

1 粒系コムギの早生系および晩生系における花成と 生長反応の比較生理学的研究 (II)

ポット栽培における早生系と晩生系の
花成と生長反応

杉 野 守*

Some Comparative Physiological Studies on Growth and Development

in the Early and Late Strains of Einkorn Wheat (II)

Growth and Flowering of the Early and Late Strains in Pot Culture

Mamoru SUGINO

Synopsis

The growth and flowering of the early and late strains of einkorn wheat in pot culture under different photoperiodic and temperature conditions were compared with special reference to the effects of applied gibberellic acid (GA).

Long days stimulated differently and specifically the flower initiation in the early and late strains, while the shoot growth in length of both the strains were accelerated quantitatively and generally by the long days as well as the external application of GA.

A comparison between the rates of elongation of the leaf sheath parts which are induced by long days and GA application and due to genetical earliness indicates clearly that these three factors stimulate the shoot growth independently.

The change in growth forms from rosette to erect form was also affected by photoperiod, temperature, genetical earliness and GA application in some positive correlation with the shoot elongation.

These results suggest a important role of the endogenous GA which production or activation is promoted by long days, high temperature and genetic earliness in the growth and development of einkorn wheat.

I 緒 言

試験管内培養によるコムギの生育は、厳密に管理された外的条件において行われるが、反面、その生育条件は、特に水、養分あるいは光の供給量におい

て、かなり極限的であるため結果的に、試験管の大きさに収容しうるミニサイズの植物成体となった。そこで、通常の生育、栽培条件に近い、屋外またはガラス室内でのポット栽培を行い、光その他の外的条件に対する生育反応を調べた。

* 農学科、植物生理学研究室 (Lab. of Plant Physiology, Dept. of Agric. Kinki Univ. Higashiosaka, 577, Japan)

II 実験方法と結果

1. ポット栽培した1粒系コムギの早生系と晩生系の生育に及ぼす長日補光の光の強さの影響

早生および晩生2系統の種子を、播種箱にまき、約10日後、その均一な実生を選んで30×30×10cmの木箱内の砂床に20個体ずつ移植した。次にこれらの木箱を、Fig. 1-(C)に示すような、内壁を黒くぬ

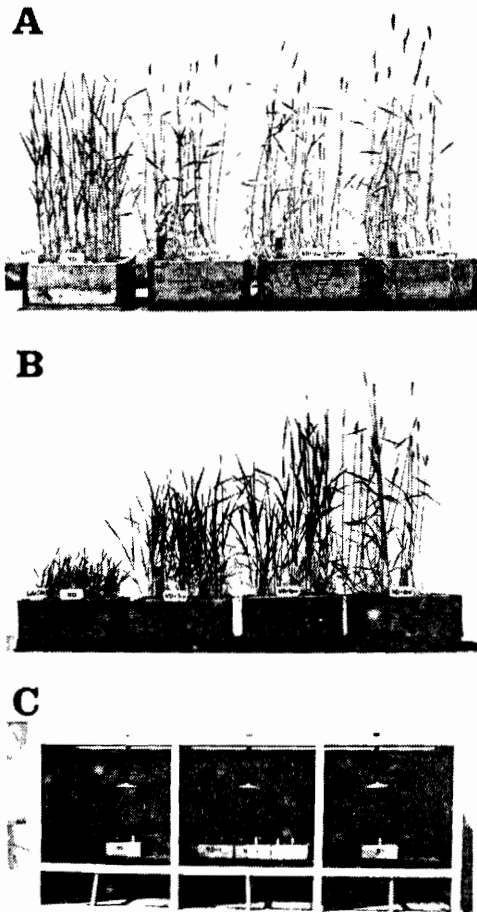


Fig. 1. Photographs showing the early (A) and late (B) strains grown under different light intensities of the supplemental night illumination. The seedlings were planted and grown on sand in wooden boxes placed in the separate open rooms with light sources of 2 cp, 10 watt and 60 watt incandescent lamp set 50 cm above bed, respectively in the cabinet (C) which was set in the outdoors. Control plants were also placed out of doors.

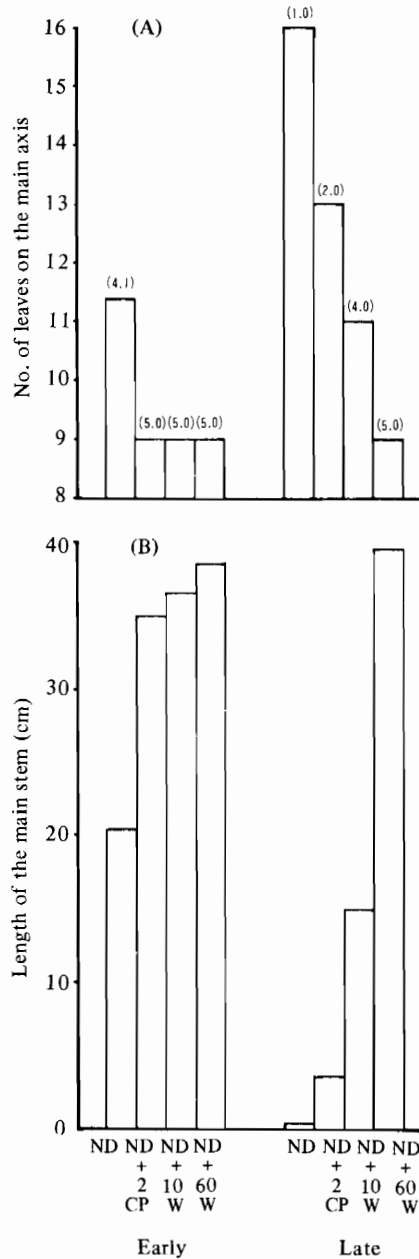


Fig. 2. Effect of the supplemental light intensities on growth and development of the early and late strains in sand culture. The plants were grown from 1 April to 26 May 1966 out of doors under the natural day length (ND) or the ND supplemented with the night illumination of 2 cp, 10 watt, and 60 watt incandescent lamp, respectively. (A) Number of the leaves formed on the main axis. The figures in parenthesis represent the floral stages. (B) Length of the main stems.

り、隔離板によって仕切られた3室に置き、各室にはそれぞれ床面上50cmの高さに、2 cp, 10W, 60Wの白熱電球を各1個ずつ取付け、終夜照明を行った。また対照区として屋外に夜間照明を行わない区を設けた。砂栽培は、1966年4月1日より、夜間照明の開始と共に行ない、37日間の（長日）照明後、19日間自然日長下に置き、栽培開始後56日目の5月26日に、それらの生育状態を観察し、測定した。なお、このような栽培において、以下に述べる実験の場合も同様に、施肥は葉葉の繁茂を少なくして、観察や取扱いを容易にする目的から、市販液肥の500倍液を移植後2～3週間目に1回だけ与えるにとどめた。5月26日における早生系と晩生系の生育状態をFig. 1およびFig. 2に示した。

本実験期間の自然日長は、12時間33分～14時間15分であり、この日長はFig. 2-(A)にみられるように、早生系の花成誘起に充分であり、また晩生系にとっても辛うじて花芽分化を誘起し得る長さと考えられる。人工照明によって、このような自然日長を延長して連続光条件にすると、早生系は、2 cpの光源による弱光（床面で約20 lx）にも敏感に反応し、60Wの光源（約300 lx）の場合と同様に花芽の分化、発達が促進された。これに対して、晩生系においては、花芽の分化と発達は、夜間照明（長日補光）の光の強さによって、いちじるしい差を示した。このような花成促進効果は光の強さと共に増したが、特に60W電球を光源とする場合は、晩生系の花成が早生系と同じような状態に達したのは注目される。

