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*

佐藤 庚・池田 武

(東北大学農学部)

昭和53年10月17日受理

大豆の生長、形態、体内成分などに及ぼす気温の影響については多くの研究があるが、成熟期の気温と結実との関係を詳細に調べたものは少ない。

福井ら³⁾は、開花期以後の気温を自然状態より約6°C 高温にすると莢の長さが増し、結実日数が短縮するが、100粒重が軽くなるとし、反田²⁾、竹島¹⁵⁾は、開花期からの温度較差が大きく、夜間が低温であると、種子収量、100粒重、1莢粒数などを増加するとした。また、大豆の冷害との関連で齊藤ら¹⁵⁾は、開花期前後に15°C程度の低温にあわせると、結実率、1株粒重などが低下することを、鳥山ら²⁰⁾は、開花期以後の17°C程度の低温によって、粒重が減少することを、それぞれ明らかにした。

種子の品質と気温の関係について昆野¹¹⁾は、成熟種子の脂肪や蛋白質の含有率が、登熟期間の高温によって高まり、逆に低温では炭水化物含有率が高まることを示し、HOWELL⁹⁾、CARTTERら¹⁾は、脂肪について昆野らと同様の結果を得ている。さらに、GREENら⁵⁾は、圃場試験で高温、乾燥条件で成熟した種子の品質が低下し、発芽力や圃場での出芽率が低下することを明らかにした。

以上の研究における気温条件は、齊藤ら¹⁵⁾、鳥山ら²⁰⁾の冷害研究、昆野¹¹⁾および外国での実験を除くと、いずれも正確に規制されたものではなく、気温と稔実の関係を調べる上では、温度条件が不十分であると思われる。本報は、登熟期間の気温を規制したファイトロンで、特に昼夜温の較差および昼夜の変温の仕方に注目して、これが大豆種子の成熟、品質に及ぼす影響を実験的に調べたものである。

実験材料および方法

宮城県の奨励品種であるミヤギシロメを供試した。1977年5月19日、ヨナ土(粘土に富む川砂)をつめた1/5000aポットに種子を8粒ずつ播き、第3本葉が展開した6月27日に1本立とし、全個体の開花が

ほぼ終了した8月9日に、生育の揃った個体を各区4ポットずつ選んで下記の温度処理を開始した。温度処理には、昼温/夜温をそれぞれ30°/25°、30°/20°、25°/20°、25°/15°、17°/12°Cとする5処理区を設けた。昼夜温の切換えは、午前6時と午後6時で昼・夜温はそれぞれ恒温である。日長は自然光による自然日長である。さらに、25°/20°と17°/12°の両区については、気温を朝夕に急激に変化させずに、しかも日平均気温がほぼ同一であるように、昼温から夜温への変化をより自然状態に近くするためにサイン・カーブに従って変化させる2区(以下、便宜上変温区と呼び、25°/20°*, 17°/12°*と記す)と終始屋外に放置する戸外区を設けた。各個体がほぼ数枚の黄変葉を残して成熟した10月11日に25°/15°、25°/20°*を、10月20日に残りの全区を採取した。ヨナ土を洗い去り、根をも含めて植物体を各部分に分けて70°Cで2日間、通風乾燥して乾物重を測定し、体内成分の分析に供した。なお、ポット当りの肥料は、基肥に硫安0.3g、過リン酸石灰0.9g、塩化カリ0.4gを与え、追肥は行わず、灌水は常にポットの底が湿っているように与えた。

チッソ(N)は、セミ・マイクロケルダール法、カリ(K)は水抽出後EKOの炎光光度計で炎光分析し、ケイ酸(Si)は重量法によった。リン酸(P)、鉄(Fe)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、マンガン(Mn)の無機成分は三酸による湿式分解後、Mnは過沃素酸カリウム法、FeはO-フェナンスロリン法、Pはバナドモリブデンイエロー法による比色定量法、MgとCaはEDTA滴定法でそれぞれ測定した。脂肪はソックスレーで抽出後、重量法で測定した。脂肪酸の測定²⁾は、常温下にクロロホルムとメタノールで抽出した脂肪をエチル化し、日立163ガスクロマトグラフィー、カラムDEGSを用いて行った。また、炭水化物は村山ら¹³⁾の方法で、全糖、粗澱粉を定量し、両者をあわせてTotal Available Carbohydrate (TAC)として示した。

成熟種子の発芽力を検定するために、ヨナ土をつめ

* 大要は第166回講演会(昭和53年10月)において発表

Table 1. The effect of temperature during the ripening period on the dry weight, nutrient accumulation of whole plant and their percentage distribution at each organ.

