlorophyll content in leaf blades of the scion (Akiyoshi) grafted on nodulating (T202) and non-nodulating (T201) isolines. Growth stages and symbols are the same as those in Fig 31.

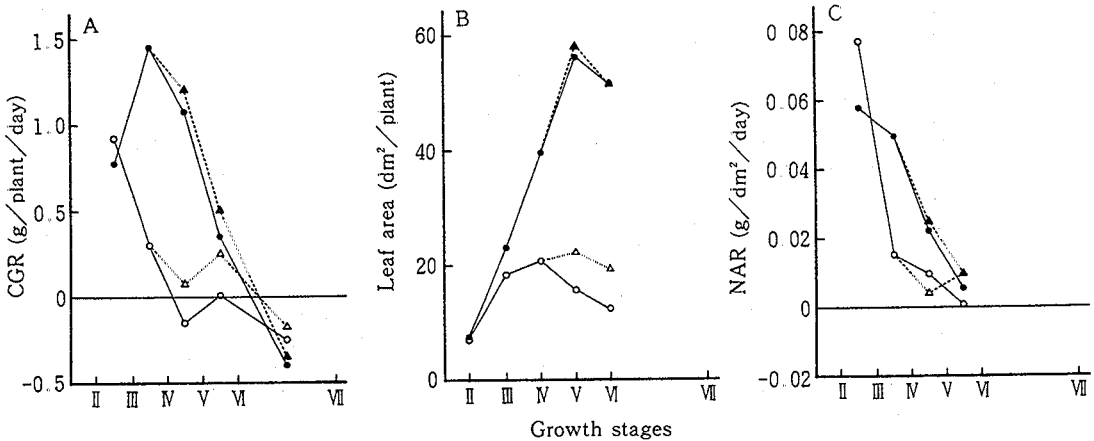


Fig 34. Changes in crop growth rate (CCR, A), leaf area (B) and net assimilation rate (NAR, C) in the grafting plants. Growth stages and symbols are the same as those in Fig 31.

次に、生長パラメータの推移 (Fig. 34) についてみると、CGRは非着生区では生育初期に高く着生区と差がなかったが、その後急減したのに対し、着生区では生育初期から開花期にかけて上昇し、その後低下するパターンを示し、両者の間に著しい差が認められた。また、追肥はいずれの場合にもCGRを高めたが、その原因は非着生区では葉面積、着生区では葉面積とNARの増加に基づくものであった。

以上のように、乾物生産の面からみると、生育初期には根粒菌とダイズとの間に養分の争奪が行われ、根粒菌の寄生的関係はダイズの生育に必ずしもプラスに作用していないが¹⁹⁾、その後、根粒が肥大し、窒素固定が活発となり真の共生関係が確立されると、乾物生産面で着生区と非着生区との間に著しい差が生じることがわかる。また追肥の効果は、着生区、非着生区ともに認められ、その程度は非着生区で顕著であったが、期待されたほど大きくはなかった。

2. 根粒着生の有無が開花・結実に及ぼす影響

開花の状況をFig. 35についてみると、着生区では非着生区に比べ、開花始めが3日早く、終花期は9日遅くなり、開花期間は12日長かった。また個体当たりの開花総数は着生区で209個であったが、非着生区では122 (58%) 個と著しく少なかった (Table 21)。次に追肥の効果についてみると、着生区ではほとんど変化が認められなかったのに対し、非着生区では開花期間が10日延長され、開花数が139個と14%増加した。

これまで明らかにしたように、ダイズの開花数は開花前の乾物生産と密接に関連している。しかし、本実験の場合、開花前の乾物重における両区の差は比較的小さく、開花数には予期し得ないほどの差異が認められたことから、根粒の着生はその窒素代謝を通じて花芽の分化に特異な影響を及ぼすことが示唆される。そこでTable 21に示した収量と収量構成要素について検討してみると、一莢内粒数には区間差は認められなかったが、根粒の欠除は開花数のみならず、結莢率の著しい低下による莢数の減少、及び子実数、百粒重の減少を伴い、個体当たり子実重が大きく低下した。一方、追肥の影響についてみると、着生区、非着生区ともその効果がみら

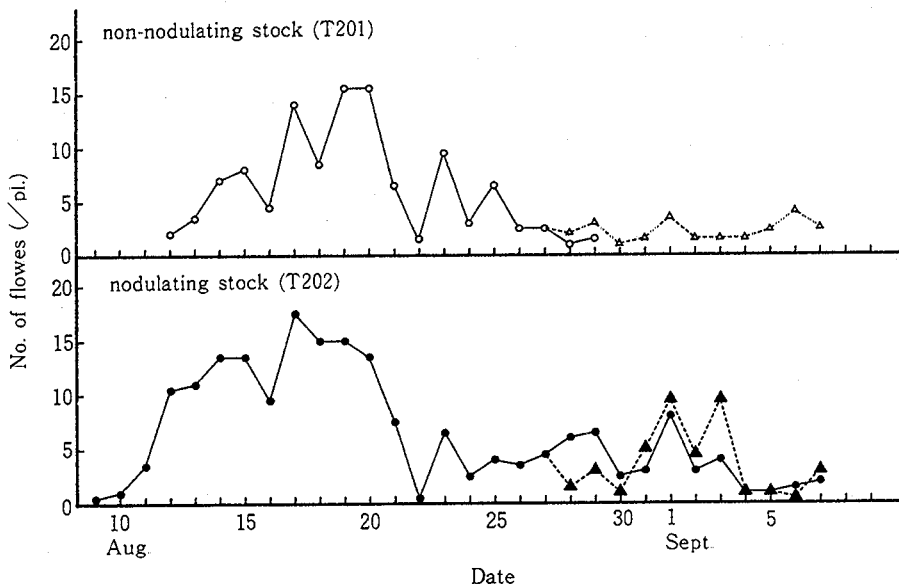


Fig. 35. Changes in number of flowers of the scion (Akiyoshi) grafted on nodulating (T202) and non-nodulating (T201) isolines (stocks).

Table 21. Yield and its components of the scion (Akiyoshi) grafted on nodulating (T202) and non-nodulating (T201) isolines (stock).

| Plot | Seed | No. of | No. of | Podding | No. of | Hundred | No. of |
|----------------|--------|----------|--------|------------|--------|----------|--------|
| | yield* | flowers* | Pods* | percentage | seeds | seed | seeds* |
| | g | | | % | g | | |
| A ₁ | 1.2 d | 122 b | 5.0 c | 4.1 d | 1.56 a | 20.9 c | 7.8 c |
| A ₂ | 5.6 c | 139 b | 13.5 b | 9.7 c | 1.50 a | 21.7 b c | 20.3 b |
| B ₁ | 14.5 b | 209 a | 43.0 a | 20.6 b | 1.66 a | 22.4 b | 71.3 a |
| B ₂ | 15.8 a | 203 a | 47.0 a | 23.5 a | 1.58 a | 24.4 a | 75.0 a |

* : per plant.

A : non-nodulating stock (T201), B : nodulating stock (T202).

1 : without topdressing, 2 : with topdressing

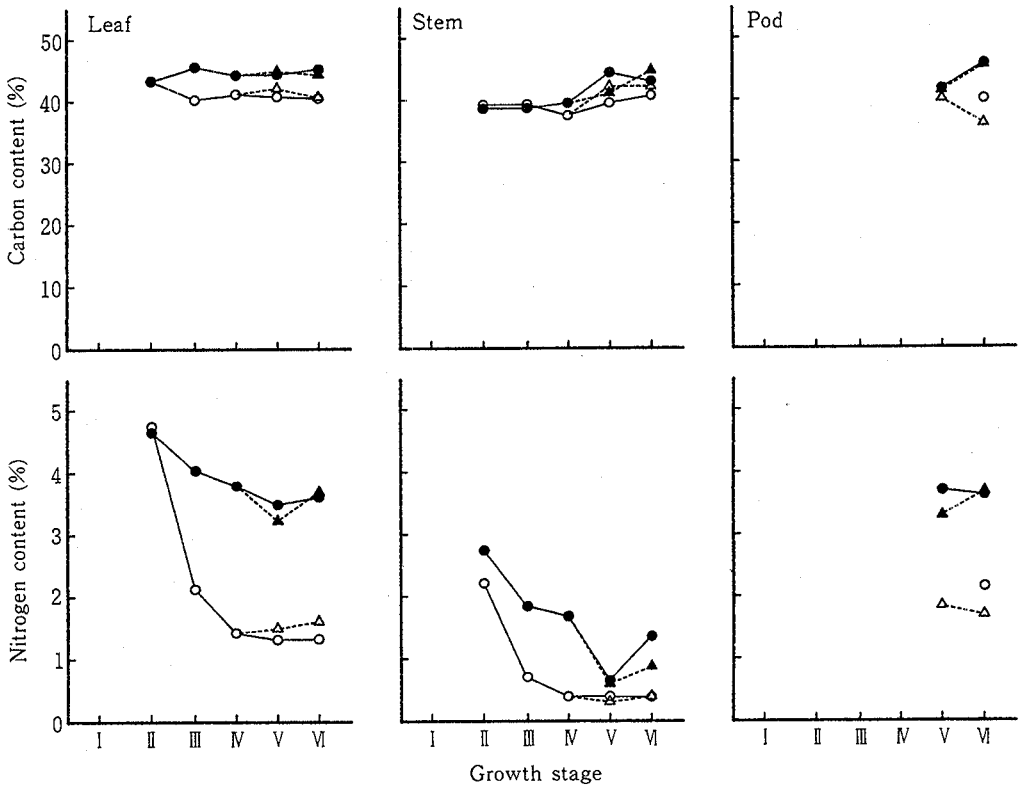


Fig 36. Changes in carbon content (upper) and nitrogen content (lower) of leaf, stem and pod of the scion (Akiyoshi) grafted on nodulating (T202) and non-nodulating (T201) isolines (stock).

Growth stages and symbols are the same as those in Fig 31.

れ、特にその程度は非着生区において大きかったが、その効果は着生区に遠く及ばなかった。橋本³⁴⁾は根粒非着生系統に対し、全生育期間を通じて多量の窒素を供給すれば、根粒着生系統に劣らない程度の子実収量が得られるが、生育前半に窒素が不足する場合にはその効果がほとんどみられないと報告しており、本研究においても同様の結果が得られた。

これらのことから、根粒による固定窒素は花芽形成、及び開花・結実など、特に子実の生長にきわめて大きな役割を担っており³⁴⁾、施肥窒素では補い得ないほどの効果を有していることがうかがえる。すなわち、ダイズに根粒が存在しない場合、たとえ追肥を施しても、子実生産にみるべき効果はなく、子実生産は根粒の固定する窒素に大きく依存していることが明らかとなった。

3. 根粒着生の有無が炭素及び窒素含有率に及ぼす影響

炭素及び窒素分析の結果を Fig 36 に示した。まず炭素含有率についてみると、葉身においては生育に伴う変動が小さく、着生区でやや高く推移したものの、追肥の効果はほとんど認められなかった。茎では着生区で開花終期まで漸増し、その後若干減少したが、非着生区では大きな変動がなかった。また開花始期までは非着生区が、その後は着生区が高く推移するのが特徴で、追肥の効果は認め難かった。莢(子実を含む)においては着生区で成熟に伴い増加し、非着生区に比べ高い値を示した。

次に窒素含有率の推移について述べると、まず葉身では、両区とも初期に高く、以後次第に低下する推移を示し、着生区で非着生区に比べ著しく高く推移した。また追肥の効果は着生区ではほとんどなく、非着生区でやや増加する傾向が認められた。茎においては、葉身の場合とほぼ同様の傾向を示したが、着生区では終花期から登熟初期にかけて一時的に増加した。これは玉置ら^{122 123)}及び戸苅ら¹²⁹⁾が指摘しているように、窒素成分の一時的蓄積とみられるが、非着生区ではこの現象は認められなかった。莢においては変動が小さく、着生区が非着生区に比べかなり高い値を示した。

論 議

根粒着生系統及び非着生系統を台木とした接穂植物の窒素成分は台木における根粒着生の有無によって顕著な差異が認められた。今、根粒着生区及び非着生区における接穂全体に含まれる窒素の量を計算し、前者から後者を差し引いたものを根粒の固定窒素量と仮定し、着生区全体の窒素量に占める割合を算出してみると¹³¹⁾、生育初期には約2%に過ぎなかったが、その割合は生育に伴って急激に増加し、開花盛期には約41%、開花終期には約67%、その後は72~80%となり、追肥を施した場合にはいずれもその割合が低下する傾向が認められた。これを根粒菌に対するダイズの依存度と考えると、形態、乾物生産、開花、結実における両区の差とよく一致しており、根粒菌の固定する窒素は特に後期生育、すなわち子実生産に対してきわめて大きな役割を演じていることがうかがえる。このことは、一方では根粒の活性が衰える開花期後では追肥の効果が期待されるが、開花期までの窒素の蓄積量との関係^{122 129)}や、根系機能の低下(老化)などによる吸収不良等もあり、子実生産に対する窒素栄養の問題はなお複雑なものと考えられる。この点については次節で詳細に検討したい。

摘 要

根粒の有無がダイズの生育、開花結実、炭素及び窒素成分に及ぼす影響を明らかにするため、根粒着生(T202)並びに非着生(T201)の同質遺伝子系統を台木とし、栽培品種アキヨシ(秋ダイズ型)を接穂とする接木

植物を育成して実験を行った。また、それぞれに対して窒素追肥を行った場合についても検討した。

(1) 生育と乾物生産からみると、生育初期には根粒着生の有無による差異は小さかった。しかし、生育が進むにつれて着生区で大きく優った。これらに対する追肥により、着生区では根粒重が低下したため非着生区に比べてその効果が小さかった。

(2) 開花は非着生区において遅延し、開花期間も短く、かつその数も少なかった。収量構成要素、特に結莢率は非着生区で著しく低下し、窒素を追肥しても着生区の無追肥の値に遠く及ばなかった。

(3) 炭素及び窒素含有率は各器官とも着生区で高く推移し、特に窒素含有率は著しく高かった。この差異は生育が進むにつれて拡大した。追肥の効果は着生区ではほとんど認められず、非着生区では葉の窒素含有率がやや上昇した。

(4) 以上より、根粒菌の固定する窒素は生育前半よりも後期生育、すなわち子実生産に対して重要な役割を演じているものと推察された。

第2節 窒素栄養における吸収窒素と固定窒素の意義

前節では、根粒菌による固定窒素はダイズの子実生産にとってきわめて重要な役割を演じていることが明らかとなったが、吸収窒素が各生育段階でどのような役割を演じているのかについては不明な点が多い。特に高温・過湿に経過する西南暖地では過剰の窒素施用は過繁茂、倒伏を招くことから、吸収窒素と根粒菌による固定窒素との関係を栄養生理学的に詳細に把握しておくことがきわめて重要である。

そこで、ここではポット栽培したダイズを対象に、生育を継続している状態でアセチレン還元力を測定するとともに、重窒素をトレーサーとして供与し、根粒による固定窒素と、根による吸収窒素の動態を検討し、ダイズの子実生産における根粒菌共生の意義を明らかにしようとした。

材 料 と 方 法

中間ダイズ型品種、アキシロメを1989年6月20日、ダイズ栽培前歴のある水田土壌を用いて調製した砂壤土を入れたプラスチック製の育苗箱（内り43×33×10cm）に播種した。育苗箱には1箱当り48粒（栽植密度5×5cm）を播種し、ガラス室内において無肥料で育苗した。6月30日（第1本葉展開始め、播種後10日）に生育の揃った苗の根を水洗した後、川砂をつめた1/5000aワグナーポット（Fig. 38参照）に移植した（1個体/ポット）。なお、移植時の苗の根にはすでに根粒の着生がみられた。

移植後4日目までは、1日当り400mlの水を供給し、その後5日目から400mlの培養液を与えた。培養液は3日ないし4日毎に更新し10月23日の収穫調査まで網室内で栽培した。なお、培養液の交換に当たっては、水耕液を十分に水で洗い流した後、水を切ってから更新した。また、生育の進行に伴って、蒸発散がさかんになったため、水道水を適時補給して一定の水位を保つようにした。

調査は7月10日（生育初期、I）、7月26日（花芽分化期、II）、8月9日（開花始期、III）、8月23日（開花盛期、IV）、9月6日（登熟初期、V）、9月20日（登熟中期、VI）、10月6日（登熟後期、VII）、10月23日（成熟期、VIII）の8回行った。調査方法は、地上部については、形態形質を調査した後、各器官別（落葉を含む）に乾物重を測定し、粉碎して化学分析に供した。

次に、重窒素利用法による窒素吸収量並びに窒素固定量を求める方法について述べると、生育各期にそれぞれ

生育中庸なポットを6個選び、培養液（N：150ppm，P：10ppm，K：100ppm，その他の必須元素をすべて含む）中に含まれる $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を重窒素(^{15}N)10%を含む $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ と交換し、2週間（4回）与えた。2週間後、3個体（反復）は形態形質調査、並びに試料採取に供試した。残りの3個体についてはポット内に ^{15}N 培養液が残らないように十分水洗いした後、通常の ^{14}N 培養液に戻し、収穫期まで栽培を続けた。そして重窒素を定量し、 ^{14}N 培養液で栽培したものとの差をその期間における吸収窒素量とした。さらには全窒素増加量から吸収窒素増加量を差し引いたものを固定窒素量とした。

アセチレン還元法による窒素固定量の測定法

次の通りである。まずFig. 37に示したポットの下部からアセチレン10%を含む空気を上部のパイプを開放した状態で導入し、ポット内部の気体が十分に置換された後、全体を密閉した。4時間後、上下のパイプをガスクロマトグラフに装着したガスサンプラーに接続してポット内部の気体を循環させ、その気体1mlの生成エチレン量をガスクロマトグラフで定量した。

次に、窒素の分析方法について述べると、全窒素は粉碎した乾燥試料500mg（500mgに満たないものは全量）について、ケルダール法（ガンニング変法）で定量した。重窒素はケルダール分解後、0.1N塩酸中に蒸留し、濃縮した試料について、熊沢式N-15試料調整装置で放電管を作製し、発光分光法（昭光通商，N-15アナライザ，N150型）によって重窒素の存在比を測定した。

結果と考察

1. 各器官における全窒素含有率及び含有量の推移

各器官における窒素含有率の推移をFig. 38に示した。栄養器官である葉身、葉柄、茎では主茎、分枝とも生育初期に高く、生育に伴い低下した。また、莢を含めると、概ね登熟初期（V）を境に低下の程度が大きく、その後発育する子実では6%前後ではほぼ一定に推移していることから、登熟初期を境に各器官から莢を通して窒素が子実に転流することがうかがえる。また、葉身、葉柄、及び茎では全生育期間を通して、主茎に比べ分枝で高か

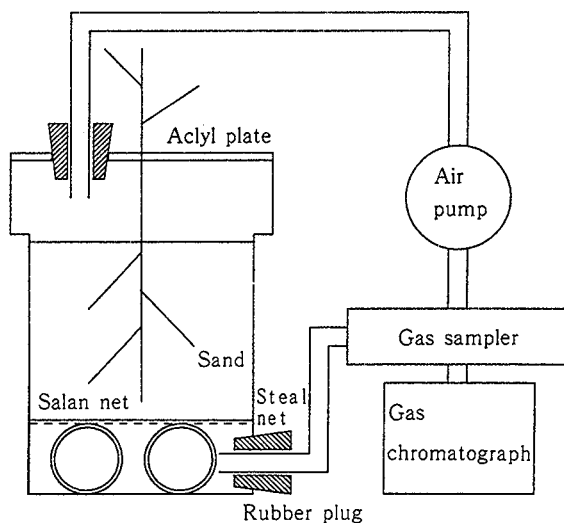


Fig. 37. Apparatus for measuring acetylene reduction assay.