次に茎長の伸長をみると、晩生系においては、夜間照明光の強さの増加による花成の促進効果に対応して、明らかな茎の伸長促進がみられ、60W光源による場合は、早生系と変わらない茎長となった。早生系の場合は、2 cp以上の光源による長日補光によって、茎長の伸びが促されたが、光の強さに関しては、わずかの差ながら、弱光よりも強光で茎長が大きくなる傾向がみられた。

2. ポット栽培した早生系と晩生系の生育に及ぼす弱光長日補光期間の影響

1965年4月1日、発芽後約10日目の斉一な芽生えを、木箱内の砂床に移植し、これらを屋外に置いた。長日補光は床面50cm上から2 cpの弱光光源によって、夜間照明を行い、2週間、4週間および連続（66日間）の3つの長日処理区を設け、その他の期間はすべて自然日長下（4月1日より6月5日まで、12:33～14:25時間）に置いた。生育の観察は移植栽培後66

日目の6月5日に行い、主軸葉数については、特に

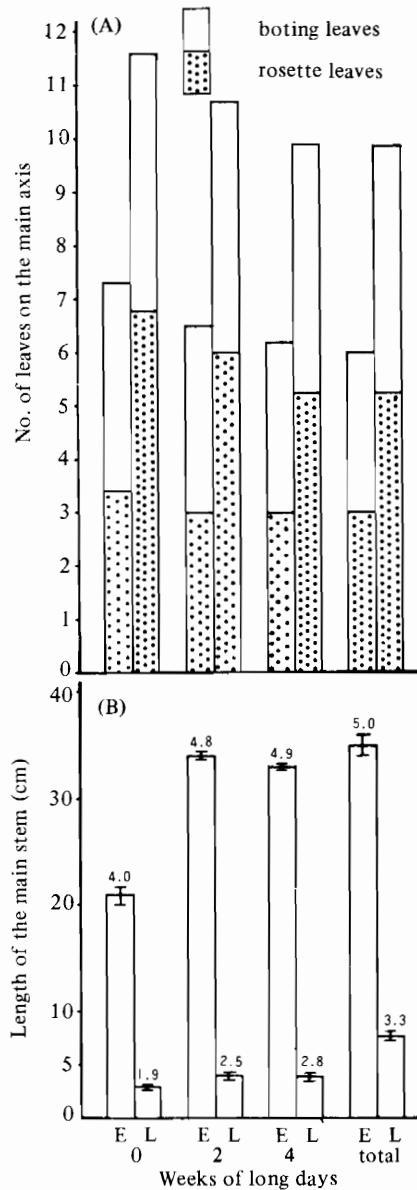


Fig. 3. Effect of duration of the long days with supplemental dim night illumination on growth and development of the early and late strains in sand culture. The plants were grown outdoors from 1 April to 5 June 1965 under the natural day length of 12:37 to 14:25 hours except the long day treatments which extended the natural day length with night illumination by 2 cp incandescent lamp set 50 cm above the ground.
 (A) Number of bolting and rosette leaves on the main axes.
 (B) Length of the main stems. The figures on the histograms represent the floral stages.

ロゼット葉（基部の節間伸長を起していない節につく葉）と抽苔葉（上部の節間伸長を起した節につく葉）を区別して数え、それらの結果をFig. 3-(A), (B)に示した。

本実験における自然日長は、早生系にとって、また晩生系にとっても、その花成に充分な“長日”であるため、6月5日には、すべての植物が花芽を形成していた。しかし、夜間照明によって、連続光の“長日”にすると、早生系および晩生系ともに、若干の花芽分化および発達促進がみられた。ただし、長日補光照明が弱光（2 cp）であるために、晩生系に対しては顕著な花成促進効果がみられず、反面早生系では、自然日長の“長日”による花成促進が大きいために、夜間照明による促進効果はやはり目立たなかった。

次に莖葉部の生長をみると、Fig. 3-(A)にみられるように、弱光夜間照明が2週間以上になると、早生系では抽苔葉数が漸減し、晩生系ではロゼット葉数が（4週間処理までは）減少した。また（B）図にみられるように、莖の伸長は、早生系において、2週間以上の夜間照明により略同様な促進が示され花芽発達も同じ傾向が示された。これに対し、晩生系では、このような弱光による夜間照明によつては、莖長のいちじるしい伸長促進はみられなかったが、花芽の発達は夜間照明期間が増すにつれて大となった。

3. ポット栽培した早生系および晩生系の生育に及ぼす“強光”長日補光の影響

前実験と同様に移植した早生系と晩生系について、次のような短日および長日処理を行った。短日処理は午後5時から翌日の午前9時まで植物を暗室に入れて8時間の自然光を与え、長日処理は床面より約130cmの高さに取付けた60W白熱電球により終夜照明を行い長日区とした。実験は4月1日より両系統のコムギに対して、それぞれ2、4および6週間の長日処理をし、この外に早生系では1週間の、晩生系に対しては11週間まで長日処理区を設け、その他の期間はすべて短日条件（8時間日長）に置いた。なお対照区として、8時間日長区を設けた。生育の測定は、日長処理開始後およそ11週間目の6月15日に行なった。これらの結果はFig. 4-(A), (B)に示される。

本実験において、早生系では短日下においても、76日後には明らかな花芽分化が起り、さらに長日処理期間の増加と共に、花芽分化はいちじるしく促進

され、4週間の長日処理でピークに達した。これに対して晩生系では、2週間の長日処理は花芽分化を誘起し得ず、6週間の処理で、ほぼ花芽分化（主軸

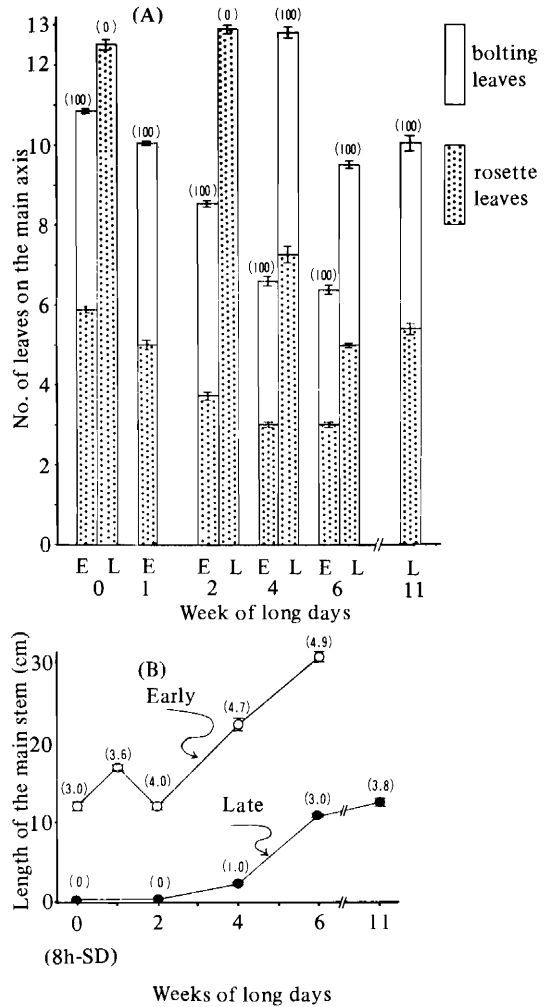


Fig. 4. Effect of the long days with supplemental night illumination by a 60 watt incandescent lamp on growth and development of the early and late strains in sand culture. The plants were grown from 1 April to 15 June outdoors and exposed the natural day light for eight hours except the long days.

