

第 1 章 緒

言

小豆は東洋が原産とされ、中国より日本へ3～8世紀に伝播したと言われ¹⁵²⁾、古くより日本人の食生活の中に同居して来た。この小豆が北海道で栽培されたのが記録として残っているのは1696年で⁹²⁾、明治以後、開拓が進むにつれて栽培面積も増加した。北海道における小豆の栽培面積の変遷をみると(図1)、明治20年以降に急増しており、大正10年には史上最高の68,000haに達した。昭和10年から25年頃にかけての第2次世界大戦前後の動乱期には減少したが、戦後再び上昇し、昭和30年代以降は60,000ha台にまでなった。しかしながら、最近では冷害による低収性、価格変動、土壌病害の多発などにより減少し、30,000ha前後となっている。現在の作付面積は37,100ha(昭和57年)であるが、全国に占める割合は59%と面積は減少したものの我国の主産地であることに

一方、小豆の収量は最近5ケ年(昭和51～55年)を平均して10a当り159kgで、昭和初期の収量と比べて1.4倍に過ぎず、水稻(2.2倍)、馬鈴薯(4.5倍)、秋播小麦(2.5倍)などに比較して収量向上の程度が非常に低いと言える

^{118, 137)}。この原因としてまず第1に挙げられるのは気象要因に対する反応性であろう。小豆は気象要因の中でも気温の影響を強く受け、年次間の収量変動が激しい作物である。図1には10a当りの収量変遷も示してあるが、低収年は全て冷害年とされている。

小豆の冷害に関する研究として、野村^{106, 108)}の開花、子実肥大に及ぼす低温処理の影響や、成河ら^{103, 104)}の低温、遮光処理に対する豆類品種の耐冷性比較の報告、佐藤¹²³⁾の開花、登熟に及ぼす気温と栽植密度の影響についての報告がある。また、冷害時の多収要因解析として山川¹⁶⁴⁾、今ら⁶⁹⁾の報告がある。小豆の安定多収のためには耐冷性向上の品種改良が重要であり、最近、「ハヤテショウズ」⁹¹⁾、「エリモショウズ」などの比較的耐冷性の強いとされる品種が世に出ている。

この品種改良に加えて栽培技術の改善も収量向上のための重要な条件であろう。小豆収量停滞の要因の一つとして、栽培技術が十分確立していないことが考えられる。栽培技術の改善、向上のためには、対象とする作物の生理、生態

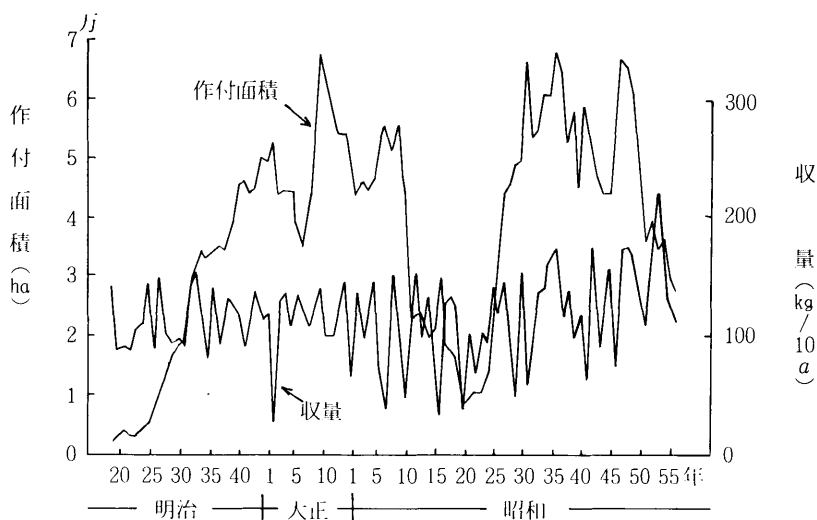


図1 北海道における小豆の作付面積・収量の変遷

など基礎研究の集積が必要であるが、小豆に関する研究は極めて少なく、とくに、栄養生理、肥培管理の研究は不足している。

従来、小豆は地力で穫るとの認識が大きく存在し、肥培管理法も地力依存を主体に指導されてきた¹⁰⁾。ここで言う地力とは主として土壤窒素の意味であり、地力と小豆生育、収量との関係について、宮沢ら⁸⁵⁾、吉岡ら¹⁷⁶⁾、渡辺ら¹⁶⁰⁾の報告があり、それぞれ土壤窒素富化による生育後期の栄養条件向上の意義を認めている。この地力依存の栽培法は、窒素供給の面からは根粒による固定窒素の供給と一体を成しており、窒素供給を生育前半は固定窒素で補い、生育後半は地力窒素に求めることを前提にしている。

しかしながら、小豆の根粒による窒素固定に関する研究は少なく、僅かに井上ら³⁹⁾の小豆根粒生態に関する報告や、松代^{81, 82)}、熊谷ら⁷⁰⁾の窒素固定能に関する報告があるに過ぎない。これらの報告の中で、小豆根粒の窒素固定能は大豆根粒より低いことが認められており、また、根粒の窒素固定能自体が土壤の理化学性や気象条件など環境要因の影響を強く受け^{65, 72, 149)}、窒素供給源としては多分に不安定である。

小豆を10 a 当り300kg穫るためには約15kg / 10 a の窒素を必要とするが、北海道における小豆の標準窒素施肥量は3 ~ 4 kg / 10 a とされている³⁶⁾。したがって、小豆の吸収窒素の70%以上は施肥以外の窒素で占められていることになり、前述の固定窒素の供給不安定性を考えれば、大部分の窒素を地力窒素で賄っていると推定される。この意味からも、小豆栽培上地力増強の重要性は高いと判断されるが、現在の集約農業体制では地力維持すらも困難な面が多い。

地力対策は土地改良を始め土層、土壤改良など広い意味を持つが、一般には有機物管理で代表されることが多い⁶¹⁾。近年の化学肥料偏重農業への反省も含めて、1973年の石油危機を契機に土づくりが叫ばれ、有機物施用が推奨されてきた。しかしながら、現実には有機物資源が不足し、畑作農家中小豆に堆肥を施用している割

合は30%以下に過ぎない^{62, 129)}。これらのことから、小豆に対しても、地力、固定窒素以外の施肥による窒素供給の意義、肥培管理の再検討が求められて来ている。

小豆を含めた豆類作物は施肥反応が鈍いと考えられ、固定窒素、土壤窒素重視により、窒素施肥量は他作物より少ない量に設定されてきたが、最近、窒素多用による増収の報告が大豆^{24, 35, 38, 148)}、菜豆^{50 ~ 52)}で出され、小豆についても施肥による収量向上の可能性が予測された¹²⁴⁾。最近の畑作物施肥実態調査結果¹²⁹⁾より、小豆に対する施肥量は、磷酸、加里は施肥標準量に近いが、窒素は2倍量近く施肥されていることが明らかとなり、実際農業における小豆栽培では地力低下を施肥で補う方向に向っていることが推察される。しかしながら、この施肥依存の傾向にしても、施肥法自体は従来からの基肥主体の作条施肥がほとんどであり、前述の収量停滞性と併せ考えると、単に施肥量のみ増やすことが小豆の収量向上に十分反映しているかどうかは疑問である。

本研究は小豆の収量向上を肥培管理の面から検討し、効率的な施肥法を検索するため、1973年から1984年にかけて行われた一連の試験を取りまとめたものである。内容としては以下のようになる。

- 1) 小豆の栄養生理的特性の把握
- 2) 生育、養分集積状況と収量との相互関係把握および増収要因の解析
- 3) 磷酸施用の意義および施用法の検討
- 4) 効率的窒素施肥法の検討

まず、小豆の基本的な生育、窒素集積特性、および炭水化物の消長を把握し、小豆根粒の意義および体内窒素の動態について論じた。次いで、1) で得られた栄養生理上の生育期を基にして各期の生育、窒素、磷酸集積状況、収量相互の関連性を検討し、収量向上のための要因解析を行った。これらの基礎知見を基に、実際の施肥法として、まず、生育、とくに初期生育の増進に対する磷酸の効果とその施用法を検討し、さ

らに、後期窒素供給を主とした効率的な窒素供給法について考察を行った。

本研究は北海道十勝地方の火山性土（褐色火山性土）で行われたものであるが、小豆の栄養生理、生育特性など基本的性質やリン酸、窒素施肥法については北海道一円に適用できるものと考えられる。

謝 辞

本論文をとりまとめるに当たり、東京大学農学部教授熊沢喜久雄博士より終始懇篤なご指導を賜わり、かつ、ご校閲の労をおとりいただいた。

北海道立中央農業試験場技術連絡室長岩渕晴郎博士、同場化学部長大垣昭一氏には有益なご指導とご校閲を賜わった。また、北海道立中央農業試験場化学部土壌肥料第二科長水野直治博士、同北見農業試験場鎌田賢一博士にはとりまとめに際しての有益なご指導、ご助言をいただいた。

北海道立十勝農業試験場長南松雄博士、同滝川畜産試験場長奥村純一博士にはとりまとめの途次においてご激励をいただいた。

本研究を遂行するに当たり、前北海道立十勝農業試験場土壌肥料科長野村琥氏（現札幌市下水道資源公社工場長）、同現科長大崎玄佐雄氏には種々ご指導を賜わり、研究上の便宜を計っていただいた。また、研究遂行時に同場土壌肥料科

に在籍された長谷川進氏（現北海道立上川農業試験場）、熊谷秀行氏（現同天北農業試験場）、には有益な論議を共にし、かつ実験に際しての絶大なご協力をいただいた。さらに菊地晃二博士（現同北見農業試験場土壌肥料科長）、関谷長昭氏（現同天北農業試験場泥炭草地科長）、横井義雄氏（現同上川農業試験場）、石井忠雄氏、谷口健雄氏には一連の実験遂行に当たってのご協力、ご助言をいただいた。

東京農工大学助教授有馬泰紘博士には溢泌液採取、分析についての懇切なご指導をいただき、液採取その他補促実験に際しては北海道立中央農業試験場中津智史氏のご協力をいただいた。

一連の研究遂行中に北海道立十勝農業試験場長として在任された楠隆氏、中山利彦博士、斉藤正隆氏にはご激励とご援助を賜わった。

また、一連の圃場試験における圃場および栽培管理は北海道立十勝農業試験場管理科職員各位の絶大なご協力なしではなし得なかった。

さらに、現地試験を実施するに際して、十勝西部地区農業改良普及所鹿追駐在所の方々には便宜を計っていただいた。

以上の各位に対し、心から感謝の意を表する次第である。

なお、本研究において用いられたガスクロマトグラフィーなど実験機器は日本豆類基金協会からのご援助によるものである。記して謝意を表する。

第2章 小豆の栄養生理的特性

作物に対する施肥を考える場合、その作物の栄養生理的特性を把握することが先決であろう。

豆類の中でも大豆に関する栄養生理的研究は数多くなされており、最近の窒素固定に関する研究の盛況とも相まって、多くの報告が出されている。しかしながら、小豆を対象にした研究は極めて少なく、僅かに生育、養分吸収に関する串崎ら⁷⁶⁾、山内^{168, 169)}などの報告、および佐藤ら¹²⁴⁾の施肥反応に関する報告などがあるに過ぎない。

作物生産上窒素は最も重要な養分であり、窒素供給を如何にコントロールするかが施肥法の最も重要な要因となっている。したがって、小豆の生育特性と併せて窒素の集積傾向を基本的に把握することがまず必要と考えられる。さらに作物生産が光合成産物の蓄積を目的としたものであるならば、作物体内における炭水化物の消長を十分把握しておくことも重要と考えられる。

これらのことから、小豆の基本的な生育の経過、窒素の集積傾向、体内における各形態窒素の動向、および炭水化物の消長を検討し、併せ

て、窒素、炭水化物の移動、集積の変化を生育と関連づけて小豆の栄養生理的な面での生育期の設定を試みた。さらに、豆類の特性としての根粒による窒素固定に関して、小豆における固定作用についても考察した。

第1節 生育特性と窒素集積傾向

小豆の生育経過については山内¹⁶⁸⁾、野村¹⁰⁷⁾、中世古ら¹⁰²⁾の報告があるが、ここでは小豆の生育特性と関連づけて、小豆体内における窒素の動態、集積傾向について検討した¹³¹⁾。