Temp. ¹⁾	Organ	DW	N	P	K	Fe	Mg+Ca	Mn	Na	TAC	Crude Starch	Oil
17°/12°	Total ²⁾	43.0	1.1	0.18	0.62	67 ⁴⁾	0.90	2.8 ⁴⁾	62 ⁴⁾	4.1	1.8	
	S ³⁾	32	10	11	19	3	17	24	15	20	27	
	R	25	18	18	17	93	23	31	79	25	19	
	P	18	8	6	28	1	52	27	3	12	24	
	Se	25	64	65	36	3	6	18	3	43	30	1.5
17°/12°*	Total	47.1	1.5	0.23	0.75	53	1.19	2.7	70	4.9	1.9	
	S	25	5	4	11	4	13	14	5	20	22	
	R	20	13	15	9	88	19	28	85	9	11	
	P	19	5	3	28	2	54	27	4	11	25	
	Se	36	77	78	52	6	14	31	6	60	42	2.4
25°/20°*	Total	53.8	2.1	0.27	0.95	43	1.03	2.3	50	5.7	2.1	
	S	22	3	2	8	5	10	17	12	11	19	
	R	11	5	6	2	77	11	21	69	4	6	
	P	17	3	2	28	3	56	24	6	8	18	
	Se	50	89	90	62	15	23	38	13	77	57	5.1
25°/20°	Total	54.8	2.0	0.30	0.96	52	1.46	3.2	50	6.0	2.3	
	S	23	4	4	11	7	11	25	13	22	23	
	R	13	6	7	3	80	11	14	77	6	8	
	P	17	6	5	27	2	50	22	4	10	22	
	Se	47	84	84	59	11	24	39	6	62	47	4.8
25°/15°	Total	73.1	2.6	0.33	1.14	99	1.40	5.1	79	6.8	2.6	
	S	20	2	1	6	3	10	18	26	7	16	
	R	14	8	9	2	82	18	13	55	4	9	
	P	17	3	3	24	3	54	24	8	10	23	
	Se	49	87	87	68	12	17	45	11	79	52	7.0
30°/20°	Total	64.5	2.4	0.35	1.17	40	1.53	3.2	77	5.6	2.1	
	S	20	3	2	6	4	9	13	20	7	13	
	R	9	5	4	2	67	10	9	69	14	6	
	P	22	5	4	30	3	59	28	3	14	32	
	Se	49	87	90	62	26	22	48	8	75	49	6.5
30°/25°	Total	44.9	1.9	0.36	0.95	37	1.25	2.7	48	3.7	1.2	
	S	16	3	3	7	4	6	9	20	14	17	
	R	9	4	3	2	71	10	12	60	4	5	
	P	28	11	7	38	6	58	30	9	6	35	
	Se	47	82	87	53	19	26	49	11	76	43	3.9
Outdoor	Total	57.3	1.8	0.23	0.90	60	1.24	3.9	68	5.3	2.2	
	S	28	5	5	11	5	13	13	19	19	25	
	R	18	11	12	5	79	16	21	70	7	10	
	P	17	5	4	32	4	55	31	1	10	22	
	Se	37	79	79	52	12	16	35	10	64	43	3.8

* shows the plot where the diurnal temperature changes gradually so as to draw a sine curve, although its mean diurnal temperature equals that of the 17°/12° or 25°/20° plot, respectively.

