日長, 温度に対する大豆の生育反応

第3報 光合成器官の発達と構造に及ぼす日長・温度の影響

佐 藤 庚

(東北大学農学部)

昭和53年6月15日受理

環境が作物の生育に及ぼす影響については多くの研究があるが、日長や温度による葉の構造変化とその機能との関係については報告が少なく⁹⁾、大豆については報告が見当らない。著者はさきに大豆の生長と養分蓄積に及ぼす日長と温度の影響を報告^{10,11)}したが、本報はそのときの材料を用いて葉の発達と解剖学的特性の変化をしらべ、これらと生長との関係を考察したものである。明快な結論は得られなかったが、この種の研究が少ない現状から一研究例として報告する。

実験方法

前報^{10,11)}で詳細に記したので、ここでは最小限必要

な点だけを再記する。供試品種は早生“大袖振”で、第1本葉展開始めに下記の処理を開始した。長日区(LD)は自然日長による14時間前後の長日とし、短日区(SD)は7:00~16:00の自然光による9時間日長である。自然光にあたる期間を昼温(恒温)とし、暗の期間を夜温(恒温)とした。昼/夜温を、35/30°, 30/25°, 25/20°, 20/15°, 15/10°Cの5処理とした。従って同一温度表示であってもLDの日平均気温はSDよりそれぞれ1°C高い。処理開始後16日目に歴日を同一にして全区を一斉にサンプルしたA区と、各区の主茎に6.5本葉を展開するたびにサンプルしたB区とから成る。葉の解剖はB区の第5本葉の

Fig. 1. Size of the central leaflet of the successive trifoliolate on main-stem counted acropetally, as affected by photoperiod and temperature.

●—● Long day ○---○ Short day

頂小葉 (以下単に第5葉と呼ぶ) を中心に行った。た 分で行った。

だし、15/10° 区は実験期間中に 所定の 葉数に達しな
かったので、LD 区は 4.9 葉、SD 区は 4.1 葉展開時

に同時にサンプルし、第3葉を供試した。測定はミク
ロトーム切片について小葉中央部の小脈間(aerole)部

実験結果

1. 葉の生長 第1図に示す通り、処理開始時に展 開中の第1本葉の頂小葉 (第1葉と呼ぶ。以下同様)

Table 1. Leaf growth as affected by photoperiod and temperature (Plot-B).

Photo- period	Temp. °C	LA/ ¹⁾ plant dm ²	RLGR dm ² ·dm ⁻² 10 ⁻¹ days	Lw ²⁾ g	Lw/ Stw ³⁾	LAR LA/ W ⁴⁾	Lw/ W	SLA ⁵⁾ cm ² ·mg ⁻¹	SLW ⁶⁾ mg·cm ⁻²	RGR ⁷⁾ g·g ⁻¹ 10 ⁻¹ days	NAR ⁸⁾ g·dm ⁻² 10 ⁻¹ days
Long Day (LD)	35/30	6.0	1.78	1.72	1.76	1.90	0.55	3.49	2.88	1.20	0.85
	30/25	9.0	1.48	2.81	1.79	1.67	0.52	3.20	3.11	1.11	0.84
	25/20	8.1	1.21	3.15	1.76	1.34	0.52	2.57	3.88	0.98	0.87
	20/15	7.4	0.85	4.54	1.84	0.83	0.51	1.63	6.10	0.82	1.02
	15/10	4.7	0.44	3.77	2.12	0.69	0.55	1.25	7.94	0.45	0.64
	Mean	7.0	1.15	3.20	1.85	1.28	0.53	2.43	5.06	0.91	0.84
Short Day (SD)	35/30	6.1	1.68	1.40	1.69	2.29	0.52	4.36	2.31	1.03	0.65
	30/25	7.3	1.38	2.00	1.83	1.96	0.54	3.65	2.67	0.93	1.07
	25/20	6.5	0.81	2.39	1.67	1.12	0.41	2.72	3.67	0.70	0.70
	20/15	5.3	0.45	4.11	2.07	0.72	0.56	1.29	7.73	0.46	0.62
	15/10	3.6	0.39	2.37	2.30	0.87	0.57	1.52	6.49	0.36	0.43
	Mean	5.8	0.94	2.45	1.91	1.39	0.52	2.71	4.57	0.70	0.69

Sampled at respective 6.5 leaf-stage except 15/10° (LD 15/10° at 4.9, SD 15/10° at 4.1 leaf-stage, respectively).

