

第5章 窒素供給法の検討

小豆増収のためには窒素が極めて重要な役割を持っており、とくに、開花始以後の栄養・生殖両生長重複期における窒素供給の重要性が高いことについては既に述べた。小豆に対する窒素供給源としては土壌窒素、根粒からの固定窒素、および施肥窒素がある。この中で、固定窒素の供給量は正確には把握されていないが、推定で10a当り3～5Nkg程度とされ、総窒素集積量の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ に過ぎない。しかも、固定窒素の供給源である根粒の着生は環境条件に大きく影響され、供給量確保が困難である。また、前章で堆肥施用効果について一部触れたように、土壌窒素を富化することによって収量の高まることは十分考えられるが、本研究は地力依存の増収法は主眼にしていない。一方、第3章で示したように、小豆の収量向上に対して窒素増肥効果がうかがわれ、施肥法改善によって増収を期待できることが示唆された。

畑作物の施肥法としては作条施肥が一般的であり¹²⁹⁾、その他には全層施肥、表面施肥、側方施肥、二段施肥、あるいは作条全層施肥、作条表面施肥などが考案され、菜豆^{51,52)}、てん菜^{90,96,111)}、馬鈴薯^{100,126)}などの作物で検討されて一部実用に供されているものもあるが、施肥機の改良と併せて施肥効率としての検討は不十分である。小豆についても現在は作条施肥がほとんどである。

本章では、小豆に対する合理的窒素供給法として、まず、基肥主体の窒素施肥法を検討し、さらに、開花始以後の窒素供給も考慮して、追肥法、葉面散布追肥法、緩効性窒素肥料の利用について検討した結果を述べる。

第1節 基肥窒素施用量の発芽に及ぼす影響

現在行われている小豆の窒素施肥法は基肥主

体の作条施肥がほとんどであり、その施用量は平均5.3Nkg/10aであり、北海道施肥標準³⁶⁾と比較して2倍近く高い¹²⁹⁾。

一方、小豆は畑作物の中でも発芽時に濃度障害を受け易いとされており⁸⁷⁾、窒素多施した場合発芽障害を惹起する危険性が多分に存在する。森ら⁸⁸⁾は十勝地方における火山性土壌での施肥窒素の季節的消長を調査し、春季乾燥時に NH_4^+ が地表近くに集積することを認め、発芽障害発生の危険性を報告している。

本節では圃場条件で、基肥窒素施用量を増加した場合の発芽、生育に及ぼす影響と、さらに、発芽障害で生じた欠株が収量に与える影響を検討した¹³⁴⁾。

1. 実験方法

本実験は1980年に農試圃場で行った。

供試品種は「ハヤテショウズ」を用い、5月23日に畦幅60cm、株間20cmの密度で、1株2粒ずつ播種した。発芽後も補植を行わず、そのままの状態で栽培し、成熟期に達したものより順次収穫し、収量を求めた。

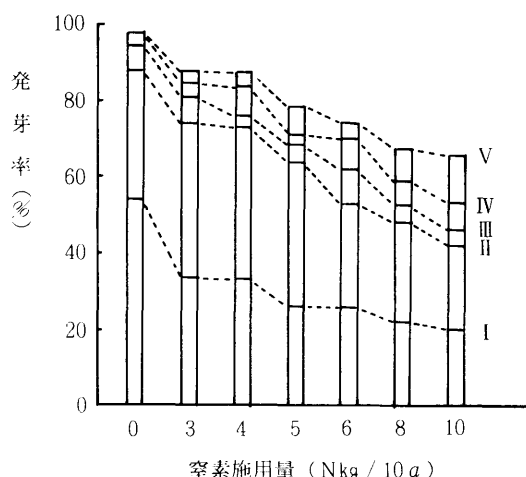
施肥処理として、基肥窒素施用量を10a当りN0, 3, 4, 5, 6, 8, 10kgの7段階設け、硫酸でそれぞれ播種前に種子下5cmの位置になるように条施した。共通肥料として、 P_2O_5 15kg (過磷酸石灰、熔成磷肥半量ずつ)、 K_2O 8kg (硫酸加里)を施用した。

6月4日を第1回目として、6月7日、13日、19日、25日の5回にわたって発芽率を調査し、さらに、6月3日、7日、13日、25日に株間より10cm立方に土壌を採取し、直ちに無機態-Nを測定し、また、風乾細土についてpH、電気伝導度(EC、土:水=1:2.5)を求めた。

なお、7月15日と8月29日の2回にわたって地上部作物体を採取し、その乾物重量を求め、ケルダール・ガンニング変法で全窒素を定量した。

2. 実験結果

本実験を実施した年は播種後の5月末より高温、乾燥の気象条件で推移し、6月3日に初めて発芽が観察されたが、早魓状態のため濃度障害が明らかに現われて、その後の発芽状況に明瞭な処理間差が認められた。発芽率の推移は図29に示したとおりである。



I：6月4日，II：6月7日，III：6月13日，
IV：6月19日，V：6月25日
図29 基肥窒素量の発芽に及ぼす影響

基肥窒素施用量が高まるに従って発芽率は低下し、6月13日の時点で、N 4 kg以下の処理では80%以上の発芽率を示したのに対し、N 5 kg以上では70%以下の率であった。最終調査の6月25日でも、N 5 kg以上の処理は80%に達しておらず、N 8 kg以上では60%台の率にとどまった。

土壌中の無機態-N濃度、電気伝導度(EC)、pH(H₂O)を測定し、その結果を表35に示した。

pH(H₂O)は窒素施用量間にはほとんど差がみられず、一定の傾向は掴み得なかったが、無機態-N、ECは窒素施用量が増すに従って高まった。また、無機態-NおよびECは時期が進むにつれて低下し、N 5 kg施用の場合、無機態-N濃度は当初44mg/100gであったが、その22日後には25mg/100gとなり、同じく、ECは2.96から1.18ms/cmに低下した。標準施肥量としてのN 3 kg処理では6月3日の無機態窒素が28mg/100gで、N 5 kgの6月25日の値とほぼ同程度であり、最も発芽状況の悪かったN 10 kgでは6月3日に80mg/100g以上の窒

表35 窒素施用量と土壌pH、無機態-N、ECの推移

窒素施用量 (Nkg/10a)	pH(H ₂ O)				無機態-N (mg/100g)				EC (ms/cm)			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
0	5.4	5.8	5.8	5.8	4.2	3.1	2.4	2.6	1.61	1.06	0.85	0.48
3	5.8	5.8	5.6	5.8	28.6	19.8	14.1	13.3	2.40	1.45	0.73	0.60
4	5.8	5.9	5.9	5.8	38.6	37.1	18.9	14.8	2.89	2.00	0.94	0.73
5	5.8	6.0	5.9	5.6	44.5	44.5	21.1	24.9	2.96	2.24	1.12	1.18
6	5.7	5.9	5.9	5.7	53.2	52.7	32.2	26.3	3.17	2.64	1.18	1.20
8	5.8	6.0	5.6	5.8	66.0	59.3	36.5	38.6	3.97	2.86	1.26	1.24
10	5.8	5.9	5.8	5.8	81.0	77.4	44.9	44.3	4.20	3.00	1.44	1.45