(A) Number of bolting and rosette leaves on the main axis before flower initiation. The figures in parenthesis indicate the percentages of the plants with flower initials.

(B) Length of the stem. The figures in parenthesis histograms represent the floral stages.

葉数の減少からみた)のピークに達した。

(A) 図にみられるように、早生系の主軸葉数の減少は、長日処理期間の増加と共にまずロゼット葉数の減少が目立ち、次に4、6週間長日処理区では、抽苔の葉数が若干減少した。晩生系においては、4週間処理区からの花芽分化に伴って、ロゼット葉数が急減し、6週間処理区では早生系の1週間処理区にほぼ匹敵する主軸葉数を示したが、さらに11週間

まで長日処理を行っても、それ以上の主軸葉数の減少はみられなかった。

次に(B)図に示されるように、早生系の花芽の発達には長日処理期間の増加と共に促がされ、またそれに伴って茎長も増大した。晩生系の場合は4週間以上の長日で花芽発達と茎長増加の促進がみられた。しかし、全体として晩生系の花成が、連続的な長日処理によっても、それ程顕著に促進されなかった。これは本実験で用いられた夜間照明が、Fig. 1に示される場合に比べて、光源との距離が2.6倍もあったため、結果的に晩生系にとっては、“弱光”夜間照明となったため、と考えられる。

4. 異なった日長と温度条件下において、ポット栽培された早生系と晩生系の生育

1粒系コムギの日長に対する生育反応が、温度条件によってどのように影響されるか、を調べるために、温度調節の可能な4連式グロースキャビネットを用いて、次の実験を行った。1967年11月1日に播種し、戸外に置いた早生系と晩生系について、12月28日にそれらの幼植物の斉一なものを選んで、9×50×15cmの本箱内の砂床中にそれぞれ8個体ずつ移植した。次にこの本箱を戸外に設置した4連式グロースキャビネットの4室に入れ、その温度を25±1℃および15±1℃に調節した。このキャビネットは2面ガラス張りでありその内部の明るさは、戸外の散光の約1/4であった。また各室には4本の20W植物育生用蛍光灯(ビタルクス)と2本の赤色蛍光灯を取付け、昼間の入射光の不足をカバーする目的で、8

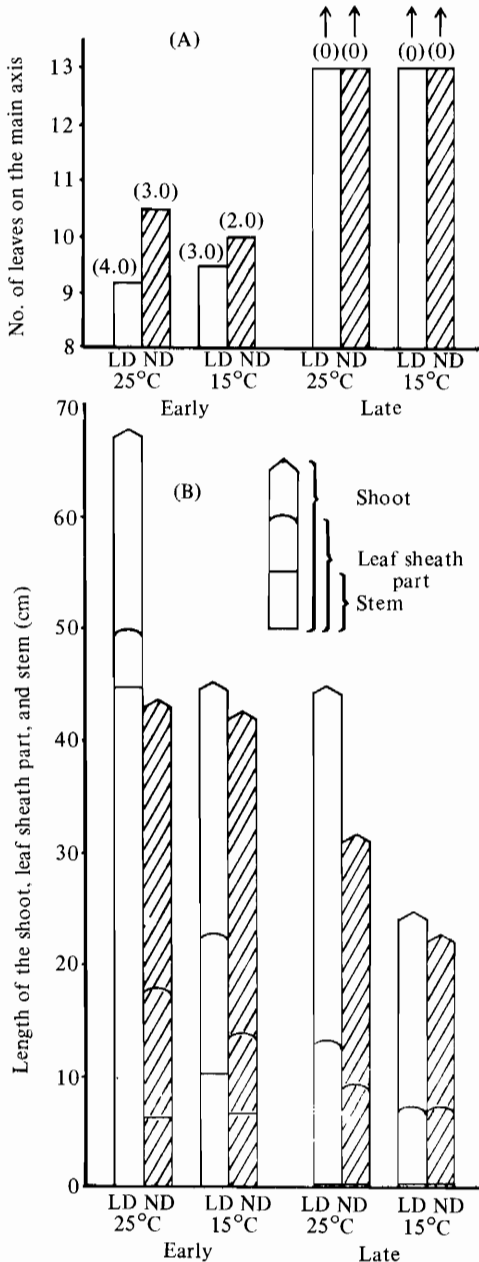


Fig. 5. Effect of the photoperiods and temperatures on growth and development of the early and late strains in sand culture. The field grown plants of 40 days old were planted on sand in wooden boxes placed in the four rooms of a growth cabinet with controlled temperatures from 28 Dec. to Feb. 1968 (42 days). They were exposed to the natural day length (ND: the diffused day light of about a fourth intensity to that of the outdoors was supplemented with illumination by four 20 watt Vitalux fluorescent lamps and two 20 watt red fluorescent lamps for eight hours in the daytime). For the long day treatment (LD), the eight hour's illumination was extended by the two red lamps into the remaining sixteen hours in a day. (A) Number of leaves on the main axis before flowering. ↑ indicates the possible increase in leaf number until flowering. The figures on the histograms represent the floral stages. (B) Length of the shoot, leaf sheath part and stem.

時間の照明を行った。なおこの期間の自然日長は9:50~10:43時間であった。さらに、長日区としては、上述の日中の8時間照明にひきつづき、赤色蛍光灯2本のみで、夜間照明を行った。

このようなキャビネット内での栽培は42日間行い、この間必要に応じて灌水し、また施肥は2週間目に1回だけ行った。生育の観察は2月8日に、主軸葉数、莖長および花芽段階以外に、特に草丈(地上部最大長)と葉鞘部長(莖部から最上部葉鞘までの長さ)を測った。後者は、コムギ類の草形をきめる1つの目安として測定した。これらの結果をFig. 5-(A), (B)に示す。

(A) 図に示されるように、グロースキャビネット内の栽培は、その期間が比較的短期間であったため、早生系においてはすべての実験区で花芽形成がみられたが、晩生系の場合には、長日高温区においても、未だ花芽形成には至らなかった。早生系の場合には、その花成は長日高温(25℃)でもっとも促進されたが、その花芽は25℃および15℃において、当地における最短の自然日長下でも形成された。

次に(B)図に示されるように、異った日長と温度は、早生系と晩生系の草丈、葉鞘部長および莖長の伸長に対して異って影響した。すなわち、晩生系はすべて花芽を分化せず、ロゼット状態にとどまって莖の伸長はみられなかったが、早生系の莖長は、その花芽の発達とはほぼ平行して、長日高温区においてもっとも大となり、長日低温区の植物がこれに次いだ。早生系の場合、自然日長(短日)下では、25℃と15℃に置かれた植物の莖長は略同じ位であった。次に、草丈、葉鞘部長等の栄養生長的な形質についてみると、その伸長は、一般的に早生系>晩生系、長日区>短日(自然日長)区、高温区>低温区の関係がみられた。この場合、特に注目されることは、晩生系において、本実験の長日刺激や高温条件が、花芽分化をひきおこすには至らないが、草丈や葉鞘部長の伸長を明らかに促進したことであった。

