豆 類 の 冷 害 に 関 す る 研 究

第 2 報 大豆の低温障害によぼす窒素供給時期の影響*

橋 本 鋼 二 ・ 山 本 正

(農林省北海道農業試験場)

前報¹⁾においては、大豆の冷害危険期である開花期前後から、3時期各 30 日間にわたる長期間の低温処理を行ない、窒素供給条件が結莢、稔実におよぼす直接あるいは間接の影響について検討した。その結果、最も注目されることは、低温下における多窒素供給により、低温に最も敏感な発達時期にあたる花——開花前から開花に至る約 10 ないし 15 日間——の結莢率がいちじるしく低下することであつた。また、稔実歩合についても、結莢率に対すると同様、多窒素供給条件が低温障害を増大させる方向に働くことが見出された。

したがつて、本研究で、これら多窒素の害作用が、供給量、供給時期などでどのように変るかを、とくに花の発達時期と関連して検討することにした。

材料および方法

1) 材料；前報¹⁾の材料と異なり、北海道の主要大豆品種「北見白」を用いた。

2) 栽培管理；根粒着生を良くするため、大豆栽培跡の土壤に砂を約半量混ぜた播種床に播種(8月8日)し、初生葉の展開した時点で水耕栽培に移した(8月20日)。培養液の組成は前報と同じで、窒素供給は第1図のような条件設定で行なつた。液の交換は、低温処理開始日の10日前から5日ごとに行なつた。1/5000 a 液量 4l の磁製ポットを使用した。1区3反復、1ポット3個体ずつ栽植した。

3) 温度条件；8月28日、温度制御できないガラス室からファイトロン 24°C (昼；14 時間)—19°C (夜；10 時間) の自然光室に移し、9月5日より開花まで 15°C (昼夜とも) 15 日間の低温処理を行なつた。処理終了後は、再び 24°C—19°C 条件にて栽培管理した。対照区は、低温処理期間を 24°C—19°C にて栽培したほかは、低温処理区と同様の条件で管理した。

4) 花数制限；低温処理終了後 2～5 日目に開花とみなされるものを1節あたり4花以内とし、主茎第4節から第9節までに制限した。ただし、第4節は、分

Fig. 1 Experimental scheme concerning nitrogen supply and temperature conditions

2. Nitrogen was supplied as NH_4NO_3
3. O: Beginning day of low temperature treatment.

枝第1節にあたる花を用いたが、分枝の上位節および葉はすべて切除した。対照区の扱い方は、開花時期が平均して8日早くなつたほかは、低温処理区に準じて行なつた。

5) その他；収穫は莢数および稔実粒の確定した時期に行なつた。植物体の窒素の分析は、80°C で通風乾燥した材料を用い、マイクロケルダール法によつた。

結 果 と 考 察

1) 調査形質の統計分析

開花前の低温処理による収量構成形質への影響を知るため、稔実粒数=花数×結莢率×胚珠数×稔実歩合といった要素に分解して考えることにした。この試験

* 昭和 44 年 9 月 16 日受理

Table 1. Variance analysis of pod setting rate, fertility per cent of ovules and number of ovules per pod

Source	D. F.	F		
		Pod setting rate	Fertility per cent	Number of ovules
Temperature(T)	1	274.4**	226.3**	56.0**
Nitrogen(N)	14	2.38*	1.20	2.24*
T × N	14	3.26**	3.16**	6.16**

*P<0.05, **P<0.01

では、花数を一定条件に制限しているので除き、他の3形質について、温度および窒素供給条件を主効果とする要因分析を行なった結果が第1表である。分散比をみると、3形質いずれも、温度と窒素供給条件との相互作用が1%水準で有意となり、窒素供給条件の効果は、処理温度によつて異なることが知られた。主効果である、温度条件—低温処理の影響—は、いずれの形質でもきわめて顕著で、低温処理による結莢率、稔実歩合の低下ならびに胚珠数の減少が認められた。しかし、もう1つの主効果である窒素供給条件は、いずれの形質でも、温度との相互作用より分散比が小さく、単独での評価はむづかしい。

2) 結莢率

窒素供給条件別に、適温区(24°C—19°C)と低温処理区(15°C)の結果を示した(第2表)。

いずれの試験区も低温処理によつて結莢率は低下した。しかし、窒素供給条件によつてその低下の程度はいちじるしく異なり、適温区対比“10—7”区の80.7%から“15”区の19.3%にまでおよんでいる。