1) Day/Night temperature, °C. 2) Total dry weight and total accumulation of each nutrient. 3) S,R,P and Se shows the percentage distribution of each element at stem, roots, pod shells and seeds, respectively. 4) The accumulation of Fe, Mn and Na is shown as mg and the others as g per plant.

た 1/5000 a ポットに 10 粒ずつ 1 cm の深さに播種し、平均気温約 20°C の温室内で、各区 4 ポットずつ用いて発芽試験を行った。この場合、子葉が地上へ出現した日をもって発芽日とした。

実験結果

1. 乾物重および乾物分配率

個体当りの全乾物重と各器官が全体に占める割合を第1表に示した。乾物重は、昼夜温の較差が 5°C の場合には、25°/20° > 30°/25° ≥ 17°/12° であり、10°C の場合には 25°/15° > 30°/20° であった。昼温が等しい場合には、夜温が 10°C 下の方が 5°C 下の場合より著しく大きい値が得られた。変温区の乾物重は、それぞれの対応温度区に比べて大差はなかった。また、戸外区の乾物重は、25°/20° 区とほとんど同じであった。戸外区の登熟期間の平均気温は約 21°C であったから、25°/20° 区に似た値になったものと思われる。乾物の分配率をみると、高温ほど根、茎の割合が低く、莢殻の割合が高い傾向を示す。種子に対する分配率は、昼温が 30°、25° の場合には、昼夜温の較差や変温の方法に関わりなく、約 50% であるが、17°/12° では著しく低く、戸外区では 17°/12° の変温区に類似していた。

2. 収量構成要素

収量に関する諸形質を第2表に示した。処理開始時の花房数や開花数の調査を欠いたので、厳密な比較はできないが、個体当りの莢数、種子数は、昼夜温の較差が 5°C の場合には、高温ほど多い傾向を示したが、較差が 10°C の場合には、25°/15° と 30°/20° の莢数はほぼ同数であった。25°/15° と 30°/20° の両区とも昼温が同じで較差が 5°C のそれぞれの対応区に比べて種子数、莢数が多かった。両変温区（*印）の莢数、種子数は、それぞれの対応区に比べて僅に多く、戸外区の値は 25°/20° 区に近い。

種子の 100 粒重は、25°/20° と 25°/20°* の両区で約 36 g と著しく高く、次いで 25°/15°、30°/20°、戸外区が高く、30°/25° 区は低い。17°/12°、17°/12°*

の低温2区は著しく低いが、後者の方がやや高い。昼温 30°C のような高温下では、夜温が急に降下することが粒重を高めるようである。この点は、反田¹⁹⁾、竹島¹⁸⁾らの成績と一致した。粒茎比は、昼夜温の較差が 5°C の場合には、高温ほど高く、30°/25° の 2.9 を最高として、17°/12° では 0.7 と著しく低い。このことは、高気温下で種子への物質分配が促されることを物語っている。

個体当りの種子収量は、昼夜温の較差の大きい 25°/15°、30°/20° の両区で高く、次いで 25°/20°、25°/20°*、30°/25°、戸外区の順となり、17°/12°、17°/12°* の2区は著しく低収で、ことに前者が低い。この程度の低温でも、長期間継続すると相当の障害をおこす可能性があり、この点、斉藤ら¹⁵⁾、鳥山ら²⁰⁾の結果と同様であった。

3. 体内成分

有機・無機成分の株当たり蓄積量と各器官への分配率を第1表に示した。N、K、TAC および種子中の脂肪の株当たり蓄積量は、温度に対応して乾物重とほぼ平行的に増減したが、その他の成分は乾物重とあまり関係なく増減した。P は高温で増加する傾向を示した。

各器官に対する各成分の分配率および含有率をみると、どの温度でも N、P、K および TAC は種子において著しく高く、これらの成分は成熟に伴い種子に蓄積することを示している。Mg + Ca は、蓄積量の 50% 以上が莢殻に分配されており、その含有率も莢殻で最高であった。Fe と Na は、全蓄積量のほぼ 60～90% が根に蓄積したままで地上部への移行は極めて少なく、その含有率も根で著しく高い。第3表に、Fe と Na について地上部の全蓄積量に対する地上器官別の分配率を示した。これによれば、地上部へ移行した Fe は、低温2区を除き種子生産量とほぼ平行的に、その大半を種子中へ移行させている。Na の種子中への移行は Fe に比べると少なく、その大半を茎に残している。

栄養器官に残留した炭水化物の含有率を第1図に示した。これによると、TAC 含有率は、25°/20° 区を

Table 2. The effect of temperature on the yield components (Means of 4 plants).