1), 2) Area and dry weight of lamina per plant, 3) Dry weight of stem including petiole per plant, 4) Dry weight of whole plant, 5) Specific leaf area, 6) Specific leaf weight, 7) Relative growth rate, 8) Net assimilation rate.

Table 2. Leaf structure at the mid-lamina of the central leaflet of the 5th leaf
(Means of each 6 leaflets).

Photo- period	Temp °C	RLA ²⁾ cm ²	Thick. ³⁾ μ	Mesop. ⁴⁾ thick. μ	P/S ⁵⁾ ratio	PL ⁶⁾ μ	PD ⁷⁾		PV ⁸⁾ Av. μ ³	PN ⁹⁾ mm ⁻² ×10 ³	AS ¹⁰⁾ %	MRA ¹¹⁾ μ ² ×10 ³	VBA ¹²⁾ μ ² ×10 ³
LD	35/30	56	125	98	2.2	36	2.9	3.8	234	79	48	410	84
	30/25	63	142	113	2.0	39	3.7	4.6	418	55	40	479	117
	25/20	61	138	118	2.0	40	4.0	5.1	500	46	42	484	108
	20/15	45	180	153	2.1	52	4.5	5.6	831	46	27	438	101
	15/10 ¹⁾	44	229	201	2.1	60	5.1	6.4	1225	40	19	674	149
	Mean	54	163	136	2.1	45	4.0	5.1	642	53	35	497	119
SD	35/30	47	123	106	2.2	38	3.1	3.9	292	78	41	358	82
	30/25	54	135	111	2.1	40	3.6	4.9	411	59	39	390	93
	25/20	35	147	122	2.0	43	3.9	5.1	502	52	37	327	70
	20/15	14	172	146	2.2	51	4.7	6.2	861	44	24	630	162
	15/10 ¹⁾	40	198	165	2.0	54	4.2	5.7	748	48	34	300	65
	Mean	38	155	130	2.1	45	3.9	5.2	562	56	35	401	94

1) Values of the 3rd leaf. 2) Relative leaf area; length x breadth. 3), 4) Leaf-thickness and mesophyll thickness estimated at the interveinal portions, 10 estimates for each leaflet. 5) Palisade mesophyll thickness/spongy mesophyll thickness. 6) Length of the longest outer palisade cell. 7) Diameter of outer palisade cell: means of average-size cell (Av) and of maximum-size cell (Max); 10 estimates for each leaflet. 8) Mean volume of outer palisade cell. 9), 10) Palisade cell number and air-space % counted and calculated on paradermal sections at level 1 (Fig. 2 A). 11), 12) Relative area (length×breadth) of midvein and its vascular bundle (Fig. 4).

Fig. 2. Structure of lamina (LD 20/15°C, $\times 106$).

A; transection, B-D; paradermal sections at 1-3 levels at A. pa; palisade cell, sp; spongy cell, st; stomata, pv; paraveinal mesophyll cell, vl; veinlet, bs; bundle sheath, bse; bundle sheath extension

はほとんど処理の影響を受けていないが、その葉柄長から影響が出始め、上位になるほど影響が明瞭となる。一般に LD は SD より葉が大きく、第3葉までは 25/20° で最大であったが第4、5葉では 30/25° 区がやや優り、低温、短日区で著しく小さい。葉数の増

Fig. 3. Transections of the central part of petiole stained with iodine solution ($\times 106$).