注) I：6月3日，II：6月7日，III：6月13日，IV：6月25日
EC：土壌/水=1/2.5

素濃度を示した。なお、乾燥状態であったためか無機態窒素中に占める $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合が高く、ほとんどが $\text{NH}_4\text{-N}$ で、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は僅かであった。

各時期のECと発芽率を対比してみると(図30)、時期に関係なく両者の間に0.900という高い相関関係が得られ、また、発芽率80%以上とそれ以下ではほぼEC 1.0ms/cmの値が境界になるようであった。

発芽後の生育、窒素集積状況および収量は表36に示したとおりで、7月15日の開花前の段階ではN 3～4 kg処理の生育が優り、窒素集積量も高かったが、N 5 kg以上施用の各処理では窒

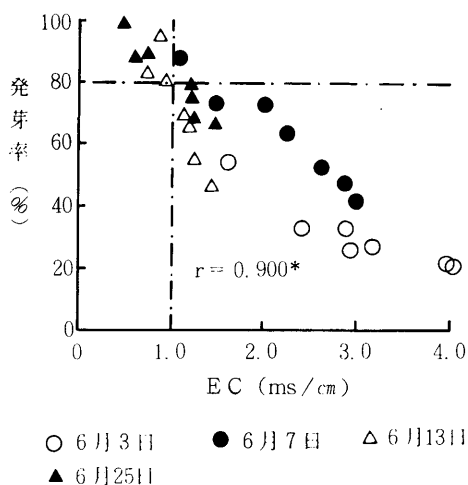


図30 ECと発芽率との関係

表36 窒素施用量と生育、収量

窒素施用量 (Nkg/10a)	乾物重 (g / 個体)		窒素集積量 (mg / 個体)		収 量 調 査			
	7月15日	8月29日	7月15日	8月29日	着莢数 (莢 / 株)	総 重 (kg / 10a)	子実重 (kg / 10a)	同左比 (%)
0	1.1	9.7	40	332	27.5	246	159	74
3	1.8	15.0	73	490	32.5	356	216	100
4	1.7	15.3	71	473	34.0	366	227	105
5	1.5	16.2	62	505	39.3	385	218	101
6	1.4	14.7	57	460	34.9	374	201	93
8	1.2	15.9	54	512	40.6	381	197	91
10	1.1	14.9	51	491	37.9	346	171	79

素施用量の増加と共に生育量、窒素集積量は低下した。しかしながら、開花始以降の生育後半になると、N 5 kg処理の生育が旺盛となり、窒素集積量も8月29日ではN 5 kg以上の処理が高い傾向であった。

収量調査の結果、総重ではN 5 kgが最も高かったが、子実重ではN 4 kgが最高値を示し、N 3, 5 kg処理はほぼ同等で、N 6 kg以上では窒素増肥に伴って減収した。

3. 考 察

圃場条件で、作条施肥における窒素施用量の

発芽への影響をみた。その結果、窒素施用量の増加と共に土壤中の無機態-N(主に $\text{NH}_4\text{-N}$)濃度は高まり、塩類濃度としてのEC値も上昇して、相対的に発芽率は低下した。一般に、濃度障害がなく、良好な気象条件下では発芽始から発芽揃まで数日を要するが、本実験では濃度障害による発芽遅延現象が明らかにみられ、初めて発芽が観察された日から22日経過した6月25日の時期に発芽率が80%を越えたのはN 0～4 kg施用処理で、N 5 kg以上では不発芽の率も高まり、N 8～10 kg施用では60%台の発芽率であった。

発芽時の濃度障害には、土壌中の塩類濃度が高い時点では発芽せず、濃度が低下した段階で発芽してくるいわゆる発芽遅延現象と、発芽後に地上に出芽してから葉、生長点に障害が現われ、ひどい場合は葉の脱落、枯死する現象とがある。本実験でも、時間の経過と共に土壌中の無機態-N濃度、ECは低下し、それに伴って発芽数が増して行ったが、N 5 kg以上施用では枯死する個体が多く、80%以上の発芽率すなわち立ち毛率を確保できなかった。

また、N 5 kg以上施用では発芽率の低下と同時に初期生育が抑制される傾向がみられた。開花以後の生育後半になって急激に生育量を増し、窒素集積も増大したが、発芽率低下による立ち毛数の減少により面積当りの収量はN 4 kg施用処理が最高で、N 5 kg以上処理は窒素施用量増加に伴って減収した。

本実験は乾燥状態という発芽の濃度障害が出易い条件下で行われ、一概に窒素施用量としてN 5 kg以上は不利であると断定できないが、実際の小豆栽培の場面で同様の現象が起きることは否定できない。とくに、小豆に対する基肥窒素として平均N 5 kg / 10 a以上施用している現在、発芽障害ひいては収量低下を招く恐れは多分に存在しているといえる。菜豆においてもN 6 kg施用以上で発芽障害の率が高まるとの報告⁵⁰⁾があり、小豆は菜豆よりもさらに濃度障害を受け易いとされており⁸⁷⁾、小豆に対する作条基肥窒素施用量はN 3 ~ 4 kg / 10 aが妥当と判断される。しかしながら、小豆増収のためには多量の窒素供給が必要であり、基肥窒素の施用法として濃度障害の生じない手段を講じるか、あるいは、追肥法など他の方法をとる必要がある。

なお、本実験で土壌のECと発芽率との関係から、小豆の発芽率を80%以上確保する塩類濃度限界としてEC (土 / 水 = 1 / 2.5) 1.0 ms / cmの値が想定された。しかしながら、この結果は発芽障害が生じた後のみかけの値であり、実際の濃度障害はさらに高い値で生じているこ

とが推定される。

第2節 窒素追肥法の検討

小豆増収のために必要な多量の窒素を一般の作条施肥形態で基肥のみで施用することは不合理であることを前節で述べた。一方、小豆が必要とする多量の窒素の内、開花以後に必要なとする割合が高く、いわゆる後期窒素供給の重要性についても概に述べた。これらの点を踏えて、小豆に対する効率的な窒素供給法の一つに追肥法が考えられる。

従来、豆類に対する肥培管理は地力依存が主に指導されてきたが、近年、追肥の効果が認識されてきた。豆類の中でも比較的施肥反応が高いとされる菜豆(わい性)では追肥効果の高いことが報告^{22,50)}され、実際の技術としても実施されている。さらに、最近になって、窒素固定能が最も高い大豆についても窒素追肥効果がみられるとの報告が多く出されている^{1,23,24,35,38,158,159)}。

小豆に対する追肥の報告はほとんどなく、僅かに佐藤ら¹²⁴⁾の1例があるに過ぎない。

本節では、小豆に対する窒素追肥効果について、追肥時期を変え、また、磷酸増肥による初期生育増進効果と組合わせて検討し、さらに、年次による追肥効果の差もみようとすした。なお、窒素追肥に伴う小豆体内における窒素の集積傾向についても検討した。

1. 実験方法

実験—I：高温年である1979年と低温年の1980年に、十勝農試圃場で「ハヤテショウズ」を供試品種として実験を行った。前章までの実験と同様に、10 a 当り8,333株、2本立の栽植密度で、両年とも5月23日に播種、栽培した。基肥施用量は10 a 当りN 3 kg (硫酸)、P₂O₅ 15kg (過磷酸石灰、熔成磷肥半量ずつ)、K₂O 8 kg (硫酸加里)を作条施用した。別に磷酸のみ倍量(P₂O₅30kg)とした磷酸増肥系列を設