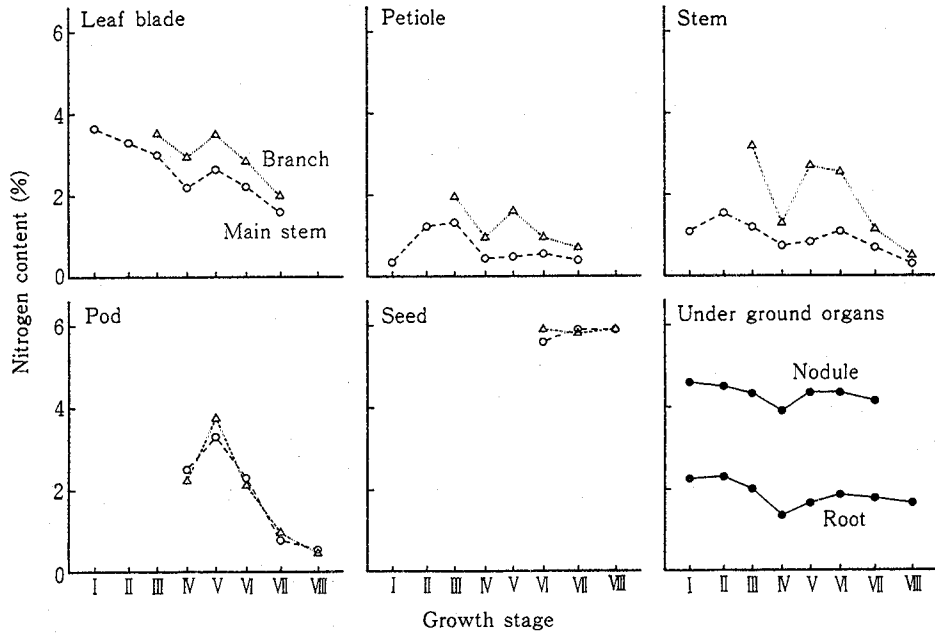


Fig 38 Changes in nitrogen content in organ

I : 7/10, II : 7/26, III : 8/09, IV : 8/23,
 V : 9/06, VI : 9/20, VII : 10/06, VIII : 10/23.

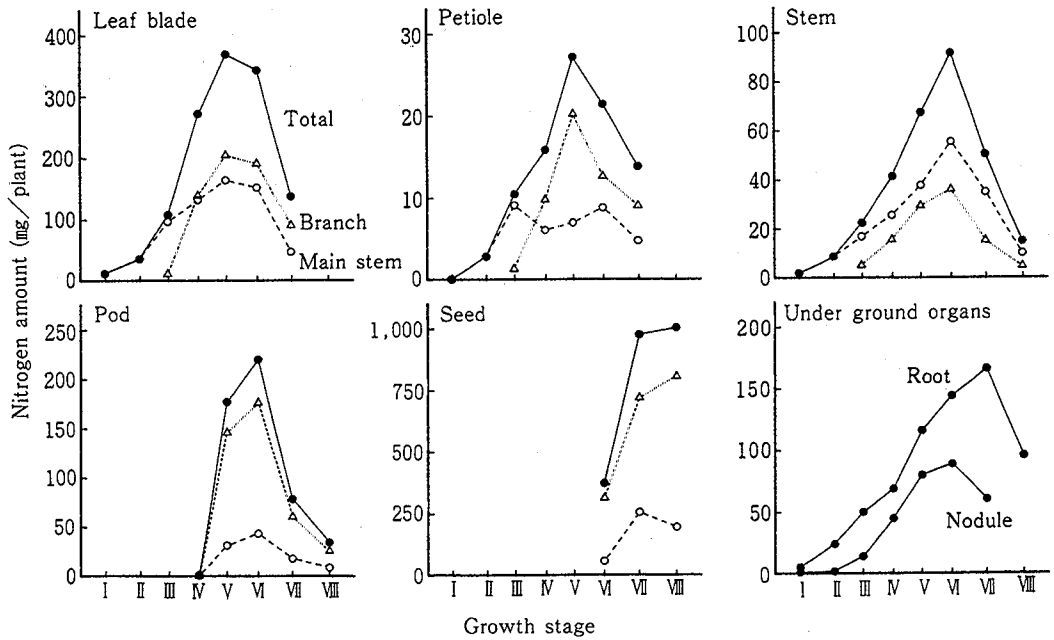


Fig 39. Changes in the amount of nitrogen in each organ.

Growth stages are the same as those in Fig 38.

ったが、莢及び子実では差異が認められなかった。一方、根及び根粒では開花盛期（Ⅴ）に一時的低下が認められるものの、生育に伴ってゆるやかに低下した。

次に、各器官における窒素含有量の推移を Fig. 39 についてみると、葉身では、主茎、分枝ともに登熟初期（Ⅴ）まで急激に増加した後、登熟後期（Ⅶ）にかけて急減した。葉柄では、含有量は少なかったが、葉身と同様、登熟初期まで増加し、その後減少した。一方、茎及び莢では葉身とやや異なり、登熟中期（Ⅵ）まで増加した後急激に減少した。また、子実では、他の器官とは対照的に登熟中期から成熟期にかけて急増した。このことは、葉身に蓄積されていた窒素が登熟初期から後期にかけて子実へ転流していることを示している。根では登熟後期（Ⅶ）、根粒では登熟中期（Ⅵ）まで増加を続け、その後減少した。

2. 個体当たりアセチレン還元量と根粒比活性

Fig. 40 に個体当たりアセチレン還元量及び根粒 1 g 当たりアセチレン還元量（根粒比活性）の推移をエチレン生成量で示した。これによると、個体当たりのエチレン生成量は生育初期ではごく僅かであったが、その後生育が進むにつれて増加し、登熟初期から中期にかけて最大に達し、登熟後期にかけて急激に低下した。これらの推移は、子実への窒素の集積が盛んになる登熟中期に根粒の活性が急激に低下するとして報告⁵²⁾と一致した。また、エチレン生成量の推移は根粒重の推移ときわめて類似しており、両者の間には生育期間を込みにして $r = 0.755^{**}$ の有意な正の相関がみられた。しかし、登熟後期におけるエチレン生成量の低下は、根粒重の低下をはるかに上回っており、登熟後期の根粒重には、既に崩壊し始めた活性を持たない根粒が含まれていたものと推察される。

次に、根粒比活性についてみると、根粒比活性は花芽分化期から上昇し、開花始期に最大となり、その後低下するものの登熟中期まではほぼ一定に推移し、登熟後期に急減した。これらの推移をみると、根粒は開花期までは量的には少ないが、その活性はかなり高いことがうかがえる。また、開花始期から盛期にかけて低下したが、これは根粒の増加に伴って肥大を開始した莢と根粒との間に光合成産物に対する競合が関与している可能性が考えられよう。しかし、根粒自体の活性は登熟中期以降はその崩壊とともに急激に失われるものと推察された。

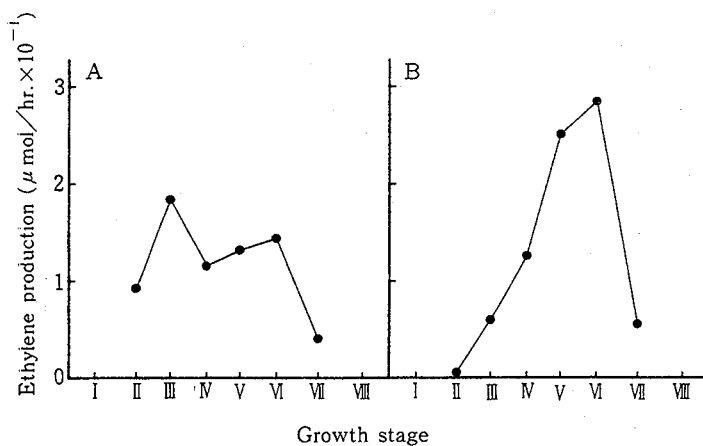


Fig. 40. Changes in ethylene production per plant (A) and per 1 g nodule dry weight (nodule specific activity, B).

Growth stages are the same as those in Fig. 38.

3. 吸収窒素量と固定窒素量との関係

Fig 41 は重窒素の測定をもとに算出した吸収窒素と固定窒素（全窒素量－吸収窒素量）の集積量，集積速度及び根粒 1 g（乾物）当たりの固定量（窒素固定効率）の推移を示したものである。まず，集積量の推移（A）についてみると，吸収窒素量は全生育期間を通して直線的にゆるやかに増加したが⁷³⁾，固定窒素量は花芽分化期から増加し始め，登熟後期に最大となり，成熟期にやや減少した。各生育時期における固定窒素の全窒素集積量に占める割合は，生育初期にはわずか 4% に過ぎなかったが，生育が進むにつれて急激に上昇し，登熟中期には 86% と最大になり，登熟後期に低下した。

次に，各生育時期における吸収窒素と固定窒素の増加速度（B）についてみると，吸収窒素の増加速度は生育初期から成熟期を通じてほぼ一定の値で推移した。また生育期間全体の窒素集積量に対する吸収窒素の占める割合は 22% であった。

一方，固定窒素の増加速度は，生育初期では吸収窒素の増加速度を下回ったがその後急速に高くなり，登熟中期に最大となった後急速に低下し，登熟中期以後で根粒の崩壊が激しかったことが示唆される。また，この固定窒素の増加速度は，個体当りのエチレン生成量の推移とほぼ同様の傾向を示しており，吸収窒素の増加速度は橋本³¹⁾の報告よりも低かったが，固定窒素の増加量については，おおよそ一致した結果となった。これらのことから，根粒菌による空中窒素の固定速度は登熟初期から登熟中期に最大となり，その後急速に低下するものと考えられる。

Fig 41 C は固定窒素の増加量を平均根粒重で割った値を窒素固定効率として，その推移を示したものである。窒素固定効率は生育初期に低く，花芽分化期から開花始期にかけて急激に高くなり，その後は生育が進むにつれて徐々に低下した。この結果を根粒比活性と比較すると，登熟初期から登熟中期にかけてはほぼ一定に推移したアセチレン還元法による結果とやや異なった。

これらより，開花期頃の根粒は量的には少ないものの，空中窒素固定能力は最大であり，前節の結果を考慮合わせると，この時期の根粒活性は特にシンク形成に重要な役割を演じているものと考えられる。

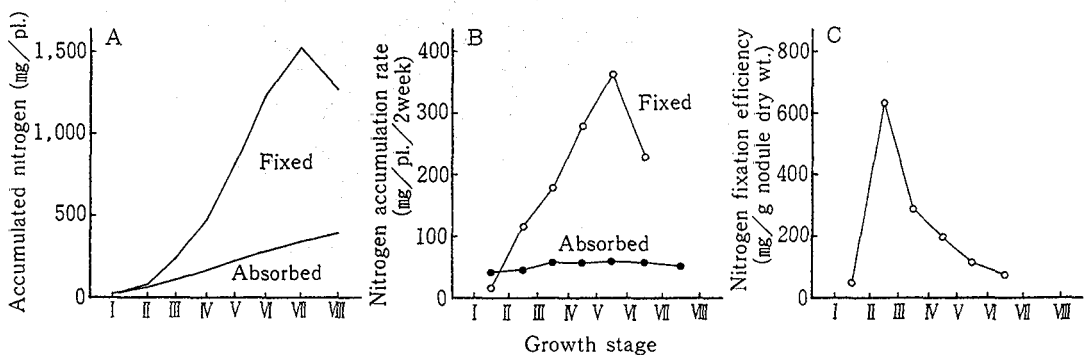


Fig 41. Changes in accumulation of absorbed and fixed nitrogen (A), nitrogen accumulation rate (B), and nitrogen fixation efficiency (C).

Growth stages are the same as those in Fig 38.

4. 吸収窒素及び固定窒素の移行

Fig. 42 は、根により吸収された窒素の各器官への分配動向を吸収直後 (A) と成熟期 (B) について示したものである。まず、吸収直後の分配動向についてみると、生育初期から開花期にかけて吸収された窒素のうち60~70%が葉身へ分配されており、その後登熟初期にかけて莢への移行がみられ、子実が肥大し始めると子実への分配が次第に増加し、登熟後期から成熟期にかけては約80%が子実に移行した。これらを除くと、茎、葉柄への分配はきわめて少なく、根への移行割合が生育期間を通して大きいのが特徴で、施肥窒素は根系の発達やその機能維持にきわめて重要な役割を果たしていることが示唆された。また、生育前半では吸収された窒素のうちわずかではあるが根粒への移行が認められた。一方、成熟期についてみると、各生育ステージに吸収された窒素の大半(60~80%)は子実に集積しており、その割合は登熟初期を境に高くなる傾向が認められた。また、茎、葉柄、莢での集積はきわめて小さいが、落葉や根にはかなりの割合で窒素が集積されており、吸収直後の分配動向を勘案すると、根から子実への吸収窒素の再移動はきわめて小さいものと推察された。

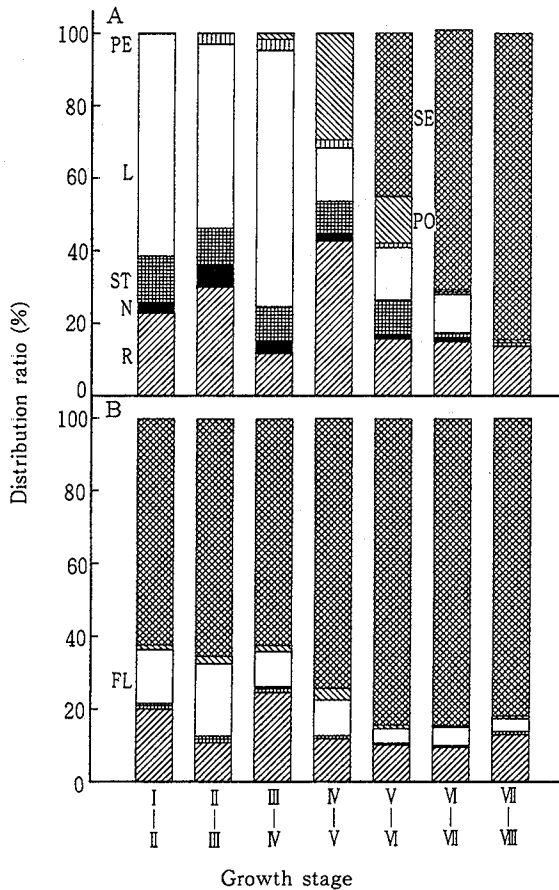


Fig. 42 Distribution of absorbed nitrogen to each organ at each stage (A) and at maturity (B).

R : root, N : nodule, ST : stem, L : leaf blade,

RE : petiole, PO : pod, SE : seed, FL : fallen leaf.

Growth stages are the same as those in Fig. 38.

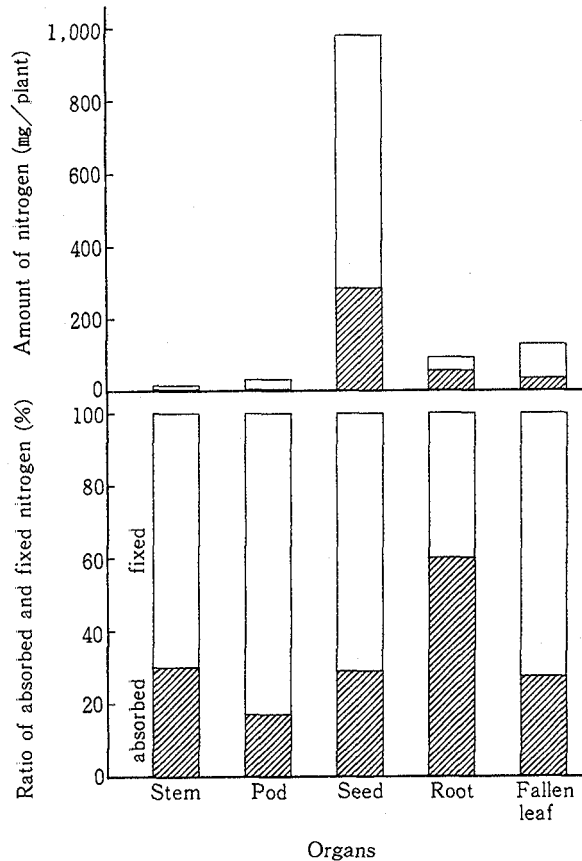


Fig. 43. Amount (A) and ratio (B) of absorbed and fixed nitrogen of each organ at maturity

次に、成熟期における器官別の吸収窒素量と固定窒素量及びその割合を Fig. 43 に示した。吸収窒素及び固定窒素とも量的にはその大半が子実を集積しており (78.2%)、次いで落葉 (10.3%)、根 (7.5%) の順に少なくなり、茎と莢ではきわめて少なかった。一方、吸収窒素と固定窒素の割合についてみると、茎、莢、子実、落葉では、約80%が固定窒素で占められているが、根では60%が吸収窒素で占められていた。このことは、各器官からの子実への窒素の再転流には、根を除くと吸収窒素と固定窒素の間に差がないことを示唆している。また、根の生長は他の器官と異なり、吸収窒素に依存する割合が高いものと推察された。

論 議

第3章第3節及び本章第1節の結果と同様、本試験においても、ダイズの子実生産には根粒による固定窒素がきわめて大きな役割を果たしていることが明らかになったが、一方では施肥窒素も根の生長を通じて重要な役割を演じていることが示唆された。そこで、ここではこの点を中心に若干考察を加えておきたい。

アセチレン還元法による測定結果 (Fig. 40) から、根粒の窒素固定能は花芽分化期頃から増加し始め、開花始め頃に最大となり、子実への窒素集積が盛んになる登熟後半には急激に衰え、量的にも著しく減少することが明らかになった。一方、根の生長は、他の器官と異なり、吸収窒素に依存する割合が大きい (Fig. 42) ものと考え

られ、根による窒素の吸収は生育期間を通じてほぼ一定の速度 (Fig 41-B) で行われていることが示唆された。このことから、ダイズの生育過程における吸収窒素の意義は次の二つの点にあるものと考えられる。