低温処理区の結莢率を窒素供給時期との関連から考えるために“0”区と対比し、障害の程度をみることにした。まず障害が大きく、“0”区対比で最少有意差(5%水準)を越える6試験区についてしらべた。

“5-1”(160mgN/5日)、“5-4”(400mgN/5日)両区は、いずれも低温処理開始時からわずか5日間の窒素供給にもかかわらず障害が増大した。“10-2”区は低温処理前5日間、処理開始時より5日間の計10日間、“10-3”“15”両区は、低温処理開始時より10ないし15日間の窒素供給を行なったものでいずれも結莢率が顕著に低下した。これら5試験区はすべて低温処理開始時からの5日間肥料窒素の供給を受けているものである。また、低温処理前10日間に窒素を多く供給した“10-1”区の障害も大きかった。この区の植物体の低温処理開始時期(窒素供給停止時期)での窒素含有率は、窒素を多く供給し始めている他の試験区の植物体に比し、はるかに高かった(第3表)。このことは、低温処理開始前の栽培条件—多窒素状態—が、

処理の影響を受け易くし、結莢率を低下させる方向に働くことを示唆している。障害のいちじるしかった上記の6試験区は、低温処理開始時期から窒素を多く供給されていたか、または処理開始時期に多窒素状態であつたかのいずれかにあたり、同時に、これらの条件を与えた試験区はすべて障害がいちじるしかった。

次いで結莢率の低かつたのは、“5-2”、“5-5”、両区で、いずれも15日間の低温処理期間中第6日目からの5日間窒素を供給されたものである。ここで、5日間づつ窒素が供給された2濃度(40 ppm, 160mgN/5日および100 ppm, 400mgN/5日)3時期の6試験区について結莢率の順位をみると、低温処理開始日より第5日目<第6日目より第10日目<第11日目より処理終了日まで、すなわち、40 ppm 系列では、“5-1”<“5-2”<“5-3”，100 ppm 系列では、“5-4”<“5-5”

Table 2. Effect of N supply condition on pod setting rate (%)

N supply condition	24°C/19°C condition	Low temperature treated condition
5-1	48.9	13.4*
5-2	53.1	22.4
5-3	47.4	26.4
5-4	43.8	17.6*
5-5	44.2	21.2
5-6	53.8	25.7
10-1	45.5	14.8*
10-2	52.2	12.3*
10-3	41.6	18.6*
10-4	56.1	32.4
10-5	55.9	25.9
10-6	53.2	28.1
10-7	43.0	34.7
15	64.7	12.5*
0	41.4	32.5
Average	49.7	22.6

* Exceed least significant difference(P<0.05) from the “O” plot in the low temperature treated condition

<“5-6” となり、いずれも窒素供給時期が遅れるほど結莢率が高く障害が少なくなっている。しかし、供給窒素量による差は認められなかった。

障害の少なかった試験区で、低温処理期間中に窒素を供給されたのは“10-4”、“10-5”、“5-3”、および“5-6”の4試験区で、いずれも処理後期に窒素を供給されたものである。ただ“10-4”区のみは、第6日目から窒素を供給されていたが、ほぼ“0”区並みの結莢率を得たことは、やや特異的である。しかし、適温 (24°C—19°C) 区対比では、57.7%と“0”区の78.5%に比し低下が大きい。適温区では、低温処理区より花の発達が早く進むので、低温処理開始後の経過日数が多いと、暦日からみた同一窒素供給条件が、花の発達時期からみれば、同一条件とは云えないかも知れない。この点を考慮し、“10-2”～“10-4”迄の3区の適温条件の結莢率の平均値と対比すれば、65%となり、いずれの比較にせよ、無窒素区より被害が大きかったとみられよう。

低温処理時に窒素を供給せず、処理終了後に供給した“10-6”、“10-7”両区では、処理終了直後から供給した“10-6”区でやや低下した。しかし“10-7”区のように、処理終了5日後から供給した場合には、結莢率の低下はみられないが、上昇させる効果も認められなかった。

適温区の結莢率をみると、“15”区を最高にして、窒素供給が結莢率を高めている。また、無窒素栽培の“0”区やごく晩期に窒素を供給した“10-7”区の結莢率は低く、低温処理区の結果と対照的である。