5. 生育期間(Age)を異にする晩生系の生育に及ぼすジベレリン散布の影響

培地に加えられたジベレリン(GA)は、普通系コムギの培養において、その生育、特に莖葉の伸長にいちじるしい作用を及ぼすこと¹⁾から、このようなGAの作用を晩生系について、調べてみた。

播種は1967年10月6日、11月1日および1968年2月5日に行い、約1週間後発芽した実生のうち生長の揃ったものを16個体ずつ選んで、30×30×10cmの

木箱内のパーミキュライト床に移植し、これらを戸外に置いて育てた。次に4月20日に、これら各区の植物の半数に対して、木箱別に界面活性剤Tween20、0.01%を含むGA、100 ppm溶液を、地上部植物体の全面が充分濡れるまで噴霧した。また残りの半数の対照植物はTween液のみ噴霧した。これらの植物は、GA処理後ひきつづき戸外で栽培し、16日目の5月6日にその生育を観察し、莖長、花芽発達ステージ、草丈および葉鞘部長を測定した。なお、比較のために早生系を2月5日に発芽させ、同様にして戸外で栽培し、GA処理しないものについての測定結果と共に、それらをFig. 6に示した。

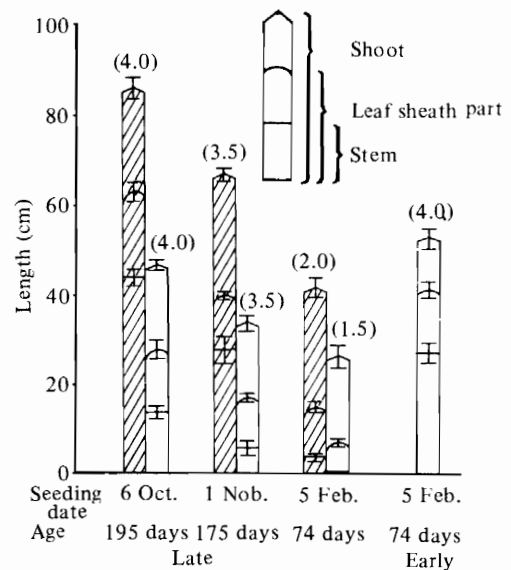


Fig. 6. Effect of the application of gibberellic acid (GA) on growth and development of the late strain in the different growth stages. The plants were grown in the field from 6 Oct., 1 Nov., and 5 Feb. to 20 April 1968 when the half of them (hatched histograms) were sprayed with 100 ppm of GA solution. The plant sizes and the floral stages were measured on 6 May, at 16 days after the GA application. For comparison, the plants of early strain were grown from 5 Feb. to 6 May 1967.

本実験における1粒系コムギの生育期間は、晩生系にとっても、その花成に対して、すでにinductiveな自然日長(12時間50分前後)をもつ4月~5月にあつたので、各区ともすべての植物が花芽形成をした。それらの花芽の発達はAgeの進んだものほど促進され、2月5日発芽し74日目の晩生系の発達段階

値を基準とすると、ほぼ生育期間に比例した値を示した。さらに莖長、葉鞘部長、および草丈も、生育期間の長さの順に大となった。なお2月5日に発芽した早生系（74日）の生育は、晩生系のおよそ4ヶ月前に発芽生育した植物の生育にほぼひとしく、また植物体の大きさはさらにこれを上廻っていた。

またGA処理は晩生系のいずれの生育年令植物に対しても、草丈、葉鞘部長および莖長の伸長に、顕著な促進作用を示した。しかし、花芽の発達については、GA処理による促進がほとんどみられなかった。

6. 日長の長短、ジベレリン散布の有無および早生、晩生の違いによる1粒系コムギの生長反応の差

前実験にひきつづき、1粒系コムギの莖葉の伸長に対して、日長やGA量、あるいは早晩性などの外的、内的要因の及ぼす影響を調べるために、次のような実験を行った。

あらかじめ、発芽床で発芽させた早生系と晩生系

の芽生えについて、1968年2月1日に、生育のそろったものを選び、9×50×15cmの木箱内のパーミキュライト床に8個体ずつ移植し、これらの木箱を戸外に置いた。3月18日と21日の2回に、この半数の植物に対して、木箱毎に、GA100 ppm液を十分に散布し、日長については3月18日より、対照のGA無散布植物を含めて、おのおの自然日長区と長日（終夜照明）区に分けて置いた。後者では、地面から1mの高さより60W白熱灯によって終夜照明をした。生育の観察はGAの噴霧開始後10日目の3月28日、21日目の4月8日および45日目の5月2日に行い、莖長、葉鞘部長および草丈以外に、3月28日と4月8日には、各実験区の植物体の地上高（地面から植物体の最高レベルまで）を測定した。また測定最終日の5月2日には花芽発達段階を観察した。これらの結果をTable 1, Table 3 およびFig. 7 に示した。

本実験期間の自然日長は、すでに晩生系に対しても、その花芽分化を誘起する長さ（約13時間30分）に達していたので、実験区のすべての植物に花芽形成が観察された。またその花芽発達は、これまでの

Table 1. Length of the main stem, leaf sheath part (from base to the uppermost sheath) and the shoot at the three growing dates of the early and late strains of einkorn wheat. The plants of about 40 days old were grown either in natural day length (ND: 12: 02 to 13: 37 hours) or in long days (the natural day length was supplemented with night illumination of about 150 lx) from 10 March to 2 May 1968. The half of plants in each lots were sprayed with 100 ppm GA on 18th and 21th of March and the plant sizes were measured in 10 (I), 21 (II) and 45 (III) days after the first GA application.

GA application		Yes				No				
Photoperiod Strain		LD		ND		LD		ND		
		Early	Late	Early	Late	Early	Late	Early	Late	
Length of (cm + SE)	Main Stem	I.	*	*	*	*	*	*	*	
		II.	14.6 ±1.9	1.5 ±0.2	2.3 ±0.5	*	3.4 ±0.9	*	0.6 ±0.1	*
		III.	75.3 ±5.0	31.6 ±4.1	21.8 ±2.9	0.5 ±0.1	66.3 ±4.5	19.3 ±3.3	15.4 ±2.4	0.5 ±0.1
	Leaf sheath part	I.	10.0 ±1.0	6.3 ±0.7	7.3 ±1.3	5.0 ±0.6	5.6 ±0.5	2.2 ±0.2	3.2 ±1.0	1.1 ±0.2
		II.	24.0 ±2.0	12.2 ±1.0	12.3 ±1.3	6.5 ±0.8	13.0 ±1.6	6.0 ±0.2	6.8 ±1.0	2.7 ±0.4
		III.	64.3 ±3.3	46.7 ±5.0	36.2 ±2.8	8.3 ±1.0	62.0 ±3.0	35.1 ±4.5	28.1 ±2.5	6.5 ±3.1
	Shoot	I.	24.9 ±2.5	17.1 ±2.8	20.3 ±2.4	14.8 ±1.0	17.5 ±1.8	8.7 ±1.0	13.5 ±1.3	8.0 ±1.2
		II.	47.6 ±3.7	41.0 ±2.8	41.4 ±3.2	30.4 ±2.2	34.3 ±1.9	20.5 ±1.8	23.8 ±2.6	12.8 ±0.9
		III.	85.3 ±5.0	67.0 ±5.2	63.5 ±1.9	31.1 ±1.6	72.8 ±6.8	57.6 ±2.2	51.7 ±3.1	25.1 ±1.5
(Floral stages)		III.	(5.0)	(4.0)	(4.0)	(1.5)	(5.0)	(4.0)	(4.0)	(1.5)