けた。

窒素追肥処理は表37に示したように、無追肥処理の対照区と追肥時期を異にした3区を設けた。すなわち、7月上旬の第1～2本葉が展開する極く初期の時期、7月中旬の第3本葉展開時、および7月下旬の開花始の時期である。開花以後の追肥処理は茎葉が繁茂して追肥作業が困難であり、現実性がないとして除いた。各時期とも追肥窒素量は $N10\text{kg}/10a$ とし、硫酸で根ぎわに散布した。

表37 追肥処理区別

処 理	追 肥 時 期	
	1979 年	1980 年
対 照	無 追 肥	無 追 肥
追肥-I	7月3日	7月1日
“ - II	7月12日	7月15日
“ - III	7月26日	7月30日

生育期間中2回地上部を採取し、全窒素を測定した。成熟期に達したものから順次収穫し、収量調査を行った。なお、1979年は7月30日、8月27日の2回、1980年は8月28日の1回それぞれ根粒を採取し、その乾物重を求めた。

実験-II：窒素の集積状況調査のため、 1 m^2 の木枠に無追肥区と追肥区とを設け、小豆「栄小豆」を栽培して実験を行った。すなわち、基肥として両区とも $N7.5\text{ g}/\text{m}^2$ （硫酸）を全面全層施用し、 $P_2O_515\text{ g}/\text{m}^2$ （過磷酸石灰）、 $K_2O8\text{ g}/\text{m}^2$ （硫酸加里）、 $MgO3\text{ g}/\text{m}^2$ （硫酸マグネシウム）を2畦に分けて作条施用した。枠当たり50cm間隔で2畦とし、1畦当たり5株（2本立）ずつ計10株の密度で栽培した。追肥区は7月15日に硫酸で $N10\text{ g}/\text{m}^2$ を根ぎわに散布し、軽く土を被せた。

8月16日に両区から地上部作物体を採取し、葉身、葉柄、茎、莢実に分けて乾燥、粉碎し、全窒素（全-Nと略称）、水溶性全窒素（水溶

性-N）、アミノ酸態窒素（アミノ酸-N）、硝酸態窒素（硝酸-N）、アラントイン態窒素（アラントイン-N）を測定した。それぞれの分析法は第2章第1節に示したのと同様に行った。

また、地上部採取時に第2章第4節と同様の方法で茎部切断による溢泌液の採取を行い、液中の全-N、アミノ酸-N、硝酸-N、アンモニア-N、アラントイン-Nを前掲（第2章第4節）と同様にして測定した。

2. 実験結果

1) 生育、収量に対する追肥効果

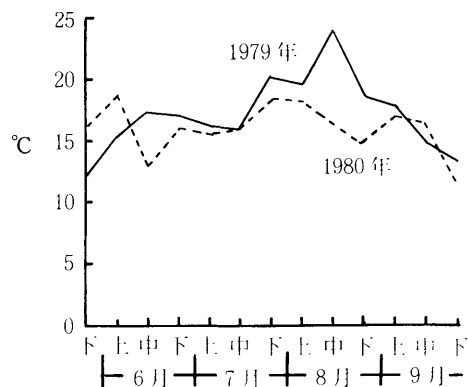


図31 試験年の平均気温の推移

試験を実施した両年の気象概況をみると、図31に示した平均気温の推移より、1979年は7月より8月上旬にかけてやや低温、寡照の天候が続き、6月および8月中旬以降は高温多照で、全体的にはやや高温に経過した。生育はおおむね順調で、収量は $260\text{ kg}/10a$ 以上の高収を示した。一方、1980年は6月中旬より低温状態で推移し、8月中旬以降はさらに多雨、寡照の条件が加わって、全体としては低温年とされ、9月に入って天候は回復したものの収量は $200\text{ kg}/10a$ 前後の低水準であった。

窒素追肥の生育に及ぼす影響として、図32に対照区（無追肥）の乾物重を100とした各生育時期の乾物重比を示した。

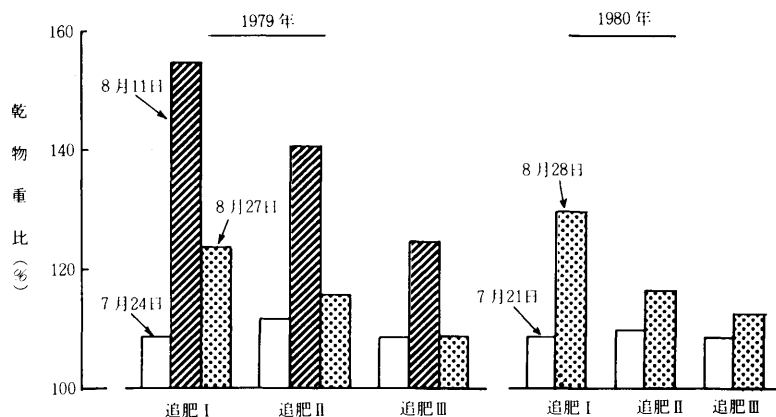


図32 追肥時期の差が時期別生育量に与える影響

(無追肥区乾物重を 100 とした追肥区の乾物重比)

これによると、追肥時期にかかわらず追肥処理によって各時期とも生育量は増大し、生育増進に対する追肥効果は両年とも認められた。しかしながら、生育の時期によって追肥に対する反応程度が異なって現われ、また、生育増大の程度も追肥の時期によって差が生じた。すなわち、開花前の段階では各追肥処理とも乾物増加比が10%前後で、追肥時期間の差がほとんどみられなかったが、開花始以後の8月中、下旬になると、とくに、8月中旬には追肥処理によって生育量は顕著に増大した。追肥時期間では早

い時期の追肥ほど生育増進効果が高いようであった。年次間で比較すると、1980年の8月下旬における乾物重比が1979年のそれより高い値を示し、追肥の後効きの様相がみられた。

表38に一般生育調査、収量調査結果を示した。成熟期は追肥処理によって1～2日遅れたにとどまり、追肥時期間ではほとんど差がなかった。着莢数についてみると、1979年は追肥－Ⅰ、Ⅱ区がやや優り、追肥－Ⅲ区は対照区と大差なく、1980年は追肥時期が遅いほど増加する傾向がみられた。

表38 窒素追肥の生育、収量に及ぼす影響

年次	処 理	成熟期 月日	成熟期調査		収 量 調 査				
			草 丈 (cm)	着莢数 (莢/株)	収量 (kg / 10 a)		同左比 (%)	子実重歩合 (%)	1,000粒重 (g)
					総 重	子実重			
1979	対 照	9. 11	36. 0	53. 8	398	263	100	66. 1	100
	追肥－Ⅰ	9. 11	42. 6	56. 7	433	268	102	61. 9	100
	“－Ⅱ	9. 12	46. 7	56. 8	421	276	105	65. 6	102
	“－Ⅲ	9. 11	46. 5	53. 7	410	264	100	64. 4	101
1980	対 照	9. 23	25. 9	32. 5	321	196	100	61. 1	151
	追肥－Ⅰ	9. 25	29. 1	34. 9	390	223	114	57. 2	150
	“－Ⅱ	9. 25	30. 9	37. 6	361	225	115	62. 3	151
	“－Ⅲ	9. 25	30. 3	38. 4	380	236	120	62. 1	156