1. 実験方法

本実験は北海道立十勝農業試験場圃場において1974年に行った。実験圃場の土壌は作土が樽前系火山灰から成る土性SLのやや粗粒な褐色火山性土である。土壌の一般理化学性について表1に示した。

なお、本研究に関して行われた実験を通して、

表1 実験圃場土壌の理化学性

層位	採取部位 (cm)	水分 (%)	礫含量 (重量%)	粒 径 組 成 (%)				土 性
				粗 砂	細 砂	シルト	粘 土	
1	0 ~ 11	2.21	0	23.47	50.27	19.59	6.68	SL
2	11 ~ 18	3.94	0	31.15	35.83	26.09	6.94	SL
3	18 ~ 25	6.18	0	11.79	36.30	23.69	28.22	LiC
4	25 ~ 44	7.11	0	17.21	29.54	23.11	30.13	LiC

層位	腐 植 (%)	pH		置換 酸度 Y ₁	塩基置 換容量 (me/100g)	置換性塩基 (me/100 g)			灰 飽和度 (%)	磷酸吸 収係数	Truog- P ₂ O ₅ (mg /100 g)
		H ₂ O	KCl			CaO	MgO	K ₂ O			
1	5.8	5.4	4.3	5.05	17.9	5.61	0.83	0.24	31.3	930	4.2
2	4.8	6.2	5.0	0.67	12.6	3.82	0.57	0.19	30.3	1,080	tr
3	0	6.5	5.5	0.35						1,820	0.4
4	0	6.5	5.5	0.38	15.4	4.68	0.36	0.17	30.4	2,120	tr

とくに記述しない限り本実験圃場と同一の土壌条件で実験は行われた。

小豆の「茶殻早生」（早生種）, 「栄小豆」（中生種）2品種を供試して、畦幅60cm, 株間20cmの3粒播の密度で5月28日に播種した。初葉展開時に間引いて1株2本立とし、10a当り8,333株（16,666本）の栽植密度で栽培した。

施肥量は北海道施肥標準に準じて、10a当り

N 3 kg, P_2O_5 15kg, K_2O 10kgとして、それぞれ硫酸、過磷酸石灰・熔成磷肥半量ずつ、硫酸加里で施用し、熔成磷肥中のMgO成分よりMgO 5.6kgを同時に施用した。

表2に示したように、第1本葉展開後ほぼ10日間隔で成熟期まで9回地上部作物体を採取し、葉身、葉柄、茎、莢殻、子実に分けて、乾物重を測定した後、微粉碎して分析に供した。

表2 作物体採取時期

時期 品種	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
茶殻早生	7月3日	7月16日	7月25日	8月5日	8月13日	8月23日	9月2日	—	9月20日
栄小豆	"	"	"	"	"	"	"	9月12日	9月25日
播種後日数	36	49	58	69	77	87	97	107	112 119
生育過程	第1本葉展開 第3本葉展開 第5本葉展開 (開花始 7月31日) 開花期 英伸長肥大期 子実肥大期 成熟期								

2品種の全器官について、全窒素（全-N）を、また「栄小豆」の葉身、葉柄、茎の3器官について水溶性全窒素（水溶性-N）、アミノ酸態窒素（アミノ酸-N）、アラントイン態窒素（アラントイン-N）、硝酸態窒素（硝酸-N）を測定した。

全-Nはケルダール・ガンニング変法で求めた。水溶性-N、アミノ酸-N、アラントイン-Nは石塚⁴³⁾がアラントイン-N抽出に用いた冷水抽出によった。すなわち、乾燥粉末試料 0.2gを海砂と共に磨砕し、50mlに定容して時々振とうしながら24時間、4℃で抽出した。この抽出液中の全窒素をもって水溶性-Nとしたが、液中には硝酸-Nも含まれているので、還元鉄法^{101, 170)}によって定量した。抽出液10~20mlに還元鉄5g程度と50%硫酸液20mlを加えて時々振とうしながら1時間以上放置し、

反応が収まった頃、濃硫酸5~10ml、分解促進剤（硫酸銅：硫酸加里1：9）約3gを添加して加熱分解した。分解液の色が完全に緑黄色になるまで分解を続け、終了後放冷し、定容として、一定量を採って水酸化ナトリウムをアルカリ剤とした水蒸気蒸溜を行い、窒素を定量した。

アラントイン-NはYoung-Conway法¹⁷⁷⁾に準じた石塚⁴⁴⁾の方法で、アミノ酸-NもMoore-Stein⁸⁶⁾によるニンヒドリン法に変更を加えた石塚⁴³⁾の方法で定量した。このアミノ酸-Nはアミノ酸、アミドの α -アミノ態窒素の総量とされている。硝酸-Nは水抽出し、フェノール硫酸法¹⁵⁵⁾で定量した。

2. 実験結果

1) 生育の推移

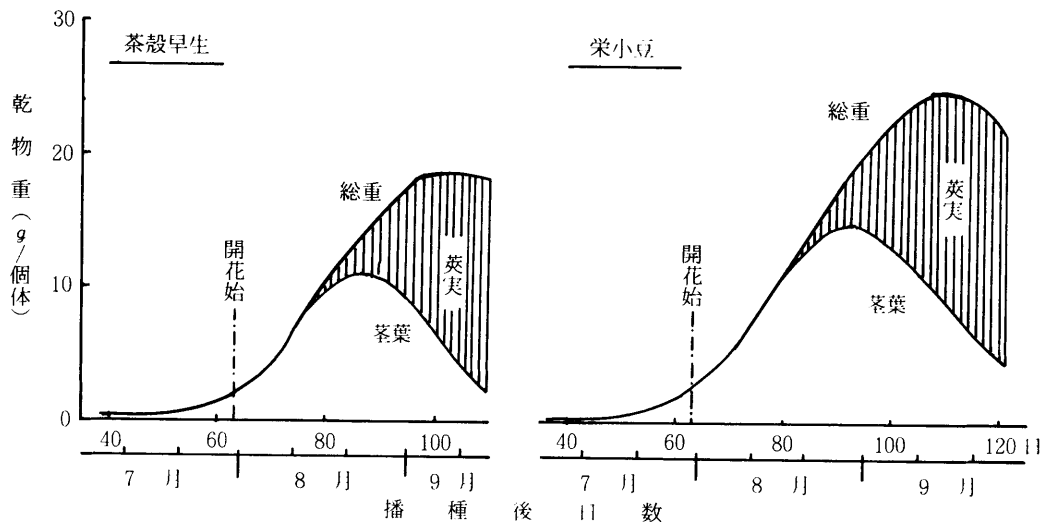


図2 乾物重の推移

生育量を乾物重で表わし、その推移を図2に示した。

小豆の初期生育は極めて緩慢で、開花始（7月31日、播種後64日目）頃の乾物重は2品種とも個体当たり3g程度であったが、9月上旬の登熟盛～晩期（播種後100～110日）にみられた生育全期を通しての最大乾物重は、「茶殻早生」が約18g、「栄小豆」が約25gで、開花始の時期よりほぼ40日間に6～8倍量の乾物増加を示した。草丈も開花始では両品種とも20cm前後であったが、成熟期には「茶殻早生」が31cm、「栄小豆」が66cmにまで伸長した。すなわち、開花始以降の生育後半になって急激に草丈の伸長、茎葉繁茂の栄養生長が進行したことになる。

同時に、生長に併せて下位節より上位節に順次開花が進み、結実、莢実肥大の生殖生長も栄養生長と重複して進行した。栄養生長としての茎葉部乾物重が最大になる時期は総乾物重が最大になる時期より10日程前であり、「茶殻早生」の方が早い。両品種とも8月下旬の播種後90～100日頃であった。この茎葉重が最大になる時期は栄養生長の終止期と考えられ、開花始以降の栄養、生殖両生長の重複期間は30日前後となる。

乾物重の推移を基に個体群生長率（CGR）と相対生長率（RGR）を求め、表3に示した。

CGRは生育初期より次第に高まり、Ⅳ～Ⅴ期に最高に達した後、成熟期まで低下した。この傾向は両品種とも共通している。すなわち、

表3 CGR・RGRの推移

項目	品種	I～II	II～III	III～IV	IV～V	V～VI	VI～VII	VII～VIII	VIII～IX
CGR (g/m ² /日)	茶殻早生	0.26	1.11	4.39	9.79	8.50	7.67	—	0.19
	栄小豆	0.26	1.48	5.61	10.63	9.17	8.00	7.17	—3.21
RGR (%/日)	茶殻早生	6.49	12.86	13.56	9.92	4.71	2.93	—	0.04
	栄小豆	6.50	13.85	13.51	9.13	4.36	2.73	1.91	—0.82

小豆の生長速度は8月中旬（播種後80日前後）の莢実肥大始を中心に最も高まり、栄養生長と生殖生長が併行的に進行する、いわゆる生長重

複期の生長が最も旺盛であることを示している。品種別にみて、Ⅰ～Ⅱ期の生育初期では品種間の差がほとんどなく、Ⅱ～Ⅲ期以降は「栄小豆」

が「茶殻早生」より終始高い値で推移した。

RGRはCGRと様相を異にし、Ⅱ～Ⅲ期およびⅢ～Ⅳ期の開花始を中心にした時期が高い値を示し、品種間でも大差なかった。

2) 窒素の集積傾向

各器官の全-N濃度の時期別推移(図3)を比較すると、葉身の濃度が最も高く推移し、次

いで、茎、葉柄の順に低くなり、莢殻は当初葉身と同程度であったが、生育の経過と共に急激に低下した。一方、子実は終始葉身と同程度の5.5~4.0%の範囲で推移した。各器官とも全-N濃度は開花始までの生育前半で高く、開花以降になって次第に低下した。品種間では「茶殻早生」の茎部の濃度が開花始まで「栄小豆」を上回った以外、全般に「栄小豆」の方が高い濃度を示した。

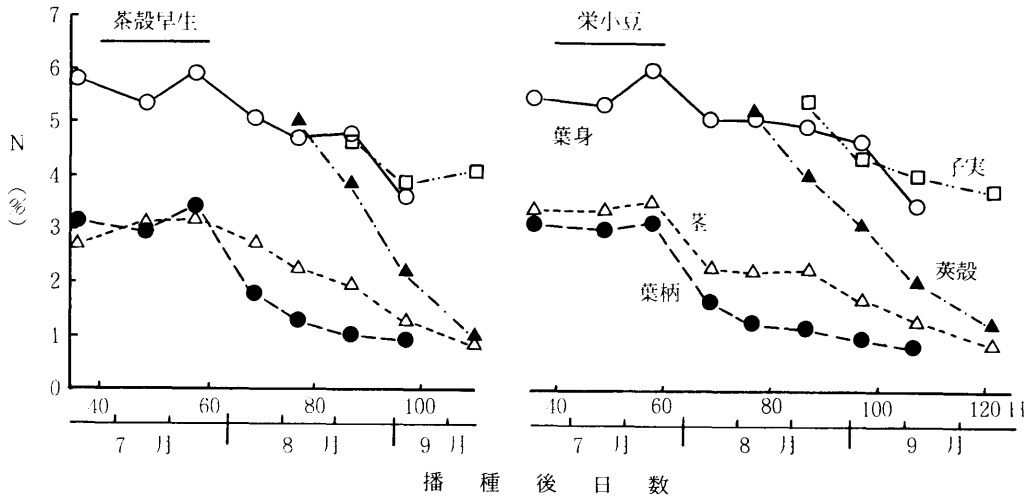


図3 器官別全-N濃度の推移

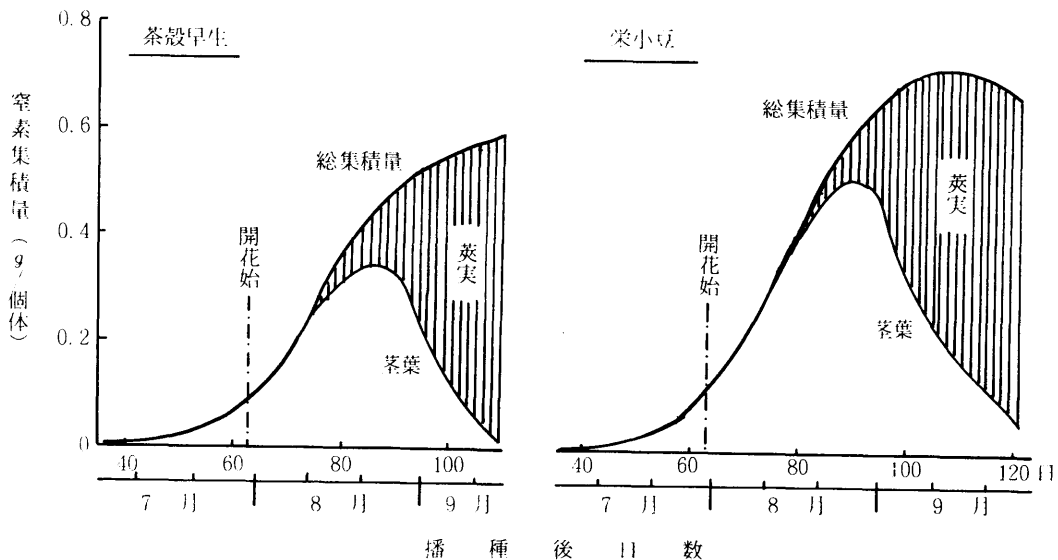


図4 窒素集積の推移

次に、窒素の集積経過をみると(図4)、生育が進むにつれて各器官の全-N濃度が低下したにもかかわらず乾物増加速度が急激なため、窒素集積量も開花以降に急増し、両品種とも9月中旬(播種後110日前後)に総集積量が最大となった。茎葉部の集積量は2品種とも8月下旬に最大となり、茎葉乾物重の最大期と一致した。また、「栄小豆」の集積量は常に「茶殻早生」を上回って推移した。