すなわち、その一つは、生育初期における根の生育に対するものである。この時期における吸収窒素の多くは根に集積し、根系、特に細根の発達に大きく寄与しているものと推察され、よく発達した根系の形成は間接的には生育後期まで根粒の活動を活発にすることになるものと考えられる。また、生育後期には吸収窒素も固定窒素もそのほとんどが直接子実へ転流することから、基肥として与えた適当量の施肥窒素は生育初期における根の発達と根粒の着生を良好にし、その後の窒素代謝に有利に作用するものと考えられる。他の一つは、開花期以降における役割である。ダイズ個体の窒素集積は開花期以降、急激に増加し、全窒素集積量の70%を占めていた。従ってこの時期に如何に窒素を集積させるかが、増収上の一つのポイントであると考えられる。開花期以降に地上部へ集積された吸収窒素と固定窒素の子実への再転流に当たっては、両者の間に明瞭な差は見られなかったこと、及び登熟期に吸収された窒素は子実により多く分配されていた (Fig 42-A) ことから、吸収窒素により窒素集積量を増大させ得る可能性が示唆された。

しかしながら、ダイズの根粒着生とその発達は、施肥窒素量の増加によって著しく抑制されることが多くの研究者によって報告^{10,34,47,78,90,101,124,135)} されており、本研究 (第3章第3節) においても同様の結果が得られている。本試験の結果から、根粒の着生を抑制することなく、根系の発達をうながすことは、ダイズにおける収量性の向上にとってきわめて重要なポイントになると考えられ、根系の発達と施肥窒素量⁵²⁾、施肥位置⁸⁹⁾、施肥時期^{51,133)}との関係については今後さらに検討する必要があるが、安定・多収を目指すには土壌の物理性の改善や潜在地力の涵養など、作物栽培における基本技術の重要性をあらためて指摘しておく必要がある。

一般に、茎葉が過繁茂になりやすい西南暖地のダイズ栽培においては、窒素施肥技術の確立はきわめて重要と考えられるが、本試験結果を踏まえると、根系の生育促進、根粒着生の増大に対しては土壌の物理性の改善と少量の基肥窒素を施用し、その後は根粒の活性を高水準に維持し、開花期以降に窒素の追肥を行うことが望ましいと考えられた。

摘 要

アキシロメを供試し、生育時期別にアセチレン還元法及び重窒素利用法によって窒素固定量並びに吸収量を測定し、生育、子実生産におけるそれぞれの成分の動態について検討した。

(1) 生育時期別の根粒によるアセチレン還元量は生育が進むにつれ増加し、登熟初期から中期にかけて最大となり、以後急減した。また根粒比活性は開花期に最大となった。重窒素を利用して推定した固定量の推移も、概ね類似の結果になった。これらより、生育初期から開花期においては根粒着生量の増大、生育後期においては根粒活性の持続を図ることが重要であると推察された。

(2) 吸収窒素量は全生育期間を通してほぼ一定に推移し、各時期における各器官への吸収窒素の集積は、生育初期から登熟初期までは、その60%程度が葉身へ、成熟期では、90%程度が莢及び子実へ直接集積した。

(3) 完熟期の各器官における吸収窒素と固定窒素の割合をみると、根には、吸収窒素の占める割合が多く、地下部の生育に果たす吸収窒素の役割は大きいと考えられた。

(4) 各器官から子実への窒素の移行について検討したところ、開花期頃までに吸収した窒素はそれ以降に吸収されたものに比べ、再転流され難いものと推察された。また地下部を除く器官からの窒素の子実への再転流には吸収窒素と固定窒素との間に明瞭な差はないと考察された。これは、開花期以降における窒素追肥が有効である可能性を示すものである。

(5) 以上の結果から、暖地においてダイズの生育、子実生産をさらに向上させるためには、まず、地下部の生育促進、根粒着生の増加に対し少量の基肥窒素を施与し、その後は根粒の活性を高水準に維持させながら、開花期以降に窒素追肥を行うことが望ましいと結論した。

第5章 暖地における特殊栽培法の意義

ダイズは昭和53年から農水省による「第2次水田利用再編対策」における特定作物として位置付けられ、その振興が図られるに至った。そのため、西南暖地においても作付面積は急速に増加し、昭和54年には転作ダイズが畑作ダイズを上回るようになった。しかし、暖地におけるダイズ栽培の技術はいまだに遅れており、収量も低く、機械化水準も低いままの状態に経過しており、生産性の向上が強く望まれている。

こうした状況の中、試験研究機関では積極的に転作ダイズの問題をとりあげ、品種の特性や多収栽培法、さらには栽培上の問題点が逐次明らかにされてきている⁴⁶⁾。そうした増収の有効な方法として、移植栽培、摘心栽培、畦立栽培などが考えられてきた。

そこで本章では暖地におけるこれらの栽培法について生育・収量や乾物生産の面から、生産性の向上における意義について検討を加えることとした。

第1節 移植栽培について

ダイズは一般に畦に直接播種して栽培されているが、暖地においては鳩害のほか前作物との関係、発芽不良、播種期前後の長雨などが問題となっている。これらの対策として、最も効果的であると考えられるのが移植栽培であり、古くより積極的増収対策としての研究も行われてきた^{29,39,69,112,113)}。ここでは、育苗日数を異にする苗を育成して移植栽培を行い、生育・収量からみた暖地における移植栽培の意義について検討した。

材 料 と 方 法

供試品種には中間ダイズ型品種、アキシロメを用いた。育苗資材としてはプラスチック製の育苗箱（内径43×33×10cm）に水田土壌を床土として入れたものを用いた。播種量は箱当り48粒（5cm×5cm）とし、育苗期間中には肥料は施さなかった。移植区の対照としての直播区（D区）、並びに各移植区（T₁～T₃区）における播種日及び育苗日数はTable 22に示したとおりである。

育苗期間中はガラス室に置き、土壌水分が最大容水量の80%となるように灌水して生育の均一化を図った。また適宜除草を行うとともに、6月28日、カメムシ防除のためにEPN粉剤を散布した。なお、対照としての直播区の播種はT₂区の播種日である6月20日とした。

移植はすべて1998年7月8日に行った。栽植密度は6.7個体/m²（75cm×20cm）、肥料は基肥のみで10a当りN：1.8kg、P₂O₅：5.6kg、K₂O：5.6kgをそれぞれ硫酸、過リン酸石灰、硫酸カリで条施した。試験区の構成は乱塊法2反復とした。

移植後、欠株を防ぐために1週間ほどは適宜灌水を行い、また育苗日数の長いT₁区では苗が徒長していたため、欠株が多く、数日後に補植を行ったほか、支柱を立てて倒伏を防止した。

移植時からおよそ3週間後の7月9日（生育初期、I）に第1回目の調査を行うとともに、試料を採取して器官別乾物重及び葉面積を測定した。さらに、約3週間間隔の7月30日（開花始期、II）、8月20日（着莢期、III）、9月10日（登熟初期、IV）、9月29日（登熟中期、V）、及び10月21日（成熟期、VI）に同様の調査を行った。調査個体数は7月9日のみは10個体とし、その他の調査時には5個体とした。

Table 22 Characteristics of seedlings in direct sowing and transplanting plots (July 8).

| Plot | Date of sowing | Seedling age | Stem length of (A) | Number of nodes | Number of leaves* | Stem diameter | Dry wt. of top (B) | Dry wt. of root (C) | B/A | C/B |
|----------------|----------------|--------------|--------------------|-----------------|-------------------|---------------|--------------------|---------------------|------|------|
| | | days | cm | | | cm | g/pl. | g/pl. | | |
| D | June 20 | 18 | 12.8 | 5.8 | 2.0 | 3.4 | 0.62 | 0.15 | 0.49 | 0.24 |
| T ₁ | June 10 | 28 | 34.4 | 7.8 | 4.8 | 2.8 | 0.98 | 0.41 | 0.28 | 0.41 |
| T ₂ | June 20 | 18 | 18.6 | 5.4 | 2.2 | 2.7 | 0.35 | 0.22 | 0.19 | 0.61 |
| T ₃ | June 30 | 8 | 10.4 | 3.0 | 0.0 | 2.9 | 0.19 | 0.07 | 0.18 | 0.40 |

D : direct sowing, T : transplanting

* : trifoliate leaves.

結果と考察

1. 移植が形態形質に及ぼす影響

移植時における苗の生育状況は Table 22 に示したとおりで、育苗期間が長くなり、葉齢が進むに従って、茎長は著しく長くなった。これは主として初生葉以下の節間長が長くなったことによるものである。茎の太さも D 区に比べて細く、T₁、T₂の両区では繊弱な苗の形態を示していた。また育苗日数が長くなるほど地上部、地下部の生長量は大きく、地上部重/茎長比が大きくなったが、根重/地上部重比は育苗期間により一定の傾向を示さず、育苗区で大きい傾向がみられた。開花迄日数(移植日から)は D 区で 42 日であったが、T₁、T₂、T₃区でそれぞれ 45、43、39 日となり、一般に葉齢のすすんだ移植苗で開花期が多少遅れる傾向がみられた。

主茎、1 次分枝、2 次分枝における形態形質の推移を Fig. 44 に示した。主茎長は D 区、T₃区で着莢期(III)に、他の 2 区では開花始期(II)にほぼ最大に達し、その最大値は T₃>D>T₁>T₂区の順序となった。また、主茎節数は各区とも着莢期に最大に達し、以後ほとんど増加せず、その値は D>T₃>T₁>T₂区の順に大きかった。主茎の複葉数は T₁、T₂の両区においては開花始期から減少し、枯れ上がりが早かった。

次に、1 次分枝についてみると、その数は D 区に比べて T₁、T₂区で多く、T₃区では少なく推移した。しかし、茎長、節数、葉数は分枝数とは逆の傾向を示し、育苗日数が長いと 1 次分枝数は多くなるが、各分枝の発達は不良であった。さらに、2 次分枝数は T₂>T₁>T₃>D 区と移植によって多くなったが、T₃区では成熟期に減少して D 区より少なくなった。また、2 次分枝 1 本当たりの節数は各区とも 2~3 節程度で少なく、茎長、節数、葉数は 1 次分枝の場合と異なり、分枝数を反映していた。

以上の結果から、T₁区のように、葉齢の進んだ移植苗では移植時における断根の程度が大きく、移植直後の生育が抑制され、主茎の生長が直播区に比べて劣っていた。また、分枝の発生は生育に伴って多くなったが、各 1 次分枝の生育が劣り、節数はむしろ少なかった。一方、育苗日数の短かった T₃区では移植直後には D 区に比べて生育は劣るものの、その後の生育が旺盛となり、特に 1 次分枝の発達が良好であった。

2. 移植が乾物生産に及ぼす影響

各器官における乾物重の推移を Fig. 45 に示した。栄養器官の乾物重は概ね育苗日数が長くなるほど低く推移する傾向を示し、T₁、T₂の両区では D 区よりも低い値を示したが、T₃区では着莢期(III)から登熟初期(IV)にかけて急激に増加し、むしろ D 区を凌駕していた。また、茎では D 区で登熟中期(V)から成熟期(VI)にかけて減少したのに対し、移植区では登熟初期から減少し始め、生殖器官への貯蔵成分の転流が早まり、成熟が促進されることが示唆された。これに対し、莢実では D 区と T₁、T₂区との間に差がなく、T₃区で登熟中期に高い値を示したのが特徴で

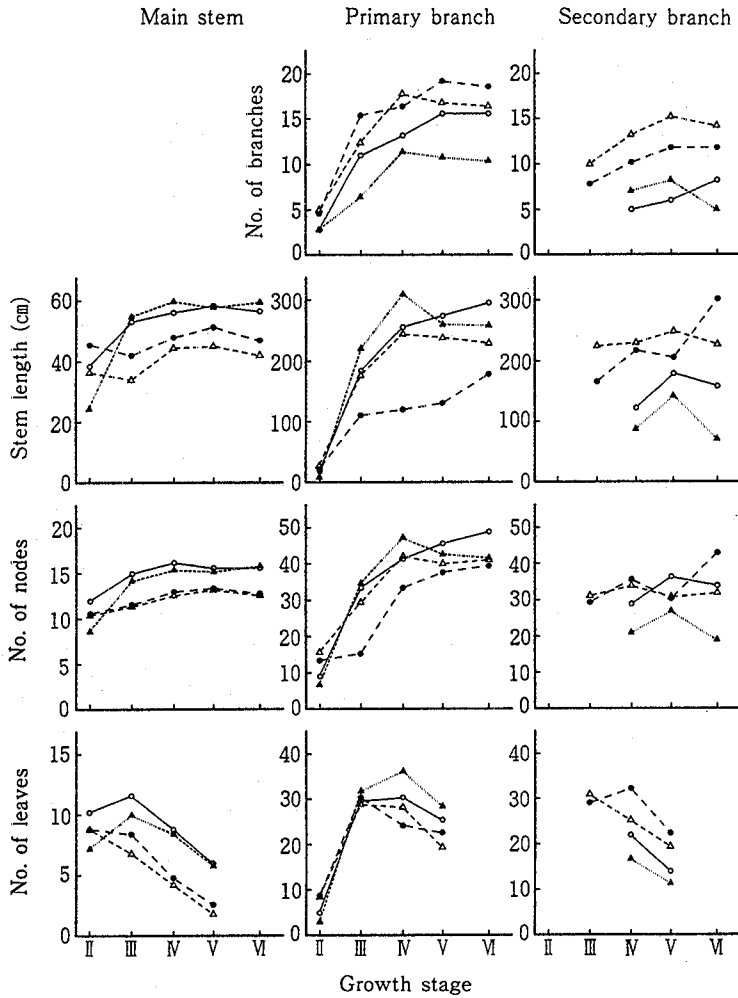


Fig 44. Effect of transplanting on changes in number of branches, stem length, number of nodes, and number of leaves

○ : D, ● : T₁, △ : T₂, ▲ : T₃.

I : 7/09, II : 7/30, III : 8/20, IV : 9/10, V : 9/29, VI : 10/21.

ある。T₃区で乾物重が全般に高かったのは、移植時における断根の程度が軽く、根の活性が他の区に比べて高かったためと推察される。このように、移植区における栄養器官の乾物生長には直播区とはやや異なる様相が認められたが、莢実の生長にはほとんど差が認められなかった。

3. 移植が収量及び収量構成要素に及ぼす影響

収量及び収量構成要素を Table 23 に示した。育苗期間の最も短いT₃区では直播区に比べ莢数及び子実数が有意に減少したが、百粒重は逆に大きくなった。また、T₁, T₂区では稔実莢歩合が低下し、一莢内粒数が減少する傾向が認められた。しかし、移植区の子実収量は直播区に比べてやや減少するものの、有意差はなく、320~340g/m²が確保されており、暖地における水準としては十分なものであった。

Table 23. Effect of seedling age at transplanting on yield and its components.

| Plot | No. of pods* | Percentage of fertile pods | No. of seeds per pod | Hundred seed weight | No. of seeds* | Seed yield* |
|----------------|--------------|----------------------------|----------------------|---------------------|---------------|-------------|
| | | % | | g | | g |
| D | 736a | 84.6 | 1.84a | 25.2b | 1353a | 341.1a |
| T ₁ | 763a | 76.4 | 1.75ab | 25.3b | 1333a | 337.9a |
| T ₂ | 760a | 79.0 | 1.59b | 26.6ab | 1207b | 321.3a |
| T ₃ | 660b | 85.9 | 1.80a | 27.3a | 1188c | 324.6a |

Data with the same letter are not significantly different at 5% level.

* : per m²

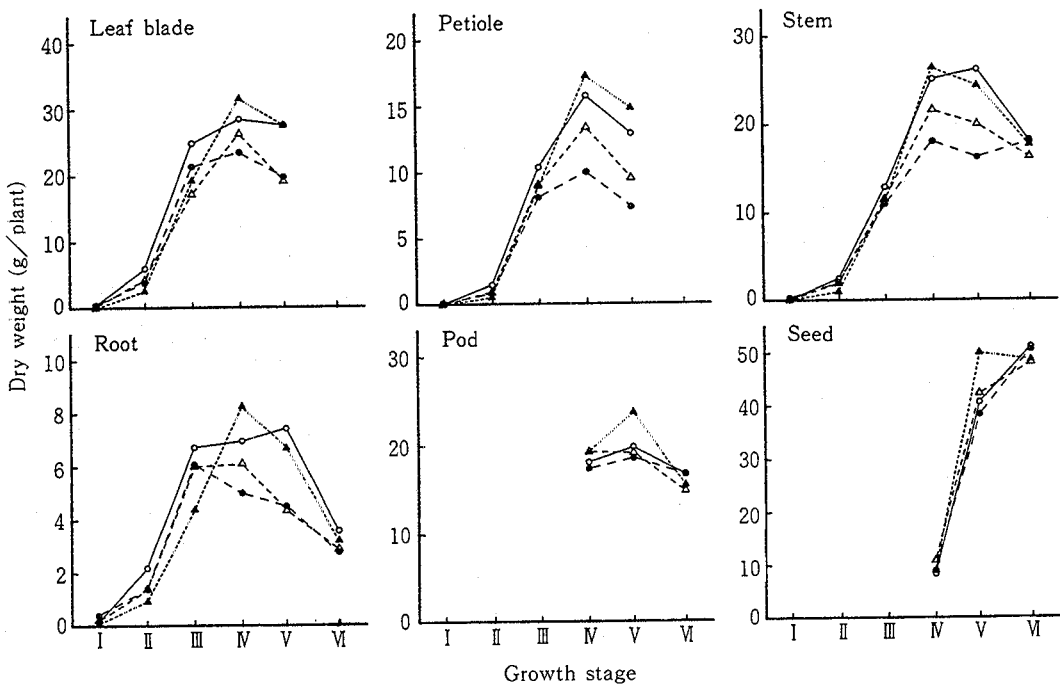


Fig. 45. Effect of transplanting on changes in dry weight of each organ

Growth stages and symbols are the same as those in Fig. 44.