収量調査の結果、追肥処理の子実収量は、1979年では0～5%，1980年では14～20%それぞれ対照区より増収し、追肥効果は1980年の方が高く現われた。追肥時期での増収傾向に年次による違いがみられ、1979年では追肥－Ⅱ区の収量が最も高く、次いで、Ⅰ区、Ⅲ

区の順に低まり、他方、1980年は追肥－Ⅲ区＞Ⅱ区＞Ⅰ区の順であった。また、子実重歩合では兩年とも追肥－Ⅰ区が最も低く、Ⅱ区が高かった。粒重は、1979年は追肥－Ⅱ区がやや高く、1980年はⅢ区が最も高かった。

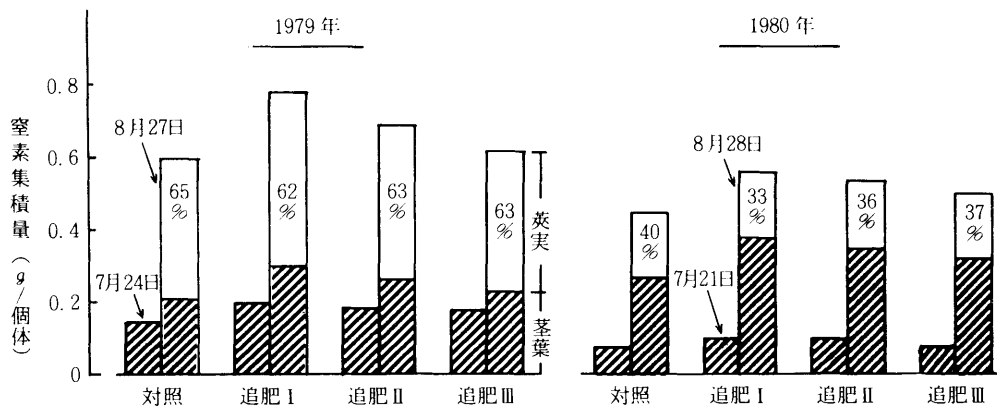


図33 追肥時期の差が時期別窒素集積量に及ぼす影響
(図中%は窒素総集積量中英実部の占める割合)

2) 窒素の集積状況

窒素集積量は各時期とも追肥処理によって増加した(図33)。兩年とも、7月中の開花前の時期での窒素集積量は追肥処理の有無による差は小さく、追肥時期ではほとんど同程度の量であったが、8月下旬の最大生育期では顕著な差がみられた。兩年を通して、追肥－Ⅰ区が最も高い値を示し、Ⅱ区、Ⅲ区、対照区の順に低下した。反面、集積窒素の英実部への分配率は対照区が最も高く、追肥処理では追肥時期が遅いほど高まる傾向がみられた。

3) 磷酸増肥の併用効果

窒素追肥は生育後半の窒素供給による生育増進を主眼としているが、磷酸増肥による初期生育増進を加えることによって追肥効果が一層助長されることが予想された。そこで、各追肥処理に併行して磷酸増肥系列を設けて検討した。その生育、収量反応について磷酸標準施用量系

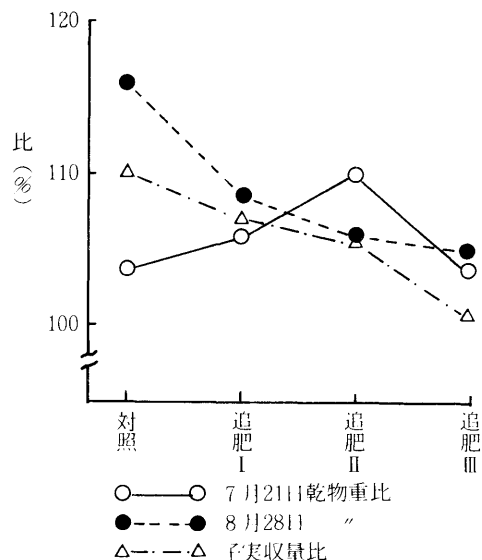


図34 磷酸増肥に伴う各追肥処理の生育、収量反応(1980年)
(磷酸標肥を100とした比)

列を 100 とした乾物重比および収量比で表わし、図34に示した。

磷酸増肥に伴う生育増進効果は明らかで、開花前の生育のみならず開花以後の生育も旺盛となり、最大生育期の 8 月 28 日では、磷酸標肥区に比べ 16% 増の乾物重を示した。開花前の 7 月 21 日では、窒素追肥による生育増進効果が磷酸増肥によって一層助長される傾向がみられ、追肥時期では追肥 - II 区の乾物重比が最も高かった。しかしながら、8 月 28 日では、追肥時期が遅いほど乾物重増加に対する磷酸効果が低下した。

収量反応も磷酸増肥効果が明らかにみられたが、処理間では、8 月下旬の生育に対する影響と同様に、対照区の増加率が最も高く、追肥処理間では遅い時期の追肥処理ほど低い率であった。

4) 窒素追肥の根粒着生に及ぼす影響

窒素を追肥することによって当然根粒への影響が予想される。生育期間中 1 ～ 2 回根粒着生量を調査し、図35に示した。

両年とも窒素追肥処理によって根粒着生量の低下する現象がみられ、1979 年では対照区に比べて 30 ～ 50% 低下し、1980 年では 10 ～ 20% の低下であった。1979 年は開花始と最大生育期の 2 回調査したが、追肥に伴う低下傾向は両

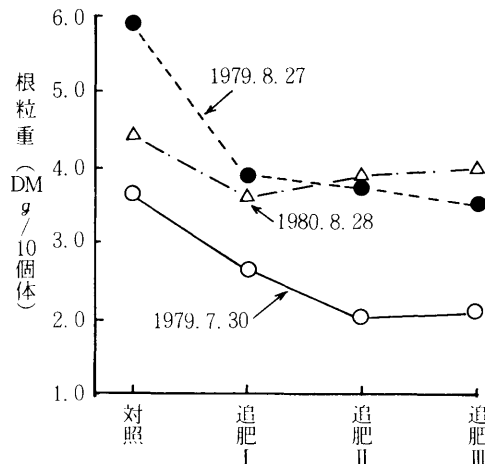


図35 追肥処理が根粒着生に及ぼす影響

時期とも同様であった。追肥時期間でみると、1979 年は追肥時期が遅いほど根粒重は低下する傾向がみられたが、その差は僅かであり、1980 年はむしろ遅い方が高い値を示した。

5) 窒素追肥に伴う体内窒素集積の変化

体内各器官における各種窒素化合物の組成と茎部切断による溢泌液中の窒素組成に対する窒素追肥の影響を検討した。本調査は 8 月中旬の莢実肥大始頃に行ったもので、追肥後ほぼ 1 か月経過した時期である。