Characters	17°/12°	17°/12°*	25°/20°*	25°/20°	25°/15°	30°/20°	30°/25°	Outdoor
Pod Number	30.8	37.8	43.0	40.5	58.3	57.3	58.5	44.0
Pod Weight (g)	7.8	9.1	8.8	9.1	12.5	13.9	12.6	9.5
Seed Number	52.8	59.3	76.0	71.5	106.6	97.5	87.0	67.3
100 Seed Weight (g)	20.2	28.7	35.5	36.3	33.2	32.7	24.2	31.5
Seed Weight (g)	10.7	17.0	27.0	26.0	35.4	31.9	21.1	21.2
Seed/Stem Ratio	0.7	1.5	2.3	2.0	2.4	2.5	2.9	1.3

Table 3. The effect of temperature on the accumulation and percentage distribution of Fe and Na at each organ of the above ground part.

	17°/12°				17°/12°*				25°/20°*				25°/20°				25°/15°				30°/15°				30°/25°				Outdoor			
Mineral	A	S	P	Se	A	S	P	Se	A	S	P	Se	A	S	P	Se	A	S	P	Se	A	S	P	Se	A	S	P	Se	A	S	P	Se
Fe	5	43	18	39	6	32	19	49	10	22	13	65	10	34	11	55	18	17	17	66	13	11	10	79	11	15	21	64	12	23	17	60
Na	13	70	15	15	10	31	27	42	16	39	21	40	12	57	16	27	35	59	17	24	24	63	12	25	19	50	23	27	20	62	5	33

A; total accumulation except the roots (mg/plant) S; stem p; pod shells Se; seeds

Table 4. The effect of temperature on the content (%) of chemical constituents in matured seeds.

Temp. °C	Crude protein	Total sugar	Crude starch	TAC	Oil	P	K	Ca+Mg	Mn	Fe
17°/12°	41	11	5.2	16	13.9	1.09	2.1	0.52	4.8	18
17°/12°*	42	13	4.7	18	14.3	1.03	2.3	0.88	4.8	18
25°/20°*	41	12	4.5	16	18.9	0.92	2.2	0.86	3.2	24
25°/20°	43	10	4.1	14	18.4	0.99	2.2	1.61	4.8	22
25°/15°	40	11	3.8	15	19.7	0.81	2.2	0.68	6.4	32
30°/20°	41	10	3.2	13	20.4	0.98	2.3	1.06	4.8	33
30°/25°	45	7	3.7	11	18.7	1.48	2.4	1.55	6.4	33
Outdoor	42	12	4.5	16	17.8	0.86	2.2	0.94	6.4	35

Table 5. The effect of temperature on the fatty acids composition of seed oil.

Fatty acid	17°/12°	17°/12°*	25°/20°*	25°/20°	25°/15°	30°/20°	30°/25°	Outdoor
Palmitic	9.3	8.7	10.7	10.9	10.9	13.2	12.8	10.1
Stearic	1.8	1.2	1.5	3.0	0.9	2.5	1.5	2.8
Oleic	20.8	22.4	31.2	36.4	36.1	38.1	32.9	35.3
Linoleic	54.1	54.1	49.6	38.6	43.3	37.4	47.8	44.5
Linolenic	13.9	13.6	7.0	11.1	8.8	8.7	5.0	6.4

除くと、高温で比較的少なく、低温で高い傾向があり、30°/25°区は全区中最も少なかった。変温区は、それぞれの対応区より炭水化物の残留が少なく、粒/莢比と逆の関係にある。戸外区は25°と17°Cの両変温区の間値を示した。