この窒素集積を1日当りの増加率でみると(図5)、2品種とも生育初期は低く、開花始以後に急激に高まって、8月中、下旬の莢実肥大始頃に最大となり、以後は低下した。

集積した窒素の器官別分配率を表4に示した。

両品種とも開花始の頃まで葉身部で占める割合が80%以上を示し、生育が進むに従って低下

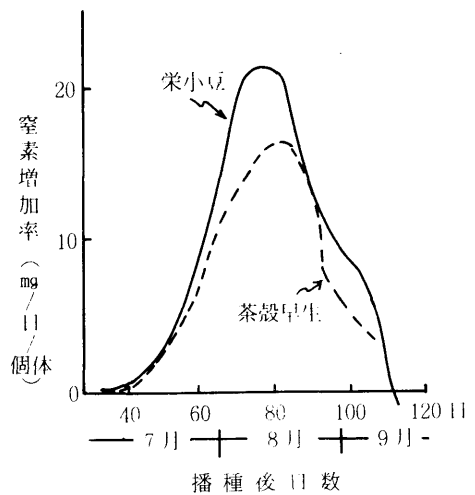


図5 窒素集積の1日当り増加率推移

表4 集積窒素の器官別分配率

(%)

時期 器官	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
茶 殻 早 生									
葉 身	89.6	85.4	84.7	81.7	71.9	56.4	26.5	—	—
葉 柄	2.9	4.8	5.3	6.2	7.6	5.7	2.8	—	—
茎	7.5	9.8	10.0	12.1	15.0	12.4	7.0	—	3.5
莢 実	—	—	—	—	5.5	25.5	63.7	—	96.5
栄 小 豆									
葉 身	90.5	86.3	83.9	80.7	74.4	62.0	43.8	18.3	—
葉 柄	2.3	4.7	5.4	7.2	7.4	7.2	4.9	2.8	—
茎	7.2	9.0	10.7	12.1	16.2	17.6	14.2	8.0	6.6
莢 実	—	—	—	—	2.0	13.2	37.1	70.9	93.4

した。

一方、葉柄、茎での割合が高まって、「茶殻早生」では8月中旬、「栄小豆」では8月下旬に最大に達して以後は低下し、代って、莢実部での割合が急激に高まった。品種間で比較すると、茎葉部で占める割合は「栄小豆」の方が高い傾向で、莢実部は逆に「茶殻早生」の方が高い値を示した。

3) 器官別各種窒素化合物の動態

「栄小豆」の葉身、葉柄、茎の3器官について、水溶性-N、アミノ酸-N、アラントイン-N、硝酸-Nの4窒素形態の濃度推移をみた(図6)。

各窒素形態ともその濃度は生育初期ほど高い値で、とくに、7月上旬の極く初期における水溶性-N濃度は各器官とも2%以上を示し、茎においては4%もの高濃度であった。器官別にみ

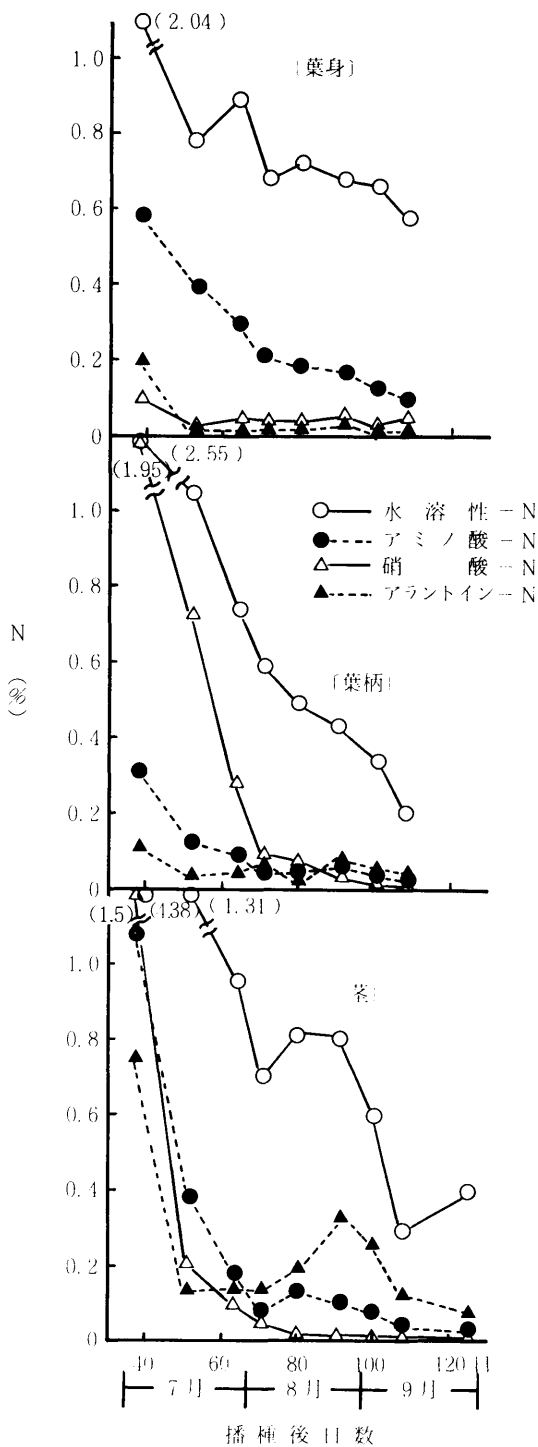


図6 各器官における水溶性-N、アミノ酸-N、硝酸-N、アラントイン-N濃度の推移

ると、葉身ではアミノ酸-Nが0.6~0.1%の範囲の比較的高い濃度で推移し、アラントイン-N、硝酸-Nは7月上旬以外0.1%以下の低濃度であった。葉柄では硝酸-Nが極めて高く、当初2%近い濃度であったが、急激に低下し、開花始以降は0.1%以下の値で推移した。アミノ酸-Nも7月上旬では0.3%以上の濃度を示し、生育の進行と共に次第に低下した。アラントイン-N濃度は当初0.1%以上を示したものの、その後は0.05%前後の濃度であった。茎においては7月上旬の時期に硝酸-Nが1.5%、アミノ酸-Nが1.1%、アラントイン-Nが0.76%の高濃度で、以後生長に伴って開花始頃まで急激に低下し、開花以後は硝酸-Nが0.02%程度、アミノ酸-Nが0.1%前後で推移した。しかしながら、アラントイン-Nは開花以降に再び高まる傾向がみられて、8月下旬に0.33%の値を示し、以後は成熟期まで低下した。

これら形態別窒素濃度の全-N、水溶性-N濃度に対する割合を求め、表5に示した。

まず、全-Nに対する割合をみると、葉身では水溶性-Nが7月上旬に30%近い割合を示したものの、他は13~20%の低い値で推移した。アミノ酸-Nの割合は10%以下で、アラントイン-N、硝酸-Nの割合は1%以下であった。他方、葉柄、茎では水溶性-Nの割合が30%以上の高率を示し、とくに、茎では7月上旬のI期に57%、8月下旬のVI期に49%もの高い値を示した。また、葉柄では硝酸-Nの割合が開花始の時期まで比較的高く、茎では生育初期にアミノ酸-N、硝酸-Nが高く、生育後半にはアラントイン-Nの割合が高まった。

水溶性-Nに対する割合でみると、葉身ではアミノ酸-Nが高く、葉柄では硝酸-Nが高率で、7月上旬には70%以上の割合を示して以後は低下し、代ってアラントイン-Nがやや高い割合を示した。茎でも当初硝酸-Nが30%以上を示したものの急激に低下し、また、アミノ酸-Nも20%以上の割合から14%程度まで低下し、開花以降の8月下旬~9月上旬にかけてアラントイン-Nが40%以上の高率で推移した。

表5 水溶性-N, アミノ酸-N, アラントイン-N, 硝酸-N濃度の
全-N, 水溶性-N濃度に対する割合

器 官	採 取 時 期	対 全 - N 比 (%)				対水溶性-N比 (%)		
		水溶性-N	アミノ酸 -N	アラントイン -N	硝酸-N	アミノ酸 -N	アラントイン -N	硝酸-N
葉 身	I	27.8	8.1	3.1	1.3	29.1	11.2	4.7
	II	14.1	7.1	0.4	0.6	50.4	2.5	4.2
	III	16.5	5.6	0.4	0.9	33.7	2.1	5.3
	IV	13.0	4.1	0.4	0.8	31.2	3.3	6.5
	V	14.6	3.8	0.3	0.8	26.1	1.8	5.8
	VI	14.4	3.7	0.6	1.1	25.3	4.3	7.3
	VII	16.9	3.4	0.5	0.7	19.9	2.9	4.3
	VIII	20.7	3.6	0.7	1.8	17.4	3.2	8.8
葉 柄	I	34.0	4.1	1.5	26.0	12.2	4.4	76.5
	II	33.4	3.9	1.3	22.9	11.7	4.0	68.6
	III	34.3	4.3	1.8	13.5	12.5	5.1	39.2
	IV	34.7	2.2	2.6	5.5	6.4	7.6	15.8
	V	43.3	3.9	2.6	4.0	9.1	6.1	9.3
	VI	34.1	4.8	6.3	2.5	14.1	18.5	7.4
	VII	36.0	3.4	4.9	2.2	9.3	13.7	6.1
	VIII	24.4	2.3	3.9	1.5	9.3	16.1	6.3
茎	I	57.3	14.1	9.9	19.6	24.7	17.3	34.1
	II	33.9	10.2	3.4	5.4	29.9	10.1	16.0
	III	34.2	6.4	5.5	3.5	18.6	16.1	10.2
	IV	33.1	4.2	6.9	2.3	12.6	20.9	7.0
	V	38.5	6.7	9.6	0.9	17.5	24.9	2.4
	VI	48.7	6.9	20.2	1.2	14.2	41.5	2.4
	VII	44.7	6.5	19.2	0.9	14.6	42.9	2.0
	VIII	31.5	5.2	14.2	1.0	16.4	45.1	3.1
	IX	44.0	2.6	11.1	0.9	6.0	25.1	2.0

3. 考 察

一般に小豆は早生、中生種とも7月下旬(播種後60日前後)に開花始を迎え、120日前後で成熟に達する。この開花始までの生育前半の生育は極めて緩慢で、開花始における乾物重は登熟後期(9月上・中旬)における最大乾物重の $\frac{1}{6}$ ~ $\frac{1}{8}$ に過ぎなかった。しかしながら、開花始以後は急激な生長を示し、CGRは急増して、8月中旬の莢実肥大始を中心とした時期に最高値を示し、以後は低下した。