このように、窒素を多く供給することが、開花前の

Table 3. Nitrogen content of the parts sampled at the beginning of the low temperature treatment (% Dry matter)

Nitrogen supply condition	Leaf	Stem	Root
+N(10-1)	5.96	4.66	3.66
-N	3.47	1.40	2.77

Note; -N plot represented all plots except for “10-1” and “10-2” at this sampling date

低温最敏感期に低温処理を受けた花の結莢率の低下を助長する作用のあることを示した前報¹⁾の実験結果を支持しているが、本実験では、さらに、このような窒素の害作用が低温処理期間中一様に認められるものではなく、とくに敏感な一時期のあることを明らかにした。同一日数窒素を多く供給しても低温処理開始当初に供給された場合の結莢率低下は顕著で、処理後期に多く供給した場合その影響は比較的少ない。窒素を多く供給した場合の結莢率の低下は、供給期間の長いことよりはむしろ花器の発達に関連した供給時期により重要性があるものと考えられる。

15日間の低温処理終了時期 (開花前2～5日) における各試験区の個体の窒素含有率は、この時期まで窒素を供給されていたものが高く、早期のみ窒素が多く供給され障害の大きかった各区の含有率は低く、障害の程度との関連づけが困難である。このことは、低温処理期間中長期にわたって植物体の多窒素状態が続かなくても低温障害に対する感受性を増す条件が作られることを意味しよう(第4表)。

Table 4. Nitrogen content of the parts sampled at the end date of the low temperature treatment (% Dry matter)

Nitrogen supply condition	24°C/19°C		15°C	
	Leaf	Stem	Leaf	Stem
5-1	3.76	1.45	3.49	1.51
5-2	4.00	1.61	4.12	1.72
5-3	4.80	2.33	4.90	2.65
5-4	2.72	1.20	3.73	1.58
5-5	4.61	1.89	4.98	2.63
5-6	5.57	3.01	4.63	2.12
10-1	2.58	1.05	2.08	1.03
10-2	3.00	1.22	2.94	1.49
10-3	4.33	1.49	4.60	1.95
10-4	6.16	3.53	5.83	3.71
10-5	5.73	2.96	4.64	2.53
15	5.46	3.40	6.25	4.48
0	3.04	1.14	2.87	0.97

3) 稔実歩合

結実率と同様の方法で稔実歩合の比較を行つた（第5表）。稔実歩合は、低温処理により適温区と対比して3.4%ないし44.9%、試験区総平均で30.0%低下した。低温処理区では“0”区（無窒素栽培）が最高の稔実歩合を示し、一般に、窒素を多く供給すると稔実歩合は低下する方向に働いた。他方適温区では“0”区が最低値を示し、窒素供給はすべて稔実歩合を高める方向に働いた。

どの時期の窒素供給が最も稔実歩合の低下をもたらすかは、結実率の場合ほど明瞭でなかつた。前報¹⁾の結果でも、低温処理時の多窒素供給条件は、稔実歩合を低下させる傾向を示したが、開花時期別に分けて低温処理時期との関連をみた場合、やはり結実率ほど明瞭な影響は認められなかつた。しかし、いずれの実験でも、結実率が顕著に低下した場合には、すべて稔実歩合の低下も大きかつた。このことは、多窒素の影響をうける時期が稔実歩合では結実に影響する時期より広がりとしては、害作用の機作としては、別なものである。害作用の多面的発現とも推察される。

4) 一莢内胚珠数

前項と同様の比較を胚珠数で行なつた（第6表）。

適温区では“10-1”、“10-2”区のように早期に窒素

を供給された場合に胚珠数が多くなつたが、低温処理区ではこのような傾向もなく、がいして、窒素を5日間供給した各区の胚珠数はやや少なく、10日間供給した各区は、やや多い傾向を示した。

低温処理による一莢内胚珠数の減少は、全区で観察され、平均8%低下し、とくに“10-1”区のように早期に窒素が多く供給された場合、適温区では胚珠数が増加しているのに低温区では逆に減少しているのは注目に値する。加藤ら²⁾の報告によれば、胚珠数決定期は開花前10日とされる。この結果を本実験のように開花前の低温処理を行なつた場合にあてはめると、開花の遅れから考え、胚珠数決定期は、ほぼ低温処理開始時点頃にあたる。このように、ほぼ胚珠数が決定される時期、あるいはそれ以降に低温処理が開始されたとみられるので、低温処理区の一莢内胚珠数の低下は、3胚珠花の方が2胚珠花より落花しやすいといつたことを考えないと説明しにくい。このような現象は当研究室における冷害実験でいくたびか観察され、統計的に有意差を認めた報告もある³⁾。