* Visible stem elongation was not recognizable

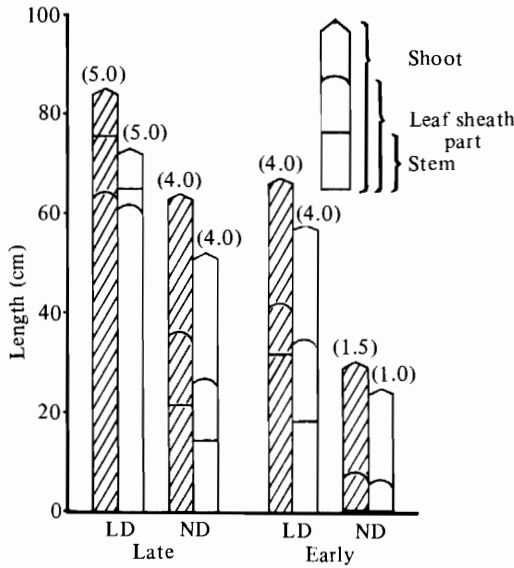


Fig. 7. Growth and development of the early and late strains under the natural day length (ND: 10: 37 to 13: 35 hours) or the long days (LD: The ND was extended with night illumination by 60 watt incandescent lamp) at 46 days after the first GA application. The plants were grown from 2 Feb. to 2 May 1968 in the out doors. A half of the plants were fully sprayed with 100 ppm GA on 18 and 21 March (hatched histograms).

実験結果と同様に、長日（連続光）下の早生系がもっともすみやかで、出穂段階（Stage 5）に達していたが、自然日長下の晩生系はもっとも遅く、花芽形成の初期段階（Stage 1.5）にあった。また、特に注目されることは、自然日長下におかれた早生系の生育に、60W白熱電球の終夜照明による長日（連続光）条件を与えられた晩生系の生育が、ほぼ匹敵するか、あるいはやや上まわる傾向がみられたことであった。

次にGA処理によって、本実験では、早生系および晩生系とも、またどの日長区でも、花成はまったく促進されなかった。これに対して、茎葉の伸長は、GA処理によってどの実験区とも明らかに促進された。ただし、晩生系の自然日長区は、茎長がほとんど伸長せず、それはまたGA処理によっても特別に促進はされなかった。

このような、1粒系コムギの茎葉の伸長を促す3つの要因、すなわちGA処理、長日刺激の外的要因と遺伝的な早晩性の違いに基づく茎長、葉鞘部長および草丈の増加率を、Table 1より求めると、Table 2に示す通りである。

GA散布による茎の伸長の促進作用はすでに（花芽分化をおこして）茎の伸長を開始していたと思われる植物、たとえば早生系の長日区および自然日長区の植物において、いちじるしかった。これに対して、葉鞘部長や、それを含めた草丈の伸長に対するGAの

Table 2. Per cent increase of length of the main stem, leaf sheath part and the shoot by external application of GA, long day treatment and due to the genetical difference in the early and late strains of einkorn wheat. (see the previous Table 1.)

			Stem			Leaf sheath part			Shoot		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III
A. Elongation accelerated by GA application (GA/None GA)											
Early	LD	*	329	14	78	85	4	42	39	17	
	ND	*	283	41	128	81	29	50	74	23	
Late	LD	*	**	64	186	103	33	97	100	16	
	ND	*	**	0	355	141	28	85	138	24	
B. Elongation accelerated by long day treatment (LD/ND)											
Ear	GA	*	535	245	41	95	78	23	15	34	
	None	*	460	330	75	91	121	29	44	41	
Late	GA	*	**	**	25	88	463	16	34	115	
	None	*	**	**	100	122	440	9	60	129	
C. Varietal difference (Early/Late)											
GA	LD	*	871	138	59	97	38	45	16	27	
	ND	*	**	**	46	89	336	37	36	104	
None	LD	*	**	244	155	117	77	101	67	26	
	ND	*	**	**	191	152	332	70	86	106	

* The stem elongation was not visible in both groups.

** The stem elongation was not visible in one of the two groups.

促進作用は、すべての実験区で明らかであったが、特に晩生系の自然日長区では大であった。なおGA処理による莖葉の伸長促進効果は、処理後比較的初期(10~21日後)に大であった。

長日(連続光)の下に置くことによっても、早生系と晩生系共、莖葉の伸長が明らかに促進され、その増加率は全体として、GAによる促進と似た傾向が示された。ただし、この場合は、長日処理は継続して行われ、その促進効果は、処理後の比較的後期に(46日目)大となる傾向が、特に晩生系において、みられた。また、長日刺激による増加率は、GAを与えた場合よりも与えない場合の方が大であった。

早生系と晩生系について莖葉の伸長差を、異った日長と、GA処理の有無の場合においてくらべてみる

と、いずれの場合においても、早生系は晩生系よりも長く伸びたが、それらの増加率は、GAを与えない方が与えた場合よりも、また自然日長下の方が長日下よりも大であった。さらに、早生系と晩生系の莖や葉の長さの差は長日刺激の場合と同じく、生育の後期において大きくなる傾向がみられた。

1粒系コムギの莖葉の伸長を促す上記3要因について、相互の促進効果を比較すると、全体としては、むしろよく似て居り、このことは、これらに共通の機構が存在することを示すものであろう。

次に、本実験において、莖葉の伸長促進に伴い、顕著な植物体の姿勢の変化、すなわち地上高(地面から植物体の最上部レベルまで)と莖葉軸の傾斜の変化がみられた。このような関係はTable 3に示し

Table 3. Sine relations between the shoot length and the shoot height (from ground to the upper level of the plant) of the early and the late strains grown under natural day length (ND) or long days (LD) and with or without GA application in the same experiment that was shown in the previous Table 1.

Days*	State of the Shoot	GA				None GA			
		LD		ND		LD		ND	
		Early	Late	Early	Late	Early	Late	Early	Late
10	Length(L) (cm)	24.9	17.1	20.3	14.8	17.5	8.7	13.5	8.0
	Height(H) (cm)	21.0	15.5	16.4	14.1	16.5	8.1	13.1	3.8
	$\text{Sin}^{-1} H/L$ (°)	57.9	65.0	53.9	72.4	70.6	68.6	74.4	28.4
21	Length(L) (cm)	47.6	41.0	41.4	30.4	34.3	20.5	23.8	12.8
	Height(H) (cm)	35.6	25.0	25.0	15.1	32.1	18.8	21.3	7.3
	$\text{Sin}^{-1} H/L$ (°)	48.4	44.8	37.6	29.8	69.9	66.2	64.0	36.0

* Days after the first GA application

たように、まず地上高はGAおよび日長処理後10日目において、その他上部丈の伸長と平行的に高くなる傾向がみられた。しかし、草丈と地上高による正弦角は、GA処理しない自然日長区の晩生系(ロゼット型)を除くと、処理開始後10日目では、すべてかなり高い値が示された。さらに20日後になると、それらの正弦角は全体的に低下し、特にGA処理をした自然日長区の早生系と晩生系およびGA処理しない自然日長区の晩生系において低い値を示した。これは、

生長の後期では葉の伸長に伴い先端部が下垂するので、草丈と地上高の増加が相伴わなかったためであろう。また、晩生系が、自然日長下のGAを与えない実験区で、生育の後期にはやや立上り傾向を示したのは自然日長の増加が原因していると思われる。

またこのような植物体の姿勢の違いを野外に栽培した早生系と晩生系について、測定した結果をTable 4に示した。すなわち早生系は晩生系にくらべて葉鞘部長がいちじるしく大であると共に、葉鞘部軸の

Table 4. The growth forms of the early and late strains of einkorn wheat in a field at OSAKA from 25 Oct. to 6 March, 19 67 (136 days).