栄養生長としての茎葉部乾物重が最大に達する時期は、総乾物量が最大になる時期より10日ほど前にずれて8月下旬(播種後90日前後)頃であった。この時期を最大生育期として栄養生長の終止期とすると、開花始より30日前後にわたって栄養生長と生殖生長とが重複して進行していることになる。厳密にみれば、生殖生長の開始は7月上・中旬(播種後40~50日)の花芽分化始であるが、生殖生長としての比重は小さく、開花以後に生殖生長として顕在化することから、開花始を生長重複期間の開始期とした。大豆でも開花始

を重複期間の始めとしている例が多い^{43, 102, 151}。

このように、小豆の生育に関して特徴的なことは、初期生育の緩慢なこと、開花以降の急激な栄養生長と併行して生殖生長が長期にわたって重複して進行することが挙げられる。これらの特性は大豆^{32, 151}、菜豆^{49, 147}など他の豆類作物にも共通しているが、大豆の場合、一般に栽培されている品種のほとんどが有限伸育型に属していて、栄養生長と生殖生長との重複期間は小豆より短い⁶⁷。また、大豆の初期生育は菜豆に劣るものの小豆に比べれば旺盛である。一方、菜豆（わい性）の初期生育は豆類作物中最も旺盛であり、開花始以後の生長重複期間は大豆と同様に小豆より短い。小豆は大豆、菜豆より生長重複期間は長く、初期生育は最も緩慢であり、小豆増収のためにはその特性を十分に考慮する必要があろう。中世古ら¹⁰²も無限伸育型の大豆を含めて、小豆の収量安定性の観点から初期生長や栄養生長の早期確保の重要性を報告している。

次に、窒素の集積傾向をみると、生育初期の段階では葉身の窒素濃度が高く、他の器官も後の時期に比べれば高濃度を示した。開花以降、生育が進むに従って各器官の窒素濃度は低下するが、乾物重の急激な増加により窒素集積量は急増した。1日当りの窒素集積増加率は開花始以後の生長重複期間に高まり、莢実肥大始頃を最高に以後は低下した。すなわち、開花始以降に窒素集積が旺盛に行われると同時に、葉から子実への窒素の移行も急速に進んでいると考えられる。このことは集積窒素の器官別分配率からも明らかで、開花始頃までは葉身中の占める率が80%以上で、開花始以降に葉身部より葉柄、茎部、さらに莢実部へと窒素の比重が移動した。器官別全-N濃度および窒素集積量の推移は大豆においても同様のことが認められている^{19, 32, 68}。

この各器官における窒素を形態別にみると、葉身ではアミノ酸-N濃度が比較的高いとしても全-N中に占める割合は10%以下であり、アラントイン-N、硝酸-Nはさらに低い割合で、総体の水溶性-Nにしても全-N中20%以下を占めるに過ぎず、大部分がたんぱく態窒素として存在していると推定される。これに対し、

葉柄、茎では水溶性-Nの全-Nに対する割合が30%以上を示し、この水溶性-Nの中でも葉柄では硝酸-Nが、茎では硝酸-N、アミノ酸-Nがそれぞれ開花前に高い割合を示した。しかしながら、これら形態の窒素濃度は急激に低下し、開花以降、茎でアラントイン-N濃度が上昇した。これらのことから、開花前の段階で硝酸-N、アミノ酸-Nの形態で葉柄、茎中に集積していた窒素は急激な栄養生長に消費され、開花以降の生長重複期ではアラントイン-Nの形態で茎中に集積し、逐次子実形成に利用されるものと推察される。大豆においても開花以後にアラントイン-N濃度の高まることが報告されており、石塚⁴²はアラントイン-Nが生殖生長の窒素源としての役割を持つものとしている。

作物体内における窒素の形状は窒素施肥などによって大きく変化するものであり、項を新めて論議する。いずれにしても、開花始以降の窒素集積が旺盛であることは、この時期の窒素供給が収量形成にとっても大きな影響を持っていることを示唆している。

第2節 炭水化物の消長と生育との関係

作物生産は光合成産物の有用部分への蓄積を目的にしており、豆類収量も子実部へ移行、蓄積された炭水化物の量に他ならない。したがって、作物生産を考える場合、作物体内における炭水化物の消長を把握することが必要と考えられる。

豆類の中でも、大豆の炭水化物消長に関する報告^{6~8, 16, 110, 151}は多くみられるが、小豆に関しては、食品としての子実中の糖分についての報告以外に、生育や収量形成と関連づけて検討した例は見当たらない。

ここでは、小豆の基本的な炭水化物の消長を調査し、器官別の移動、集積の経過を生育と関連づけて、栄養生理的に節目となる生育期（Growth Stage）の設定を試みた¹³³。

表6 試料採取時期

時期	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
茶殻早生	7月3日	7月17日	7月28日	8月5日	8月14日	8月25日	9月3日	—	9月16日
栄小豆	"	"	"	"	"	"	"	9月11日	9月28日
播種後日数	38	52	63	71	80	91	100	108	113 125
生育過程	第1本葉展開		第3本葉展開		第5本葉展開		成熟期		
			開花始		開花期				
					莢伸長肥大期				
					子実肥大期				

1. 実験方法

小豆2品種(「茶殻早生」,「栄小豆」)を供試して,施肥量は標準施肥量($N-3.0$, $P_2O_5-12.0$, $K_2O-8.0$, $MgO-4.5\text{ kg}/10a$)として,それぞれ硫酸,過磷酸石灰・熔成磷肥を半量ずつ,硫酸加里で条施した。1975年5月26日に播種し,第1本葉展開後はほぼ10日間隔で地上部作物体を採取し,葉身,葉柄,茎,莢殻,子実の5器官に分別した後,乾燥,微粉碎して分析に供した。試料採取時期は表6のとおりである。

炭水化物の分析は各試料を80%熱アルコールで抽出後,抽出液について除たんぱくした糖液中の還元糖を定量した。さらに,糖液を加水分解して全糖を定量し,全糖より還元糖を差引いて非還元糖とした。また,アルコール抽出残渣について4.6N過塩素酸抽出によりでんぷんを定量した。各糖の定量法としてSomogyi法¹⁷⁵⁾により,それぞれグルコース濃度として表示した。

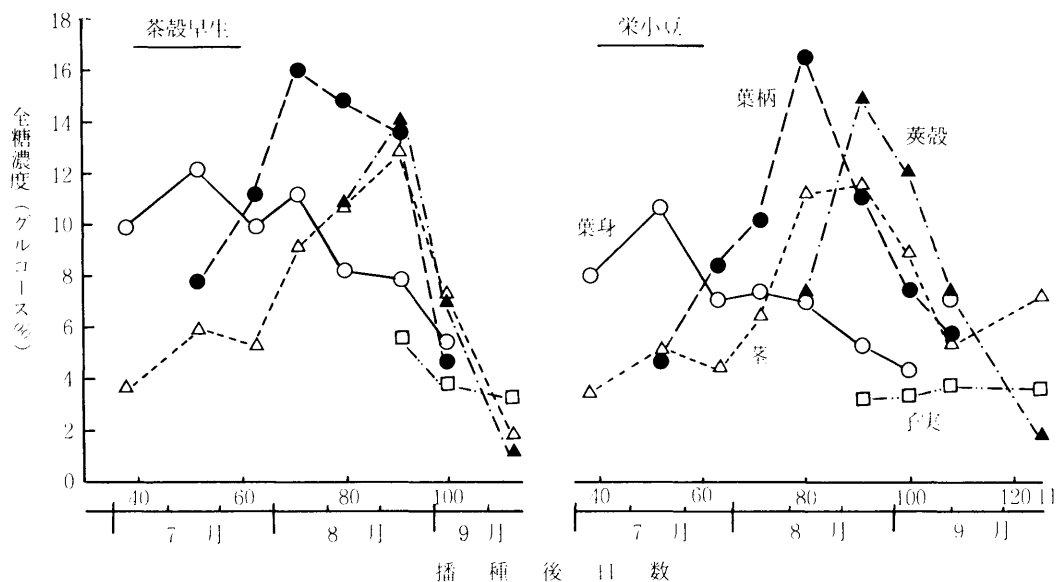


図7 器官別全糖濃度の推移

2. 実験結果

1) 全糖の消長

小豆体内における全糖濃度の推移について器官別に図7に示した。

葉身中の全糖濃度は両品種とも開花前が高く、とくに、7月中旬（播種後50日前後）に全期間を通して最も高い濃度を示した。開花始の時期に一時低下の現象がみられたが、開花始以後再

び上昇して、8月上旬（播種後70日前後）に一つの山を作って、以後は低下した。葉柄では生育の進行に従って濃度は急上昇し、「茶殻早生」では8月上旬、「栄小豆」では8月中旬（播種後80日前後）にそれぞれ16～17%の高濃度を示し、以後は急激に低下した。

茎でも生育の進行と共に高まったが、ピークに達する時期は葉柄より遅れて、両品種とも8月下旬（播種後90日前後）であった。茎において

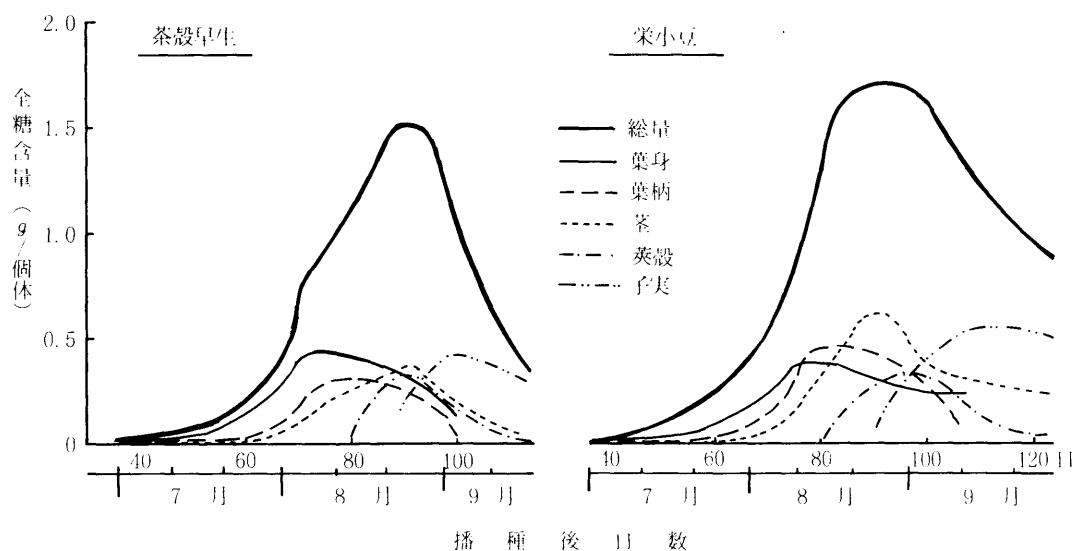


図8 器官別全糖含量の推移

表7 全糖の器官別分布割合

(%)

時期 器官	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
茶 殻 早 生									
葉 身	89.9	84.7	67.0	55.8	37.6	21.2	14.0	—	—
葉 柄	—	7.3	22.9	27.0	31.2	15.8	5.7	—	—
茎	10.1	8.0	10.2	17.2	24.2	24.1	19.4	—	9.4
英 殻	—	—	—	—	6.9	23.2	18.6	—	6.3
子 実	—	—	—	—	—	15.7	41.5	—	84.3
栄 小 豆									
葉 身	87.7	86.0	64.6	54.5	33.6	16.9	14.4	20.7	—
葉 柄	—	5.9	23.3	29.5	37.3	24.6	16.9	8.0	—
茎	12.3	8.1	12.1	16.0	27.1	37.2	24.3	18.1	36.8
英 殻	—	—	—	—	2.0	17.1	22.3	15.1	5.6
子 実	—	—	—	—	—	4.2	22.1	38.1	57.5

でも葉身と同様に開花始時に濃度の一時低下現象がみられた。莢殻は当初から「茶殻早生」で11%、「栄小豆」で7.4%の高濃度を示し、さらに上昇して、8月下旬には14%前後となって以後は急激に低下した。子実では両品種とも3.5~4.5%の間で、大きな変動がなく推移した。