窒素供給条件の胚珠数におよぼす影響は、適温区と低温処理で異なつてはいるが、結実率や稔実歩合にみられたような多窒素の顕著な害作用については、明らかにできなかった。

5) 低温障害の総合評価

Table 5. Effect of N supply condition on fertility per cent of ovules (%)

N supply condition	24°C/19°C condition	Low temperature treated condition
5-1	79.8	50.5*
5-2	85.0	46.8*
5-3	78.9	53.1*
5-4	74.7	52.3*
5-5	75.1	60.1
5-6	75.9	49.7*
10-1	69.5	42.9*
10-2	81.4	50.2*
10-3	78.2	51.3*
10-4	80.7	55.7
10-5	76.2	49.9*
10-6	79.0	60.7
10-7	74.3	58.6
15	75.8	54.9*
0	69.5	67.0
Average	76.9	53.8

* Exceed least significant difference ($P < 0.05$) from the “0” plot in the low temperature treated condition

Table 6. Effect of N supply condition on the ovule number per pod

N supply condition	24°C/19°C condition	Low temperature treated condition
5-1	2.54	2.31
5-2	2.49	2.34
5-3	2.49	2.19
5-4	2.57	2.49
5-5	2.50	2.34
5-6	2.50	2.17
10-1	2.82	2.29
10-2	2.68	2.46
10-3	2.64	2.46
10-4	2.51	2.43
10-5	2.53	2.42
10-6	2.58	2.29
10-7	2.65	2.44
15	2.40	2.42
0	2.54	2.39
Average	2.56	2.36

註1 大豆試験成績—1963—北海道農試作4研：32～42。

Table 7. Relative grain yield of each plot treated with two temperature conditions during the 15 day period, before flowering to flowering

N supply condition	24°C/19°C condition	Low temperature treated condition	
	Comparison with "O" plot	Comparison with "O" plot	Comparison with 24°C/19°C cond.
5-1	135.6	30.0	15.8
5-2	153.8	47.1	21.8
5-3	127.4	62.9	35.1
5-4	115.1	44.1	27.3
5-5	113.6	57.3	35.9
5-6	139.7	53.3	27.2
10-1	122.0	27.9	16.3
10-2	155.8	29.2	13.3
10-3	117.5	45.1	27.3
10-4	155.5	84.3	38.6
10-5	147.5	60.1	29.0
10-6	148.4	75.1	36.0
10-7	115.8	96.5	59.3
15	161.1	32.6	14.4
0	100.0	100.0	71.2
Average	—	—	31.2

The original figures are calculated by the multiplication of pod setting rate, ovule number per pod and fertility per cent of ovules, supposing each plot has a constant number of flowers.

一定の開花時期で着花数が制限された場合にどれだけの稔実粒数が得られるかを、稔実粒数=花数×結莢率×胚珠数×稔実歩合によつて算出、比較したのが第7表である。花数制限を行なつたが、試験区によつて供試花数が若干異つたので、花数は一定とし、他の3形質につき、それぞれの平均値を用いて稔実粒数の計算値を求め“0”区および適温区との対比を行なつた。この結果は、どのような窒素供給条件が低温障害を受けやすいかを、低温に最も敏感な時期を低温下で経過させた一定花数の下で総合的に評価することになる。

低温処理区では“0”区が最も障害が少なく、“0”区対比で50%以下の粒数しか得られなかつたのは、“10-1”区を最低とし、7試験区におよんだ。

これら障害の大きかつた試験区は、いずれも結莢率の低下が顕著で、加えて稔実歩合も低く、障害が多面的であることが示された。開花前15日間の低温処理では、少くとも処理開始前10日から処理終了後5日に至るどの時期の窒素供給も、程度の差こそあれ、“0”区より障害を増大させる方向に働いた。

他方、適温区では“0”区の推定粒数が最低となり窒素供給により“0”区対比で14~61%の粒数の増

加を得たことは、LATHWELLらの実験結果³⁾と一致する。

同一窒素供給条件内で低温処理区と適温区を比較すると、最も粒数減のいちじるしかつたのは、“10-2”区で87%減、最も減少程度の少なかつたのは“0”区の29%減で、どの時期の多窒素供給でも“0”区に比し減少程度ははるかに大きかつた。