論 議

福本ら²⁹⁾は移植すると、稔実英数が著しく多くなり、不稔英歩合が少なくなると報告しており、本研究の結果とは必ずしも一致しなかった。また、井口ら³⁹⁾は中国地方では移植による増収を期待することは困難であるが、晩播対策としての移植は増収することを見出している。

本研究の結果から、移植栽培の一般的な傾向について述べると、育苗日数が短い場合には移植による植え傷みが少なく、活着直後の生育は抑制されるものの、着莢期以降の後期生育が旺盛となり、1次分枝がよく発達して大きくは減収しないものと推察される。一方、育苗日数が長い場合は、苗が徒長して軟弱化し、植え傷みにより生育が抑制され、特に主茎の発達が劣る傾向が認められた。また、分枝数は増加するが、個々の1次分枝の発達

は劣っていた。

従来、移植栽培に関する研究は、摘心栽培と組み合わせたものが多く^{29 39 112 113)}、育苗日数が長い場合には、摘心が分枝発達をうながし、有効な手段とも考えられるが、この点については次節において検討したい。

以上の結果を総合すると、暖地におけるダイズの移植栽培では、育苗日数はあまり長くせず、初生葉展開時に移植できる育苗を目指すべきであろう。しかし、その場合にも積極的増収を期待することは困難であり、移植栽培を行うかどうかは、鳩害などの防止、発芽不良の対策、前作との関係などの要因によって決定すべきと考えられる。

摘 要

アキシロメを用い、育苗日数の異なる苗を育成して、それらの生育、乾物生産、収量を直播した場合と比較した。

- (1) 育苗日数が長くなるほど、苗は徒長軟弱化して植え傷みが多くなった。
- (2) 移植により、主茎の生育は抑制されたが、分枝数が増加した。しかし、個々の分枝の発達は育苗日数が長くなるほど劣る傾向がみられた。
- (3) 移植区における乾物生長は直播栽培とやや異なる様相を示したが、莢実では大きな差がなかった。
- (4) 育苗期間が短い場合では直播区に比べ莢数が有意に減少したが、百粒重は大きかった。また、育苗期間が長いと稔実歩合が低下し、一莢内粒数が減少する傾向がみられた。しかし、子実収量は直播区に比べやや減少するものの、有意差は認められなかった。
- (5) 暖地におけるダイズの移植栽培においては、苗をあまり徒長させないようにし、初生葉展開時に移植を行う必要があるものと考えられた。

第2節 摘心栽培について

ダイズの栽培方法の一つに早期摘心栽培があり、積極的な増収が図られている^{5 29 57 69 83 84 85 112 113 127)}。この方法は生育の初期に主茎の先端を生長点とともに切除し、頂芽優勢を打破して旺盛な分枝を確保しようとするものである。しかし、西南暖地では早期摘心による栽培方法はあまり行われていない。一方、TIBA (2, 3, 5-triiodobenzoic acid) の散布により、摘心処理と同様な効果が得られたとする報告もみられる^{32 42)}。いずれの処理も増収を目的に行われることはもちろんであるが、その他の効果として、倒伏や過繁茂の防止効果もあるものと考えられている。

そこで本節では、中間ダイズを用いて早期摘心とTIBA処理を行い、それらがダイズの生育や収量に及ぼす影響について検討した。

材 料 と 方 法

実験材料としては生態型Ⅲcの中間ダイズであるアキシロメを用いた。播種は1988年6月20日に行い、栽植密度は畦幅75cm、株間20cm (6.7個体/m²)とした。施肥量はすべて基肥とし、10a当たりN1.8kg、P₂O₅5.6kg、K₂O5.6kgを硫酸、過リン酸石灰、硫酸カリで条施した。試験区の構成は乱塊法2反復とした。

摘心処理は第4(7月11日)、第5(7月15日)、第6(7月19日)複葉展開期にそれぞれ2葉下の第2,第

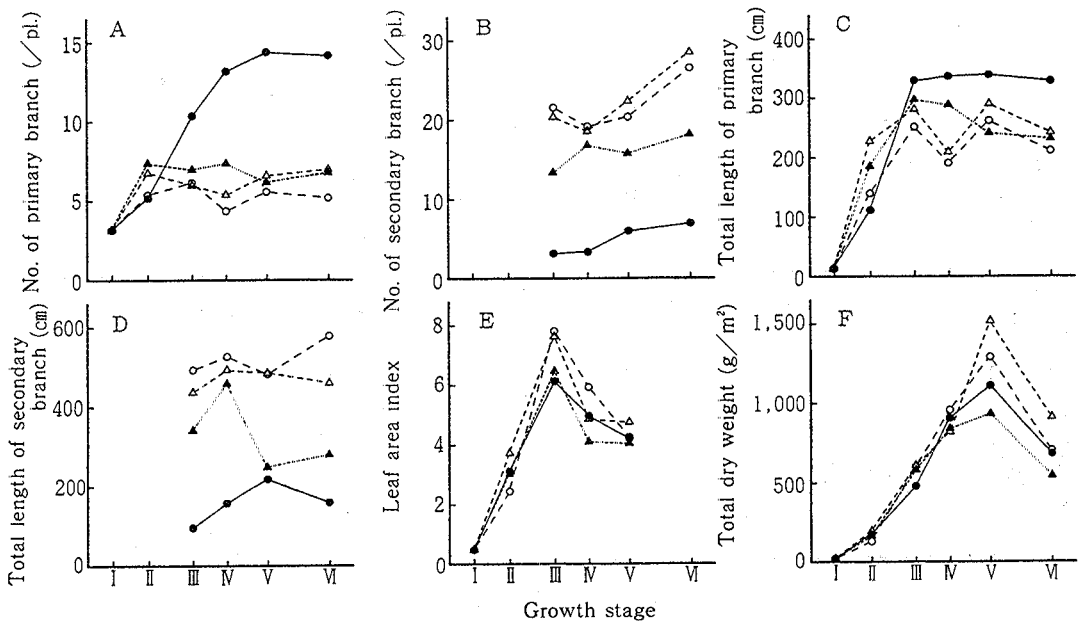


Fig. 46. Effect of topping on changes in number of branches (A, B), length of stems (C, D), leaf area index (LAI, E), and total dry weight (F).

● : C, ○ : P₁, △ : P₂, ▲ : P₃.

I : 7/15, II : 8/02, III : 8/23, IV : 9/09, V : 9/28, VI : 10/27.

3, 第4復葉の上部で切除し, 順にP₁, P₂, P₃区とした。また, TIBA処理は100ppmナトリウム塩水溶液を摘心処理と同日(3回)に葉面散布し, それぞれT₁, T₂, T₃区とした。散布量は散布時の植物体の大きさによってやや異なり, それぞれ17.5, 17.5, 21.0ml/pl となった。また, 無処理の対照区をC区とした。

調査はそれぞれの処理時期を第1回(I)とし, 8月2日(開花始期, II), 8月23日(着莢期, III), 9月9日(登熟初期, IV), 9月28日(登熟中期, V), 及び10月27日(成熟期, VI)の約3週間間隔で5個体を対象に行った。

結果と考察

1. 摘心及びTIBA散布が形態形質の推移に及ぼす影響

摘心が形態形質の推移に及ぼす影響をFig 46に示した。1次分枝数はC区(無処理区)では登熟中期(V)まで増加し, 個体当たり14.6本となったが, 摘心区では分枝が発生する節数が制限されたため, 開花始期(II)以後の増加はみられず, 処理時期が早いほど少なかった(P₁:5.2本, P₂:7.0本, P₃:6.8本)。また, 分枝の発生は摘心区でやや早まる傾向がみられた。一方, 2次分枝数には摘心の影響が大きく現れ, C区が最大7.0本であったのに対し, P₁:26.5本, P₂:28.5本, P₃:18.2本で処理時期が早いと顕著に増加した。総茎長の推移のパターンは1次分枝数と類似していたが, 対照区と摘心区との差が小さく, 分枝1本当たりの長さは処理区で大きかった。また, 2次分枝では概ね分枝数と類似した推移を示したが, P₃区では登熟初期(IV)から急激に減少した。

葉面積指数は各区とも処理後急激に増加し, いずれも着莢期(III)に最大となったが, 最大葉面積指数は2次分枝数を反映し, 摘心区, 特にP₁, P₂区で対照区を上回った。また, 全乾物重は登熟初期までは処理間差が小さく推

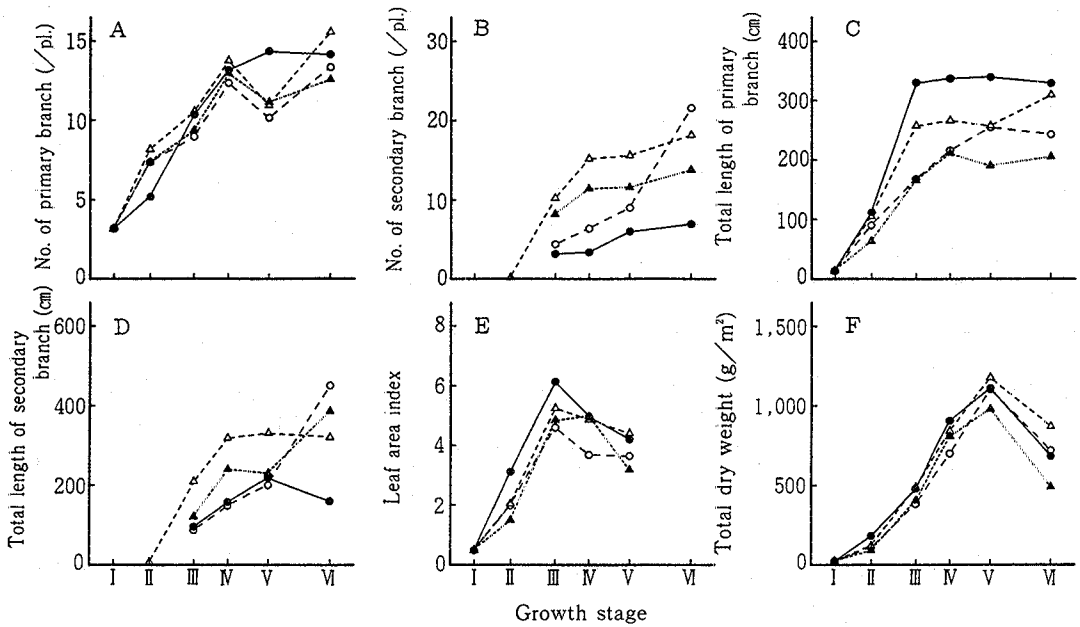


Fig. 47. Effect of TIBA on changes in number of branches (A, B), length of stems (C, D), Leaf area index (LAI, E), and total dry weight (F).

● : C, ○ : T₁, △ : T₂, ▲ : T₃.

Growth stages are the same as those in Fig. 46.

移したが、最大となる登熟中期には差が拡大し、P₂>P₁>C>P₃区の順になった。

次に、TIBAの処理効果についてみると、処理区に共通して、葉柄の下垂、茎上部の屈曲、葉の濃緑化が観察された。また主茎の生長点付近の未展開葉を含む上位3葉の先端が褐変し、中には主茎と分枝の先端が脱落した個体が見られた。これらの現象は特にT₃区で著しく、地上部が最大となった登熟初期(9月9日)では上位から3節目の葉身長はC区で16.4、T₁区で15.0、T₂区で12.2、T₃区で10.2cmとなり、TIBA処理によって葉が小型化した。

Fig. 47にTIBA処理が形態形質に及ぼす影響についてみると、1次分枝数は処理区で発生が早くなる傾向がみられ、その後C区での増加が顕著になったが、最終的にはC区との差が縮小した。2次分枝数は摘心処理と同様、処理により大きく増加し、特にT₂区においては発生も早くから認められた。一方、総茎長は1次分枝ではC区で最も長く、TIBA処理によって分枝1本当たりの長さが短くなったが、2次分枝では最終的には処理区で長かった。

葉面積指数は処理区で低く推移し、最大葉面積指数(登熟初期)も小さかったが、登熟期における低下が緩やかな傾向が認められた。これは、処理によって葉身が短縮し、細長くなったこと、及び登熟期の相互遮蔽が小さく、葉の枯れ上がりが少なかったことと関連しているものと推察される。

また、全乾物重は葉面積指数の推移を反映し、登熟初期までは処理区で低く推移したが、登熟中期にかけてT₂、T₁区での増加が顕著になり、その後はT₂>T₁>C>T₃区の順に推移した。

以上のように、摘心及びTIBA処理は分枝の発生様相を大きく変化させる。一般に無処理区(C区)では第2複葉節までの分枝の伸長が旺盛で、6節目から上位には弱勢分枝が発生したが、摘心区では全般に分枝の出現頻度が高くなる傾向がみられ、各区とも摘心部位直下の節位において、かなり高い頻度で2本の1次分枝が出現し

Table 24 Effect of topping and TIBA on the percentage of seed weight in main stem, primary and secondary branches.

| Plot | C | P ₁ | P ₂ | P ₃ | T ₁ | T ₂ | T ₃ |
|-------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| M | 28.8 | 0.4 | 0.4 | 0.0 | 13.0 | 13.5 | 2.6 |
| P | 64.1 | 60.8 | 60.2 | 69.0 | 62.5 | 68.1 | 69.9 |
| S | 7.1 | 38.8 | 39.4 | 31.0 | 24.5 | 18.4 | 27.5 |
| Total | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

M : main stem, P : primary branch, S : secondary branch.

C : control, P₁, P₂, P₃ : topping at the 2nd, 3rd and 4th trifoliate leaf node, respectively, T₁, T₂, T₃ : TIBA treatments at the 4th, 5th, 6th trifoliate leaf stage, respectively

Table 25 Effect of topping and TIBA treatments on yield and its components

| Plot | Seed yield | No. of total pods | No. of fertile pods | No. of seeds per pod | Hundred seed weight |
|----------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | (g/m ²) | (/m ²) | (/m ²) | | g |
| C | 374.3b(100) | 832c | 749c | 1.76a | 28.5a |
| P ₁ | 383.5b(102) | 978b | 818b | 1.74a | 27.7b |
| P ₂ | 509.1a(136) | 1055a | 977a | 1.76a | 29.6a |
| P ₃ | 293.4c(78) | 707d | 617d | 1.75a | 27.4b |
| T ₁ | 403.0b(108) | 896c | 796b | 1.75a | 29.0a |
| T ₂ | 486.9a(130) | 1119a | 993a | 1.71a | 28.7a |
| T ₃ | 263.7c(70) | 754d | 643d | 1.63a | 25.2c |

Data with the same letter are not significantly different at 5% level () : relative value.

Symbols of the plot are the same as those in Table 24.

た。また、2次分枝は、摘心部位から数えて下3節目の1次分枝に出現する2次分枝の頻度が高くなる傾向が認められた。

一方、TIBA処理ではT₁, T₂区で第4, 5複葉節までの1次分枝の伸長が旺盛なほか、上位節にまで分枝の発生が認められた。しかし、T₃区では第1複葉節までの分枝はその伸長が抑制され、第2~7複葉節で出現頻度が高かったほか、若干の3次分枝が認められたが、この3次分枝には着莢はみられなかった。

2. 摘心及びTIBA処理が収量及び収量構成要素に及ぼす影響

まず、Table 24に示した子実収量の主莖、分枝別構成比についてみると、無処理区(C区)では、主莖が約29%を占め、1次分枝64%、2次分枝7%であったが、摘心区では主莖にはほとんど着莢がみられず、1次分枝が60~70%を占め、2次分枝の割合が30~40%と大きく増加した。中川ら⁸⁵⁾は、無摘心の場合は収量に2次分枝はほとんど関与しないが、摘心処理によって2次分枝の関与する度合いが大きくなることを報告しているが、本研究でもほぼ同様な傾向が認められた。また、TIBA処理では、処理時期によって若干効果が異なったが、いずれも

主茎の占める割合が減少し、2次分枝の割合が増加した（18～28%）のが特徴である。

一方、収量とその収量構成要素を Table 25 についてみると、子実収量は、摘心、TIBA 処理とも第4複葉期処理（P₁, T₁）で若干増加し、第5複葉期処理（P₂, T₂）によって大きく増加（130～136%）したが、第6複葉期処理（P₃, T₃）では逆に減少（70～78%）した。この時期は花芽分化期に当たっていることから、生育の転換点を境に効果が異なることが注目される。次に収量構成要素について検討してみると、一莢内粒数及び百粒重は T₃区で小さかったが、他の処理区は無処理区と大差なく、子実収量は主として総実莢数の差を反映していた。石原⁴²⁾は TIBA 処理によって花数が増加することを指摘しているが、本実験においては第5及び第6複葉期処理では総莢数が摘心処理に比べやや多かった。

論 議

以上のように、摘心及び TIBA 処理とも第5複葉展開期処理によって増収効果があることが明らかとなった。摘心及び TIBA 処理は基本的には類似した効果を有しており、両処理とも頂芽優勢を打破し、分枝の発生を促進するところに共通点が認められる。また、TIBA 処理の場合には、その処理濃度によって効果が異なると思われるが、処理時期が遅くなると伸長中の分枝に対しても抑制作用がみられることから、処理の時期については十分注意する必要がある。

一方、これらの結果を従来^{29 57 69 83 84 85 112 113)}の摘心処理に関する研究^{29 57 69 83 84 85 112 113)}や TIBA 処理に関する研究³²⁾と比較してみると、その効果は基本的には一致していたが、処理時期や摘心の方法、TIBA の処理濃度などが異なるため、収量に及ぼす影響には必ずしも一致していない。しかし、本研究の結果は暖地における一標準として利用することができるものと思われる。

増収効果は平均的にみると、TIBA 処理が摘心処理に比べてやや劣っていたが、労力面を考慮に入れると、TIBA 処理がより実用的と考えられる。いずれの処理も適期が遅れると、逆に減収を招くことから、実際栽培ではこの点に留意することが必要である。

本試験では、TIBA の処理濃度は100ppm の1処理としたが、Greer³²⁾は0, 10, 50ppm の濃度で実験を行い、低濃度の場合には増収となるが、高濃度では減収すると報告している。本研究に用いた濃度はこれに比べて高く、必ずしも一致した結果とはならなかったが、その効果の違いは無限伸育性の特徴をもつアメリカの品種と有限伸育性の特徴をもつわが国の品種ではその環境条件の差異とも関連し、効果の現れ方に差があるものと推察された。

摘 要

アキシロメを供試し、第4, 第5, 第6複葉展開期に摘心及び TIBA 散布処理（100ppm）を行い、生育、分枝発生、収量に及ぼす効果は無処理区と比較して検討した。

(1) 摘心処理により、2次分枝数が著しく多くなり、総節数、総葉数、葉面積指数が増加した。また、第5複葉展開期処理で増収効果が認められたが、第6複葉展開期処理では逆に減少した。

(2) TIBA 処理により、1次分枝の増加は認められなかったが、2次分枝が多くなり、総節数、総葉数も増加した。しかし、葉が小型化したため、葉面積指数は低くなった。収量は摘心処理と同様、第5複葉展開期で増収したが、第6複葉展開期処理では減少した。

(3) 以上より、摘心、TIBA 処理とも第5複葉展開期が増収に対する最適の処理時期であることが明らかとなった。

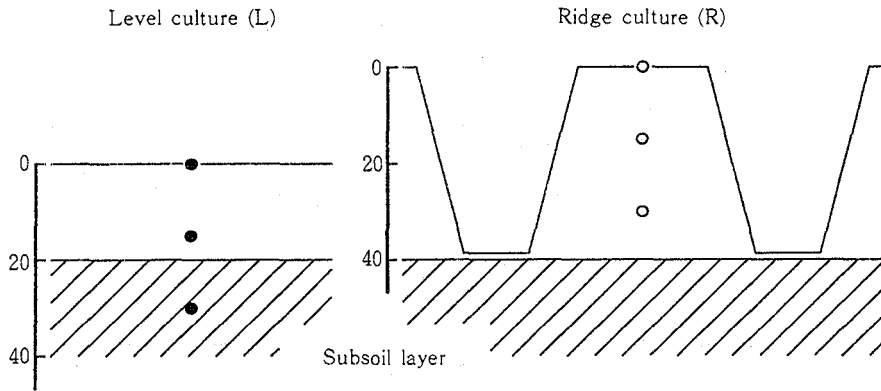


Fig 48. Profiles of soil layer and the point (open and closed circle) of sampling of soil water content.