表39 窒素追肥処理の有無に伴う器官別窒素化合物組成の変化

器官	追肥の有無	濃 度 (%)					対 全 - N 比 (%)			
		全 - N	水溶性 - N	アミノ酸 - N	硝 酸 - N	アラントイン - N	水溶性 - N	アミノ酸 - N	硝 酸 - N	アラントイン - N
葉身	無	4.35	0.566	0.186	0.013	0.048	13.0	4.3	0.3	1.1
	有	4.94	0.685	0.222	0.013	0.036	13.9	4.5	0.3	0.7
葉柄	無	1.29	0.388	0.051	0.158	0.040	30.0	4.0	12.2	3.1
	有	1.87	0.751	0.065	0.578	0.039	40.2	3.5	30.9	2.1
茎	無	1.78	0.340	0.104	0.063	0.139	19.1	5.8	3.5	7.8
	有	2.07	0.469	0.137	0.104	0.178	22.7	6.6	5.0	1.9

まず、器官別各種窒素化合物濃度をみると(表39)、窒素追肥によってアラントイン-Nを除く各窒素化合物濃度は、各器官とも、追肥区が無追肥区を上回り、水溶性-Nと硝酸-Nで両者の差が大きかった。とくに、葉柄における硝酸-N濃度は追肥区が無追肥区の3倍以上もの高い値の0.58%を示し、全-Nに対する比でも30%以上の高率であった。アミノ酸-N濃度も窒素追肥によって高まったが、その程度は低く、全-Nに対する比でも追肥、無追肥間の差は小さかった。また、アラントイン-Nは葉身、葉柄では追肥<無追肥の傾向で、茎のみ追肥区

の方がやや高い濃度を示したが、全-Nに対する割合は逆に追肥区の方が低かった。

次に、溢泌液の窒素組成をみると(表40)、アラントイン-Nを除いて各窒素化合物とも追肥区の方が高濃度を示した。追肥、無追肥間の差は硝酸-Nよりアミノ酸-Nで大きく、また、アミノ酸中に占めるアスパラギンの割合も追肥区の方が高かった。根粒着生量(乾物重、図表消略)は無追肥区120g/個体に対して追肥区は49g/個体と低く、アラントイン-N濃度も追肥区<無追肥区であった。

表40 窒素追肥処理の有無による溢泌液窒素組成の変化

追肥の有無	全-N	アミノ酸-N	硝酸-N	アンモニア-N	アラントイン-N	アミノ酸中アスパラギンの占める割合(%)
無	265.0	95.2	94.4	1.7	46.7	43.2
有	455.0	137.0	116.9	2.3	34.4	57.4

注) 単位 $\mu\text{g}/\text{ml}$

3. 考 察

本実験より小豆に対する窒素追肥効果は明らかに認められた。しかしながら、この追肥効果は年次によって異なった傾向を示し、高温年(1979年)では効果が低く発現し、他方、低温年(1980年)では高い効果がみられた。また、追肥時期に対する生育反応は両年とも同様であったが、収量反応は異なった様相を示した。すなわち、高温年では7月上、中旬の早い時期での追肥処理が高収を示し、低温年では遅い時期の追肥ほど高い増収率を示した。

この年次によって窒素追肥効果が異なった傾向をとる要因として、その1つに追肥窒素の子実生産効率に及ぼす影響の差が考えられる。窒素追肥に伴う窒素集積状況をみると、集積窒素の莢実部に占める割合は追肥時期が遅いほど高まる傾向がみられ、子実形成に対しては遅い時期の追肥ほど効率が高いといえる。同様のことは大豆について星ら³⁵⁾が報告しており、遅い時期の追肥は生育に影響する程度が低く、収量増

に結びつき易いとしている。しかしながら、小豆の場合、前述したように生育量あるいは窒素集積量と収量とは密接に関係しており、増収のためには生育増進も必要条件である。したがって、追肥時期は生育増進効果と子実生産効率が共に高い条件で設定されなければならない。

1979年は全体として高温年とされ、7月上、中旬の比較的早い時期の追肥窒素は生育増進に有効に作用すると同時に、生育後期の子実形成にも効率よく利用され、7月下旬の遅い時期の追肥は子実生産効率としては高いものの生育増進効果が低く、生育量がやや劣ったため、収量増加には十分反映しなかったものと推定される。一方、1980年は低温年で生育が抑制され、追肥窒素の生育増進効果が遅れて生育後期に現われ、このため、子実生産効率の方がより強く収量に反映したものであろう。

さて、追肥窒素が子実形成に利用されるとしても、7月に追肥してから1カ月前後経過した

後である。この時間のずれを補うためには追肥窒素が土壤に保持され、逐次吸収利用されることと、あらかじめ吸収集積した窒素の移行が考えられる。溢泌液の分析より、追肥区の窒素濃度は莢実肥大始の時期でも高く、明らかに追肥窒素の吸収が進行しているのが認められた。また、体内各器官の窒素濃度も追肥区で高く、窒素の集積が進んでおり、とくに葉柄に硝酸態窒素が高濃度で集積していた。第3章第2節で示したように、集積硝酸態窒素はその後の生育については子実形成と密接に関係しており、追肥窒素も同様な行動をとることが容易に考えられる。加藤ら⁵⁸⁾は大豆に対する窒素追肥で、吸収された窒素は追肥時期や形態に関係なく、その85%が子実へ分配されることを認めている。小豆でも吸収窒素の体内における再分配、窒素吸収の進行を通して、比較的早い時期の追肥でも子実形成には有効に作用していることがうかがわれる。

窒素追肥に伴う影響の一つに根粒着生の障害が考えられる。本実験結果では着生量が無追肥区より10～50%減少したが、追肥時期間では差がみられなかった。熊谷ら⁷³⁾は追肥時期別大豆根粒の窒素固定能への影響を検討し、早い時期の追肥ほど窒素固定能を低下させると報告している。小豆根粒の固定窒素供給量は大きいとはいえず、根粒着生阻害に伴う窒素供給減に見合う以上の窒素を追肥で供給するとすれば、根粒に対する追肥の影響は窒素供給上大きな問題とはいえないであろう。

以上のことから、小豆に対する窒素追肥の時期としては生育増進効果、子実生産効率への影響、さらには実際面での作業能率も考慮すれば7月中旬の第3本葉展開時期が妥当と判断される。しかも、初期生育増進を主なねらいとした磷酸増肥を組合せることによってさらに高い追肥効果が期待できる。

ここで本実験を通して注目されることは低温年での追肥効果が高温年より高いことである。従来、低温（冷害）年における窒素追肥は登熟

の遅れを理由に否定されていたが、本実験でみる限り成熟期の遅れは1～2日に過ぎず、むしろ、低温による生育停滞に対して生育量確保のため追肥は有効な手段と判断される。

なお、追肥窒素量について検討していないが本試験と併行して実施した現地追肥試験の結果も含めて全般的にみると、N 5 kg / 10 a と 10 kg / 10 a の間に大きな差がみられず、N 5 kg / 10 a 程度で十分と推定した。また、追肥窒素の形態についても硫安以外の比較検討を行っていないが、星ら³⁵⁾は大豆で硫安畦間追肥が良いと報告しており、加藤ら⁵⁸⁾は砂土や降水量の多い地域以外では硝酸態窒素がアンモニア態窒素に優ると報告している。いずれにしても、小豆の場合は開花前の早い時期の追肥であり、地温上昇などに伴う硝酸化成も速やかであると考えられ、追肥窒素形態としては硫安で十分であろう。

第3節 葉面追肥の効果

追肥時期が遅いほど子実の生産効率が高いことは既に述べた。このため、子実の品質向上を目的に開花以後の生育後期の追肥について検討しておく必要があると考えられる。しかしながら、開花以後の追肥作業は落花、茎葉の損傷などの不利益を招く恐れが多分にある。