A; LD 35/30°C, B; LD 25/20°C, C; LD 15/10°C, ph; phloem, xy; xylem, co; cortex, lvb, mvb, svb; large, medium, small vascular bundles, pi; pith

加速度は高温ほど早く、LD は SD より早い(前報¹⁰⁾)ので、相対葉面積生長率 RLGR は高温ほど大きい(第1表)。B区についての葉の発達状況をみると(第1表)、個体当りの葉面積は LD, SD とともに 30/25° で最大となったが、その乾物重は 15/10° 区を除き低温ほど大きい。葉身重/全個体重 (Lw/W) は区間差が小さく SD 25/20° 区を除きほぼ 0.5~0.6 の範囲に

Fig. 4. Paradermal sections at level 1 in Fig. 2A ($\times 88$).

A; 35/30°C, B; 30/25°C, C; 25/20°C, D; 20/15°C, E; 15/10°C (LD plot)

Fig. 5. Diagrammatic drawing of petiole transection.

lvb, mvb, svb; large, medium, small vascular bundles, pi; pith

あった。葉身重/茎重 (Lw/STw) は低温2区で高く、葉面積比 LAR と比葉面積 SLA はともに低温で減少した。この傾向はA区でも同様で、アルファルファの結果⁹⁾とも同様である。従って比葉面積重 SLW は低温ほど大きい、相対成長率 RGR および RLGR は低温ほど小さく、SD は LD より小さい。純同化率 NAR は温度による変化が少ないが、LD は SD より大きい傾向であった。

2. 葉の構造と成分 第5葉の構造は第2表、第2図の通りである。相対葉面積 RLA は第1図の通りであるが、葉身、葉肉の厚さは低温ほど大きく、LD は SD より大きい。2層の柵状細胞の中、外側の細胞の長さ PL や直径 PD したがってその容積は日長による影響は小さいが、温度による変化が著しく低温ほど大きい。BALLANTINE ら¹⁾は低温下の大豆葉では柵状細胞層数が増加するとしているが本実験では増加が認められなかった。葉面に平行な切断面 mm² 当りの柵状細胞数 PN は低温ほど少なく、この面における空隙率 (AS) も低温ほど小さい傾向がある。この点は BALLANTINE ら¹⁾と同様である。つまり、低温ほど大きな柵状細胞が密に詰まっているのである (第4図)。柵状細胞層と海綿状細胞層の厚さの比率 P/S は処理

Fig. 6. Transection of LD 15/10°C leaf stained with iodine solution ($\times 88$).

ep; epidermis, st; stomata, bse; bundle sheath extension, vb; small vascular bundle, pa; palisade cell, pv; paraveinal mesophyll cell, sp; spongy cell

Fig. 7. Compound starch grains contained in the stem parenchyma (LD 15/10°C, $\times 176$).

による変化が少なくほぼ2前後であるが、この点も BALLANTINE らと異なる。SLW と葉の厚さは強い相関 ($r=0.940^{***}$) をもち、葉の厚さは柵状細胞長と強い相関 ($r=0.981^{***}$) をもつ。以上から大豆葉では、低温ほど葉面積の拡大がおそい反面、柵状細胞や葉肉の厚さを増し、このことが SLW を高める一因となり、そのため LAR の減少、Lw/W の安定化をもたらしている。

第3表に示す通り、葉身の全窒素、粗蛋白質含有率 CP は低温ほど低く、LD は SD より低い。TAC (全糖+粗澱粉) 含有率は逆に低温ほど高く、LD は SD より高い。低温ほど全窒素含有率が低下するのは TAC 蓄積の反映であって、葉面積当りの全窒素含有量は低温ほど多い傾向を示すのである (第4表)。A 区では全糖、粗澱粉とも、したがって TAC 含有率も日長、温度による変化が小さい¹¹⁾のに、B 区では全糖、粗澱粉とも低温ほど増加した。この場合全糖は日長による変化は小さいが粗澱粉は長日で高まった (前報¹¹⁾)。P, K, Ca, Mg, Si, Fe, Mn などの鉱物質の総含有率は高温ほど高いが、これも TAC を除いて計算する

と、逆に低温ほど高まり、LD は SD より高まる。粗蛋白質、TAC、鉱物質の合計含有率は、SD は LD より高く、SD では低温ほど減少した。TAC/CP 比

は明らかに低温ほど増加し、LD は SD より高い。以上の成分以外の成分を膜物質と考えると、その含有率は LD は SD より、高温は低温よりそれぞれ高かった。

Table 3. Chemical constituents of lamina as affected by photoperiod and temperature (Plot-B).