種子中の各成分の含有率は、第4表に示す通りである。脂肪およびFeの含有率は、高温で増加し、炭水化物は逆に高温で減少する傾向を示し、全窒素あるいは粗蛋白質、P、Kなどの含有率は温度によって変化することが少ない。Ca+Mg含有率は、温度による変化が大きいが一定の傾向を示していない。

脂肪の構成脂肪酸の含有割合をみると(第5表)、飽和脂肪酸(パルミチン酸、ステアリン酸)および2重結合1個のオレイン酸は高温で高まる傾向を示し、不飽和度の高い脂肪酸(リノール酸、リノレイン酸)は低温で高まる傾向がみられた。

また、個体全体に蓄積した各成分間の比を求めて第6表に示した。N/TAC、P/TAC、K/TAC、K/Feなどは昼温30°Cの高温で高く、低温で低い傾向を示

し、Fe/Mn比は高温で低く、低温で高まる傾向を示す。N、P、K相互間およびKとMg+Caの間には温度による蓄積量の著しい相異は見られなかった。

4. 種子の形状と発芽力

種子の大きさは、100粒重から推定すると25°/20°、25°/20°*で大きく、それより高温および低温で小さい。ミヤギシロメの臍の色は普通黄白色であるが、17°/12°のような低温では茶色に、30°/25°、30°/20°、25°/20°の各区でうす茶色を呈した。このように、種子の大きさや臍の色、成分構成が異なる種子について発芽試験を行ったところ、戸外区、25°/20°、25°/15°、30°/20°区のような粒重の大きい種子の発芽歩合が高かった。

考 察

株当り種子収量は、25°/15°、30°/20°のような昼温がある程度高く、しかも日較差の大きい区で高く、低温で低い。この種子収量は、株当り種子数と100粒重との積によって決定するが、前者の占める比重が高

Fig. 1. Carbohydrate concentrations in the vegetative organs (stem, roots and pod shells) at maturity as affected by temperature.

く、収量と株当り種子数との間には、有意の正の相関 ($r=0.894^{**}$) が認められた。もし、株当り開花数が区間で大差なかったとすれば、莢数、種子数が低温で少ないことは、鳥山ら²⁰⁾、齊藤ら¹⁵⁾の結果と同様に、落花、落莢が低温で多いことを示唆する。従って、昼温が 25° ないし 30° の比較的高温下で、結莢数、種子数を増加することが収量増の大きな原因になったと考えられる。

温度処理開始時の株当り葉面積は、全区ほぼ同様であったと前提すれば、種子収量は、成熟期間の葉積と光合成速度および光合成生産物の分配率によってもたらされたはずである。HOFSTRA ら⁷⁾は、光合成の最適温度が昼/夜温 35°/30° であるとし、福井ら⁴⁾は光合成速度が 26° から 30° の範囲では大差がないとし、佐藤¹⁶⁾は、長日下では栄養生長期の NAR が 30°/25° で最も高いと報告している。一方、VERNON ら²¹⁾、NELSON ら¹⁴⁾によると、大豆における光合成生産物の転流速度は、茎の温度が低下するにつれて減少する。ま

た、竹島¹⁸⁾は、日較差の大きいことが、100 粒重を高め増収するとしている。以上の報告から推測すると、25°/15°、30°/20°の両区は光合成作用とその生産物の転流にとって好適な条件に近く、このことも種子収量をも高める上で一役になっているのであろう。25°/15°、30°/20° 両区は、茎葉に残留する炭水化物が少ない（第1図）うえに、粒/茎比が高い（第2表）ことは、光合成産物が能率よく種子に移行したことを示している。30°/25° 区のような高温下では、呼吸速度が大きいことによる炭水化物の消耗が多いために、その余剰が少ないこと、および稔実そのものにとっても高温にすぎるとみえ、種子の充実を不良にするとともに、茎葉中の炭水化物の残留を少なくしたと考えられる。サインカーブに従って徐々に変温した場合には、突然に変温した場合より炭水化物の種子への移行が多く、粒/茎比を高め茎葉中の残留が少なかった。17°/12°、17°/12°* 両区は、低温のため光合成が抑制されていると思われるにも拘わらず、茎葉中の炭水化物の残留が多いのは、呼吸速度が低いこと、種子数が少なくて、sink の小さいこと、および転流速度が小さいことなどによると思われる。