なお、品種別に比較すると、8月下旬までは各器官とも「茶殻早生」の方が高い傾向で、それ以後成熟期までは「栄小豆」が優った。

次に、全糖含量の推移について図8に示した。

各器官とも生育の進行に伴って含量は増し、一つの山を作って、後は成熟期まで減少する傾向がみられた。この山を作る時期は器官によって異なり、まず、葉身(8月上旬)で生じ、次いで、葉柄(8月中~下旬)、茎(8月下旬)、莢殻(8月下旬~9月上旬)、子実(9月上~中旬)の順に移動した。総含量では、両品種とも8月下旬に最大値を示した。品種別では、8月上旬まで「茶殻早生」が若干高目に推移し、以後は逆転した。

器官別の全糖分配率(表7)より、開花始ま

での生育前半では両品種とも葉身で占める率が80%以上を示し、開花始以後は次第に低下した。一方、葉柄ではV期(播種後80日)まで増加して30%以上となり、後低下した。茎では初期段階で10%以上を占め、II期(播種後52日)に一時低下したものの再び高まり、「茶殻早生」ではV期、「栄小豆」ではVI期(播種後91日)にそれぞれ最高率を示した。茎での率が低下すると同時に莢殻での率が増大し、次いで、子実中の率が増して、成熟期に至っては、「茶殻早生」で84%、「栄小豆」で58%を示した。

2) 茎葉中の還元糖、非還元糖の比率

全糖は還元力を持つGlucose, Fructoseなどの還元糖とSucroseなどの非還元糖から成っており、小豆体内におけるこれら還元、非還元糖の動態を求めてみた。もちろん、糖類は作物生体中で常時変動しているものであり、明確な規定はできないが、ここでは参考として「栄小豆」の茎葉部に付き、還元、非還元糖の比率変動を表8に示した。

葉身ではI期(播種後38日)に還元糖の方が

表8 茎葉部における全糖中に占める還元、非還元糖の比率

(%)

器官	区 別	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
葉身	還 元 糖	54.9	27.8	39.2	27.5	23.0	25.0	28.0	25.1	—
	非還元糖	45.1	72.2	60.8	72.5	77.0	75.0	72.0	74.9	—
葉柄	還 元 糖	—	79.4	54.8	65.2	74.5	47.9	48.6	45.3	—
	非還元糖	—	20.6	45.2	34.8	25.5	52.1	51.4	54.7	—
茎	還 元 糖	40.0	38.3	46.8	50.0	65.8	28.3	43.3	49.7	17.1
	非還元糖	60.0	61.7	53.2	50.0	34.2	71.7	56.7	50.3	82.9

10%程度高かったが、II期(播種後52日)以降は常に非還元糖の割合が高く、ほぼ70%以上を占めて推移した。葉柄ではV期(播種後80日)まで還元糖の割合が上回り、VI期(播種後91日)以降は非還元糖が優った。また、茎では葉身と同様に非還元糖の割合が高い傾向であったが、V期に一時逆転する現象がみられた。

以上のように、各器官とも後期になって非還元糖が還元糖を上回るようであった。

3) でんぶんの消長

各器官について、でんぶん濃度の推移を図9に、含量推移を図10に示した。

でんぶん濃度は子実以外の各器官とも大きな差がみられず、大よそ2~6%の範囲で推移し、各器官とも共通して7月中旬(播種後50日前後)、8月中旬(播種後80日前後)にピークがみられた。この傾向は両品種とも共通している

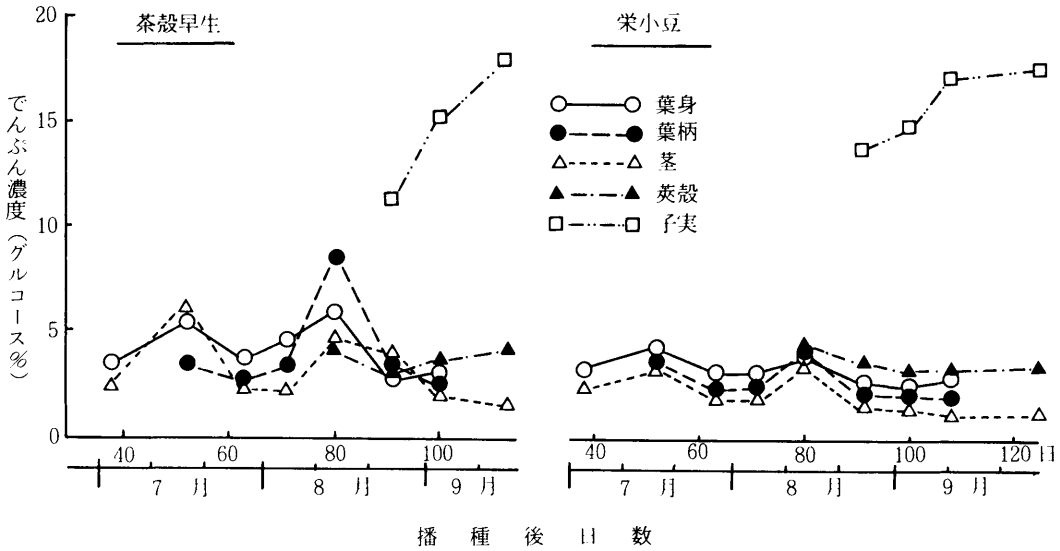


図9 器官別でんぷん濃度の推移

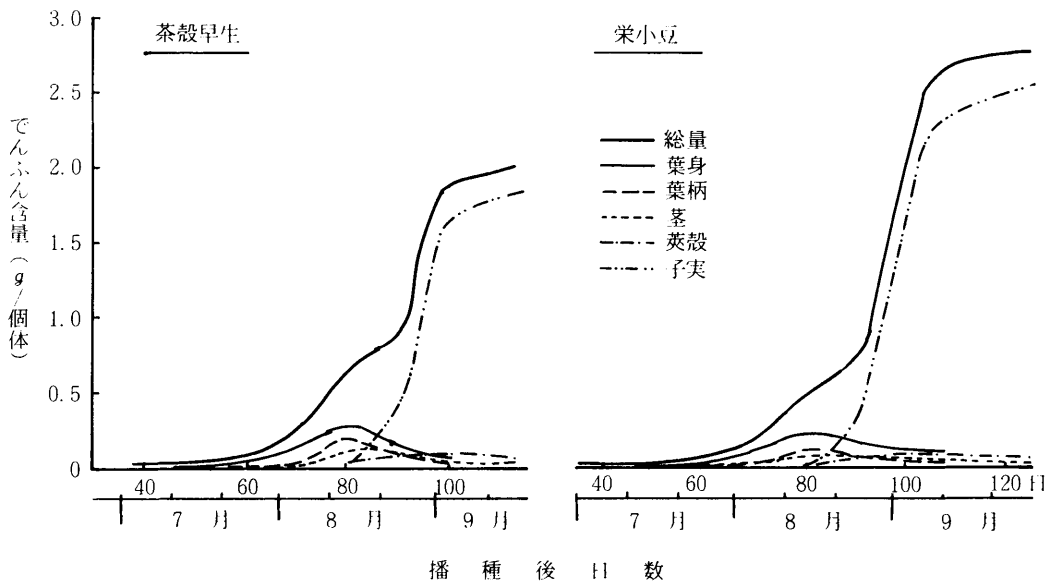


図10 でんぷん含量の推移

が、全般に「茶殻早生」＞「栄小豆」の傾向で推移した。子実中でのでんぷん濃度は子実の生長と共に高まって行き、その高まる程度は「茶殻早生」の方がより急激であり、最終的に子実中でのでんぷん濃度は両品種とも18%前後であった。

でんぷん含量についてみると、茎葉部では8月中旬まで高まって以後は減少したが、子実の肥大生長に伴うでんぷん集積は急激に進み、総含量は両品種とも8月中旬の莢実肥大以降に急増した。

品種間では、開花始まで「茶殻早生」の方が

表9 でんぷんの器官別分布割合

(%)

時期 器官	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
茶 殻 早 生									
葉 身	82.1	76.3	71.1	69.2	47.1	14.2	4.3	—	—
葉 柄	—	6.3	15.2	17.8	30.4	6.8	1.8	—	—
茎	17.9	17.4	13.7	13.0	18.0	12.5	2.7	—	1.6
莢 殻	—	—	—	—	4.5	10.3	5.3	—	4.4
子 実	—	—	—	—	—	56.2	86.0	—	94.0
栄 小 豆									
葉 身	80.6	77.4	71.1	65.5	48.9	21.1	7.3	4.4	—
葉 柄	—	10.0	15.0	20.9	24.4	12.6	4.2	1.5	—
茎	19.4	12.6	13.9	13.6	23.9	12.2	3.3	2.1	2.3
莢 殻	—	—	—	—	2.8	10.4	5.0	3.5	3.5
子 実	—	—	—	—	—	43.8	80.2	88.5	94.2

高く、開花始以降は「栄小豆」が旺盛な生育と相まってでんぷん量も増加し、「茶殻早生」を大きく凌駕した。

でんぷんの器官別分配率を求めて表9に示した。

でんぷんにおいても全糖と同様に、葉身、葉柄、茎、莢殻とピークの時期が移動して、8月中旬以降は子実中の割合が急激に増加し、成熟期には両品種とも子実で94%以上を占めた。

3. 考 察

小豆体内における器官別全糖濃度の推移より、濃度のピークに達する時期が器官によって異なり、移動することを認めた。すなわち、開花始までの生育初期の段階では葉身が高く、開花始から莢実肥大始までの栄養生長が最も激しい時期では葉柄が、栄養生長の終止期と考えられる最大生育期には茎が高く、その後成熟期にかけては莢殻、子実と順次高まった。この傾向は全糖の含量および器官別分配率の推移からも明らかで、全糖の集積部位が生育の進行と共に葉身、葉柄、茎、莢殻、子実と移動することを示した。

また、全糖中の還元、非還元糖の比率推移より、葉身中では常に非還元糖が高い割合を示し

たものの、葉柄、茎においては莢実肥大始頃まで還元糖が高く、その後は逆転して、莢実の生長に伴って非還元糖の形で移行したものと考えられた。なお、開花始以後に葉柄部で糖濃度が特異的に高い値(16~17%)を示した。村山ら⁹³⁾は水稲について出穂開花期までの炭水化物集積部位として葉鞘、稈を挙げているが、小豆においては葉柄部が水稲の葉鞘部に相当することも考えられる。また、Cihaら⁶⁾は大豆について、でんぷん集積部位として葉柄、茎の収量形成に対する重要性を指摘している。

一方、でんぷんの消長では、子実以外の各器官とも濃度はやや低い値で推移したが、共通して7月中旬(播種後50日前後)と8月中旬(播種後80日前後)に高まった。戸刈ら¹⁵¹⁾や昆野⁶⁶⁾は大豆についてでんぷん含有率が開花中期に一時低下することを認め、乾物の急激な増加に伴って器官を構成する素材として消費されたものと推定している。

これらの炭水化物の消長を生育過程と関連づけてみると、7月中旬までの生育初期の段階においては、光合成は活発に行われているものの合成された炭水化物は葉中に集積し、作物体構成には積極的に利用されず、蓄積の方向にある

と考えられる。開花始の時期に茎葉中の全糖濃度が一時低下する現象がみられ、生殖生長が活発になる時点で、一時的に体内の栄養バランスがくずれるものと推定される。田中ら¹⁴⁷⁾も菜豆について同様の現象を報告し、この時期にsinkのsourceに対する炭水化物要求性が最も高まると推定している。

開花始以後は葉柄中に糖が集積し、急激な栄養生長と生殖生長、さらに後述する根粒への光合成産物の要求を随っており、葉の光合成活動

も最も活発に行われる時期である。さらに、最大生育期まで糖の集積部位も葉柄から茎へと移り、茎葉部の生長もさらに拡大して最大に達し、同時に、莢伸長、子実肥大の生殖生長が一層進行して行く。最大生育期の後は、炭水化物は莢殻を通して逐次子実中に蓄積される。したがって、小豆の生育期間を通して栄養生理上、第3本葉展開期（7月中旬、播種後50日前後）までの第1期、開花始（7月下旬、播種後60日前後）までの第2期、開花始より莢実肥大始（8月中旬、播種後80日前後）までの第3期、それより最大生育期（8月下旬、播種後90日前後）までの第4期、さらに成熟期までの第5期の5つの生育期（Growth Stage）に分けることができると考えられる。