Strain	Length of the leaf sheath part (mm)	Inclination of the leaf sheath part (°)	Growth form
Early	117.3 ± 8.3	83.3 ± 1.2	erect
Late	46.6 ± 1.8	15.7 ± 2.0	rosette

傾角は大で草型は直立型となった。

7. 催芽種子の低温処理 (バーナリゼーション) が早生系および晩生系の生育に及ぼす影響

普通系コムギの秋まき性品種は、催芽種子を低温処理することにより、その花成が促進されることはよく知られている²⁾。そのような処理の影響を早生系および晩生系について調べるため、次の実験を行った。

両系統の種子を、ペトリ皿内のしめった砂の上まき、発芽後ペトリ皿を約1℃の低温暗室に7週間、3週間置いたものおよび常温に2日置いたものの芽生えを3月3日に木箱の砂の中に移植した後、これらの箱を戸外に置き、日長に関しては自然日長区と長日(自然日長に終夜照明を行って連続照明としたもの)区を設けた。生育の観察は68日後の5月10日に行ない、主軸葉数、莖長および花芽発達段階について測定した。この結果をTable 5に示す。

Table 5. Effect of vernalization on the growth and development of the early and late strains of einkorn wheat. The plants which germinated seeds were kept at 1°C for 3 or 7 weeks and the non-chilling plants were grown in pots placed in the outdoors from 3 March to 10 May 1967 (68 days) under the natural day length (ND) or the long days (LD : ND with artificial night illumination).

Strain	Weeks of Vernalization	No. of leaves on the main axis		Main stem length (cm)		Floral stage	
		LD	ND	LD	ND	LD	ND
Early	7	8.0	9.8	57.4	24.2	6.0	4.1
	3	7.6	9.8	60.3	23.3	5.8	3.8
	0	7.1	9.3	66.4	17.3	5.0	3.6
Late	7	9.5	11.0	28.5	1.8	4.2	2.5
	3	9.4	11.6	33.6	0.1	4.3	2.2
	0	8.9	11.9	28.1	0.4	4.3	0.7

本表に示されるように、バーナリゼーションによる花成の促進を主軸葉数の減少度からみると、早生系および晩生系は共に花芽分化の促進はみられなかった。またそれらの花芽の発達は、早生系では長日区、自然日長区において、晩生系では自然日長区において、低温処理期間の増加と共にやや進行する傾向がみられたが、晩生系は長日区において、低温処理による促進効果はまったくみられなかった。この結果より、本実験に用いた1粒系コムギの早生系と晩生系は、いわゆるバーナリゼーションによって花成促進が行われず春コムギ型(Spring wheat)に属すると考えられる。

8. 葉面積(葉数)を異にする早生系1粒系コムギの長日刺激に対する生育反応

コムギの花成を促進する長日刺激が、その受容器官である葉の量によって、生育にどのように影響するかを調べるため、早生系を用いて次の2つの実験を行った。

第1実験はガラス室内で1965年10月1日より1ヶ月、自然日長下で育て、4葉が展開し終えた早生系につき、11月1日、4葉目の葉を残して他の葉(身)

をすべて除去したもの、3葉と4葉の2枚の葉以外を除去したもの、および全葉そのままにしたものの3区を設けて、これらを長日下に置いた。また全葉区の1部は、11月1日から3日おきに3回、GA100 ppm 溶液を散布した。なお長日処理は、自然日長に加えて、60W白熱電球を用いて終夜照明を行った。また、長日処理期間中、葉数を一定にするため、全葉区をのぞき新に伸長してくる葉身はすべて切除した。生育の観察は、28日間の長日処理後、再び自然日長下に置いて12日目に、葉数(節数)、莖長および花芽発達段階を調べた。この結果はTable 6-(A)に示した。

さらに、ひきつづき同様な実験を、1965年11月17日に播種して戸外で育てた早生系について、1月13日に幼植物の生育の均一なものを選んでポットに移植し、ガラス室に入れ、4葉のみを残して他を切除したものと、全く切除しないもの(4葉)の2つに区分けし、さらに、これらを各々60Wあるいは20Wの白熱電球により、ポット面においてそれぞれ、およそ1,600 lx, 500 lxの明るさで終夜照明を行った。長日(連続光)処理は、30日間行い、その後再び自然日長下に置いて、21日後の3月5日に、すべての

Table 6. Effect of the number of receptor leaves exposed to inductive long days on the development of the early sdtrain.

A. The plants were grown in a green house from 1 Oct. to 1 Nov. 1965. They were then divided into three groups by cutting off the (lamina) leaves except the receptor during the following long days to 28 Nov. Observation was made 12 days after the end of the long days.

B. The field grown plants of 50 days old were transferred in a green house and grouped into four categories by cutting off the leaves except the receptors during the long days with supplemental night illumination of 1600 lx or 500 lx from 13 Jan. to 12 Feb. 1966 (30 days). Observation was made 21 days after the end of the long days.

A

Receptor leaves	No. of plants	No. of leaves formed on the main axis	Length of the main stem (mm)	Floral stage
4th leaf	12	8.0 ± 0.0	78.3 ± 4.5	3.0
3.4th leaves	15	8.0 ± 0.0	101.0 ± 5.0	3.0
total leaves*	10	8.3 ± 0.2	142.0 ± 4.6	4.0
total leaves**	12	8.0 ± 0.0	256.7 ± 6.9	3.0

* Four leaves were expanded at the start of the long day.