種子収量と全乾物量とは密接な関係をもち、両者間に有意の相関 ($r=0.899^{**}$) が認められた。乾物重と平行的に蓄積した要素は、N, K, TAC および種子中の脂肪であり、両者間にそれぞれ有意の相関 ($r=0.8807^{**}$, 0.9141^{**} , 0.8362^{**} , 0.8881^{**}) が認められた。また、これら各要素は種子内に蓄積する割合が高い。N, K, TAC の含有率および株当り蓄積量については、ほぼ戸部ら¹⁹⁾の結果と同様であった。本実験では基肥として少量の N を与えた以外に N の追肥を行っていないから、N 蓄積量と乾物重、収量との相関が高いことは、稔実期だけでも 25°/15°、30°/20° のように昼温がある程度高く、夜温が急降下する条件が炭水化物の生産を多くするとともに、K, P の吸収も盛んとなり、根瘤の数や活動を盛んにして、一層乾

Table 6. The interrelations among nutrients accumulated in the whole plant as affected by temperature.

Temp.	N/TAC	P/TAC	K/TAC	K/Fe	K/Na	Fe/Mn	K/P	N/K	N/P	K/Mg+Ca
17°/12°	0.27	0.043	0.16	9.3	10	24	3.4	1.8	6.1	0.69
17°/12°*	0.30	0.047	0.15	14.2	11	20	3.3	2.0	6.3	0.68
25°/20°*	0.35	0.048	0.17	22.1	19	19	3.5	2.2	7.3	0.92
25°/20°	0.35	0.051	0.16	18.5	19	16	3.2	2.1	6.9	0.66
25°/15°	0.38	0.049	0.17	11.5	14	20	3.5	2.1	7.8	0.81
30°/20°	0.42	0.061	0.21	29.3	15	13	3.3	2.1	6.9	0.76
30°/25°	0.61	0.117	0.26	25.7	20	14	2.6	2.0	5.2	0.76
Outdoor	0.34	0.043	0.17	15.0	13	15	3.9	2.0	7.8	0.73

物生産を高め、ひいて種子生産を高めたものと考えられる。Pの蓄積量は、高温で多く、主に種子に蓄積した。FeとNaの蓄積量は、低温で増加し、根に存在して地上部への移行が少ない。特に、Naの蓄積が日較差の大きい2区で多く、地上部への移行は僅であり、しかも地上部ではその多くが茎に残る。これらの事実のもつ意義は、現在不明であるが、今後の興味ある研究課題であろう。佐藤¹⁷⁾は、栄養生長期間の大豆ではFeとMnは高温ほど、またKは低温ほど各々根に蓄積する割合が高く、地上部へ移行しにくいとしている。本報の結果では、Feについては、これと同様であったが、KおよびMnは栄養生長器官の大豆とその分配の様相を異にした。おそらく、種子が形成されて、これに移行する割合が高まったことが関係したのであろう。

種子中の脂肪含有率および含有量は、種子収量とほぼ平行的であって、昼温17°Cでは14%前後、30°/20°で20%を越え、一般に高温で高まった。この点はHOWELL⁸⁾、WEISS²²⁾、昆野¹¹⁾らの結果と一致している。脂肪酸のうち、パルミチン酸、ステアリン酸のような飽和脂肪酸や不飽和度の小さい脂肪酸の含有率は、高温で高まり、逆に不飽和度の大きいリノール酸、リノレン酸は低温ほど含有率が高い傾向があった。高温によってオレイン酸が増加し、リノール酸とリノレン酸の含有率が減少することは、HOWELL⁸⁾の成績と同様である。