一方、植物は葉から養分を吸収することは知られており¹⁵⁶⁾、とくに、葉面からの尿素的吸収性は高いとされている¹⁷²⁾。そこで、小豆に対する開花後の窒素追肥として葉面散布による方法を考え、散布回数、散布時期、散布窒素資材の種類、散布濃度について検討した¹³⁵⁾。

1. 実験方法

実験—I：散布回数とその時期について検討した。

小豆「ハヤテショウズ」を用い、農試圃場で1981年に実施した。栽植密度は前節までの圃場試験と同一にし、共通施肥量として基肥に、

N 3 kg / 10 a (硫安), P_2O_5 15 kg / 10 a (過磷酸石灰, 熔成磷肥半量ずつ), K_2O 8 kg / 10 a (硫酸加里) をそれぞれ作条施用した。

窒素の散布時期は, 開花始 (I. 8月1, 2日) 莢実肥大始 (II. 8月13, 14日), 最大生育期 (III. 8月25, 26日) の3時期とした。散布回数は各時期のみ (1回), 2時期にまたがるもの (2回), 3時期にまたがるもの (3回) として, 計6処理を設けた。散布方法としては, 尿素2%液を10 a 当り 100 ℓ の量で, 1時期につき2日にわたって反復散布して1回とした。したがって, 1回 (1時期) の散布量は計 200 ℓ / 10 a, Nとしてほぼ 1.8 kg / 10 a 施用されたことになる。さらに, 参考区として追肥区を設け, N 5 kg / 10 a を硫安で7月16日に根ぎわに施用した。また, 無処理区を設けて比較の対照とした。

開花後1カ月目の8月31日に地上部作物体を採取し, 乾物重と窒素集積量を求め, 成熟期に達した後, 収穫して収量調査を行った。

実験一Ⅱ: 葉面散布の窒素資材の検討のため実験一Ⅰと同じ品種, 栽培法, 基肥施用量で1982年に実験を行った。

供試窒素資材として, 尿素, 硫安, 硝酸石灰

を用い, それぞれN 1%液に統一して散布した。散布時期は開花始 (7月31日), 開花始後10日目の2時期にわたって散布し, 散布方法は実験一Ⅰに準じた。

最終散布から10日後の8月21日における乾物重, 窒素集積量を求め, さらに, 収穫後収量を調査した。

実験一Ⅲ: 散布液の濃度検討のため, 尿素液 0, 2, 4, 6, 8, 10% の6段階を設け, 8月10日に葉面散布してその後の経過を観察し, 収量調査も行った。

供試品種は「栄小豆」を用い, 散布方法その他は実験一Ⅰ, Ⅱと同様にし, 1982年に実施した。

2. 実験結果

1) 散布回数および時期の検討

葉面散布による追肥効果は散布の時期あるいは散布回数によって異なることが予想された。そこで散布時期を3時期に設定し, 時期にまたがる処理を含めて回数を1, 2, 3回に分けて比較検討した。

図36, 37に開花始後1カ月目の作物体全窒素濃度, および窒素集積量を示した。

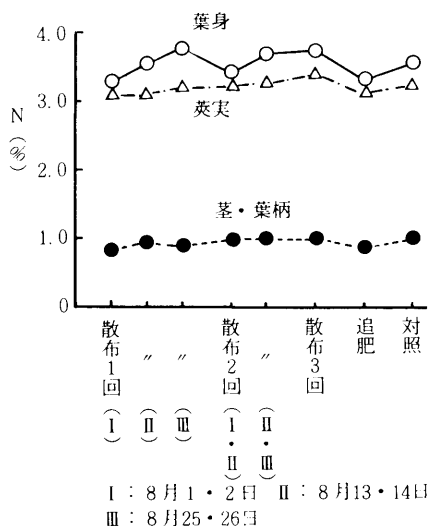


図36 散布時期, 回数と
器官別窒素濃度

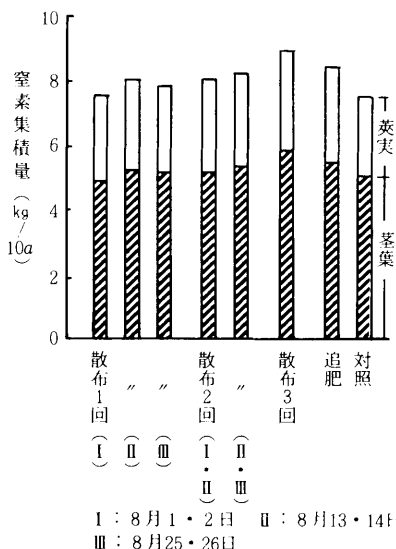


図37 散布時期, 回数と
窒素集積量

散布回数 1 回の散布時期間で比較すると、遅い時期に散布した処理ほど窒素濃度は高まり、また、回数間でみると、葉身では明らかでないが、莢実では回数の多いほど窒素濃度の高まる傾向がみられた。窒素集積量は生育量をも反映して、3 回散布処理が最も高く、回数が少ない

ほど低下し、散布時期ではⅡ期の散布処理が高いようであった。参考として設けた追肥処理は 3 回散布処理より低い集積量であったが、2 回散布処理には優った。集積窒素の莢実に占める割合は遅い時期の散布処理でやや高まった。

表41 散布回数、散布時期の収量に及ぼす影響

処 理		成 熟 期 調 査		収 量 調 査				
散 布 回 数	散 布 時 期 [*]	草 丈 (cm)	着 莢 数 (莢/株)	収量 (kg / 10 a)		子実収量比 (%)	子実重歩合 (%)	1,000 粒重 (g)
				総 重	子 実 重			
1	I	36.0	48.1	338	208	89	61.6	111
	Ⅱ	36.3	49.1	343	218	93	63.5	114
	Ⅲ	36.8	47.1	360	233	99	64.7	115
2	I, Ⅱ	37.7	48.2	360	246	105	68.1	117
	Ⅱ, Ⅲ	39.1	47.2	377	238	101	63.1	118
3	I, Ⅱ, Ⅲ	39.4	49.3	394	254	108	64.5	118
追 肥 区		41.2	48.2	390	246	105	63.0	117
対 照 区		36.8	47.1	354	235	100	66.3	116

注) * : I - 8 月 1, 2 日, Ⅱ - 8 月 13, 14, Ⅲ - 8 月 25, 26 日

表41に示した収量反応より、1 回散布処理では各時期とも効果はみられず、2 回散布処理で 1 ~ 5 %, 3 回散布処理で 8 % それぞれ対照区を上回った。追肥処理は 5 % 増収で、3 回散布処理に及ばなかった。子実重歩合はほぼ散布時期が遅いほど高まる傾向がみられ、粒重も同様に時期の遅いほど、また、回数の多いほど高まった。

2) 散布窒素資材の検討

一般に葉面散布の窒素資材としては尿素が代表的であるが、その他の窒素資材として硫酸、硝酸石灰について尿素と比較してみた。

各資材散布後の観察より、硝酸石灰は散布後翌日から葉が黄化し、内側にまくれ上り、日時の経過と共に褐変、枯死する葉が多く、全体的

に生育は停滞した。一方、硫酸処理も葉に斑点状あるいは周辺部の枯れ上る症状がみられ、硝酸石灰処理ほどではないが濃度障害が明らかに認められた。尿素処理はほとんど障害がみられず生育状況も最も良好であった。