	Day/Night temp. °C	CP ¹⁾ %	TAC ²⁾ %	Minerals ³⁾ %	Total %	C/N (TAC/CP)
LD	35/30	27.4	11.8	5.0	44.2	0.43
	30/25	23.2	12.3	5.1	40.6	0.53
	25/20	17.8	20.2	4.3	42.3	1.13
	20/15	15.9	22.9	4.1	42.9	1.44
	15/10	14.3	25.7	3.9	43.9	1.80
	Mean	19.7	18.6	4.5	42.8	1.07
SD	35/30	33.5	6.9	5.7	46.1	0.21
	30/25	30.6	9.5	5.6	45.7	0.31
	25/20	24.8	13.5	5.0	43.3	0.54
	20/15	16.8	22.7	4.1	43.6	1.35
	15/10	18.0	19.9	4.1	42.0	1.11
	Mean	24.7	14.5	4.9	44.1	0.70

1) Crude protein

2) Total available carbohydrates (total sugar+crude starch)

3) P, K, Ca, Mg, Fe, Mn

Table 4. Nitrogen content of lamina (mg/dm²) as affected by photoperiod and temperature (Plot-B).

Day/Night temp. °C	LD					SD				
	35/30°	30/25°	25/20°	20/15°	15/10°	35/30°	30/25°	25/20°	20/15°	15/10°
Nitrogen content(mg/dm ²)	12.6	11.6	11.1	15.6	18.6	12.3	13.4	14.6	20.7	19.0

Table 5. Epidermis features of lamina as affected by photoperiod and temperature (Estimated by Sump method).

Day/ Night temp. °C	EPCN ¹⁾ No/mm ²		EPCA ²⁾ × 10 ² μ ²		Stomatal density No/mm ²			ab/ad	St. Fr ³⁾ %		GCL ⁴⁾ μ	TGCL ⁵⁾ mm/mm ²
	ad	ab	ad	ab	ad	ab	Tot.		ad	ab		
LD	35/30	359	356	27.8	28.1	33	80	113	2.4	8.3	18.4	2.1
	30/25	316	307	31.7	32.6	22	79	101	3.6	6.5	20.4	2.1
	25/20	248	274	40.3	36.6	16	70	87	4.3	6.1	20.4	1.8
	20/15	261	299	38.3	33.4	8	73	81	9.6	2.9	19.6	1.5
	15/10	279	352	35.8	28.4	7	84	92	11.7	2.6	19.3	1.6
	Mean	293	318	38.8	31.8	17	77	95	6.3	5.3	19.6	1.8
SD	35/30	380	363	26.3	27.5	29	83	112	2.9	7.0	18.6	2.0
	30/25	296	297	33.7	33.6	21	71	92	3.6	6.6	19.2	1.8
	25/20	280	293	35.7	34.2	9	72	81	7.8	3.2	19.8	1.7
	20/15	279	344	35.9	29.1	5	87	92	17.4	1.3	19.7	1.6
	15/10	335	406	29.9	24.6	10	96	106	9.6	2.9	19.0	1.7
	Mean	314	341	32.3	29.8	15	82	96	8.3	4.2	19.3	1.7

1) Epidermal cell number excluding stomata. 2) Mean area of epidermal cell excluding stomata. 3) Stomatal frequency. 4) Mean length of guard cell. 5) GCL×Total stomata number.
ad: adaxial surface, ab: abaxial surface

3. 表皮系 葉の表皮系をスンプ法でしらべ第5表に示した。葉面 mm² 当りの表皮細胞数 (EPCN, 気孔を除く) は高温、低温で多く中間温度で少ない傾向を示す。従って表皮細胞の平均面積 EPCA は中間温度 (25/20°) で最大であった。mm² 当りの気孔数すなわち気孔密度は表面 (向軸面) に少なく裏面 (背軸面) に多く、両者の合計は高温下で多い傾向を示す。高温下では表面の気孔数が低温下より多いからで、裏

Table 6. Structure of the 5th leaf petiole (15/10°, 3rd leaf) as affected by photoperiod and temperature.