第3節 水田転換畑における畦立栽培について

近年、暖地では水田転換畑におけるダイズ栽培が増加している。転換畑ダイズ栽培の問題点は、従来からも指摘されているように⁴⁸⁾、栽培の場が水田であることのほか、周辺で水稻栽培が行われているため、地下水位が高く、過湿になりやすいことである。その対策として、実際面では土壤水分環境の改善を図るための簡易な方策として畦立栽培が行われている。

そこで、本試験では畦立をすることによって期待される生育・収量向上の原因を、特に土壤水分や根系の分布状況と関連させて検討しようとした。

材 料 と 方 法

西南暖地の水田転換畑に広範囲で奨励されている秋ダイズ型品種、フクユタカ（生態型、Nc）を供試品種とし、1982年、前作の春バレイショを収穫した後で耕耘・整地した香川大学農学部附属農場の水田において実験を行った。実験区の構成は、耕耘後畦立を行わずに播種した平畦区(L)及び畦立を行ってから播種した畦立区(R)の2区とした（Fig 48 参照）。試験区の構成は3反復乱塊法とした。

播種は6月22日に行い、両区とも栽植密度は 90×25 cm、3粒播とし、施肥量は10a当りで硫安10kg、過リン酸石灰25kg、塩化カリ10kgを全量基肥として施した。1982年は6月14日から7月7日まで降雨がなく、土壤が著しく乾燥したため、6月29日と7月2日に2回の灌水を行い、7月22日に間引き、補植を行って1株1本立とした（4.4個体/m²）。その後の除草、病虫害防除などは、当農場の標準耕種法に従って実施した。

調査は7月30日（生育初期、I）、8月13日（花芽分化期、II）、8月26日（開花盛期、III）、9月15日（着莢期、IV）、9月29日（登熟初期、V）、10月13日（登熟中期、VI）、10月28日（登熟後期、VII）、及び11月24日（成熟期、VIII）に行った。調査にあたっては、形態的諸形質を測定後、器官別乾物重並びに葉面積を測定した。また、モノリス法によって根系分布を測定するとともに、地表面から0、15、30cmの土壤を採取して、含水比（乾土当り）を測定した（Fig 48）。

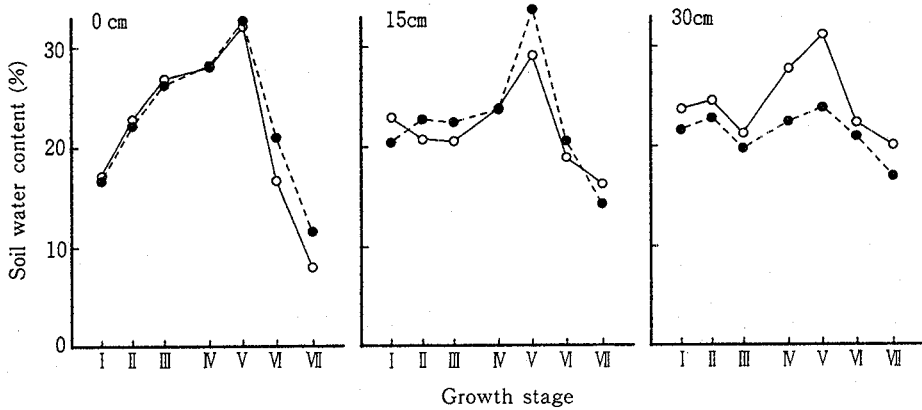


Fig. 49. Changes in water content of three soil layers (see Fig. 48) in the level and ridge cultural conditions

● : level culture (L), ○ : ridge culture (R)

I : 7/30, II : 18/13, III : 8/26, IV : 9/15, V : 9/29, VI : 10/13,

VII : 10/28, VIII : 11/24

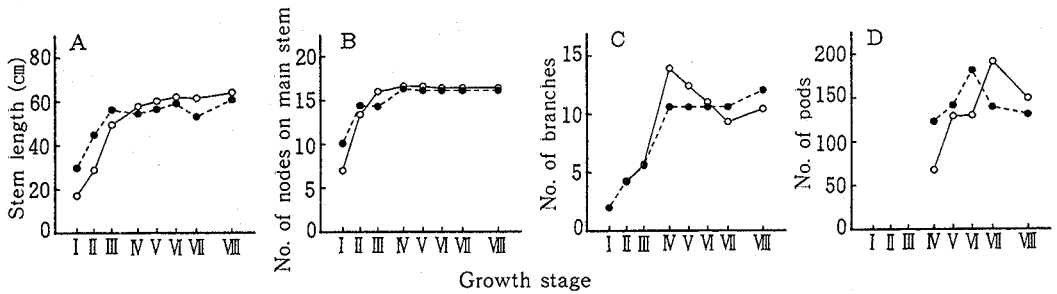


Fig. 50. Changes in length (A) and node number (B) of main stem, number of branches (C), and pods (D) in the level and ridge cultural conditions.

Growth stages and symbols are the same as those in Fig. 49

結果と考察

1. 平畦区及び畦立区における土壌含水比の変化

土壌3層における含水比の推移をFig. 49に示した。含水比は、両区とも生育期間中の降水量の変化に伴って変動したが、全体としては生育初期に低く、登熟初期にかけて増加し、その後減少する推移を示した。また、地表面での変動幅が大きく、深くなるにつれて小さくなる傾向が認められる。

平畦区と畦立区の推移についてみると、地表面付近(0 cm)では登熟初期までは両区に差がなかったが、その後は排水の良好な畦立区(R区)でやや低く推移した。また、15 cm層では平畦区(L区)でやや高く推移する傾向が認められたが、30 cm層では終始、畦立区(R区)で高く推移し、下層部では畦立区で保水が良好な傾向が認められた。これは、Fig. 48に示したように、30 cmの深さは、平畦区は心土層、畦立区は作土層であったことから、土壌の物理性、すなわち土壌孔隙量の差異に起因しているものと推察された。

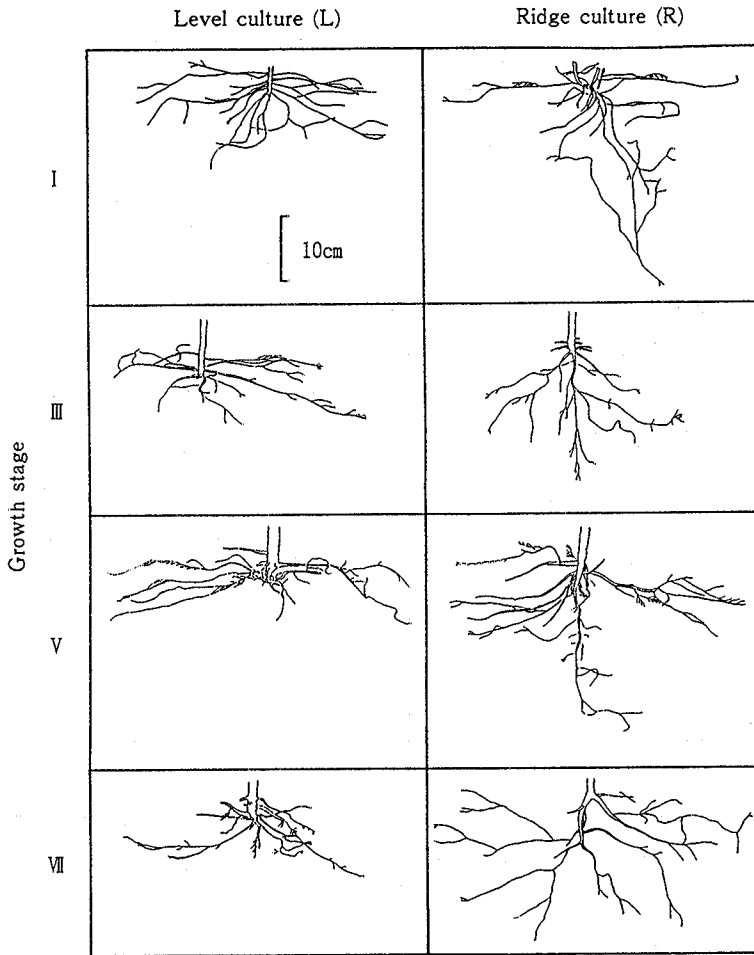


Fig 51 Differences in the development of root system between the level and ridge cultural conditions.

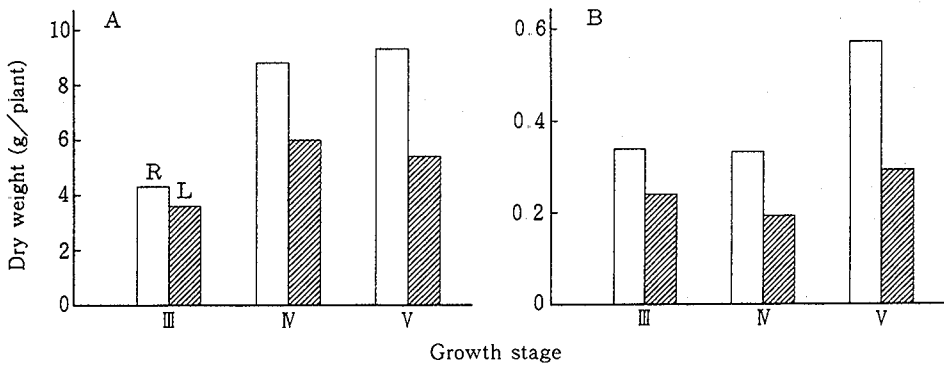


Fig 52. Differences of dry weights of roots (A), and nodules (B) between level and ridge cultural conditions.

R : ridge culture, L : level culture

Growth stages are the same as those in Fig. 49.

Table 26. Differences of yield and its components between the level (L) and ridge culture (R)

| Plot | No. of pods per m ² | No. of seeds per m ² | No. of seeds per pod | Hundred seed weight | Seed yield per m ² |
|------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------|
| L | 579b | 899b | 1.55a | 26.6b | 239b |
| R | 672a | 1044a | 1.57a | 28.8a | 300a |

Data with the same letter are not significantly different at 5% level.

2. 平畦区及び畦立区における地上部形態形質の差異

地上部における形態形質の推移を Fig. 50 に示した。前述したように、播種期前後は乾燥気味に経過し、発芽並びに初期生育は15cm層で含水比が高かった平畦区で良好で、主茎長や主茎節数の増加速度が大きかった。しかし、その後の降雨によって土壤に水が供給されるとともに、畦立区の生長が回復し、両区の差が短縮し、ほぼ最大となった着莢期以降は主茎長、主茎節数とも畦立区でやや高く推移した。分枝数は着莢期には畦立区で多く、その後弱小分枝の脱落によって減少したものの、個々の分枝の発達程度は平畦区に比べ旺盛であった。莢数は着莢期から登熟中期にかけては平畦区で多かったが、その後は畦立区で高く推移した。

また、地上部各器官における乾物量は、形態形質と同様、生育初期には平畦区で高かったが、着莢期以降は畦立区で高く推移した。

3. 平畦区及び畦立区における根系分布と根粒着生の差異

生育各期における根系分布を Fig. 51 に示した。根系分布は生育初期から両区間に大きな差異が認められ、その差は生育後期まで継続して観察された。すなわち、平畦区では主根の発達が悪く、2次根が地表面付近に密集して水平方向に広がり、3次根の発達は不良であった。これに対し、畦立区では主根が肥大して地中深くまで伸長するとともに、2次根、3次根の発達が良好で、全体として樹枝状の根系分布を構成した。

ダイズの根系は、一般に湿潤状態では水平方向に広がり、乾燥状態では下方に伸長して分布幅が狭くなるほか、地下水位が高い場合には水平方向に、低い場合には下方に伸長することが明らかにされている²⁶⁾。本研究では、土壤の水分状態は生育前半は平畦区で、生育後半は畦立区で良好であったと推察されることから、平畦区では生育初期では下方への伸長が抑制され、2次根が水平方向に密集して伸長したものと考えられる。また、生育後半、比較的乾燥に経過した畦立区では主根の下方への伸長が旺盛で、下層の保水力が良好に保たれていたことから、その後も高次の分岐根がよく発達したものと思われる。Fig. 52 に示すように、開花盛期(Ⅲ)から登熟初期にかけての根乾物量は畦立区で大きいほか、根粒重にも大きな差異が認められた。根粒菌は好気性菌であることから、過湿になりがちな転換畑では土壤の通気性が良好となる畦立栽培は根系の発達ばかりでなく、根粒の発達にとっても好適な条件を与えるものと推察される。

4. 平畦区及び畦立区における収量と収量構成要素の差異

Table 26 に平畦及び畦立区の収量とその収量構成要素を示した。一莢内粒数は両区で差異がなかったが、着莢数、子実数及び百粒重はいずれも畦立区で有意に大きく、子実収量は平畦区に比べ26%増加した。

論 議

畦立栽培の効果は、地上部よりも地下部の生育に顕著に現れ、根系の発達が良好となるばかりではなく、根粒

の着生も旺盛となることが明らかとなった。加えて、発達した根系が登熟期における地上部の健全な生長を支え、平畦ではいわば秋落ちの生育を示すのに対し、秋まさりの生育となり、良好な子実生産を可能にしたものと推察された。根粒菌による固定窒素は、前章でも明らかにしたように、開花・結実期に重要な役割を演じており、子実の主要な窒素源であることから、畦立による土壌環境の改善は、根系の発達ばかりでなく、根粒の着生を活発にさせる面できわめて大きな意義を持つといえる。一般に高温、過湿条件に経過しやすい暖地の水田転換畑においては、安定・多収の観点から畦立栽培が必須の条件であると考えられた。

摘 要

秋ダイズ型品種、フクユタカを供試し、水田転換畑において平畦及び畦立栽培を行い、土壌水分環境、生育、収量の差異について比較・検討した。

(1) 土壌水分は地表面付近では両区の間大きな差はなかったが、深くなるほど差が拡大し、30cm付近では畦立区の保水力が良好であった。

(2) 生育前半には平畦区で生育はやや良好であったが、生育後半には畦立区での生育が良好で、秋まさりの生育状態がみられた。

(3) 根系分布についてみると、平畦区では根が浅く地表面に密集して分布し、主根、2次根とも細かったのに対し、畦立区では根は深く、主根、2次根とも太くなり、さらには3次根の発達も良好であった。また、根粒着生は畦立区で良好であった。

(4) 畦立区では、着莢数、子実数、百粒重が平畦区より大きくなり、26%の増収となった。

(5) 以上より、水田転換畑における畦立は地下部の発達に対して良好な環境条件を与え、発達した根系が特に生育後半における地上部の健全な発達を支えているものと考察した。

総 合 考 察

ダイズは短日植物 (Short-day plant) に属し、早生種は一般に日長感応性が鈍く、温度に対する感応性が高いが、晩生種は逆に短日感応性が高く、感温性が低い特性を有している。このことから、暖地において早生種を栽培すると、高温下で開花が著しく促進され、生育日数が短縮して収量も期待できないことから、通常、日長感応性が中位の間ダイズ型や日長感応性が強い秋ダイズ型品種を夏季 (6~7月) に播種し、秋季に収穫されている。

このように、品種の早晩性は、地域の気象条件と密接な関係があり、暖地では主要栽培地である東北・北海道と異なった生態型の品種が栽培されており、環境条件とも関連してその生産生態も著しく異なっている。また、暖地では栽培可能期間が長く、播種期の選択幅が広い有利性があるが、一方では、梅雨のほか、夏の高湿・乾燥や台風など、気象災害に遭遇しやすい危険性を有している。

本研究は、これらを背景として、暖地で栽培されている中間ダイズ型と秋ダイズ型品種の生育特性を明らかにするとともに、気象条件や栽培条件との関係、並びに特殊栽培法の意義について検討を行った。ここでは、得られた結果を基に総合的に考察を加え、暖地における栽培、育種上の問題点について論議しておきたい。

1. 暖地における中間及び秋ダイズ型品種の生育特性と乾物生産

前述したように、暖地では生育期間の長い中・晩生の間ダイズ型 (Ⅱc, Ⅲc) や秋ダイズ型 (Ⅳc, Ⅴc) に属する品種が主に栽培されている。これらの品種は冷涼地の北海道や東北地方で栽培されている夏ダイズ型品種 (Ⅰa, Ⅰb, Ⅱa, Ⅱb, Ⅱc, Ⅲb) と比べると、その長い生育期間を反映して、茎長が長くなり、分枝数が多い特性を有しており、特に秋ダイズ型品種では1次及び2次分枝とも著しく多く、生育・収量は分枝に依存する割合が大きい。発生した分枝が多いことは総節数を確保しやすく、結果として莢数、子実数が多くなり、多収につながりやすいと考えられる。従って、暖地においては、多収を目的として栽培する場合は、総節数を確保しやすい分枝型の品種を選択することが有利であるといえる。

また、光合成能の推移からみると、光合成量は生育初期には主として主茎に依存しているが、生育が進むにつれて次第に分枝に依存する割合が増加して、開花期以降は分枝の光合成量はその大半を占めるようになる。このことは暖地ダイズにおける物質生産上の大きな特徴であると考えられることから、生産力の向上を図るには、分枝の能力を最大限に発揮させることが重要と考えられる。

子実収量は一般に全乾物生産量と密接な関係していることが指摘されているが、暖地における中間型や秋ダイズ型品種は、その長い生育日数と分枝性を反映してバイオマスの生産能力量はきわめて大きい (栽植密度試験による最大乾物生産量 $1.1\text{kg}/\text{m}^2$)。乾物生産は一般に生育前半は LAI、後半は NAR によって支配されることから、葉面積の早期確保とその後の光合成能力の維持とが生産性の向上にとってきわめて重要である。特にダイズでは、開花終期から登熟初期にかけて栄養生長が完了し、群落構造が決定されることから、この時期に如何に光透過の良好な構造を形成するかが、光合成機能の維持と子実生産面で重要となる。従って、今後は、光透過に関連する形質、例えば、葉の大きさや形、調位運動などに着目して品種改良を進める必要がある。

一方、乾物生産の子実生産への寄与度の指標となる収穫指数は品種間に大きな差異が認められた。すなわち、アキシロメと玉錦で低く、金成1号とアキヨシで高かった。特に旧品種の玉錦の低収性は低い収穫指数が主な原因であったほか、栽培の多いアキシロメの収穫指数も低く、バイオマスを容易に確保できる暖地のダイズ栽培においては収穫指数の改善が最重要課題であると考えられる。

2. 暖地ダイズの生育・収量と気象条件との関係

暖地ダイズが栽培される季節の気象条件の問題点を挙げると、播種時期である6月から7月にかけての梅雨による多雨寡照、花芽形成から開花期に至る7、8月の夏期の高温乾燥、登熟期間に当たる9、10月の台風による大雨寡照、さらには収穫期の10、11月における低温などがある。ここでは、ダイズの生育経過と各種気象条件との関係から問題点をさぐってみたい。

播種期が若干異なる中間ダイズ型と秋ダイズ型の生育経過と温度との関係について考察してみると、5月下旬から6月中旬に播種される中間ダイズ型においては、開花始めまでの初期生育は概ね好適温度環境下に生育するものといえる。しかし、気温が上昇し始め、高温に経過する7月に入って花芽が分化し、開花が始まる中間ダイズでは適温が20~25℃にあるため、必ずしも好適な温度条件下にあるとはいえない。また登熟期においては、収量関連形質は昼夜ともに低温の場合に好成績が得られたことから、中間ダイズでは開花後半から登熟前半における高温条件が収量を大きく制限しているものと考察された。一方、6月中旬から7月中旬に播種される秋ダイズでは、開花期が中間ダイズよりも遅くなり、開花期の後半以降、登熟期間もやや低温条件下に経過することから、慣行の播種期を前提に考えると、その温度条件から秋ダイズの中間ダイズに対する優位性が裏付けられる。