表42より、8 月 20 日における生育量(乾物重)は尿素 > 硫酸 > 硝酸石灰 > 対照の順で、窒素集積量も同様であり、濃度障害が生じてても硝酸石灰区は対照区より幾分優った。しかしながら、収量は硫酸、硝酸石灰区とも対照区より劣り、尿素区のみ 7 % の増収を示した。

3) 散布尿素液濃度の検討

葉面散布によってできるだけ多くの窒素を供給しようとする場合、あらかじめ散布液濃度の限界を把握しておく必要がある。そこで尿素液

濃度を変えて実験を行った。

観察により、尿素濃度が4%以上から葉に斑点状の枯死部分が生じ、濃度が高まるに従ってその症状はひどくなり、枯死面積も増大した。

収量も(表43)、2%濃度処理が0%濃度(無散布)より3%ほど高い収量を示したが、4%以上では液濃度が高まるほど減収した。しかしながら、粒重は逆に高まる傾向であった。

表42 葉面散布資材の生育、窒素集積量、収量に及ぼす影響

処 理	8 月 20 日				成 熟 期 調 査		収 量		
	乾物重 (g/個体)	窒素集積量 (Nmg/個体)			草 丈 (cm)	着莢数 (莢/株)	総 重 (kg/10a)	子実重 (kg/10a)	同左比 (%)
		茎 葉	莢 実	計					
尿 素	14.1	287	130	417	32.9	50.6	353	225	107
硫 安	13.5	299	113	412	33.6	46.8	315	200	95
硝酸石灰	11.7	227	97	324	30.3	42.5	290	176	84
対 照	10.6	195	69	264	33.1	50.0	331	210	100

表43 散布尿素濃度の収量に及ぼす影響

尿素濃度 (%)	収 量 (kg/10a)		子実収量比 (%)	子実重歩合 (%)	1,000粒重 (g)
	総 重	子 実 重			
0	413	213	100	51.5	109
2	421	219	103	51.9	108
4	407	211	99	51.9	110
6	398	206	97	51.7	109
8	348	179	84	51.3	111
10	350	170	80	48.7	112

3. 考 察

小豆に対する開花以後の生育後期における窒素供給の一つの方法として、葉面散布による追肥について検討した。

その結果、散布回数が多いほど生育、収量は高まり、さらに、散布時期の遅いほど粒肥大に作用することが認められ、結果的に、3回散布処理(開花始、莢実肥大始、最大生育期)が土壌施用の追肥処理を上回る好成績を示した。1回散布処理はどの時期においても窒素集積が若干増えるものの収量にはほとんど反映せず、施用窒素の絶対量が不足であると推定される。

本実験は葉面散布による追肥を目的としており、追肥窒素量の確保と共に作業効率の面から

散布回数を減らすことが望まれる。散布液量を一般の薬剤(農薬)散布を想定して100ℓ/10aとした場合、1回の散布窒素量は高々N0.9kg/10a(2%尿素液)で、反復してもN1.8kg/10aに過ぎず、より多量の窒素を供給しようとするれば散布回数を減らす代りに散布窒素濃度を高めなければならないことになる。しかしながら、液中の窒素濃度を高めると濃度障害が生じ、尿素でも2%が限界であった。したがって、散布法としては低濃度で回数を多くするのが妥当と考えられる。

この葉面散布による追肥窒素は主に子実形成に利用されることがうかがわれ、一般の土壌施用による追肥処理より子実生産能率は高いと考

えられる。大豆においても葉面散布による子実肥大期の施肥 (Foliar Fertilization) の効果が認められており, Vasilas ら¹⁵⁷⁾ は施用窒素の44ないし67%が利用され, その内94%が子実中にあったことを報告し, Garcia ら¹⁷⁾ も葉面施肥によって粒数が増加し, 増収に結びついたことを報告している。菅野ら⁵⁶⁾ は尿素の葉面散布が大豆の粗たんぱく増加など子実の品質向上に貢献することを述べている。

本実験では散布窒素資材についても検討し, 硫安, 硝酸石灰では障害の出ることを認めた。硫安では SO_4^{2-} イオンの影響が大きく出たものと推定されるが, 硝酸石灰については不明である。

以上のことから, 小豆に対する開花以後の葉面散布による窒素供給は有効であり, 尿素液 (2%以下) を3回 (1回につき反復, 計6回) 以上散布するのが効果的であると判断される。

第4節 緩効性窒素肥料の利用

生育後期の窒素供給法の一つとして緩効性窒素肥料の利用が考えられる。

緩効性窒素肥料の基礎的研究は多くなされており^{28, 29, 40, 112, 113, 171)}, その中で, CDU は比較的分解速度が遅いとされている。そこで, CDU を主体に小豆に対する緩効性窒素肥料の肥効を速効性窒素との施用割合を変えて検討した。

1. 実験方法

実験一Ⅰ：「栄小豆」を供試して, 十勝農試圃場で基肥として施用した場合の緩効性窒素化成肥料の肥効を検討した。

本実験は1977年に行い, 処理内容として表44のように, AN (アンモニア態窒素) とCDU-Nとの配合を変えた5種の化学肥料を供試し, 参考として, IB-N入り化成区も設けた。各化成とも10a 当り100kg 施用によって所定量の窒素が施肥され, 共通成分として, P_2O_5 12kg

表44 処理区別と窒素施肥量

処理No.	窒 素 施 肥 量 (kg / 10 a)			
	T - N	A - N	CDU - N	IB - N
1	3.0	3.0	—	—
2	6.0	1.0	5.0	—
3	6.0	—	6.0	—
4	7.0	3.0	4.0	—
5	9.0	3.0	6.0	—
6	6.0	1.0	—	5.0

K_2O 8 kg, MgO 4 kg が同時に施用された。

7月25日と8月25日の2回地上部を採取し, 窒素集積状況を調査し, 8月8日には地下部を採取して根粒着生量を求めた。

実験一Ⅱ：圃場条件での緩効性窒素無機化過程を調査するため, 農試圃場内の1㎡コンクリート枠内に農試土壌を充填し, 地表下5cmのところへ $\text{N}20\text{g} / \text{㎡}$ 相当量のCDU, IB各単体および硫安をそれぞれ均一に散布し, 覆土して自然状態で放置した。なお, 無処理区 (—N) も併設した。

窒素施肥処理は1978年の6月2日に行い, 10日後の6月12日からほぼ10日間隔で土壌を深さ10cmまで採取し, 無機態窒素 (アンモニア態窒素と硝酸態窒素の含量) を測定した。実験中の気象条件は, 6月中旬から8月下旬まで気温が高く経過し, 降水量は6月が160mm, 7月が74mm, 8月が102mmでほぼ平年並であった。

2. 実験結果

1) 緩効性窒素の肥効

発芽は各区とも良整で, 総窒素施肥量を $\text{N}9\text{kg} / 10\text{a}$ (A-N3+CDU-N6) とした5区においても発芽障害の現象はみられなかった。また, 開花始 (7月29日), 成熟期 (9月19日) は各区とも同一であった。