** The leaves were sprayed with 100 ppm of GA.

B

Receptor leaves	Supplemental illumination (lx)	No. of plants	No. of leaves on the main axis	Length of the main stem (mm)	Floral stages	DW of the shoot (mg)
4th leaf	1600	8	8.0 ± 0.0	226.7	4.1	186.7
	500	8	8.9 ± 0.1	218.7	4.0	200.0
total leaves	1600	9	8.0 ± 0.0	545.6	4.8	466.7
	500	7	9.0 ± 0.0	502.5	5.0	550.0

植物について生育を観察し、測定した。その結果は Table 6-(B) に示した。

これら2回の実験結果は、長日刺激を受ける葉面積（葉数）の減少が、本実験の範囲では、早生系の花芽分化にほとんど影響を及ぼさないことを示した（A, B表）。葉数が減ると、莖長はいちじるしく減少し、また乾物重も、当然のことながら、その減少が明らかであった（B表）。GAを与えることにより、莖長の伸長は、ほとんど倍増した（A表）が、花芽の分化や発達の促進はまったくみられなかった。また葉面積が減少すると、花芽の発達が2回の実験を通じて、やや抑制される傾向がみられた。

受光葉の面積は、このように花芽分化の早さ（主軸葉数）にほとんど影響を与えなかったが、これに対して光の強さについては、むしろ受光面積の大小を問わず、強光区の方が弱光区よりも、花芽分化を促進した。ただし、この長日補光の強弱によって、光合成収量（乾物重）はあまり影響されなかった。

III 実験結果の総括と考察

1. 1粒系コムギの早生系および晩生系のホット内砂耕栽培において、2 cp~60Wの白熱電球により異った強さの終夜照明を与えると、早生系では、この実験範囲において、弱光は強光と略同程度に花成を促進した。これに対して、晩生系では、2 cp~60Wまでの光の強さの増加と共に“比例的”に花成が促進され、特に60Wの電球による場合は、晩生系の生育はいちじるしく促され、花成状態と莖長は早生系のそれとほとんど同じになった。すなわちこのような条件下では、両者の遺伝的な早晚性の差は発現されなかった。

オオムギの春まき性品種や十分に春化された秋まき性品種群が24時間日長下で育てられると、より短日下で生育した場合にくらべ、早晚性品種間で、相互に主軸葉数や、止葉展開迄日数の差がほとんどなくなる（3）。したがって、このような品種、系統間の早晚性の差は、晩生系の花成

が自然日長下で短日抑制を受けることにより発現すると考えられる。そしてまた、1粒系コムギの晩生系では、このような短日抑制を解く長日刺激の効果は、ある限度まで光の強さに大きく影響されるであろう。

2. 早生系および晩生系の花成にinductiveな自然日長を、さらに弱光の白熱電球を用いて、終夜照明することにより長日(連続光)条件とすると、早生および晩生系ともに4週間の長日で花芽分化の促進はピークに達したが、花芽の発達は、さらに長日を与えることにより促進された。また長日処理日以外はすべて8時間の短日条件においた場合、早生系では4週間、晩生系では6週間の長日でそれぞれ花芽分化促進のピークに達し、それ以上の長日は、前と同様に、花芽発達と、茎の伸長を促した。この際、主軸葉数は花芽分化とともに決定し、その後茎の伸長は上部から4~6節間の伸長にもとづくので、ロゼット葉数が花芽分化の促進と共に減少した。

日長刺激が、植物に対し花成以外に多面的な生理作用をひきおこすことはよく知られている⁴⁾。また長日刺激は花成という複雑な生理反応において、花芽の誘起や分化に対しては、植物の種類や早晩性、あるいは生理状態などによって異なった特異的な反応をひきおこすが、花芽分化後の花芽発達や茎葉の伸長に対しては、むしろ一般的な促進効果を示すようである。たとえば春コムギの晩生品種は、早生品種にくらべて花芽分化は遅いが、一旦花芽ができると開花迄の日数は調査した早、晩生4品種ですべて同じであるという⁵⁾。1粒系コムギの場合も、長日刺激に対する早生系と晩生系の花成反応は、花成の初期(花芽分化)には、刺激の量や質についても特異的に異って働き、後期(花芽発達)では非特異的に促進されると考えられる。

3. 早生系と晩生系を、長日(連続光)、短日(自然日長)、高温(25℃)、低温(15℃)を組合わせた4種の日長-温度条件で42日間育てたところ、早生系はすべての区で花成を示し、晩生系はすべて栄養生長状態にとどまった。しかし草丈や葉鞘部長の伸長は、両系統ともに長日、高温条件で促進された。また、早生系における花成促進効果は、花芽分化については、長日・高温>長日・低温>短日・低温>短日・高温の順であったが、花芽の発達については長日・高温>長日・低温>短日・高温>短日・低温の順となった。

これらの結果は、前記2の場合と同様に、長日刺激が花芽分化については早晩性の違いにより特異的

に働くが、花芽発達や茎葉の伸長にはむしろ非特異的な促進効果をもつことを示している。

4. ジベレリン(GA)を植物体に噴霧すると、早生および晩生系共に花成促進効果はほとんどみられなかったが、茎葉の伸長はいちじるしく促進された。この促進効果は、早晩性、発育段階(Age)および日長条件の差に無関係であった。

次にGA処理、長日刺激および遺伝的早性にもとづく茎葉の伸長を、おのおのの要因についての伸長促進割合として求めると、いずれも明らかな促進が示されたが、その値は器官や処理後日数の違いによりかなり変化した。しかし、もっとも典型的な伸長促進がみられる葉鞘部長について、処理後21日目の値(Table 1)から、これら3要因と伸長促進の関係をあらわしてみるとFig. 8のようである。すなわち

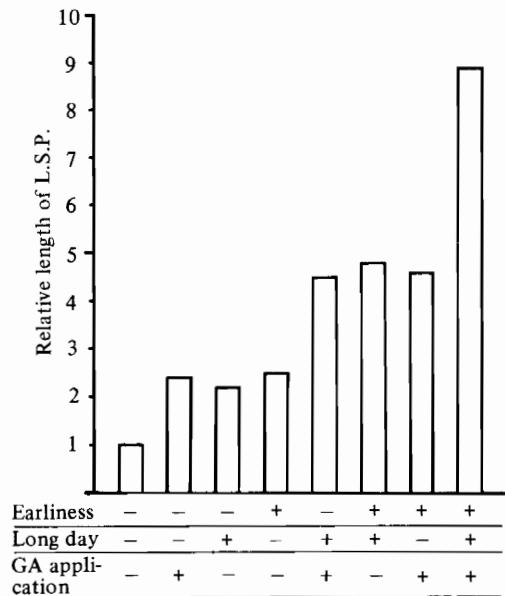


Fig. 8. Relative length of the leaf sheath parts (L.S.P.) of the early and late strains of einkorn wheat at 21 days after application of GA and start of the long day treatments (continuous illumination) (see Table 1).

促進要因がない場合、いずれか1つの場合、2つの場合および3つの場合にしながら、段階的な長さの増加が示された。このことから各要因は独立的に、また加算的に茎葉の伸長を促進することがわかる。

外部から与えたGAの高等植物の花成におよぼす

影響については、LANG (1956) 以来多くの報告がある^{6,7)}。それらの結果をみると、いくつかの長日植物の花成がGAにより促がされるが、その効果は花芽分化と花芽発達について一様でない。CHAILAKHYAN (1975) は、花成制御の物質としてジベレリンとアンテシンの2成分ホルモン系説を提案している⁸⁾が、長日植物においてはGA処理が花成にまったく無効なものや、逆に花芽分化を抑制するものがある⁹⁾。コムギについて、GAが“春化”を部分的に代行する例^{1,10)}があり、またタルホコムギの場合、ある条件で、GA散布によって花芽の分化と発達が促がされた¹¹⁾。

このようなことから花成に対するGAの作用について、ZEEVAAT (1967) が結論づけたように¹²⁾、一般的な定義はなく、むしろ異った日長反応型や、また植物種の差異、あるいは生長点の生理状態によって、多面的に特異な生理反応をひきおこすのである。