	Day/Night temp. °C	RA mm ²	VBS mm ² × 10 ⁻²	VCN Tot (S)	VRN	VN	VS μ ²
LD	35/30	3.64	15.9	21.0 (7.8)	5.4	3.7	1590
	30/25	3.94	16.0	18.0 (4.8)	4.8	4.0	1550
	25/20	3.80	15.0	15.8 (2.8)	4.5	4.0	1580
	20/15	3.40	12.7	13.0 (0)	4.0	4.2	1330
	15/10	5.24	17.2	17.7 (4.7)	4.4	5.0	1120
	Mean	4.00	15.4	17.1 (4.0)	4.6	4.2	1430
SD	35/30	2.80	12.0	17.7 (4.7)	5.0	4.0	1250
	30/25	2.97	12.1	14.3 (1.1)	4.8	4.0	1150
	25/20	2.03	7.9	13.0 (0)	4.1	4.1	770
	20/15	1.21	6.6	13.0 (0)	3.6	4.6	560
	15/10	3.80	14.0	15.0 (2.0)	4.2	5.2	1020
	Mean	2.56	10.5	14.6 (1.6)	4.3	4.4	950

RA: relative area of transection of the central part of petiole (depth × breadth). VBS: Mean relative size (depth × breadth) of the 5 large vascular bundles. VBN: number of vascular bundles. (S): number of small vascular bundles. VRN: mean vessel-row number of the 5 large vascular bundles. VN: mean vessel number of each vessel-row. VS: mean transection area of the largest vessel of each large vascular bundle

面の気孔数は温度による変化が小さい。表皮全細胞数に対する気孔数の割合（気孔頻度）は表面では低温ほど減少し、裏面では温度による変化が小さい。孔辺細胞の長さ GCL は表皮細胞の面積と平行的で中間温度で大きい。表裏の合計気孔数に平均孔辺細胞長を乗じて葉面 mm² 当りの総長 TGCL を求めると、高温ほど大きい値を示した。LD は SD にくらべて表皮細胞面積、孔辺細胞長を大きくした。気孔の密度や頻度は日長による変化が小さい。

4. 葉柄の構造 葉柄は葉身と茎の間の物質輸送通路の役割をもつ。その構造を葉柄中央部の横断面で見ると第6表、第3、5図の通りである。15/10° 区を除き、葉柄横断面積 RA は 30/25° が最大で、LD は SD より大きい。15/10° 区は両日長とも著しく大きい。総維管束数 VBN は 15/10° を除き高温ほど多いが、各区とも大維管束は5個、中維管束8個で区間に差がないから、総維管束数のちがいは小維管束数の差に由来し、これらは高温ほど多い。5個の大維管束の平均の大きさ VBS も 15/10° を除き高温ほど大きく、その導管列数 VRN も高温ほど多い。しかし各列の導管数は逆に低温ほど多く、形成層の活動も低温の方が長く続くように見える（第3図）。大維管束の総導管数 VN は列数が多いため高温ほど多い傾向がある。導管中で最大の導管断面積に、導管数を乗じた総導管面積も高温ほど大きかった。第5葉の相対葉面積と葉柄断面積、大維管束断面積、最大導管断面積、導管総

断面積との相関係数はそれぞれ 0.950***, 0.930***, 0.979***, 0.946*** で、いずれも強い正の相関を示し、葉面積と葉柄の構造との関係は密接である。

5. 澱粉の蓄積 葉身における澱粉蓄積は低温ほど増加し、15/10° の葉身横断面（第6図）で見ると、葉緑体中に多量に蓄積している。詳しくみると、表皮細胞と paraveinal mesophyll cell²⁾ (PV) および維管束鞘とその extension (bs, bse) の柔細胞にはほとんど認められず、柵状細胞でも外側の1層には蓄積が少なく、第2層、海綿状細胞と裏面に近づくほど蓄積が多い。海綿状細胞に澱粉蓄積が多いことは BALANTINE ら³⁾ も認め、広葉植物に一般的であるらしい (HABERLANDT⁴⁾)。