表45より, 開花始における生育では区間の差は大きくなかったが, 4区 (A-N3+CDU-N4), 5区 (A-N3+CDU-N6) がやや優り, 6区 (A-N1+IB-N5) も比較的良好であった。成熟期も同様の傾向で, A-N3kgにCDU-Nを上積みした処理の生育が最も旺盛であっ

た。CDU-Nのみの3区は対照区の1区(A-N3)には優れたものの、緩効性窒素施肥処理内では終始最も劣った。

子実収量は5区 $\geq$ 4区 $>$ 2区(A-N1+CDU-N5) $>$ 6区 $>$ 3区 $>$ 1区の順に低下し、5、4区の収量は1区より13%増収であった。また

表45 生育、収量反応

処理 No	7月29日 草 丈 (cm)	成 熟 期 調 査		収 量 調 査			
		草 丈 (cm)	着 莢 数 (莢 / 株)	収 量 (kg / 10 a)		子実収量比 (%)	1,000粒重 (g)
				総 重	子 実 重		
1	20.5	48.5	39.9	371	231	100	127
2	20.3	53.5	41.8	414	251	109	132
3	19.0	51.1	40.4	399	241	104	135
4	22.0	55.8	41.9	426	261	113	137
5	21.9	55.5	41.7	439	262	113	137
6	20.8	53.2	39.6	410	245	106	132

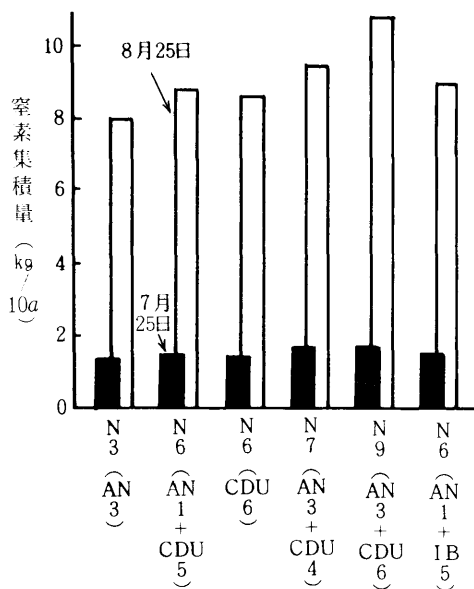


図38 速効性(AN), 緩効性(CDU・IB)窒素の配合が窒素集積量に及ぼす影響

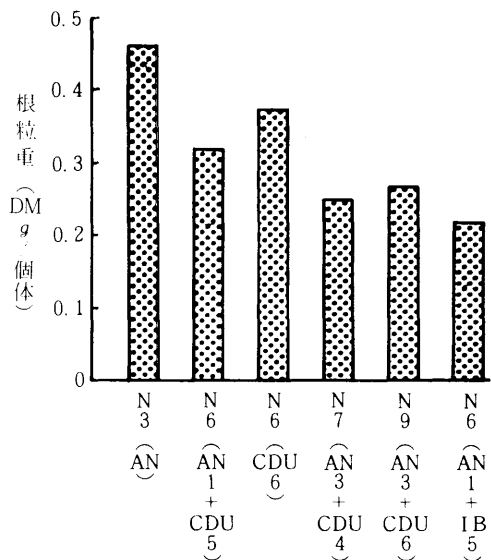


図39 速効性(AN), 緩効性(CDU・IB)窒素の配合が根粒着生に及ぼす影響

CDU, IBを問わず、緩効性窒素施肥処理は1区より粒重が高い傾向を示した。

図38の時期別窒素集積状況より、7月29日では4、5区の集積量が高く、IB-Nの6区もCDU-Nで同一施肥窒素配分の2区よりやや高く推移した。8月25日ではこれらの差が一層

明瞭となり、5区が最も高い集積量であった。

根粒着生に対する影響は(図39)、各緩効性窒素施肥処理とも1区に比べて根粒重が低下し、中でも6区の着生量が最も低かった。CDU-N上積み処理の4、5区も1区よりほぼ40%程度低下した。3区は比較的高い着生量を示した。

2) 土壌における緩効性窒素の無機化

CDU, IBの土壌中での無機化推移を調査し、その結果を図40に示した。

時間の経過と共に硫安区の窒素量は低下するが、CDU, IBは逆に高まった。しかしながら、CDUとIBとはピークに達する時期が異なって現われ、IB区は比較的早く施肥後57日の7月下旬に最高となり、CDUは90日後の8月下旬がピークで約30日のずれがみられた。

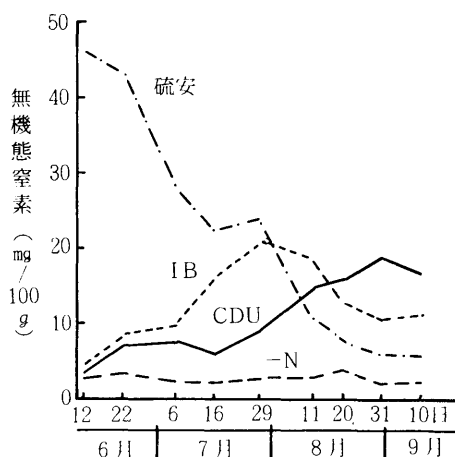


図40 CDU・IBの無機化推移

3. 考 察

緩効性窒素と速効性窒素との配合を変えて小豆に対する肥効を検討した結果、各緩効性窒素施肥処理とも生育、収量は速効性窒素処理(A-Nのみ)より高まり、中でも、A-N 3 kg / 10 a に CDU-N 4 ~ 6 kg / 10 a 上積みした処理の成績が最も良好であった。

緩効性窒素肥料の種類は多いが、その中で、CDUは比較的分解が遅いとされている^{29, 112)}。

本実験の無機化調査でも、CDUはIBに比べて無機化の進行が遅く、8月に入ってから高まることが認められた。小豆の窒素集積は開花以後の8月に入ってから急激に増大するが、CDUの分解無機化推移は小豆の窒素要求パターンにはほぼ合致しているようである。しかしながらCDUのみあるいはCDUの配合比が高過ぎる場合は生育前半のCDUの無機化が十分でないため窒素供給が不足し、生育もやや劣って結果的に増収程度が低かった。したがって、前半での窒素供給を確保するため速効性窒素 3 kg / 10 a 程度の供給が必要であり、緩効性窒素は生育後半の窒素補給を主眼にするのが妥当である。

本実験で、速効性窒素(A-N 3 kg / 10 a)に緩効性窒素(CDU-N 4 ~ 6 kg / 10 a)を上積みした処理の成績が最もよかった。このCDU-Nの上積み量については4 kgと6 kgの間に差がほとんどなく、緩効性窒素量を増しても、収量には十分反映しないものと推察され、上積みのCDU-Nとしては4 kgで十分と考えられる。藤田ら¹²⁾も小豆に対するCDU上積み効果を認め、その量は4 kg / 10 aがよいとしている。橋本ら²⁵⁾も大豆に対するCDU肥料の有効性を報告している。

IBも供試して、CDUとの比較を試みたがIBの無機化はやや早く、根粒着生を最も阻害し、結果的にはCDUより劣り、小豆に対してはやや不適と考えられる。熊谷ら⁷¹⁾はわい性菜豆についてIBが優ることを報告しており、同じ豆類でも生育期の相異によって緩効性窒素に対する反応程度も異なってくる。