次に、日射条件との関係について考察すると、まず花芽分化期では開花数を確保する意味で日射は極めて重要な意味を有しており、乾物生産の増大は開花数の増加をもたらすことが明らかとなった。しかし、開花数と結莢率との間には強い負の相関関係が認められ、開花後の稔実莢数の確保は登熟期間中の同化産物の多少と密接に関連していたことから、着莢期の日射条件によっては落花、落莢が生じ結莢率が低下するものと推察される。このことは開花期間中、特に開花前期と後期のCGRやNARが結莢率と高い正の相関を示すことから裏付けられた。従って、花芽分化期から着莢期、すなわち開花期前後の日射条件は子実収量に大きな影響を与えるものと推察され、暖地においては、地域の気象パターンに合わせて播種期を選択することが重要と考えられた。

さらに、土壌水分との関係、特に水ストレスについて考察してみると、水ストレスはダイズの収量を減少させるが、その影響は着莢期において最も大きく、それ以前の水ストレスは生育や光合成を抑制しても、その後の再灌水によってかなりの程度まで回復することが明らかとなった。特に着莢期における水ストレスは転流阻害をもたらすのが特徴で、この時期の干ばつに留意し、場合によっては灌水する必要があるものと考えられる。

3. 暖地ダイズの収量性と播種期及び栽植密度との関係

播種期は、一般に栽培目的や気象災害の回避などによって選択されるが、栽培可能期間が220日~240日にわたる暖地では東北・北海道に比べ、その選択幅が広いのが特徴である。

播種期の早晚に対する品種の収量反応を検討してみると、中間ダイズで小さく、秋ダイズで大きい傾向が認められた。その原因として、中間ダイズでは、栄養生長から生殖生長への移行が速やかであり、1次分枝を中心として比較的短期間に開花・結莢が行われるのに対し、秋ダイズでは2次分枝の発達と並行して開花・結莢が長期間にわたることが考えられる。子実収量はいずれの品種とも晩播きになるほど減少したが、中間ダイズでは結莢期における高いNARにより、3粒莢を増加させ、粒数を確保することによって収量は大きく低下しなかった。しかし秋ダイズではそのほとんどが2粒莢で、総節数の低下がそのまま莢数・粒数、ひいては収量の低下を招いたものと考察された。暖地では5月下旬から7月中旬の広い範囲に播種が行われる中間ダイズ型品種は適宜播種期を選定できるものといえるが、収量が低下する晩播きでは、その原因が低LAIによることから、栽植密度を増加させることなどの方策により、さらに増収が期待できるものと推察された。一方、秋ダイズ型の品種では晩播き

になるほど生育量が急激に小さくなり、収量も低下するが、逆に早播きでは過繁茂などの不安定要因が問題となる。従って、これらの要因を加味すると、中間ダイズ型品種に比べ、適播種期の幅が狭く、本実験の結果からみて播種を6月下旬と設定し、安定多収を目指す栽培技術を追究するのが望ましいと思われる。

本実験では、分枝型で乾物生産力の高い秋ダイズ型品種（Vc型）アキヨシの密度反応性について検討したが、子実収量は密植（13.2個体/m²）ほど増加したものの中植区（6.6個体/m²）との差はきわめて小さく、13.2個体/m²の栽植密度が最高収量が得られる限界密度に近いものと推定された。この栽植密度は最高収量が得られる栽植密度（適栽植密度）に関する既往の研究報告に比べてかなり低く、一般に高温、過湿に経過する暖地においては品種の分枝性に着目して栽植密度を決定することがきわめて重要で、過剰な密植は過繁茂、倒伏を招く恐れがある。従って今後、密植による増収を期待するには、倒伏防止技術の開発、または品種の耐倒伏性の改善がきわめて重要である。また、密植では分枝数の少ない主茎型品種が有利であることが指摘されており、暖地においても短茎、主茎型品種の育成が今後の課題といえよう。

4. 根粒着生と窒素代謝からみた窒素施肥法

根粒着生系統及び非着生系統を台木とした接穂植物を育成して行った実験結果から、植物体の窒素成分は台木における根粒着生の有無によって顕著な差異が認められた。根粒による固定窒素量の全窒素量に占める割合は生育初期には約2%に過ぎなかったが、その割合は生育に伴って急激に増加し、開花盛期には約41%、開花終期には約67%、その後は72~80%となり、追肥を施した場合にはいずれもその割合が低下する傾向が認められた。このことから根粒菌の固定する窒素は特に後期生育、すなわち子実生産に対してきわめて大きな役割を演じていることがうかがわれる。

アセチレン還元法、及び重窒素利用法によって検討した根粒機能の調査結果から、ダイズの子実生産には根粒による固定窒素がきわめて大きな役割を果たしていることが明らかになったが、一方では施肥窒素も根の生長を通じて重要な役割を演じていることが示唆された。すなわち、根粒の窒素固定能は花芽分化期頃から増加し始め、開花始め頃に最大となり、子実への窒素集積が盛んになる登熟後半には急激に衰え、量的にも著しく減少することが明らかになった。一方、根の生長は、他の器官と異なり、施肥窒素に依存する割合が大きく、根による窒素の吸収は生育期間を通じてほぼ一定の割合で行われていることが示唆された。このことから、ダイズの生育過程における吸収窒素は生育初期における根系の形成、及び開花期以降における個体の窒素集積とその子実への転流にかなり寄与していることが判明した。

しかしながら、ダイズの根粒着生とその発達、一方では施肥窒素量の増加によって著しく抑制される。従って、根粒の着生を抑制することなく、根系の発達をうながすことは、ダイズにおける収量性の向上にとってきわめて重要なポイントと考えられる。一般に、茎葉が過繁茂になりやすい西南暖地のダイズ栽培においては、窒素施肥技術の確立はきわめて重要であるが、根系の生育促進、根粒着生の増大を図るには土壌の物理性の改善と少量の基肥窒素を施用し、生育後半の根粒活性を高水準に維持し、開花期以降に窒素の追肥を行うことが望ましいと考えられた。

5. 暖地における特殊栽培法の意義

暖地においては、その環境条件や転換畑の利用面から様々な栽培法が試みられている。そこで、ここでは移植栽培、摘心栽培、及び畦上栽培の意義について若干の考察を加えておきたい。

移植栽培では、育苗日数が短い場合には移植による植え傷みが少なく、活着直後の生育は抑制されるものの、

着莢期以降の後期生育が旺盛となり、1次分枝がよく発達して大きくは減収しないものと推察される。一方、育苗日数が長い場合は、苗が徒長して軟弱化し、植え傷みにより生育が抑制され、特に主茎の発達が劣る傾向が認められた。また、分枝数は増加するが、個々の1次分枝の発達は悪かった。従って、暖地におけるダイズの移植栽培では、育苗日数はあまり長くせず、初生葉展開時に移植できる育苗を目指すべきであろう。しかし、その場合にも積極的増収を期待することは困難であり、移植栽培を行うかどうかは、鳩害などの防止、発芽不良の対策、前作との関係などの要因によって決定すべきと考えられる。

摘心栽培について述べると、摘心処理は第5複葉展開期処理によって増収効果があることが明らかとなった。また、TIBA処理は基本的には摘心処理と類似した効果を有しており、両処理とも頂芽優勢を打破し、分枝の発生を促進するところに共通点が認められる。また、TIBA処理の場合には、その処理濃度によって効果は異なると思われるが、処理時期が遅くなると伸長中の分枝に対しても抑制作用がみられたことから、処理の時期については十分注意する必要がある。増収効果は平均的にみると、TIBA処理が摘心処理に比べてやや劣っていたが、労力面を考慮に入れると、TIBA処理がより実用的と考えられる。いずれの処理も適期が遅れると、逆に減収を招くことから、実際栽培ではこの点に留意することが必要である。

水田転換畑における畦立栽培について述べると、平畦栽培に対する畦立栽培の効果は、地上部よりも地下部の生育に顕著に現れ、根系の発達が良好となるばかりではなく、根粒の着生も旺盛となることが明らかとなった。加えて、発達した根系が登熟期における地上部の健全な生長を支え、平畦ではいわば秋落ちの生育を示すのに対し、秋まさりの生育となり、良好な子実生産を可能にしたものと推察された。根粒菌による固定窒素は、開花・結実期に重要な役割を演じており、子実の主要な窒素源であることから、畦立による土壌環境の改善は、根系の発達ばかりでなく、根粒の着生を活発にさせる面できわめて大きな意義を持つと言える。一般に高温、過湿条件に経過しやすい暖地の水田転換畑においては、安定・多収の観点から畦立栽培が必須の条件であると考えられた。

引用文献

1. Abel, G. H., Jr.: Response of soybeans to dates of planting in the Imperial Valley of California, *Agron. J.*, 53: 95-98. 1961.
2. 赤尾勝一郎・河内 宏・米山忠克: 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. 1987
3. 朝日幸光・井口武夫: 暖地における大豆の生育に及ぼす栽培条件の影響, 第2報 栽植密度の違いが諸形質に及ぼす影響, *日作九支報*, 42: 78-80. 1975.
4. 浅沼興一郎・中世古公男・後藤寛治: 豆類における伸育性と乾物生産特性との関係, 第2報 大豆および菜豆における伸育性を異にする品種の乾物生産特性と収量との関係, *日育日作北海道談話会報*, 12: 93. 1972.
5. Bauer, M. E., Pendleton, J. W., Beuerlein, J. E. and Ghorashy, S. R.: Influence of terminal bud removal on the growth and seed yield of soybeans, *Agron. J.*, 68: 709-711. 1976.
6. Beard, B. H. and Hoover, R. M.: Effects of nitrogen on nodulation and yield of irrigated soybeans, *Agron. J.*, 63: 815-816. 1971.
7. Beatty, K. D., Eldridge, I. L. and Simpson, A. M., Jr.: Soybean response to different planting patterns and dates, *Agron. J.*, 74: 859-862. 1982.
8. Bergersen, F. J.: The quantitative relationship between nitrogen fixation and the acetylene-reduction assay, *Aust. J. Biol. Sci.*, 23: 1015-1025. 1970.
9. Beuerlein, J. E. and Pendleton, J. W.: Photosynthetic rates and light saturation curves of individual soybean leaves under field conditions, *Crop Sci.*, 11: 217-219. 1971.
10. Bhangoo, M.S. and Albritton, D. J.: Nodulating and non-nodulating Lee soybean isolines response to applied nitrogen, *Agron. J.*, 68: 642-645. 1976.
11. Boerma, H. R. and Ashley, D. A.: Irrigation, row spacing, and genotype effects on late and ultra-late planted soybeans, *Agron. J.*, 74: 995-999. 1982.
12. Bohning, R. H. and Burnside, C. A.: The effect of light intensity on rate of apparent photosynthesis in leaves of sun and shade plants, *Amer. J. Bot.*, 43: 557-561. 1956.
13. Boquet, D. J., Koonce, K. L. and Walker, D. M.: Selected determinate soybean cultivar yield responses to row spacings and planting dates, *Agron. J.*, 74: 136-138. 1982.
14. Brown, E. A., Caviness, C. E. and Brown, D. A.: Response of selected soybean cultivars to soil moisture deficit, *Agron. J.*, 77: 274-278. 1985.
15. Buttery, B. R.: Effects of plant population and fertilizer on the growth and yield of soybeans, *Can. J. Pl. Sci.*, 49: 659-673. 1969.
16. Buttery, B. R. and Buzzell, R. I.: The relationship between chlorophyll content and rate of photosynthesis in soybeans, *Can. J. Pl. Sci.*, 57: 1-5. 1977.
17. Deibert, E. J., Bijeriego, M. and Olson, R. A.: Utilization of ¹⁵N fertilizer by nodulating and non-nodulating soybean isolines, *Agron. J.*, 71: 717-723. 1979.
18. Doss, B. D., Pearson, R. W. and Rogers, H. T.: Effect of soil water stress at various growth stages on

- soybean yield, *Agron. J.*, 66 : 297-299. 1974.
19. Finke, R. L., J. E. Harper and R. H. Hageman: Efficiency of nitrogen assimilation by N_2 -fixing and nitrate-grown soybean plants (*Glycine max* [L.] Merr.), *Plant Physiol.*, 70 : 1178-1184. 1982.
 20. 藤田耕之輔・田中 明: ダイズにおける窒素の固定・吸収・転流に対する化合窒素の影響, *土肥誌*, 53 : 30-34. 1982.
 21. 福井重郎・荒井正雄: 日本に於ける大豆の品種生態学的研究, 第1報 開花迄日数及び結実日数の長短による大豆品種の分類とその地理的分布に就て, *育雑*, 1 : 27-39. 1951.
 22. 福井重郎・伊藤隆二・内山泰孝: 土壤水分が大豆の生育並びに収量に及ぼす影響に就いて, 第Ⅲ報 地下水水位の高低が大豆の生育並びに収量に及ぼす影響, *関東東山農試研報*, 1 : 9-14. 1951.
 23. 福井重郎・伊藤隆二: 生育の各期に於ける土壤水分の不足が大豆の生育並びに収量に及ぼす影響について, *日作紀*, 20 : 45-48. 1951.
 24. 福井重郎・大野 元: 日本に於ける大豆品種の生態学的研究, Ⅱ 品種の生態型と諸特性との関係, *関東東山農試研報*, 3 : 49-73. 1952.
 25. 福井重郎・鎗水 寿: 大豆の登熟に対する温度並びに日長の効果について, *日作紀*, 21 : 123-124. 1952.
 26. 福井重郎・鎗水 寿・内山泰隆: 土壤水分が大豆の生育並びに収量に及ぼす影響に就いて, 第Ⅳ報 生育時期別地下水水位の変化が大豆の生育並びに収量に及ぼす影響, *関東東山農試研報*, 5 : 28-32. 1954.
 27. 福井重郎: 土壤水分からみた大豆の生理・生態学的研究, *農事試研報*, 9 : 1-68. 1965.
 28. 福井重郎・小島陸男・渡辺 巖: 大豆の子実生産に関する研究 第1報 温度が光合成におよぼす影響 *日作紀*, 33 : 432-436. 1965.
 29. 福本 嵩・小淵一夫: 大豆の移植摘心栽培法, *農及園*, 28 : 68-72. 1953.
 30. 古谷義人・久木井基二: 大豆の発芽に就て, (1) 温度と発芽との関係, *九州農研*, 7 : 105-107. 1950.
 31. 後藤寛治: 農作物の収量限界[2], *農及園*, 57 : 737-743. 1982.
 32. Greer, H. A. L. and Anderson, I. C.: Response of soybeans to triiodobenzoic acid under field conditions, *Crop Sci.*, 5 : 229-232. 1965.
 33. 原田哲夫・滝広徳男・森 康男: 開花期間中の温度条件が大豆の登熟に及ぼす影響, *中国農研*, 8 : 24-25. 1957.
 34. 橋本綱二: 大豆の生育時期別発達に対する肥料ならびに固定窒素の意義, *北農試彙報*, 99 : 17-29. 1971.
 35. 肱元茂善・三野幸一: 土壤水分と大豆落花との関係に就て, *香川農大報*, 4 : 95-103. 1952.
 36. Hoggard, A. L., Shannon, J. G. and Johnson, D. R.: Effect of plant population on yield and height characteristics in determinate soybeans, *Agron. J.*, 70 : 1070-1072. 1978.
 37. 洪 殷窓・小島陸男: 大豆におけるたんばく質収量の増大に関する研究, 第1報 晩播栽培における大豆品種の乾物生産. *日作紀*, 41 : 502-508. 1972.
 38. Hume, D. J. and Criswell, J. G.: Distribution and utilization of ^{14}C -labelled assimilates in soybeans, *Crop Sci.*, 13 : 519-524. 1973.
 39. 井口 匠・池上 守: 大豆の増収栽培に関する試験, 第1報 移植摘心栽培の検討, *岡山農試臨報*, 53 : 19-28. 1955.

40. 池田 武・佐藤 庚：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. 1990.
41. 井上重陽：種子の発芽温度に関する研究 K，大豆，日作紀，21：276-277. 1953.
42. 石原愛也：2, 3, 5-triiodobenzene 酸が大豆の花芽の分化に及ぼす影響について，日作紀，24：211. 1956.
43. 石塚潤爾・沖野房江・星 忍：大豆の栄養生理学的研究（第3報），茎の各種窒素成分含量と栄養生長との関係，土肥誌，41：78-82. 1970.
44. 石塚潤爾：豆科作物の窒素代謝，農及園，45：1053-1057. 1970.
45. Johnson, B. J. and Harris, H. B.: Influence of plant population on yield and other characteristics of soybeans, Agron. J., 59: 447-449. 1967.
46. Johnson, H. W., Borthwick, H. A. and Leffel, R. C.: Effects of photoperiod and time of planting on rates of development of the soybean in various stages of the life cycle, Bot. Gaz., 122: 77-95. 1960.
47. 鎌田悦男：大豆における根瘤形成に関する生理形態学的研究，I. 窒素供給量と根瘤発達について，日作紀，25：145-146. 1967.
48. 加藤一郎：中国・四国地域における転換畑大豆作の諸問題，農及園，57，499-504. 1982.
49. 加藤忠司・山根真人・塚原貞雄：ダイズによるアンモニア態窒素 (^{15}N) および硝酸態窒素 (^{15}N) の吸収利用，土肥誌，54：25-29. 1983.
50. 加藤泰正：大豆のチッソ代謝に関する研究，第1報 標識チッソと非標識チッソの体内における移行と代謝について，日作紀，42：154-163. 1973.
51. Kato, Y.: Studies on nitrogen metabolism of soybean plants, VI. Utilization and distribution of nitrogen derived from nitrate and symbiotic fixation, Jpn. J. Crop Sci., 50: 282-288. 1981.
52. Kato, Y., Takeda, M., Mori, M.: Effect of nitrate levels on nitrogen fixation and growth of soybean, Jpn. J. Crop Sci., 53: 176-186. 1984.
53. 川島良一・丸山宣重・杉山信太郎・御子柴公人・松沢 宏：大豆の多収性に関する研究（第1報），相関関係からみた多収性品種の特性，長野農試研究集報，5：55-62. 1962.
54. 川島良一・御子柴公人・丸山宣重・荻原英雄：大豆の晩播栽培に関する研究，第1報 播種期の限界とその適応栽植密度について，長野農試報，29：32-37. 1966.
55. 川島良一・御子柴公人・丸山宣重・松沢 宏・一之瀬高房・赤羽二三男・田中幹夫：大豆の晩播栽培に関する研究，第2報 栽植様式について，長野農試報，29：38-41. 1966.
56. 木村 悟：梅雨回避のための大豆の晩播栽培，農業技術，41：1-5. 1986.
57. 小林政明・赤井正志：大豆の摘心が生育とくに根系におよぼす影響，農及園，31：1259-1261. 1956.
58. Kokubun, M., Asahi, Y.: Distribution and utilization of ^{14}C -labelled assimilate in debranched soybeans, Jpn. J. Crop Sci., 54: 353-358. 1985.
59. 国分牧衛：大豆の Ideotype の設計と検証，東北農試研報，77：77-162. 1988.
60. Koller, H. R., Nyquist, W. E. and Chorush, I. S.: Growth analysis of the soybean community, Crop Sci., 10: 407-412. 1970.
61. 小松典行・津川兵衛・西川欽一・丹下宗俊：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. 1989.
62. 近藤 早・池永 昇・石川越三：生育時期別土壌水分の多少が大豆の生育・収量に及ぼす影響，四国農試