葉柄の澱粉蓄積は第3図に示す通り、低温ほど蓄積部位を拡げるとともにその量を増し、澱粉粒の大きさも大きい。15/10° 区ではすべての柔細胞が澱粉で満ちている。茎に於てもほぼ同様の傾向を示した。第7図には茎の髓部の澱粉粒を示したが、それは多数の核をもつ特異な形の大粒の複粒移動澱粉である。

考 察

長日、短日2区をこみにして、日平均気温と生長パラメータとの相関をみると（第7表）、気温と強い相関を示すのは RGR, RLGR, LAR で、NAR は比較的相関が弱い。RGR = NAR × LAR = NAR × SLA × Lw/W から、これら RGR を構成する要因と RGR

Table 7. Correlation coefficients of growth parameters (Y) to mean diurnal temperature (x).

Y	Plot	r
RGR	A	0.890***
	B	0.925***
RLGR	A	0.896***
	B	0.974***
LAR	A	0.592*
	B	0.930***
NAR	A	0.808**
	B	0.452

*, **, *** Significant at 5, 1, 0.1% level, respectively

Plot A; materials were sampled at the same date (Sept. 19)

Plot B; $\nearrow$ at the same stage (6.5 trifoliate leaves expanded except 15/10°C)

Table 8. Correlation coefficients of SLW to some features of leaves as affected by photoperiod and temperature.

Characters	Plot	r
Leaf thickness	A	0.940***
	B	0.910***
CP, %	A	0.569
	B	-0.862***
TAC, %	A	0.510
	B	0.916***
CP+TAC, %	A	0.476
	B	0.168
Air space, %	A	-0.758**
	B	-0.904***

との相関を求めると、RGR に対しては A, B 両区を通じて有意な正の相関を示したのは RLGR と NAR であり、前者の方がより強い相関を示す。LAR, SLA も正の相関を示すが Lw/W は関係が弱い。したがって本実験の範囲では日長、温度は葉面積増加速度の制御を通じて生長速度を規制する面が最も強く、NAR の関与は比較的軽いと見られる。葉面積増加速度は葉数増加速度と個葉の面積の積で表わされるが、30/25° が最適温であった。

NAR とそれに影響すると思われる葉の特性との関係を求めると A 区では Lw/W, 葉の厚さ、粗蛋白質含有率、粗蛋白質+TAC 含有率、全窒素量、sol-N/Tot-N などは有意の負の相関を示し、これらの値の小さい高温下の NAR が大きい。低温下では窒素含量は高いが sol-N/Tot-N 比が高く¹¹⁾、これが蛋白質合成の異常を通じて NAR 減少の一因になると考えら

れる。NAR と有意の正の相関を認めたのは孔辺細胞総長と空隙率のみであった。B 区では NAR と有意な相関を示す特性は認められなかった。以上の傾向は NAR が葉の構造的特性と単純に結びつかず、様々な要因の複合的影響を受けることを示唆する。A, B 両区を通じて NAR と正の相関を示したのは気孔密度、孔辺細胞総長、柵状細胞密度、空隙率などであり、ガス拡散の気孔抵抗、葉肉抵抗の小さいことが NAR を高める一因となっているように思われる。しかし、NAR の最高値は A 区では 30° (長日)、25° (短日)、B 区では 20° (長日)、30° (短日) で適温が日長条件で異なる。この適温の変化については十分な説明はできない。JEFFERS ら³⁾ は 30°, 福井ら³⁾ は 20~30° が大豆の光合成の適温としているが、NAR や光合成に対しては実験方法のちがい、ことに測定的时间要因が重要な関係をもつように考えられる。

葉面積、葉重、葉の厚さ、柵状細胞容積、維管束の大きさなどの量的特性と NAR などは、いずれも長日の方が短日より大きかった。一日の日照時間が長く、受光総エネルギー量が多いことと、日平均温度が 1°C 高いことが関係したと思われる。