鎌田¹⁰⁾によると、Mn不足あるいはFe/Mn比の高いことは稔実を不良にするという。本報でも、昼温17°の低温下ではFe/Mn比が比較的高く、しかも稔実が不良であって何等かの関係があるのであろう。また、N/TAC、P/TAC、K/TAC、K/Feなどは昼温30°の高温で高く、Fe/Mn比などは低い。N/K比は、処理による変化は小さいが乾物および種子生産の高い場合に高まる傾向があり、種子収量との間に有意の正の相関($r=0.784^{**}$)がみられた。これら要素間の相互関係については様々の研究¹²⁾があり、大豆種子生産と何らかの関わりをもつと思われるが、その詳細については目下不明である。

成熟種子の発芽力が稔実期の高温で低下することはGREEN^ら⁹⁾の結果と同一傾向であるが、昼温がかなり高くても夜温が急降下すれば、発芽力が高まる傾向がみられたことは注目すべき点であろう。

以上の諸点から、本実験の範囲では、登熟期間の乾物および種子の生産、種子の品質、養分の吸収などにとっては昼温が25°~30°Cで、日較差が10°C程度

あることがよく、それより高温あるいは低温は好ましくないことが示唆され、栄養生長期の生育適温に比べて稔実の適温は少し低いといえるようである。

本稿を終るに当たり、終始熱心な援助をいただいた本学技官大友健二氏に深謝いたします。

引用文献

1. CARTTER, J. L. and E. E. HARTWIG 1962. The Management of Soybeans. *Advance Agron.* **14**: 359—412.
2. FOLCH, J. M., M. LEES and G. H. SLOANS STANLEY 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.* **226**: 497—509.
3. 福井重郎・鎗水 寿 1952. 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.
4. 福井重郎・小島睦男・渡辺 徹 1965. 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.
5. GREEN, D.E., E.L. PINNELL, I.E. CAVANAH and L.F. WILLIAMS 1965. Effect of planting date and maturity date on soybean seed quality. *Agron. J.* **57**: 165—168.
6. 反田嘉博 1951. 摂津平野と丹波山間の両地方に於ける大小豆の生育特に成熟の差異について. *日作紀* **20**: 321—322.
7. HOFSTRA, G. and J. D. HESKETH 1969. Effect of temperature on the gas exchange of leaves in light and dark. *Planta* **85**: 228—237.
8. HOWELL, R. W. and J. L. CARTTER 1958. Physiological factors affecting composition of soybeans. II. Response of oil and other constituents of soybeans to temperature under controlled conditions. *Agron. J.* **50**: 664—667.
9. HOWELL, R. W. 1963. Physiology of the soybean. In the Soybean. (Ed.) A. G. NORMAN, Academic Press, New York & London. 75—124.
10. 鎌田悦男 1952. 大豆の生育に及ぼすマンガン及びホウソンの影響. *日作紀* **21**: 131—133.
11. 昆野昭晨 1976. ダイズの子実生産機構の生理学的研究. *農技研報* **D 27**: 139—295.

12. De MOOY, C. J., J. PESEK and E. SPALDON 1973. Mineral nutrition. In Soybeans. (Ed.) B. E. CALDWELL, A.S.A. Wisconsin. 267—352.
13. 村山 登・吉野 実・大島正男・塚原貞雄・川原崎裕司 1955. 水稻の生育に伴う炭水化物の集積過程に関する研究. 農技研報 **B 4**: 123—166.
14. NELSON, C. D. and P. R. GORHAM 1959. Physiological control of the distribution of translocated amino acids and amides in young soybean plants. Can. J. Bot. **37**: 439—447.
15. SAITO, M., T. YAMAMOTO, K. GOTO and K. HASHIMOTO 1970. The influence of cool temperature before and after anthesis, on pod-setting and nutrients in soybean plants. Proc. Crop Sci. Soc. Japan **39**: 511—519.
16. 佐藤 庚 1976. 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.
17. ——— 1976. ——— ———. 第2報 体内成分について. 日作紀 **45**: 450—455.
18. 竹島淳二 1952. 温度較差と大豆の結実との関係. 日作紀 **21**: 119—120.
19. 戸荻義次・加藤泰正・江幡守衛 1955. 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.
20. 鳥山国土・豊川良一 1956. 大豆の低温障害に関する研究. 日作紀 **25**: 197—198.
21. VERNON, L. P. and S. ARONOFF 1952. Metabolism of soybean leaves. VI. Translocation from soybean leaves. Arch. Biochem. Biophys. **36**: 383—398.
22. WEISS, M. G., C. R. WEBER, L. F. WILLIAMS and A. H. PROBST 1952. Correlation of agronomic characters and temperature with seed compositional characters in soybeans, as influenced by variety and time of planting. Agron. J. **44**: 289—297.