- 報, 5: 1-14. 1960
63. 昆野昭晨・福井重郎・小島睦男: 土壌水分が大豆の体内成分ならびに結莢におよぼす影響, 農技研報, D 11: 111-149. 1964.
 64. 昆野昭晨: ダイズの子実生産機構の生理学的研究, 農技研報, D27: 139-295. 1976.
 65. 工藤壯六・佐藤喜代助・工藤 純・上田邦彦: 乾物生産から見た大豆の生育相について, 日作東北支報, 3: 18-19. 1961.
 66. 玖村敦彦・浪花 勲: 大豆の物質生産に関する研究, 第1報 生育に伴う植物体の光合成能ならびに呼吸能の推移, 日作紀, 33: 467-472. 1965.
 67. 玖村敦彦: 大豆の物質生産に関する研究, 第2報 大豆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状態と光合成, 日作紀, 33: 473-481. 1965.
 68. 玖村敦彦: 大豆の物質生産に関する研究, 第5報 個体群の光合成について, 日作紀, 38: 74-90. 1969.
 69. 倉窪保雄・藪田忠昭: 大豆の移植並に摘芯の効果について, 東海近畿農研, 3-4: 53-58. 1953.
 70. 串崎光男・石塚潤爾・赤松房江: 大豆の栄養生理学的研究(第1報), 根粒着生の状況が大豆の生育, 収量, 養分吸収に及ぼす影響, 土肥誌, 35: 319-322. 1964.
 71. 串崎光男・石塚潤爾・赤松房江: 大豆の栄養生理学的研究(第2報), 根粒の着生が大豆の窒素成分組成に及ぼす影響, 土肥誌, 35: 323-327. 1964.
 72. 楠本 司・篠崎成美: 植物群落に於ける植物生産に関する生理生態学的研究, 第1報 大豆の生長に応じて生ずる葉の光合成生産についての基礎的研究, 鹿児島大教育学部研究紀要, 6: 131-138. 1954.
 73. Lathwell, D. J. and Evans, C. E.: Nitrogen uptake from solution by soybeans at successive stages of growth, Agron. J., 43: 264-270. 1951.
 74. Lawn, R. J. and Brun, W. A.: Symbiotic nitrogen fixation in soybeans, III. Effect of supplemental nitrogen and intervarietal grafting, Crop Sci., 14: 22-25. 1974.
 75. Lehman, W. F. and Lambert, J. W.: Effects of spacing of soybean plants between and within rows on yield and its component, Agron. J., 52, 84-86. 1960.
 76. Mann, J. D. and Jaworski, E. G.: Comparison of stresses which may limit soybean yields, Crop Sci., 10: 620-624. 1970.
 77. 松本重男・朝日幸光: 生育経過型からみた夏大豆の子実生産力向上に関する研究, 九州農試報, 19: 13-60. 1977.
 78. 松永亮一・松本重男・島野 至・島田信二: ダイズの窒素肥料反応性の品種間差異に及ぼす根粒着生の影響, 日作紀, 52: 423-429. 1983.
 79. Meckel, L., Egli, D. B., Phillips, R. E., Radcliffe, D. and Leggett, J. E.: Effect of moisture stress on seed growth in soybeans, Agron. J., 76: 647-650. 1984.
 80. Mederski, H. J. and Streeter, J. G.: Continuous, automated acetylene reduction assays using intact plants, Plant Physiol., 59: 1076-1081. 1977.
 81. Momen, N. N., Carlson, R. E., Shaw R. H. and Arjmand, O.: Moisture-stress effects on the yield components of two soybean cultivars, Agron. J., 71: 86-90. 1979.
 82. 長瀬嘉迪・竹村昭平: 畑作物の栽培時期の移動と灌漑に関する研究, II. 大豆の播種期・栽植密度と灌漑

- との関係, 日作紀, 34:127-132. 1965.
83. 永田忠男: 大豆における遮光の影響と摘心の効果に就て (予報), 日作紀, 20:335-336. 1950.
 84. 永田忠男: 早期摘心が大豆の生育並びに収量に及ぼす影響 (予報), 日作紀, 19:323-326. 1951.
 85. 中川 浩・高野圭三: 大豆の摘心が子実収量構成要素に及ぼす影響, 島根農大研報, 3:27-33. 1955.
 86. 中村 迎: 光線制限が大豆の生育に及ぼす生育時期別の影響 (豫報), 農及園, 25:1031-1032. 1950.
 87. 中村大四郎・横尾浩明: 播種期拡大による大豆栽培の安定[1], 農及園, 61:420-424. 1986.
 88. 中村大四郎・横尾浩明: 播種期拡大による大豆栽培の安定[2], 農及園, 61:547-552. 1986.
 89. 中野 寛・桑原真人・渡辺 巖・田淵公清・長野間 宏・東 孝行・平田 豊: 大豆の窒素追肥技術, 第2報 施肥量と施肥位置の効果, 日作紀, 56:329-336. 1987.
 90. 中野 寛・渡辺 巖・田淵公清: 大豆の窒素追肥技術, 第3報 窒素追肥が窒素固定に及ぼす影響, 日作紀, 58:192-197. 1989.
 91. 中世古公男・野村文雄・後藤寛治・大沼 彪・阿部吉克・今野 周: 水田転換畑多収ダイズの乾物生産特性, 日作紀, 53:510-518. 1984.
 92. 中世古公男: 豆類の乾物生産特性に関する研究, 北大農邦文紀要, 14:103-158. 1984.
 93. 大庭寅雄・大久保隆弘: 大豆の増収要因に関する研究 土壤肥沃度と適栽植密度との関係, 日作紀, 39(別2):11-12. 1970.
 94. 大賀康之・三善重信・森藤信治: 大豆の早播き栽培について, 第1報 生育特性, 日作九支報, 50:77-79. 1983.
 95. 大賀康之・三善重信・平野幸二: 大豆の早播き栽培について, 第3報 生育及び収量, 日作九支報, 52:59-62. 1985.
 96. 大泉久一: 大豆の分枝発生機構並びにその栽培学的意義に関する研究, 東北農試研報, 25:1-96. 1962.
 97. 小島睦男・福井重郎・渡辺 巖: 大豆の子実生産に関する研究 第2報 肥料養分および葉令が光合成におよぼす影響ならびに定温・定照度下における光合成の日変化について, 日作紀, 33:437-442. 1965.
 98. 小島睦男・福井重郎: 大豆の子実生産に関する研究, 第3報 乾物生産の特性について, 日作紀, 34:448-452. 1966.
 99. 小島睦男・福井重郎: 大豆の子実生産に関する研究, 第4報 乾物生産と収量との関係, 日作紀, 34:453-456. 1966.
 100. 小島睦男・川嶋良一: 大豆の子実生産に関する研究, 第5報 大豆の光合成能力の品種間差異とその安定性, 日作紀, 37:667-675. 1968.
 101. Olsen, F. J., Hamilton, G. and Elkins, D. M.: Effect of nitrogen on nodulation and yield of soybean, *Exp. Agr.*, 2:289-294. 1975.
 102. Osler, R. D. and Cartter, J. L.: Effect of planting date on chemical composition and growth characteristics of soybeans, *Agron. J.*, 46:267-270. 1954.
 103. Parker, M. B., Marchant, W. H. and Mullinix, B. J., Jr.: Date of planting and row spacing effects on four soybean cultivars, *Agron. J.*, 73:759-762. 1981.
 104. Rabie, R. K., Arima, Y., Kumazawa, K.: Growth, nodule activity and yield of soybeans as affected by the form and application method of combined nitrogen, *Soil Sci. Pl. Nutr.*, 25:417-424. 1979.

105. Rabie, R. K., Arima, Y., Kumazawa, K.: Effect of application time of labeled combined nitrogen on its absorption and assimilation by nodulated soybeans, *Soil Sci. Pl. Nutr.*, 27: 225-235. 1981.
106. Rabie, R. K.: Seasonal variation in nitrogen accumulation of soybean plants as affected by combined nitrogen and light intensity, *Japan Jour. Crop Sci.*, 55: 1-6. 1986.
107. Ralston, E. J. and Imsande, J.: Nodulation of hydroponically grown soybean plants and inhibition of nodule development by nitrate, *J. Exp. Bot.*, 34: 1371-1378. 1983.
108. 笹村静夫: 生育温度の差異が早, 中, 晩生大豆の開花期に及ぼす影響, *農及園*, 25: 595-596. 1950.
109. 佐藤 庚: 日長, 温度に対する大豆の生育反応, 第1報 栄養生長について, *日作紀*, 45: 443-449. 1976.
110. 佐藤 庚・池田 武: 日長・温度に対する大豆の生育反応, 第4報 登熟期間の温度が成熟種子の収量および諸形質に及ぼす影響, *日作紀*, 48: 283-290. 1979.
111. 島田信二・広川文彦・宮川敏男: 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. 1990.
112. 下島久雄・御子柴公人: 大豆移植摘芯が開花結莢に及ぼす影響, *農及園*, 25: 418. 1950.
113. 下島久雄・御子柴公人: 大豆移植摘芯の影響, *日作紀*, 21: 129-130. 1952.
114. Silvius, J. E., Johnson, R. R. and Peters, D. B.: Effect of water stress on carbon assimilation and distribution in soybean plants at different stages of development, *Crop Sci.*, 17: 713-716. 1977.
115. Sionit, N. and Kramer, P. J.: Effect of water stress during different stages of growth of soybean, *Agron. J.*, 69: 274-278. 1977.
116. Sionit, N., Rogers, H. H., Bingham, G. E. and Strain, B. R.: Photosynthesis and stomatal conductance with CO₂-enrichment of container and field-grown soybeans, *Agron. J.*, 76: 447-451. 1984.
117. Spaeth, S. C. and Sinclair, T. R.: Variation in nitrogen accumulation and distribution among soybean cultivars, *Field Crops Res.*, 7: 1-12. 1983.
118. Spaeth, S. C., Randall, H. C., Sinclair, T. R. and Vendeland, J. S.: Stability of soybean harvest index, *Agron. J.*, 76: 482-486. 1984.
119. Stephenson, R. A. and G. L. Wilson: Patterns of assimilate distribution in soybean at maturity, I. The influence of reproductive developmental stage and leaf position, *Aust. J. Agric. Res.*, 28: 203-209. 1977.
120. Stephenson, R. A. and G. L. Wilson: Patterns of assimilate distribution in soybean at maturity, II. The time course of changes in ¹⁴C distribution in pods and stem sections, *Aust. J. Agric. Res.*, 28: 395-400. 1977.
121. 竹島溥二: 温度較差と大豆の結実との関係, *日作紀*, 21: 119-120. 1951.
122. 玉置 秩・中 潤三郎: 大豆の生育相に関する生理学的研究, I. 生育に伴う地上部各器官成分の消長について, *日作四国支紀*, 2: 1-8. 1967.
123. 玉置 秩・中 潤三郎: 大豆の生育相に関する生理学的研究, II. 播種期の移動に伴う体内成分の消長について, *日作四国支紀*, 9: 19-22. 1972.
124. 田中 明・藤山英保・森谷和仁・Oka, E. I.: 大豆および菜豆の窒素施肥反応, *土肥誌*, 49: 406-411. 1978.

125. 田中 明・藤田耕之輔・田中裕子：大豆の窒素固定・化合窒素吸収に対する遮光の影響，土肥誌，51：281-284. 1980.
126. 田中滋郎・古明地通孝・財津昌幸：播種期の違いによる大豆の生育と着莢性，日作九支報，53：103-105. 1986.
127. Tayo, T. O. : The response of two soybean varieties to the loss of apical dominance at the vegetative stage of growth, J. Agr. Sci., 95 : 409-416.
128. Thomas, J. F and Raper, C D., Jr : Effect of day and night temperatures during floral induction on morphology of soybeans, Agron. J., 70 : 893-898. 1978.
129. 戸菊義次・加藤泰正・江幡守衛：大豆の増収機構に関する研究，I. 大豆の生育に伴う植物体各部の成分の消長，日作紀，24：103-107. 1955.
130. Trang, K. M. and Giddens, J. : Shading and temperature as environmental factors affecting growth, nodulation, and symbiotic N₂ fixation by soybeans, Agron. J., 72 : 305-308. 1980.
131. 辻村克良：荳科作物の生育期と窒素固定の関係に就て，土肥誌，21：181-184. 1951.
132. van Schaik, P. H and A H Probst : Effect of some environmental factors on flower production and reproducing efficiency in soybeans, Agron. J., 50 : 192-197. 1958.
133. 渡辺 巖・中野 寛・田淵公清：大豆の窒素追肥技術，第1報 登熟初期の追肥が収量，収量構成要素および子実の蛋白含有率におよぼす影響，日作紀，52：291-298. 1983.
134. Weber, C. R. : Nodulating and nonnodulating soybean isolines: I Agronomic and chemical attributes, Agron. J., 58 : 43-46. 1966.
135. Weber, C. R. : Nodulating and nonnodulating soybean isolines: II Response to applied nitrogen and modified soil conditions, Agron. J., 58 : 46-49. 1966.
136. Weber, C. R. : Physiological concepts for high soybean yields, Fld. Crop Abstr., 21 : 313-317. 1968.
137. Wright, D. L., F. M. Shokes and P. K. Sprenkel : Planting method and plant population influence on soybean, Agron. J., 76 : 921-924. 1984.
138. Yamagishi, J., Ishii, R., Kumura, A. : Respiration of soybean plants in relation to their physical conditions, I The effects of nitrogen supply and plant age on the behavior of respiration in the dark period, Japan. Jour. Crop Sci., 57 : 355-359. 1988.
139. 山口淳一・田中 明：イネおよびダイズにおける呼吸の窒素吸収・固定・同化に対する効率の試算，土肥誌，52：43-48. 1981.
140. 山内富士雄：大豆の子実生産に関する解析的研究，第1報 ほ場条件における日射エネルギーの利用効率，北海道農試研報，108：19-29. 1974.
141. 山内富士雄：大豆の子実生産に関する解析的研究，第2報 栽植密度と収量性の関係 北海道農試研報，108：33-44. 1974.
142. 山内富士雄：大豆の子実生産に関する解析的研究，第3報 葉面積と子実生産の関係 北海道農試研報，115：113-121. 1976.
143. 吉田重方：遮光処理が大豆の根粒着生と窒素固定におよぼす影響について，日作紀，42：135-136. 1973.
144. 吉鹿正三・安藤幸太郎：秋大豆栽培に於ける株間並びに一株本数が収量及び収量構成要素に及ぼす影響に

就いて，福岡農試研時報，5：3-8。1953。

Dry Matter Production and Yield Potentiality of Soybean in a Warm Area in Japan

Koh-ichiro ASANUMA

Summary

In warm areas in Japan, the cultivation area of soybean is increasing, but the levels of seed yield and cultural practices are not so high in cool areas such as Hokkaido, Tohoku etc. In addition, there have been very few studies on soybean productivity in warm areas such as Shikoku district. Therefore, from 1968 to 1989, studies were carried out with the view of improving the productivity of soybean. The results obtained are summarized as follows.

I. Characteristics of dry matter production of soybean cultivars in warm area in Japan.

1. Using two medium and two autumn type cultivars, the differences in growth characteristics, dry matter production and yield determining processes were investigated. The amount of dry matter produced reflected the growth duration, that is, with increasing growth duration, the amount of dry matter produced increased. At earlier growth stages, dry matter production depended on leaf area index, but at later stages it depended on net assimilation rate.

On the other hand, with regard to the partitioning of dry matter in relation to the seeds, there were considerable differences among cultivars on the basis of harvest index, showing the old cultivar as the lowest.

2. The photosynthetic rates (P_0) of individual leaves at different nodal positions were measured at several growth stages, and the relations between P_0 and the environmental factors on the physiological status of leaves was investigated. There was the tendency that P_0 of upper leaves became higher than lower leaves as growth progressed. The results showed that individual leaves achieved high P_0 just after full expansion, and thereafter declined gradually to senesce. It was emphasized that in later growth stages, total photosynthesis of branch leaves was more important, due to their abundance in soybean plants grown in the warm areas of Japan. Under light-saturated conditions, P_0 was closely related to stomatal behavior, such as leaf temperature, stomatal conductance, transpiration, etc., suggesting that high temperature in summer restricted photosynthesis.

II. Effects of environmental factors on growth and dry matter production.

1. In experiments on the relationships between day/night temperature and growth, the most favorable temperatures for growth varied according to growth stages. From sowing to first flowering, relatively higher temperature accelerated the growth of soybean plants. Thereafter, high temperatures were not so favorable, as shown by the low flowering and seed yield results. During the ripening stage, seed development was

better under low temperature than under high temperature conditions.

2. From the results of two levels of shading treatment at various growth stages, light intensity at late flowering stage had the most deleterious effects on dry matter production and yield components, such as the number of pods and seeds. Of these two yield components, the former directly correlated to the dry matter production at flowering stage.

3. Two levels of water stress were applied to plants at various growth stages to examine the effects on growth, yield and dry matter production. Water stress decreased seed yield at all stages of growth, especially at early pod filling. Though stress at early and late flowering stages restricted plant growth and photosynthesis, rewatering improved these considerably. It was concluded that the reduction in seed yield by water stress at early pod filling was mainly due to the restriction in the translocation of matter, even if plants were rewatered.

III. Effects of cultural practices on growth, dry matter production and seed yield.

1. In experiments on the response of medium and autumn type soybean cultivars to the time of sowing, the effects of sowing time were not so clear for medium type cultivar as for autumn type cultivars. Therefore, for medium type cultivars, we easily can select the optimum time for sowing, at any time from May to July. On the contrary, for autumn type cultivars, there was a tendency that, as the sowing time was delayed, the dry matter production and seed yield was reduced. It was concluded from this experiment that the optimum sowing time for the autumn type cultivars would be late June.

2. Responses of soybean plants to three levels of planting densities (3.3, 6.6 and 13.2 plants/m²) were investigated. With increasing planting densities, the plant height was increased, but the numbers of branches, especially the secondary branches, total nodes, total leaves and pods were decreased. Although high planting density reduced light intensity within the plant canopy and led to the breakage of branches, it increased seed yield by increasing LAI and dry matter production. It appeared that a planting density of 13.2 plants per m² might be the limit, beyond which further increase in plant density would not increase the seed yield.