15/10° 区の葉の特性は他の 4 温度区と著しく異なり、ことに葉の各部が厚く澱粉や窒素の蓄積が多い。福井ら³⁾ によると光合成速度は 15~30° でほとんど変わらないのに、呼吸速度は温度係数が 2 で温度による変化が大きい。したがって大豆の生育の最低温に近いこのような低温下では、光合成にくらべて相対的に呼吸や生長がより強く抑制される結果炭水化物の余剰を多くし、これが葉緑体をはじめ葉の各部や茎に多量の澱粉として蓄積を多くする。さらに窒素の蓄積も多く形成層の活性も長期間維持されるようである上に、個々の柔細胞が大きい (第 3, 4 図)。これらが総合されて葉身、葉柄を厚くし SLW を高めている。

第 8 表には SLW に影響すると考えられる特性と SLW との相関を示したが、低温下で SLW を大きくしているのは葉の厚さと TAC % の増大、空隙率の減少などである。したがって SLW が葉の厚さを代表すると単純にみなすことは危険である。大豆の光合成速度の品種間差を研究した報告では、葉の窒素含量や SLW と光合成とが正の相関を示す場合⁷⁾ もあれば相関のない場合¹⁴⁾ もある。アルファルファでは SLW の高い品種が光合成速度が高い⁸⁾ とされている。しかし、温度処理によって SLW が変化する場合には、SLW は NAR とほとんど相関が認められない^{9, 10)}。これは低温下では生長速度が減ずる反面、葉の厚さ、

炭水化物蓄積などが増加して SLW を高めることが与っている。温度によって SLW が変化する場合には SLW と NAR はむしろ負の相関を示すのが一般のようと思われる。

大豆葉はほぼ水平に展開して上位葉の表面が主に受光するにもかかわらず表面の気孔はきわめて少ない。気孔の多い裏面側には海綿状細胞があり、これは移動澱粉の蓄積能力が高い。一方、柵状細胞は気孔の少ない表面側にあって外側ほど澱粉を蓄えない。また維管束鞘およびその extension, paraveinal mesophyll cell (PV) の柔細胞にも僅かしか蓄らない。以上の特性および細胞相互の位置的関係から、光合成におけるガス交換は、主に裏面の気孔を通じて行われ、これが海綿状組織の空隙、pv の空隙を通して柵状組織に達し、主に光合成機能を営む柵状細胞で同化された産物は pv, 維管束鞘を経て維管束に運ばれると考えられる。pv については FISHER²⁾ の報告があり、本研究でもその構造や機能について追認できた。また HABERLANDT⁴⁾ は海綿状組織の主任務は換気にあるとしている。

本実験では気孔開度をしらべていないが STÅLFELT¹²⁾ の成績のように低温ほど開度が小さいとすれば、このことも低温下の NAR を減ずる一因であろう。また本報では早生の一品種しか供試していないが、今後生態型のことなる品種の比較が必要と思われる。