これに対して、GAの栄養生長、特に茎長の伸長に対する促進効果は、その発見以来多くの植物種について、かなり普遍的に示されている¹³⁾。本実験において、外部から与えられたGAは、早生および晩生系ともに花成に対しては促進効果がみられなかったが、茎葉の伸長については長日刺激および早生要因による促進と同じ程度の効果があった。長日条件におかれた植物体の内的GAレベルが上昇すること^{14,15)}や、また早生系は一般に晩生系にくらべて生育初期から茎葉の伸長速度が大である¹⁶⁾ことから、1粒系コムギの早生系は、晩生系にくらべて内的GAレベルが高く、長日刺激が与えられると両者ともにGA量が増加し、さらに外部から与えられたGAに対しても加算的に生長反応を示す、と考えられる。すなわち、これらの外的、内的要因による生長促進は、植物体内のGAレベルの増加あるいは活性化として一元的に説明することが可能である。

5. 早生系と晩生系を野外条件で育てると、生育の比較的初期から、草丈、特に葉鞘部長の長さの差が目立ち、同時に葉鞘軸の地面に対する傾角が早生系では大となり、立上り姿勢を示す。このような傾角は、実験的に長日刺激、GA処理をすることにより、早生系と晩生系において共にみられた。

本来、野生植物のロゼット型は、寒さに対して（微気象的に地表の温度が高くなる¹⁷⁾）ので、また生育初期の競争において有利に働く1つの適応的形態形成であろう。このような植物において生育の後期にロゼット型から直立型への移行することは、光合成の生産性を高め、また受粉などの生殖活動に有利に

なると思われる。この際長日刺激や高温条件が、内的GA量の増加または活性化をまねき、そのようなGAにより屈性変化がおこって立上ってくるのであろう。早晩性や、日長、温度条件による茎葉の屈性変化は野生植物にひろくみられることで、タルホコムギの野生系についても同様な傾向が実験的に示されている¹¹⁾。

6. 普通系コムギの晩生品種は（秋まき性が高いので）低温処理（春化）によりその発育が促される。しかし本実験に用いた1粒系コムギの早生系と晩生系では、ともに低温処理により花成の促進がみられず、これらは典型的な春コムギといえる。

7. 早生系について、約1カ月の長日刺激の間、刺激受容葉数を異にする状態で維持すると、茎長や乾物重は葉数の増加と共に顕著に大となったが、花芽分化に対してはほとんど影響しなかった。しかし、花芽の発達は葉数が多いとやや促進された。またGAを与えると、花成に影響しなかったが茎長の伸長はいちじるしく増した。さらに、自然光を夜間照明で延長して、連続光とするさい、実験範囲内の補助照明光の強弱は茎長や乾物重増加に影響しなかった。長日刺激を受ける葉数が多くなると、茎長の伸長が大となるのは、葉におけるGAと光合成生産物が共に増加するからであろう。

IV 要 約

1粒系コムギの早生系および晩生系をポット内で砂耕栽培し、異った日長刺激、温度条件および外部から与えたジベレリン（GA）に対する花成および生長反応を比較した。

1. 自然日長を異ったワット数の白熱電球による終夜照明によって長日（連続光）にすると、早生系の花成は2 cp～60 Wの電球照明の範囲でまったく同程度に促進された。これに対して、晩生系では終夜照明の光の強さの増加に伴い顕著に花成が促がされ、60 W光源の場合には早生系と等しい花成状態に達し早生と晩生の差は示されなかった。

2. 長日（連続光）刺激は、早生系では4週間、晩生系では6週間与えたときに花芽の分化促進のピークに達したが、さらにそれ以上の長日を与えると両系統共に茎の伸長や花芽の発達が促進された。また、コムギ類の主軸葉数は、その花芽分化と共に決定され、茎の伸長は上部の節間伸長によって起るので、ロゼット葉数は花成反応の早さを示す1つの目安となる。花成促進のピークにおける早生系のロゼット葉数はおよそ3、晩生系のそれは5であった。

3. 長日および高温は一般に1粒系コムギの花成を促す。しかし、長日と高温により早生系では花成促進がみられるが晩生系では未だまったく花成がみられない時期において、葉の生長は、両系統共に普遍的に促進された。ただし、同じ日長と温度条件では、早生系の茎葉の長さは、晩生系よりも常に大であった。

4. 外部から与えたGAは、本実験の範囲では、早生系と晩生系の花成を促進しなかったが、茎葉の伸長は明らかに促した。そしてこのような促進効果は、発育段階、日長および早晩性に無関係であった。

5. 1粒系コムギの地上部の伸長は、高温、長日刺激、遺伝的早生およびGA処理により促進される。特に後の3者の要因にもとづく伸長促進を、もっとも典型的な葉鞘部長について相互に比較した。その結果これら3要因は、おのおの独立的、加算的に働いて伸長促進をすることから、長日刺激と遺伝的早生は、いずれも体内のGA量を増加または活性化することにより、葉鞘の非特異的な伸長反応を促すと考えられる。

6. 長日、高温、早生要因およびGA処理は、葉鞘部長の伸長を促すと共に、その葉鞘軸の地面に対する傾角を増加させる。すなわちロゼット型から直立型への生育型 (growth form) の変化をまねく。このような屈性の変化は、上記の外的、内的要因により、植物体内のGA量の増加または活性化を通じておこるのである。

以上の結果は、1粒系コムギの花成や生長、屈性反応が、外的、内的条件により、植物体内で生産または活性化されるGA量を通じて、特異的および非特異的に、コントロールされていることを示唆している。

終りにあたり、本研究において1粒系コムギの系統種子を提供して頂いた山下孝介博士、および終始研究のおはげましを頂いた、今村駿一郎博士に感謝致します。

引用文献

- (1) M. SUGINO: 本誌, 1, 59~69, (1960)
- (2) 平吉 功: "出穂の生理", 小麦の研究 (木原均編, 162-191, 養賢堂 (1954))
- (3) 高橋隆平, 安田昭三: 農学研究, 47, 213-228 (1960)
- (4) A.W. NAYLER: *The photoperiodic control of plant behavior in Encyclopedia of plant Physiology XVI (I)*, 331-389, (1965)
- (5) J.A. RIDDELL, G.A. GRIES and F.W. STEARUS: *Agronomy J.* 50, 735, (1958)
- (6) A. LANG: *Naturwiss.* 43, 284-285, (1956)
- (7) A. LANG: *Physiology of flower initiation in Encyclopedia of Plant Physiology. XVI (1)*, 1380~1536 (1965)
- (8) M.C. CHAILAKHYAN: *Bot. Rev.*, 41, 1-29 (1975)
- (9) R.M. SACHS, A.M. KOFRANEK, SHION-YING SHYR: *Amer. J. Bot.* 54(7), 902-920, (1967)
- (10) 管 洋, 平野寿助: 日作紀, 31, 129-133, (1962)
- (11) 杉野守: 本誌, 10, 11-22, (1977)
- (12) J.A.D. ZEEVAAT: *Cellular and molecular aspect of floral initiation*, (G. BERNIER ed.) 335-344, (1967)
- (13) 加藤次郎: ジベレリン (田村三郎編), 282-305, 東京大学出版, (1969)
- (14) A. LANG: *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 21, 537-570, (1970)
- (15) J.A.D. ZEEVAAT: *Plant Physiol.*, 46, 5-18, (1970)
- (16) K. LEXANDER: *Physiol. Plant suppl.* II, 1-65, (1963)
- (17) 高須謙一, 木村和義, 則武起夫: 農学研究, 54 31~44, (1971)

(昭和52年11月10日受理)