第3節 小豆の根粒と窒素固定

豆科植物一般の特長として根粒菌（Rhizobium）との共生関係が挙げられる。根に侵入した根粒菌が増殖して根粒を形成し、空気中の N_2 ガスを固定して宿主植物に供給するいわゆる窒素固定作用を営む。小豆の根粒菌は交互接種群として落花生やカウピーと同じカウピー群に含まれているが⁸¹⁾、その実態は明らかになっていない。井上ら³⁹⁾は小豆の根粒形成について詳細に報告しているが、小豆の生長を通して、根粒の働きを研究した例は見当たらない。

そこで、小豆の生育期間中の根粒着生経過および窒素固定能（アセチレン還元能）の推移について調査した。

1. 実験方法

本実験は第1章第1節で用いた材料について行った。すなわち、地上部採取と同時に地下部も注意して採取し、アセチレン還元能²⁰⁾を測定した。

採取した小豆根を直に200ml三角フラスコに入れ、ダブルキャップで密栓した。ガス交換装置に接続して、760mm Hgまで吸引し、600mm Hgまで O_2 ガス、常圧までアセチレン・アルゴ

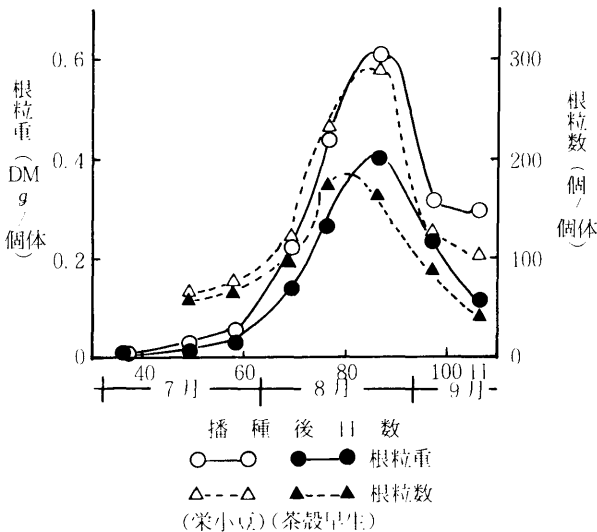


図11 生育期間中の着生根粒の数、重量の変化

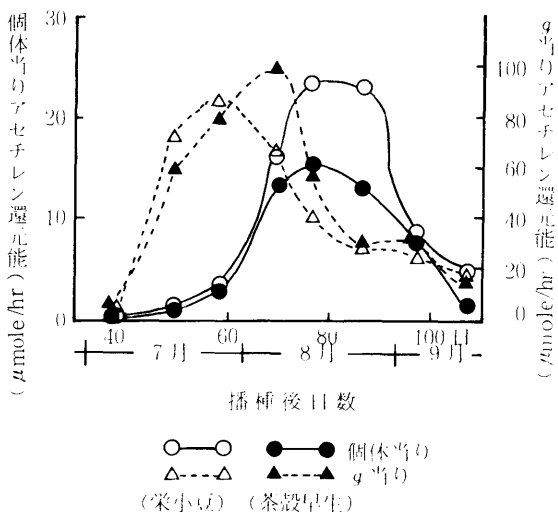


図12 小豆根粒のアセチレン還元能の推移

ン混合ガス (10 : 90) に交換した。ガス交換後 20分, 40分, 60分後に三角フラスコのダブルキャップに直接注射針を通してガスを採取し, ガスクロマトグラフィーでエチレン生成量を測定し, 注入したアセチレンからエチレンへの還元量を求めて, 根粒の窒素固定活性を推定した。さらに, ガス採取を行った後の根について, 着生している根粒を採取し, その数および乾燥重量を測定した。

2. 実験結果

生育期間中 8 回に分けて採取した根粒の数および重量について, その推移を図 11 に示した。

小豆の根粒は発芽後ほぼ 1 週間ぐらい経った初葉展開時には明らかに観察された。生育が進むにつれて数, 重量とも増加し, 開花始 (播種後 60 日前後) では 30~50mg/個体の重量を示した。開花始以後, 地上部の旺盛な生育と併せてさらに増大し, 個々の根粒の肥大も進み, 最大生育期 (8 月下旬) 頃に数, 重量とも最大に達した後, 低下した。最大重量を示した時点での根粒重は, 「茶殻早生」が 405mg/個体, 「栄小豆」が 608mg/個体であり, 根粒 1 個当り重量はそれぞれ 2.1mg, 2.5mg であった。

品種間でみると, 数, 重量とも「茶殻早生」の方が終始「栄小豆」を下回って推移し, 1 個重では大きな差はなかった。

次に, アセチレン還元能の推移をみると (図 12), まず小豆個体当りのアセチレン還元量は根粒重と同様に生育が進むにつれて, とくに開花始以降に高まり, 8 月中旬 (播種後 80 日前後) にピークに達して, 以後は急激に低下した。品種別では, 「茶殻早生」が「栄小豆」より低い値で推移し, ピークに達する時期も「茶殻早生」の方がやや早い傾向であった。

また, 根粒 1 g 当りのアセチレン還元能は両品種とも大よそ開花始の時期が最も高く, 8 月以降は低下した。

3. 考 察

小豆根粒の窒素固定能は大豆と菜豆の中間とされている。松代⁸²⁾は豆類作物の根粒による窒素固定力を調査するため, 滅菌土壌を用いた鉢試験で, 根粒菌接種区の不接種区に対する乾物量, 窒素集積量の比較より, 大豆の窒素固定量が最も高く, 菜豆が低く, 小豆はその中間にあることを認めている。また, 熊谷⁷⁵⁾は同一圃場に大豆, 小豆, 菜豆を栽培し, 根粒着生量およびアセチレン還元量を測定して, 大豆>小豆>菜豆の順に低下することを報告している。

小豆の根粒形成は初葉展開時 (播種後 20 日頃) には明らかに認められ, 生育が進むに従って数, 重量は増大し, アセチレン還元能も高まって行く。しかしながら, 窒素固定能を示すアセチレン還元能は 8 月中旬の莢実肥大始頃を最大にして以後は低下した。この現象は大豆においても認められており^{27, 70)}, 莢実肥大に伴う光合成産物の要求量が増大し, 根粒への供給が低下するため, 窒素固定能も減退するものと考えられている。根粒重の増大ピークはアセチレン還元能のピークより 10 日ほど遅れた最大生育期頃に存在したが, これは測定された根粒重中には老化し窒素固定を行っていない根粒も含まれており, 見掛け上の重量が増大しているためである。

品種別に比較すると, 「茶殻早生」のアセチレン還元能は「栄小豆」より終始低く推移し, 早生種の窒素固定能は中生種より劣るものと考えられる。

これらのことから, 小豆における根粒の意義は大豆より低いと考えられ, アセチレン還元量などから推定した窒素固定量は 10 a 当り 3~5 kg 程度といわれている。しかも, 開花始以降の最も窒素を必要とする時期に固定能が低下することにより, この時期の窒素供給を固定窒素以外に求めることも必要と思われ, 小豆増収のための窒素供給を考える上で, 以上の点を十分考慮する必要がある。

第4節 窒素施肥が根粒着生，体内窒素の動態に及ぼす影響

豆類に対する窒素供給として，生育初・中期は根粒による固定窒素で，生育後期は土壌窒素で補給するのが妥当とされ，窒素施肥は発芽後根粒が形成され，活動を始めるまでの時期の窒素欠乏を補う程度の少量でよいとされてきた^{10, 167)}。一方，窒素施肥によって根粒形成が阻害されることはよく知られている。鎌田⁵⁵⁾は大豆について，窒素供給量の増加による根粒形成阻害は宿主の組織あるいは生理条件によるもので，糖分含量の過少に影響されるものと推定している。吉田ら¹⁷³⁾はこの内因的作用に加えて亜硝酸によるIAA (Indole Acetic Acid) の破壊がRhizobiumの感染を阻害することと，IAA破壊に起因する根粒の発達阻害も考えられるとしている。

また，窒素の多施用は大豆体内におけるアミノ酸濃度を高め，過度の栄養生長を促して増収に結びつかず，他方，根粒による固定窒素は子実形成に効率がよいとの報告がある^{43, 78, 79)}。この固定窒素の地上部への主要な転流形態はアラントイン (アラントイン酸を含む) とされており^{14, 83, 143)}，アラントインは栄養生長の窒素源としては効率が悪く，茎に集積し，莢形成後は莢殻に集中し，子実たんぱくの生成に積極的役割をになうといわれている。大豆以外の作物でもカウピーについて同様の報告³⁰⁾がなされている。

これらの現象が小豆についても当てはまるものかどうかをみるため，窒素の施用量を変えて小豆を栽培し，根粒着生に及ぼす影響，各器官における窒素化合物の動態および窒素の移動形態について検討した。

1. 実験方法

本実験は1 m²木枠 (1 m × 1 m × 深さ0.5 m) を用いて1984年に行った。供試土壌は火山性土 (樽前系褐色火山性土，土性SL) を用い，供試品種は「栄小豆」とした。

窒素施用量を0, 7.5, 15, 30 g / m² (それぞれN0, N7.5, N15, N30と略称する) の4段階として硫酸で全面に散布し，深さ20 cmまで土壌と混和した。共通肥料として1 m²当り，P₂O₅ 15 g, K₂O 8 g, MgO 3 gを過磷酸石灰，硫酸加里，硫酸マグネシウムでもって半量ずつ2畦に分けて作条施用した。

枠当り小豆10株を畦幅50 cm，株間20 cmの2畦に分けて自然状態で栽培した。5月31日に1株5粒ずつ播種し，初葉展開時に間引いて1株2本立とした。

開花直後の7月30日 (播種後60日目) と莢実肥大始の8月17日 (播種後78日目) の2回にわたって，初葉節の直下で切断し，溢泌液を採取した。同時に，同一作物体について葉身，葉柄，茎，莢実の4器官に分別し，熱風乾燥後秤量して乾物重を求め，微粉砕して分析に供した。また，溢泌液採取後根を注意深く掘採り，水洗後着生根粒を採取し，根，根粒とも乾燥し，根粒については重量と数を調査し，根は地上部と同様の処理を行った。溢泌液の採取は，茎を切断して直に切断面を蒸溜水で洗い，手早く濾紙で水をぬぐった後出てくる液を注射針で採取し，氷冷してある試験管中に収集し，後フリーザーに凍結保存した。液の採取は午前10時から11時までの間で，採取時間は切断後20分を越えないようにした。

得られた作物体試料について，全窒素 (全-Nと略称，以下同じ)，水溶性全窒素 (水溶性-N)，アミノ酸態窒素 (アミノ酸-N)，アラントイン態窒素 (アラントイン-N)，硝酸態窒素 (硝酸-N)，アンモニア態窒素 (アンモニア-N) を測定した。アンモニア-N以外は第1節で述べた方法と同様にして測定した。アンモニア-Nは水溶性-N抽出の抽出液について通気法¹⁵⁵⁾により定量した。また，溢泌液について，全-Nは比色法⁵⁾で，アラントイン-NはYoung-Conway法¹⁷⁷⁾で定量し，アミノ酸自動分析計 (日立835型) によりアミノ酸，アミドを測定した。

2. 実験結果

1) 生育量と根粒着生状況

播種後60日、78日目における乾物重量と根粒の着生状況について表10に示した。

窒素施用量が増加するに伴って地上部乾物重は増大し、N30区はN0区に比べて60日目では1.5倍、78日目では2倍の重量であった。根も同様に窒素施用量が多いほど重量は増加したが、

表10 窒素施用に伴う生育量と根粒着生量の変化

播種後日数	窒素施用量 (N g / m ²)	乾 物 重 (g / 個体)			個体当り着生根粒	
		茎 葉	莢 実	根	風乾重(mg)	数(ヶ)
60日目	0	3.70	—	1.00	188	118
	7.5	3.97	—	1.03	70	75
	15	4.78	—	1.13	33	50
	30	5.57	—	1.31	5	4
78日目	0	8.02	2.85	3.03	585	447
	7.5	12.64	3.17	4.11	120	256
	15	15.49	4.24	4.54	65	172
	30	17.08	4.04	4.71	5	10