本稿を終るにあたり、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. BALLANTINE, J. E. and B. J. FORDE 1970. The effect of light intensity and temperature on plant growth and chloroplast ultra-structure in soybean. *Amer. J. Bot.* **57**: 1150—1159.
2. FISHER, D. B. 1967. An unusual layer of cells in the mesophyll of the soybean leaf. *Bot. Gaz.* **128**: 215—218.
3. 福井重郎・小島睦男・渡辺 巖 1965. 大豆の子実生産に関する研究. 第1報 温度が光合成に及ぼす影響. *日作紀* **33**: 432—436.
4. HABERLANDT, G. 1914. *Physiological Plant Anatomy*. Macmillan, London.
5. JEFFERS, D. L. and R. M. SHIBLES 1969. Some effects of leaf area, solar radiation, air temperature, and variety on net photosynthesis in field-grown soybeans. *Crop Sci.* **9**: 762—764.
6. LEWIS, M. C. 1972. The physiological significance of variation in leaf structure. *Sci. Prog.* **60**: 25—51.
7. 小島睦男・川島良一 1968. 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* **38**: 667—675.
8. PEARCE, P. B., G. E. CARLSON, D. K. BARNES, R. H. HART and C. H. HANSON 1969. Specific leaf weight and photosynthesis in alfalfa. *Crop Sci.* **9**: 423—426.
9. 佐藤 庚 1974. 環境条件がアルファルファの生育に及ぼす影響. 第3報 日長と温度の組合わせによる光合成組織の発達と構造の変化. *日作紀* **43**: 59—67.
10. ——— 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.
11. ——— 1976. ———. 第2報 体内成分について. *日作紀* **45**: 450—455.
12. STÅLFELT, M. G. 1962. The effect of temperature on opening of the stomatal cells. *Physiol. Plant.* **15**: 772—779.
13. VOLKENBURGH, E. V. and W. J. DAVIES 1977. Leaf anatomy and water relations of plants grown in controlled environments and in the field. *Crop Sci.* **17**: 353—358.
14. WATANABE, I. and K. TABUCHI 1973. Mechanism of varietal differences in photosynthetic rate of soybean leaves. III. Relationship between photosynthetic rate and some leaf-characters such as fresh weight, dry weight or mesophyll volume per unit leaf area. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* **42**: 437—441.

The Growth Responses of Soybean Plant to Photoperiod and Temperature

III. The effects of photoperiod and temperature on the development and anatomy of photosynthetic organ

Kanoe SATO

(Faculty of Agriculture, Tohoku University, Sendai 980)

Summary

Developmental and anatomical features of soybean leaves grown under different photoperiod and temperature were compared in consideration for their relations to growth parameters.

1. Leaf number increased with increase of temperature and daylength. The leaflet size of the 5th leaf was greater under long day than under short day, and greatest at 25°C or 30°C day temperature. Thus, relative growth rate of leaf area per plant increased with increase of temperature and under long day condition. The thicknesses of leaf blade, mesophyll and palisade layer, and specific leaf weight increased with decrease of temperature, whereas leaf area ratio decreased with decrease of temperature (Table 1, Fig. 1).

2. The volume of each palisade cell increased while air-space percentage decreased with decrease of temperature. Palisade tissue consisted of two layers of cells, being about twice as thick as spongy tissue and this situation was little affected by the treatments (Table 2, Fig. 2,4).

3. The mean area of epidermal cell was greatest at the intermediate temperatures, becoming smaller as temperature increased or decreased. It was greater under long day than under short day. Stomatal density was high at abaxial surface and low at adaxial surface, and the density of the latter increased with increase of temperature although that of the former changed a little. The mean length of guard cell paralleled the mean epidermal cell size. The total guard cell length of both leaf surfaces per unit leaf area increased with increase of temperature (Table 5).

4. TAC concentration, TAC content per unit leaf area increased with decrease of temperature, and were greater under long day. Crude protein concentration, on the contrary, decreased with decrease of temperature and was smaller under long day, although its content increased with decrease of temperature and was greater under short day (Table 3, 4).

5. The diameter of petiole was greater under long day and greatest at 30/25°C. The number of large and intermediate vascular bundles of petiole changed little by the treatment, but that of small bundles increased with increase of temperature. The petiole diameter and mean area of large vascular bundles were intimately related to leaf area (Table 6).

6. The starch deposit in the chloroplasts increased with decrease of temperature, especially abundant in the spongy tissue. Under low temperatures, large peculiar compound starch grains were stored in the parenchymatous cells of petiole and stem (Fig. 3, 6, 7).

7. Anatomical features affected by temperature and photoperiod did not show significant correlations to NAR, although SLW, leaf thickness, nitrogen content and Sol-N/Total-N ratio had negative correlations with NAR.

8. SLW had positive correlations with both leaf thickness and TAC concentration, a negative correlation with air-space percentage (Table 8).

9. The growth parameters such as RGR, RLGR, LAR and NAR were all positively correlated with the mean ambient diurnal temperatures, and the correlation coefficients were higher for RGR, RLGR and lower for NAR (Table 7).