3. Using nodulated soybean plants, a pot sand culture experiment was carried out to determine the effect of three levels of nitrogen (0, 100, 200 ppm) on plant growth, CO₂ exchange and nitrogen nutrition. Applied nitrogen accelerated plant growth, but increased seed yield very little. This was due to the large consumption of carbon compounds by the underground organs, although photosynthesis and production of dry matter was accelerated by nitrogen application. Furthermore, excess application of nitrogen decreased the nodule development, showing that the response of soybean plants to nitrogen levels was affected by the relationship between the absorption of applied nitrogen by the roots and of fixed nitrogen by the nodules.

IV. Relationships between nitrogen nutrition and nodulation.

1. Experiments using the grafted plants on the nodulating or non-nodulating isolines (stock) with the autumn type cultivar Akiyoshi (scion) were conducted. From the results of these experiments, it was concluded that nitrogen fixed by plant nodules at flowering and maturing stages played an important role as

the source of nitrogen compounds in pods and seeds, and it was more effective than the nitrogen absorbed from the soil.

2. Changes in nodule activity using the method of acetylene reduction, and in nitrogen absorption and translocation with the method of ^{15}N tracer were studied. Though nodule activity decreased in later growth stages, accumulation of nitrogen increased at the same time. It was supposed that small amounts of nitrogen should be applied as basal dressing for root and nodule development, and that top dressing should be done to obtain the high seed yield.

V. The meaning of some cultural practices in a warm area in Japan.

1. Three types of seedling, differing in age, were transplanted and the growth, dry matter production and yield were compared with the direct sowing practice. Results indicated that transplanting practice had little or no effects of the increase on seed yield. This practice, therefore, should only be applied if damage by pigeons is predicted, or if seed germination is not so successful, or if sowing might be delayed by the late harvest of preceding crops.

2. Topping treatments or foliar applications of TIBA were conducted at three different growth stages (4th, 5th and 6th trifoliate leaf expansion stage, respectively). Topping treatments at all stages increased the number of branches, especially secondary branches, resulting in the increase in number of total nodes, total leaves and leaf area index. Foliar application of TIBA had similar effects as topping treatments except on the number of primary branches and leaf area index. Both topping and TIBA treatments at 5th trifoliate leaf expansion stage increased seed yield remarkably.

3. In upland field converted from paddy, experiments on the effects of ridge culture on the root system, and the growth and yield of soybean plants, were compared with those from a level culture. Ridging improved the soil water conditions and accelerated the root and nodule development. These well developed root systems supported the sound growth of tops, thus resulting in high seed yield.

香川大学農学部紀要

- 第1号 幡 克 美：アカマツ材の成分並びにパルプ化に関する研究（1955年3月）
- 第2号 内 藤 中 人：植物成長ホルモンに関する植物病理学的研究 特に植物病原菌に及ぼす影響について（1957年10月）
- 第3号 松 沢 寛：アオムシコマユバチの生態に関する研究（1958年3月）
- 第4号 梶 明：和紙原料の醗酵精練に関する研究（1959年3月）
- 第5号 森 和 男：傾斜地蜜柑園経営の構造分析（1960年3月）
- 第6号 玉 置 鷹 彦：ガラク並びに池泥の研究（1960年3月）
- 第7号 上 原 勝 樹：傾斜地開発利用に関する物理気象的研究（1961年3月）
- 第8号 桑 田 晃：オクラとトロロアオイとの種間交雑およびそれらより育成された種々の雑種ならびに倍数体に関する研究（1961年9月）
- 第9号 中 潤三郎：甘藷の生育過程に関する作物生理学的研究（1962年3月）
- 第10号 齊 藤 実：香川県及び北愛媛県の地質について（1962年3月）（英文）
- 第11号 小 杉 清：グラジオラスの生産と開花に関する研究（1962年9月）（英文）
- 第12号 吉 良 八 郎：貯水池の滞砂に関する水理学的研究（1963年2月）
- 第13号 野 田 愛 三：禾穀類の根輪に関する研究（1963年3月）
- 第14号 川 村 信一郎：豆類のデンプンの研究（1963年3月）（エスペラント文）
- 第15号 浅 野 二 郎：種子の耐塩性を中心とした海岸地帯におけるアカマツおよびクロマツ林の成立に関する研究（1963年3月）
- 第16号 山 中 啓：乳酸菌のペントース・イソメラーゼに関する研究（1963年8月）（英文）
- 第17号 葦 沢 正 義：香川県における葡萄の旱害に関する研究（1964年3月）
- 第18号 谷 利 一：カキ炭疽病の病態生理学的研究，とくに罹病果実の病徴発現にあずかるペクチン質分解酵素の役割（1965年3月）
- 第19号 樽 谷 隆 之：カキ果実の貯蔵に関する研究（1965年3月）
- 第20号 狩 野 邦 雄：ラン種子の発芽培地に関する研究（1965年3月）（英文）
- 第21号 山 本 喜 良：コモンベッチおよびその近縁種の雑種に関する研究（1965年3月）
- 第22号 中 広 義 雄：鶏における飼料の消化率測定法に関する研究（1966年10月）
- 第23号 井 上 宏：ナツダイダイの果実発育に関する研究，とくに水腐病の発生機構を中心として（1967年3月）
- 第24号 宮 辺 豊 紀：異常乳の生成と塩類均衡とくにカゼイン燐酸カルシウムに関する研究（1967年8月）（英文）
- 第25号 十 河 村 男：樹皮リグニン及び樹皮フェノール類に関する研究（1971年9月）
- 第26号 大 島 光 昭：赤クローバーサイレージ中の窒素栄養源に関する研究（1971年11月）（英文）
- 第27号 辰 巳 修 三：林木葉部中におけるカルシウムの化合形態とその生理に関する基礎的研究（1974年11月）
- 第28号 樽 谷 勝：ブドウの葉脈黄変による早期落葉の研究（1974年12月）
- 第29号 倉 田 久 男：カボチャ・スイカの性の分化におよぼす日長および温度の影響に関する研究（1976年3月）
- 第30号 鎌 田 萬：中小河川治水計画に適用する計画降雨の合理的算定法に関する研究（1976年6月）

- 第31号 山本 弘 幸：エンバク冠さび病の抵抗性発現機構に関する研究（1978年3月）
- 第32号 岡本 秀 俊：テントウムシの摂食の生態に関する実験的研究（1978年3月）
- 第33号 山崎 徹：かヒドロキシフェニル並びにシリングリグニンに関する研究（1978年9月）（英文）
- 第34号 市川 俊 英：イネを加害する4種の同翅亜目顎吻群昆虫の配偶行動に関する研究（1979年2月）
（英文）
- 第35号 吉田 博：農業生産共同組織の展開・構造・運営に関する研究（1980年3月）
- 第36号 一色 泰：鶏盲腸の栄養生理学的研究（1980年3月）
- 第37号 中條 利 明：富有カキ果実の発育ならびに品質に及ぼす温度条件に関する研究（1982年2月）
- 第38号 五井 正 憲：温帯花木の花芽形成ならびに開花調節に関する研究（1982年2月）
- 第39号 松井 年 行：和三盆糖の食品学的研究（1982年2月）
- 第40号 藤目 幸 擴：ハナヤサイ類の花らい形成並びに発育の温度条件に関する研究
—特に異常花らいについて—（1983年2月）
- 第41号 西山 壮 一：カンガイ用管水路における空気混入流の水撃作用に関する研究（1983年2月）
- 第42号 真山 滋 志：エンバク冠さび病の抵抗性発現におけるアベナルミンの役割（1983年10月）（英文）
- 第43号 門谷 茂：海洋堆積物中のアミノ酸の初期続成過程に関する研究（1983年10月）
- 第44号 一井 真比古：水稻育種における再生茎形質の選抜指標としての効用に関する研究（1984年11月）
（英文）
- 第45号 片岡 郁 雄：ブドウ果実の着色に関する研究
—とくにアブジン酸による着色の制御について—（1986年10月）
- 第46号 鈴木 晴 雄：畑地栽培におけるフィルムマルチと植被が地温に及ぼす影響に関する農業気象学的研究
（1986年10月）
- 第47号 蓑輪 雅 好：解放型畜舎内の放射熱環境に関する研究（1986年10月）
- 第48号 藤田 政 之：サツマイモ塊根組織のチトクロムP-450系酵素に関する研究（1986年10月）
- 第49号 田中 道 男：組織培養によるフェレノプシスの栄養繁殖に関する研究（1987年2月）
- 第50号 長谷川 晴：東洋系シンビジウムの繁殖に関する研究（1987年12月）
- 第51号 笠井 忠：大豆の少糖類の加水分解に関する研究（1987年12月）
- 第52号 青柳 省 吾：四国北部の瀬戸内沿岸における花崗岩風化残積土（マサ土）および安山岩風化残積土
の土壌特性に関する研究（1987年12月）
- 第53号 片山 健 至：*Fusarium solani* M-13-1によるリグニンサブストラクチャーモデル化合物の分解
（1989年11月）（英文）
- 第54号 増田 拓 朗：植栽基盤としてのマサ土の問題点とその改良法に関する研究（1990年10月）
- 第55号 多田 邦 尚：海水中の溶存タンパク様物質およびアミノ酸の動態に関する研究（1990年10月）
- 第56号 深井 誠 一：ダイアンサスおよびキク属植物における茎頂の凍結保存に関する研究（1992年10月）
- 第57号 吉田 裕 一：イチゴの花器および果実の発育に関する研究
—‘愛ベリー’の奇形果発生を中心として—（1992年10月）
- 第58号 越智 正：燧灘の化学環境特性と物質循環に関する研究（1992年10月）
- 第59号 木暮 秩：蚕豆における秋播型の生育習性とその収量成立機構に関する研究（1992年12月）（英文）
- 第60号 亀山 宏：地域農業資源管理の計画と評価に関する経済的研究（1995年3月）

第61号 浅沼 興一郎：暖地ダイズの乾物生産特性と収量向上に関する基礎的研究（1996年11月）

Memoirs of Faculty of Agriculture, Kagawa University

- No. 1 Katsumi HATA : Studies on the Constituents and Pulping of "Akamatsu" (*Pinus densiflora* SEB et ZUCC) Wood (March, 1955)
- No. 2 Nakato NAITO : Phytopathological Studies Concerning Phytohormones with Special Reference to Their Effect on Phytopathogenic Fungi (October, 1957)
- No. 3 Hiroshi MATSUZAWA : Ecological Studies on the Braconid Wasp, *Apanteles glomeratus* (March, 1958)
- No. 4 Akira KAJI : Studies on the Retting of Plant Fiber Materials for Japanese Paper Manufacture (March, 1959)
- No. 5 Kazuo MORI : An Analytical Study on the Structure of the Mandarin Orange Growing Orchard Farm in a Sloping Land Region (March, 1960)
- No. 6 Takahiko TAMAKI : Studies of Garaku Paddy Soil and Reservoir Deposits (March, 1960)
- No. 7 Masaki UEHARA : Physical and Meteorological Studies on the Cultivation and Utilization of Slope Land (March, 1961)
- No. 8 Hikaru KUWADA : Studies on the Interspecific Crossing between *Abelmoschus esculentus* MOENCH and *A. Manihot* MEDIC and the Various Hybrids and Polyploids Derived from the Above Two Species (September, 1961)
- No. 9 Junzaburo NAKA : Physiological Studies on the Growing Process of Sweet Potato Plants (March, 1962)
- No. 10 Minoru SAITO : The Geology of Kagawa and Northern Ehime Prefectures, Shikoku, Japan (March, 1962) (in English)
- No. 11 Kiyoshi KOSUGI : Studies on Production and Flowering in Gladiolus (September, 1962) (in English)
- No. 12 Hachiro KIRA : Hydraulic Studies on the Sedimentation in Reservoirs (February, 1963)
- No. 13 Aizo NODA : Studies on the Coleorhiza of Cereals (March, 1963)
- No. 14 Sin'itiro KAWAMURA : Studoj pri Ameloj de Legumenoj (March, 1963) (in Esperanto)
- No. 15 Jiro ASANO : A Study on the Formation of Pine Forests on Seaside Areas, giving due Consideration to the Salt Resistance of the Seeds (March, 1963)
- No. 16 Kei YAMANAKA : Studies on the Pentose Isomerases of Lactic Acid Bacteria (August, 1963) (in English)
- No. 17 Masayoshi ASIZAWA : Studies on the Drough Damage of Grape Trees in the Region of Kagawa Prefecture (March, 1964)
- No. 18 Toshikazu TANI : Studies on the Phytopathological Physiology of Kaki Anthracnose, with Special Reference to the Role of Pectic Enzymes in the Symptom Development on Kaki Fruit (March, 1965)
- No. 19 Takayuki TARUTANI : Studies on the Storage of Persimom Fruits (March, 1965)
- No. 20 Kunio KANO : Studies on the Media for Orchid Seed Germination (March, 1965) (in English)
- No. 21 Kiyoshi YAMAMOTO : Studies on the Hybrids among the *Vicia sativa* L. and its Related Species (March, 1966)

- No.22 Yoshio NAKAHIRO : Studies on the Method of Measuring the Digestibility of Poultry Feed (October, 1966)
- No.23 Hiroshi INOUE : Studies on the Fruit Development of Natsudaidai (*Citrus Natsudaidai* HAYATA), with Special Reference to Water Spot Injury (March, 1967)
- No.24 Toyoki MIYABE : Studies on the Production and the Salt Balance in Relation to Calcium Phosphocaseinate of Abnormal Milk (August, 1967) (in English)
- No.25 Murao SOGO : Studies on the Bark Lignin and Bark Phenolic Compounds (September, 1971)
- No.26 Mitsuaki OHSHIMA : Studies on Nutritional Nitrogen from Red Clover Silage (November, 1971) (in English)
- No.27 Shuzo TATSUMI : Fundamental Studies of the Chemical Forms of Calcium and Their Metabolisms in the Tree Leaves (November, 1974)
- No.28 Masaru KURETANI : Studies on the Early Summer Defoliation of Grape Vines Caused by Veinyellowing (December, 1974)
- No.29 Hisao KURATA : Studies on the Sex Expression of Flowers Induced by Day-length and Temperature in Pumpkin and Watermelon (March, 1976)
- No.30 Takashi KAMADA : Studies on the Rational Estimation of Rainfall for Design Flood (June, 1976)
- No.31 Hiroyuki YAMAMOTO : Study on the Mechanism of Resistance Expression in the Crown Rust Disease of Oat (March, 1978)
- No.32 Hidetoshi OKAMOTO : Laboratory Studies on the Food Ecology of Aphidophagous Lady Beetles (Coleoptera : Coccinellidae) (March, 1978)
- No.33 Toru YAMASAKI : Studies on *p*-Hydroxyphenyl- and Syringyl Lignins (September, 1978) (in English)
- No.34 Toshihide ICHIKAWA : Studies on the Mating Behavior of the Four Species of Auchenorrhynchous Homoptera which Attack the Rice Plant (February, 1979) (in English)
- No.35 Hiroshi YOSHIDA : A Study of the Development, Structure and Management of Co-operative Groups (March, 1980)
- No.36 Yutaka ISSHIKI : Nutritional and Physiological Studies on the Function of Ceca in Chickens (March, 1980)
- No.37 Toshiaki CHUJO : Studies on the Effects of Thermal Conditions on the Growth and Quality of Fruits of Fuyu Kaki (February, 1982)
- No.38 Masanori GOI : Studies on the Flower Formation and Forcing of Some Ornamental Trees and Shrubs in East Asia (February, 1982)
- No.39 Toshiyuki MATSUI : Food Chemical Studies on Wasanbon-to Sugar (Japanese traditionally refined sugar) (February, 1982)
- No.40 Yukihiro FUJIME : Studies on Thermal Conditions of Curd Formation and Development in Cauliflower and Broccoli, with Special Referene to Abnormal Curd Development (February, 1983)
- No.41 Souichi NISHIYAMA : Studies on the Water Hammer of the Air-entrained Flow in Irrigation Pipe Lines (February, 1983)
- No.42 Shigeyuki MAYAMA : The Role of Avenalumin in the Resistance of Oats to Crown Rust (October, 1983) (in English)

- No.43 Shigeru MONTANI : Early Diagenesis of Amino Acids in Marine Sediments (October, 1983)
- No.44 Masahiko ICHII : Studies on the Utility of Ratoon Traits of Rice as the Indicator of Agronomic Characters in Breebing (November, 1984) (in English)
- No.45 Ikuo KATAOKA : Studies on the Coloration of Grape Berries with Special Reference to the Regulation of Color Development by Abscisic Acid (October, 1986)
- No.46 Haruo SUZUKI : Agrometeorological Studies on the Effect on Soil Temperature, of Film Mulching and Canopy in the Upland Mulching Culture (October, 1986)
- No.47 Masayoshi MINOWA : A Study on Thermal Radiation Environment in an Open-type Livestock Barn (October, 1986)
- No.48 Masayuki FUJITA : Studies on Cytochrome P-450-Dependent Mixed Function Oxygenase in Sweet Potato Root Tissue (October, 1986)
- No.49 Michio TANAKA : Studies on the Clonal Propagation of *Phalaenopsis* through *in vitro* Culture (February, 1987)
- No.50 Atushi HASEGAWA : Studies on the Propagation of Oriental Cymbidium (December, 1987)
- No.51 Tadasi KASAI : Studies on the Hydrolysis of Oligosaccharides of Soybeans (December, 1987)
- No.52 Shogo AOYANAGI : Studies on the Physical Properties of Residual Granitic and Andesitic Soils in Setouchi Coastal Region, Northern Shikoku (December, 1987)
- No.53 Takeshi KATAYAMA : Degradation of Lignin Substructure Model Compounds by *Fusarium solani* M-13-1 (November, 1989) (in English)
- No.54 Takuro MASUDA : Studies on the Characteristics of Masa Soil as a Medium for Tree Growth and Methods for its Improvement (October, 1990)
- No.55 Kuninao TADA : Behavior of Dissolved Proteinous Substances and Amino Acids in Seawater (October, 1990)
- No.56 Seiichi FUKAI : Studies on the Cryopreservation of Shoot Tips of *Dianthus* and *Chrysanthemum* (October, 1992)
- No.57 Yuichi YOSHIDA : Studies on Flower and Fruit Development in Strawberry, with Special Reference to Fruit Malformation in 'Ai-Berry' (October, 1992)
- No.58 Tadashi OCHI : Studies on the Characteristics of Chemical Environment and the Recycling of Nutrient in Hiuchi Nada Sea Area (October, 1992)
- No.59 Kiyoshi KOGURE : Studies on the Growth Habit and its Relations to the Mechanism of Yielding Process in Winter Type of Faba Bean (*Vicia faba* L.) (December, 1992) (in English)
- No.60 Hiroshi KAMEYAMA : Economic Study on Planning and Evaluation for Regional Agricultural Resource Management (March, 1995)
- No.61 Koh-ichiro ASANUMA : Dry Matter Production and Yield Potentiality of Soybean in a Warm Area in Japan (November, 1996)

平成8年11月26日印刷 平成8年11月29日発行

香川県木田郡三木町

香川大学農学部

印刷所 アート印刷株式会社

香川県木田郡三木町池戸1779番地13

電話(0878)91-0170番