地上部ほどの差はなかった。

一方、根粒着生状況をみると、N0区の着生量が最も多く、窒素施用量が増すことによって根粒重、数は急激に低下した。N30区の着生根粒数は1個体当り僅か4～10個に過ぎず、重量ではN0区の1/38～1/117であった。また、N0区では60日目より78日目で約3倍に重量が増し、N15区でも2倍量に増大したが、N30区ではほとんど変らなかった。

2) 器官別各種窒素化合物組成

2時期について葉身、葉柄、茎、莢実、根それぞれの窒素化合物組成を求め、表11、12に示した。

時期にかかわらず、窒素施用量の増加に伴って各器官の全-N、水溶性-N、アミノ酸-N、硝酸-Nの各濃度は高まり、とくに葉柄、茎、根において硝酸-N濃度の上昇が激しかった。しかしながら、アラントイン-N濃度は60日目の葉身、葉柄、茎で窒素施用量増加と共に高まるものの、78日目になると葉身では窒素施用量間の差がなくなり、葉柄ではむしろ低下する傾向がみられた。また、根は終始窒素施用量が多いほど低い濃度を示した。アンモニア-Nは全

体に濃度が低く、葉身、茎で窒素増肥によって濃度は高まったが、他は明らかな傾向がみられなかった。

各器官における各窒素化合物の全-Nに対する割合をみると、葉身では水溶性-Nが11～21%の割合で、他の窒素形態もアミノ酸-Nが4%以上(78日目)のやや高い割合を示した以外、他は0.3～1.1%程度で、他の器官と比べても全体に低い割合であった。これに対し、葉柄、茎では窒素施用区での水溶性-Nの割合が急激に高まり、60日目で見ると、葉柄ではN0区の21%からN30区の54.9%まで、また、茎では23.7%から32.6%までそれぞれ高まった。水溶性-N以外の他の窒素形態の内、葉柄では硝酸-Nが窒素施用増加に伴って急激に割合を増し、N0区で2.8%に過ぎなかったものが、N15、30区では30%以上となった。茎ではアミノ酸-Nの高まりが大きく、4.4%から10.8%まで上昇した。両器官における全-Nに対するアラントイン-Nの割合は、葉柄で60日目に1.6～2.1%であったものが、78日目には増加して1.6～3.4%となり、かつ、78日目において窒素施用によって明らかに割合は低下した。一方、

表11 器官別各種窒素化合物濃度と全-N、水溶性-Nに対する割合

(播種後60日目)

窒 素 施用量 (Ng / m^2)	形態別窒素濃度 (%)						対全 - N 比 (%)				対水溶性 - N 比 (%)			
	全 - N	水溶性 - N	アミノ酸 - N	アラントイン - N	硝 酸 - N	アンモ ニア - N	水溶性 - N	アミノ 酸 - N	アラントイン - N	硝 酸 - N	アミノ 酸 - N	アラントイン - N	硝 酸 - N	
葉 身														
0	3.70	0.451	0.048	0.024	0.013	0.007	12.2	1.3	0.6	0.4	10.6	5.3	2.9	
7.5	4.13	0.483	0.065	0.022	0.022	0.017	11.7	1.6	0.5	0.5	13.5	4.6	4.6	
15	4.64	0.535	0.092	0.042	0.038	0.012	11.5	2.0	0.9	0.8	17.2	7.1	7.9	
30	4.73	0.714	0.124	0.041	0.047	0.024	15.1	2.6	0.9	1.0	17.4	5.7	6.6	
葉 柄														
0	1.38	0.290	0.028	0.023	0.038	0.026	21.0	2.0	1.7	2.8	9.7	7.9	13.1	
7.5	2.16	0.813	0.057	0.046	0.461	0.022	37.6	2.6	2.1	21.3	7.0	5.7	56.7	
15	2.85	1.363	0.086	0.049	0.935	0.018	47.8	3.0	1.7	32.8	6.3	3.6	68.6	
30	2.91	1.597	0.148	0.047	0.995	0.024	54.9	5.1	1.6	34.2	9.3	2.9	62.3	
茎														
0	2.53	0.599	0.112	0.103	0.032	0.014	23.7	4.4	4.1	1.3	18.7	17.2	5.3	
7.5	2.92	0.742	0.217	0.109	0.155	0.019	25.4	7.4	3.7	5.3	29.2	14.7	20.9	
15	3.09	0.888	0.261	0.128	0.224	0.031	28.7	8.4	4.1	7.2	29.4	14.4	29.4	
30	3.31	1.080	0.357	0.168	0.240	0.072	32.6	10.8	5.1	7.3	33.1	15.6	22.2	
根														
0	1.83	0.201	0.031	0.054	0.057	0.014	11.0	1.7	3.0	3.1	15.4	26.9	28.4	
7.5	1.93	0.247	0.020	0.043	0.136	0.022	12.8	1.0	2.2	7.0	8.1	17.4	55.1	
15	1.95	0.364	0.054	0.047	0.189	0.019	18.7	2.8	2.4	9.7	14.8	12.9	51.9	
30	1.96	0.389	0.056	0.036	0.205	0.017	19.8	2.9	1.8	10.5	14.4	9.3	52.7	

茎における割合は葉柄よりさらに高く、60日目で3.7～5.1%，78日目で6.6～12.7%を示し、窒素施用に伴う変化は、60日目ではやや高まる

傾向がみられたものの、78日目では葉柄と同様に低下した。根においては水溶性-Nの割合が葉身と同程度の27%以下の低い割合で、その他の

表12 器官別各種窒素化合物濃度と全-N、水溶性-Nに対する割合

(播種後78日目)

窒素 施用量 (N g / m ²)	形態別窒素濃度 (%)						対全-N比 (%)				対水溶性-N比 (%)		
	全-N	水溶性-N	アミノ酸-N	アラントイン-N	硝酸-N	アンモニア-N	水溶性-N	アミノ酸-N	アラントイン-N	硝酸-N	アミノ酸-N	アラントイン-N	硝酸-N
葉							身						
0	4.81	0.659	0.211	0.041	0.019	0.022	13.7	4.4	0.9	0.4	32.0	6.2	2.9
7.5	4.35	0.566	0.186	0.048	0.013	0.022	13.0	4.3	1.1	0.3	32.9	8.5	2.3
15	4.71	0.728	0.218	0.040	0.022	0.022	15.5	4.6	0.8	0.5	29.9	5.5	3.0
30	4.94	1.067	0.227	0.044	0.025	0.026	21.6	4.6	0.9	0.5	21.3	4.1	2.3
葉							柄						
0	1.31	0.163	0.043	0.044	0.054	0.022	12.4	3.3	3.4	4.1	26.4	27.0	33.1
7.5	1.29	0.388	0.051	0.040	0.158	0.024	30.1	4.0	3.1	12.2	13.1	10.3	40.7
15	1.94	1.028	0.054	0.035	0.742	0.014	53.0	2.8	1.8	38.2	5.3	3.4	72.2
30	2.47	1.532	0.064	0.039	1.134	0.019	62.0	2.6	1.6	45.9	4.2	2.5	74.0
茎													
0	1.80	0.428	0.087	0.229	0.028	0.019	23.8	4.8	12.7	1.6	20.3	67.8	6.5
7.5	1.78	0.340	0.104	0.139	0.063	0.019	19.1	5.8	7.8	3.5	30.6	40.9	18.5
15	2.20	0.506	0.155	0.146	0.107	0.020	23.0	7.0	6.6	4.9	30.6	28.9	21.1
30	2.43	0.757	0.179	0.193	0.266	0.022	31.2	7.4	7.9	10.9	23.6	25.5	35.1
英							実						
0	3.36	0.318	0.098	0.120	0.009	0.024	9.5	2.9	3.6	0.3	30.8	37.7	2.8
7.5	3.16	0.305	0.110	0.108	0.009	0.019	9.7	3.5	3.4	0.3	36.1	35.4	3.0
15	3.52	0.425	0.144	0.114	0.025	0.014	12.1	4.1	3.2	0.7	33.9	26.8	5.9
30	3.73	0.468	0.175	0.140	0.035	0.015	12.5	4.7	3.8	0.9	37.4	29.9	7.5
根													
0	1.22	0.187	0.025	0.065	0.032	0.007	15.3	2.0	5.3	2.6	13.4	34.8	17.1
7.5	1.23	0.179	0.016	0.042	0.063	0.005	14.6	1.3	3.4	5.1	8.9	23.5	35.2
15	1.38	0.251	0.032	0.031	0.142	0.007	18.2	2.3	2.2	10.3	12.7	12.4	56.6
30	1.41	0.378	0.032	0.025	0.262	0.003	26.8	2.3	1.8	18.6	8.5	6.6	69.3

形態では硝酸-Nが比較的高く、N30区で60日目10.5%、78日目18.6%を示した。アラントイン-Nは1.8~5.3%の範囲であった。窒素施用量の増加により水溶性-N、硝酸-Nは高まり、アラントイン-Nは逆に低下した。

アミノ酸-N、アラントイン-N、硝酸-Nの水溶性-Nに対する割合をみると、葉身ではアミノ酸-Nが10%以上を占め、60日目では窒素増肥により高まるが、78日目では逆に低下した。葉柄では窒素施用によって硝酸-Nが50%以上の割合となり、N15、30区では62~74%を示したが、逆にアミノ酸-N、アラントイン-Nは78日目でN0区の27%からN30区の2~4%まで低下した。茎では60日目にアミノ酸-Nが比較的高い割合を示し、硝酸-Nと同様に窒素施用によって高まっていたものが、78日目になると硝酸-Nは同傾向を維持し、アミノ酸-Nは窒素用量間の傾向が不明瞭となった。アラントイン-Nの割合は60日目に14~17%の範囲で窒素用量間に大きな差はなかったが、78日目ではN0区の割合が68%に増大し、N30区の25%まで窒素施用量増加と共に低下した。根では硝酸-Nの割合が高く、窒素施用によって高まったが、アラントイン-Nは逆にN0区で高く、78日目では35%程度の割合を示し、N30区は6.6%を占めたに過ぎなかった。

なお、莢実におけるアラントイン-N濃度は0.12~0.14%で、窒素施用量間ではN0区とN30区がやや高い程度で区間の差は小さく、全-Nに対する割合は3.5%前後であった。

3) 溢泌液中の窒素化合物の組成

地上部採取と同時に茎部切断による溢泌液の採取を行い、液中の各種窒素化合物濃度を測定した(表13)。

開花始に相当する播種後60日目の窒素濃度についてみると、窒素施用量の増加に伴って全-N濃度は増大し、N0区とN7.5区との差は大きくないが、N15、30区と急激に高まって、N30区ではN0、15区の2倍以上の高濃度を示した。窒素施用量増加と共に急増している窒素化合物はアミノ酸・アマイド-Nと硝酸-Nで、共にN0区で $8 \mu\text{g}/\text{ml}$ 前後の濃度であったものがN30区では $127\sim 149 \mu\text{g}/\text{ml}$ にまで上昇した。しかしながら、アラントイン-N濃度はN0区で最も高い $150 \mu\text{g}/\text{ml}$ を示し、N施用区は $45\sim 58 \mu\text{g}/\text{ml}$ の低い値であった。それでも窒素施用処理間で比較するならば、窒素施用量が多いほどアラントイン-N濃度も高まるようであった。アンモニア-Nは処理間で大きな変動がみられなかった。

莢実肥大期の78日目になると、N0区の全-N

表13 溢泌液中の各種窒素化合物濃度

採取 時期	窒 施 用 量 (g/ml)	窒 素 濃 度 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)					
		全-N	アミノ酸・ アマイド-N	アラントイン -N	硝酸-N	アンモニア-N	その他
60日目	0	183.3	8.7	150.0	7.4	2.5	14.7
	7.5	208.4	61.1	45.2	74.4	2.6	25.1
	15	358.3	120.5	51.6	124.3	3.7	58.2
	30	441.7	149.3	58.2	127.5	2.9	103.8
78日目	0	330.0	83.6	213.1	13.8	1.9	17.6
	7.5	265.0	95.2	94.4	46.7	1.7	27.0
	15	382.0	157.7	77.0	80.7	1.8	64.8
	30	438.0	177.7	58.2	82.9	2.0	117.2