The Growth Responses of Soybean Plant to Photoperiod and Temperature

IV. The effect of temperature during the ripening period on the yield and characters of seeds

Kanae SATO and Takeshi IKEDA

(Faculty of Agriculture, Tohoku University, Sendai 980)

Summary

The effect of temperature during the ripening period on the seed yield and its quality was investigated using cv. Miyagishirome. The temperature treatments were composed of eight plots: five day/night temperature plots ($30^{\circ}/25^{\circ}$, $30^{\circ}/20^{\circ}$, $25^{\circ}/20^{\circ}$, $25^{\circ}/15^{\circ}$ and $17^{\circ}/12^{\circ}\text{C}$, day and night temperatures being constant, respectively), two gradual temperature change plots (the diurnal temperature gradually changes along with sine curves designated as $25^{\circ}/20^{\circ}*$ and $17^{\circ}/12^{\circ}*$, the daily mean temperature being almost the same to the respective $25^{\circ}/20^{\circ}$ and $17^{\circ}/12^{\circ}$ plot) and outdoor control (average daily mean temperature was about 21°C). The results obtained are summarized as follows:

1. The dry weight per plant was in the following orders: $25^{\circ}/20^{\circ} > 30^{\circ}/25^{\circ} \geq 17^{\circ}/12^{\circ}$ in case of 5°C daily range, and $25^{\circ}/15^{\circ} > 30^{\circ}/20^{\circ}$ in case of 10°C daily range. When the day temperature was the same, the dry weight per plant grown under 10°C lower nights was greater than that under 5°C lower nights. There was little difference in dry matter production between the gradual temperature change plots and the suddenly change plots. The dry weight of the outdoor control was almost the same as that of $25^{\circ}/20^{\circ}$.

2. Seed yield per plant was greater at 25°/15° and 30°/20° plots, followed by 25°/20°, 25°/20°*, 30°/25° and outdoors in that order, and very small both at 17°/12°* and 17°/12°. Numbers of pod and seed per plant tended to increase with increase of temperature in case of 5°C daily range, while those of 25°/15° and 30°/20° were almost same. Numbers of pod and seed of 10°C daily range were greater than those of 5°C daily range when the day temperatures were same, and those of the outdoor control were similar to those of 25°/20°. 100-seed weight was very great at 25°/20° and 25°/20°*, followed by 25°/15°, 30°/20°*, outdoor control, 30°/25° in that order and those of 17°/12°, 17°/12°* were extremely small.

3. N, K, TAC (Total Available Carbohydrate) and seed oil accumulation per plant were paralleled with dry matter accumulation in response to temperature. P accumulation tended to increase with increase of temperature. At maturity most of N, P, K and TAC accumulated in seeds, Mg+Ca in pod shells and Fe and Na in roots, respectively. The concentration of Fe and oil in seeds tended to increase and that of carbohydrate to decrease with increase of temperature. Saturated fatty acids in seed oil such as palmitic, stearic and oleic acid with one double bond tended to increase and other unsaturated acids such as linoleic and linolenic to decrease with increase of temperature.

4. The larger seeds ripened outdoors or at 25°/20°, 25°/15° and 30°/20° showed a higher germination percentage.

5. In the regime of this experiment, day temperature of 25° to 30° with 10°C daily range during the ripening period seemed to be optimum for dry matter accumulation, nutrient absorption, seed yield, and seed characters, suggesting that the optimum temperature for ripening is a little lower than that for vegetative growth.