ま と め

1) 前報で明らかにした低温処理時の多窒素の害作用—結莢率および稔実歩合の低下—について、さらに詳細な検討を行なうことを目的とした。どの時期の窒素が有害かを個々の花の発達時期と関連して明らかにするため、開花前の低温に最も敏感な時期に低温にあつた花のみに制限し、水耕による短期間(5日~15日間)の窒素供給による収量関係形質への影響を検討した。

2) 結莢率、稔実歩合、胚珠数のいずれについても、窒素供給条件と温度条件との相互作用に有意差がみとめられた。これらの形質は、適温区と低温処理区で窒素供給による影響が異なり、一般に窒素供給は適温区では多収の方向に、低温処理区では減収の方向に

働くことが知られた。

4) 低温処理区の結莢率は窒素供給時期によつていちじるしく異なり、低温処理開始初期の多窒素供給または多窒素状態が顕著な結莢率低下を招き、供給期間より、供給時期が重要なことが明らかになった。

4) 低温処理区の稔実歩合は一般に多窒素供給により低下するが、とくに、結莢率低下のいちじるしい供給条件では、稔実歩合の低下も大きかった。

しかし、結莢率ほど明瞭な供給時期と障害の関係は認められなかった。

5) 低温処理による被害を総合評価するため、一定花数からどれだけの稔実粒数が得られるかを比較し、開花前15日間の低温処理では、少なくとも処理開始前10日から終了後5日に至るどの時期の窒素供給も障害を増す方向に働き、とくに結莢率の低下のいちじ

るしい早期の多窒素供給が被害を大きくすることを示した。

この稿をまとめるにあたり助言をいただいた升尾洋一郎部長に感謝する。

引用文献

1. 橋本鋼二・山本正 1969. 豆類の冷害に関する研究 第1報, 低温下の窒素供給条件が大豆の結莢, 稔実におよぼす影響 日作紀 投稿中.
2. 加藤一郎・坂口進・内藤文男 1954. 大豆の花器並に子実の発達過程 東海近畿農試研究報告 1: 96—114.
3. LATHWELL, D.J. and EVANS, C.E. 1951. Nitrogen uptake from solution by successive stage of growth. Agron. J. 43: 264—270.

Studies on the Cool Injury in Bean Plants

II. Effects of time and period of nitrogen application on the soybeans treated with low temperature before flowering

Koji HASHIMOTO and Tadashi YAMAMOTO

(Hokkaido National Agricultural Experiment Station, Sapporo)

Summary

The previous paper indicated that high nitrogen (N) application during the low temperature treatment caused a considerable decrease of the pod setting rate and the fertility per cent of ovules. In this paper, the unfavorable effects of high N application on low temperature treated soybeans was examined for clarifying of the relationship between the N supply conditions including level, time and period of application, and the stage of flower development with solution culture method.

Flower developing plants were treated with low temperature at 15°C for 15 days and compared with the plants grown under the control condition at 24°C-day/19°C-night. The flowers used in this experiment were restricted in the number per node and the time of blooming.

Variance analysis of the pod setting rate, fertility per cent and the number of ovules per pod gave the significance of the interaction at the 1% level between N supply conditions and temperature conditions. N application under the 24°C/19°C condition obtained better grain yield compared with N free plot; on the contrary, N supply accompanied with the low temperature treatment showed a decreasing tendency of the pod setting rate and of the fertility per cent.

The pod setting rate of the plants treated with low temperature was closely related to the time of N application. N application before or during the first five days in the low temperature treatment caused a significant decrease in comparison to the N free condition and the later

application showed the less damage. However no difference was observed between the level supplied at 100 ppm and 40 ppm N.

The fertility per cent of the plants treated with low temperature was decreased by N application and, especially, all plants showed a considerable decrease in the pod setting rate which were accompanied with a significant decline. But the relation between time of N application and the degree of injury was not so clear as seen in the pod setting rate.

Fertile grains which were supposed to be in a constant number of flowers per plant were calculated in each plot. N supply from before the low temperature treatment, till five days after the end of the treatment, resulted in a decrease in grain number, particularly, before the period of treatment and during the earlier period of N application, caused the greater decrease.