N濃度は高まってN7.5区を上回る値を示し、N15, 30区はN0, 7.5区より高濃度であるが、60日目と同程度の値であった。アミノ酸・アミド-N、硝酸-Nは60日目と同様に窒素増肥と共に濃度は高まるが、N0区のアミノ酸・アミド-N濃度が60日目と比べて著しく高まっているのが注目された。アラントイン-Nは相変わらずN0区が最も高く、また、窒素施用処理間では60日目の場合とは逆に窒素施用量が増すにつれてアラントイン-N濃度は低下した。

各種窒素化合物濃度の全窒素中に占める割合をみると (図13), N0区ではアラントイン-Nの割合が60日目で82%, 78日目で65%を示し、液中窒素の大部分がアラントイン-Nで占められていた。一方、窒素施用処理区ではアラントイン-Nの割合が60日目で13~22%に過ぎず、78日目でやや高まって13~36%であった。これに対し、アミノ酸・アミド-Nは30%以上を示し、硝酸-Nも60日目で30%前後、78日目で20%前後を占めた。窒素施用処理間ではアミノ

酸・アミド-N、硝酸-Nとも全-N中に占める割合に大きな差はみられず、これら窒素形態以外のその他窒素の占める割合が窒素増肥と共に増大した。

参考までに溢泌液中のアミノ酸・アミド組成とその窒素換算による比率を表14-(1), (2)に示した。それによると、窒素施用の有無によって組成は大きく異なった。すなわち、窒素施用処理においてアスパラギンの占める割合が極めて高く、60日目では64~68%を占め、78日目でも43%以上であった。他方、N0区ではアスパラギンの割合が13.6%に過ぎず、他にアルギニン、グルタミン、 γ -アミノ酪酸、リジンなどがやや高い割合を示した。

3. 考 察

小豆においても窒素施用量を増すことによって着生根粒の数、重量とも低下することが観察され、窒素施肥によって根粒形成の阻害される現象が明らかに認められた。しかも、窒素15 g/m²以下の施用量では開花後も根粒着生量が増大するが、窒素30 g/m²の多量施用では根粒着生量が増えず、開花以後も根粒形成阻害現象が持続していることを認めた。佐藤¹²⁴⁾も小豆の窒素用量試験の中で同様の現象を報告している。

一方、窒素施用量の増加は当然のことながら小豆の窒素集積を高め、体内各器官における全-N濃度を上昇させた。この結果を根粒着生量と対比してみると、根粒着生量の最も多かったN0区の窒素集積量は窒素施用量が最も少ないN7.5区より低く、根粒からの固定窒素の供給が施肥窒素7.5 g/m²に及ばないことになる。しかも、根粒と密接な関係にあるとされるアラントイン-Nの茎における濃度が60日目の段階では窒素施用量の多いほど高い傾向がみられ、根粒着生量と負の関係を示した。これらのことは、アラントイン (アラントイン酸を含む) が主に根粒で生成され、固定窒素の主要な移動形態であるとの大豆における報告^{79, 80, 83, 114, 143)}と矛盾しているように見受けられる。

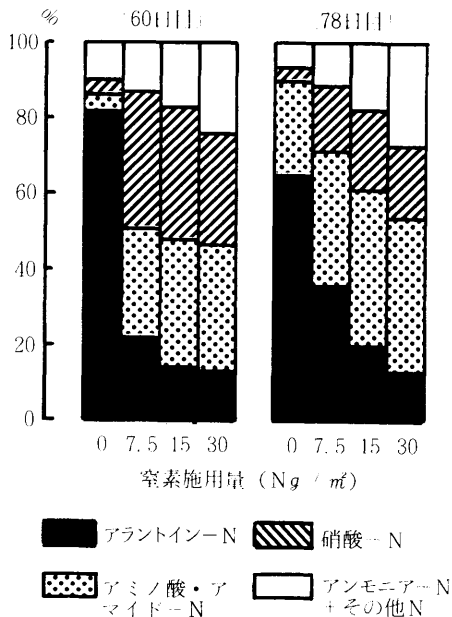


図13 溢泌液中各種窒素化合物の全窒素に占める割合

表14-(1) 溢泌液中のアミノ酸・アミド組成

(nmol/ml)

アミノ酸および アミド	60 日 目				78 日 目			
	N 0	N 7.5	N15	N30	N 0	N 7.5	N15	N30
アスパラギン酸	20.1	46.1	64.5	67.0	114.9	168.4	173.6	179.5
スレオニン	20.4	49.2	78.8	87.7	185.1	163.9	208.6	204.9
セ リ ン	18.8	38.6	53.3	65.5	154.1	104.9	117.1	91.8
グルタミン酸	9.9	14.5	22.1	19.7	16.5	22.3	27.4	20.6
グルタミン	29.0	205.5	450.9	585.2	544.7	391.9	580.6	907.2
グ リ シ ン	2.7	8.2	9.6	10.9	9.5	9.3	12.0	11.0
アラ ニ ン	11.8	25.1	30.6	42.4	29.3	35.2	46.6	24.9
バ リ ン	38.2	75.0	113.8	130.9	164.9	177.7	222.7	215.0
システイン	12.4	14.8	18.7	18.8	24.5	18.8	23.8	25.9
メチオニン	7.7	13.7	20.1	24.1	46.9	39.2	47.6	52.0
イソロイシン	25.8	53.5	72.2	80.4	113.4	124.1	147.0	138.1
ロ イ シ ン	19.5	36.6	51.1	62.6	80.5	108.7	126.6	116.9
チ ロ シ ン	3.6	14.0	19.1	22.4	31.1	38.6	40.3	41.7
フェニールアラニン	6.4	16.7	31.0	37.1	39.0	48.3	60.2	58.2
β -アラニン	4.9	14.9	19.0	25.1	61.2	54.8	73.9	53.9
γ -アミノ酪酸	58.2	83.5	101.5	114.7	106.4	150.7	202.0	151.6
エタノールアミン	8.7	7.1	10.2	8.7	6.7	9.0	11.4	9.7
オルニチン	1.0	2.4	4.5	4.1	9.6	6.7	7.6	9.1
トリプトファン	2.1	—	—	—	—	7.2	8.7	3.9
リ ジ ン	25.1	80.2	157.1	166.1	208.4	198.9	224.6	250.7
1-メチルヒスチジン	1.9	4.7	9.6	7.2	9.2	8.5	11.8	13.4
ヒスチジン	4.3	38.9	75.9	94.7	101.4	96.2	135.8	143.6
アルギニン	30.3	76.7	158.5	187.1	404.0	248.4	265.9	293.9
アスパラギン	42.7	1407.7	2876.2	3626.2	622.2	1468.0	3246.2	3619.9
プロ リ ン	4.8	11.0	7.5	13.1	46.0	52.5	60.6	47.9

表14-(2) 溢泌液中のアミノ酸・アマイド-Nの組成
(アミノ酸・アマイド-N総量に対する割合)

(%)

アミノ酸および アマイド	60 日 目				78 日 目			
	N 0	N 7.5	N15	N30	N 0	N 7.5	N15	N30
アスパラギン酸	3.2	1.0	0.7	0.6	1.9	2.5	1.5	1.4
スレオニン	3.3	1.1	0.9	0.8	3.1	2.4	1.9	1.6
セ リ ン	3.0	0.9	0.6	0.6	2.6	1.5	1.0	0.7
グルタミン酸	1.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2
グルタミン	9.3	9.4	10.5	11.0	18.2	11.5	10.3	14.3
グ リ シ ン	0.5	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
ア ラ ニ ン	1.8	0.6	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.2
バ リ ン	6.1	1.7	1.3	1.2	2.8	2.6	2.0	1.7
シスチン	4.0	0.7	0.4	0.4	0.8	0.6	0.4	0.4
メチオニン	1.3	0.3	0.2	0.2	0.8	0.6	0.4	0.4
イソロイシン	4.1	1.2	0.8	0.8	1.9	1.8	1.3	1.1
ロ イ シ ン	3.1	0.8	0.6	0.6	1.4	1.6	1.1	0.9
チ ロ シ ン	0.6	0.3	0.2	0.2	0.5	0.6	0.4	0.3
フェニールアラニン	1.0	0.4	0.4	0.3	0.7	0.7	0.5	0.5
β -アラニン	1.0	0.3	0.2	0.2	1.0	0.8	0.7	0.4
γ -アミノ酪酸	9.3	1.9	1.2	1.1	1.8	2.2	1.8	1.2
エタノールアミン	1.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
オルニチン	0.3	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1
トリプトファン	0.7	—	—	—	—	0.2	0.2	0.1
リ ジ ン	8.0	3.7	3.7	3.1	7.0	5.9	4.0	3.9
1-メチルヒスチジン	0.9	0.3	0.3	0.2	0.5	0.4	0.3	0.3
ヒスチジン	2.1	2.7	2.6	2.7	5.1	4.2	3.6	3.4
アルギニン	19.3	7.0	7.4	7.0	27.1	14.6	9.4	9.3
アスパラギン	13.6	64.5	66.8	68.0	20.8	43.2	57.6	57.0
プ ロ リ ン	0.8	0.2	0.1	0.1	0.8	0.8	0.5	0.4

しかしながら、大豆においても高濃度の窒素供給によってアラントイン濃度の増大する現象がみられたとの報告¹¹⁾や生育初期の段階では窒素増肥によってアラントインも増加するとの報告⁴²⁾がある。藤田ら¹⁴⁾も根粒非着生系統の大豆 A62-2 で窒素施肥量の増加によってウレイド（アラントインおよびアラントイン酸）が増大することを認めている。アラントインの生成場所は根粒のみでなく、また、アラントインは窒素の貯蔵形態で⁸⁹⁾、窒素が供給過剰でC/N比が低い条件において集積するともいわれている。したがって、前述の根粒着生量とアラントイン-N濃度との間の負の関係は小豆に特異的なものとは考えられない。事実、本実験における茎部溢泌液分析では、N0区のアラントイン-N濃度が窒素施用処理に比べて著しく高く、全-N中80%以上も占めており、小豆においても固定窒素の移動形態がアラントインであることは明らかに認められた。

小豆の開花前の時期における各器官の窒素濃度は高く、反面、生育は緩慢で、葉の生長が不十分で光合成活動は低く、このため、窒素多施用による吸収窒素の過剰分の一部がアラントインとして集積していることが推定される。これに対して、N0区はアラントインとして固定窒素が供給されているとしても、根粒の窒素固定能はまだ低い水準で、アラントインとして集積するには供給される絶対量が不足していると考えられる。しかしながら、開花以後根粒の着生量が増大し、窒素固定能が高まるにつれてアラントインの供給も増し、窒素固定能が最大に達する莢実肥大始の時期には茎のアラントイン-N濃度が窒素増肥と共に低下して根粒着生量と正の関係となった。また、根においては時期を問わ

ず窒素施用量の多いほどアラントイン-N濃度は低い傾向であった。

これらのことから、小豆における根粒とアラントインとの関係は大豆と同様にみて差支えないと考えられる。ただ、小豆の窒素固定能は大豆より低いことや、生育が一層緩慢で開花以後の生長が急激であることなどを併せ考えれば、アラントインとしての供給量、集積量が大豆の場合ほど大きな比重を占めず、子実形成に係る窒素形態としての意義は大豆より低いことが予想される。

溢泌液の窒素組成より、窒素施用に伴い吸収、移動形態はアミノ酸・アミド、硝酸が主であり、アミノ酸・アミドの中でもアスパラギンが60%以上を占めて主要な形態であった。さらに、窒素施用量の増加に伴って各器官の水溶性-N、アミノ酸-N、硝酸-N濃度は高まり、とくに、葉柄において窒素多施用処理での硝酸-N濃度が全-N中30%以上を占める高濃度を示した。

小豆における施肥窒素の吸収、移動については大豆の場合と基本的に同じと考えられる。しかしながら、窒素集積の過程で小豆葉柄中に硝酸-Nが高濃度で集積していることは注目に値する。大豆における葉柄中の窒素形態を論じた報告が見当たらないため、硝酸集積が小豆に特異的なものかどうかは不明であるが、小豆が硝酸態窒素の供給で生育が良好になるいわゆる好硝酸性植物の部類に入っている¹⁴⁴⁾ことを併せ考えれば、硝酸-Nの集積は小豆の生育、子実形成に重要な役割を持っているのかもしれない。いずれにしても、小豆における窒素集積の傾向が大豆と趣を異にすることは予想され、次章で生育、収量との関連で論議する。