荳科蔬菜の開花結實に及ぼす環境要素の影響に就いて (第3報)*

菜豆の開花運動に及ぼす温度の影響及び花粉の発芽に及ぼす温度、湿度の影響

渡 辺 齊

(千葉大学園芸学部)

H. WATANABE: Studies on the unfruitfulness of the beans 3. Influences of temperature on blooming, and of temperature and relative humidity on the pollen activity of the beans

菜豆の不結実現象の原因として、多くの人々^(4,6,7,12,13)により、開花期に於ける最高気温、或いは 10 時気温の高いことなどがあげられている。しかし、この場合、既報⁽¹⁹⁾のように、花粉形成期附近より以前の發育状態にあつた花芽の發育が、高温の障害を受けて發育又は授精不完全になるのか、或いは、完全發育花であつても、花粉の発芽又は雌蕊の機能に高温が直接影響を及ぼしているか等については不明の点が多い。又一方、開花の不完全な花は結果率が低いという結果⁽¹⁸⁾ から、開花運動の完、不完に及ぼす外界の環境要素もまた不結実現象の起因の一つとしてみのがすことはできない。

そこで、開花現象と温度との関係を調査する一方、花粉の機能に及ぼす温度並びに湿度の影響について調査を行った。

本実験を施行するにあたり、終始御懇篤な御指導と御校閲を賜つた藤井博士に感謝の意を表する。

1. 実験材料及び方法

品種は、既報⁽¹⁸⁾の場合と同一の“金時”を使用した。

10 月 3 日に播種し、発芽揃い後温床に入れ、開花まで好条件下におき、花芽の發育を完全にした。この材料につき開花揃い後第 1 表のような温度処理を行つて、開花現象に及ぼす昼夜の温度の変化の影響をみるため、開花状況の調査を行つた。

又、既報⁽¹⁹⁾の完全發育花、不完全發育花について、花粉の機能を調査した。一方、完全發育花の花粉を用いて温度並びに湿度と発芽との関係を調査した。

第 1 表 温度処理時間

昼間に於ける高温又は 低温処理時間	低温又は高温処理時間
0	24
2 (午前 9 時～午前 11 時)	22 (午前 11 時～午前 9 時)
4 (午前 9 時～午後 1 時)	20 (午後 1 時～午前 9 時)
6 (午前 9 時～午後 3 時)	18 (午後 3 時～午前 9 時)
8 (午前 9 時～午後 5 時)	16 (午後 5 時～午前 9 時)

* 千葉大学園芸学部蔬菜園芸学研究室業績第 38 号

第 2 表 関係湿度と用いた薬剤

化学物質	関係湿度
硫酸加里	98%
硝酸加里	94
酸性磷酸加里	92
炭酸ナトリウム	88
硫酸ナトリウム	82
塩化アンモニウム	79
硝酸アンモニウム	64
硝酸カルシウム	52
炭酸加里	43
塩化カルシウム	32

人工発芽床には、予備試験の結果、蔗糖 30%，寒天 1.5%，pH 5.6 ～6.2 の場合最も発芽率の高いことを認め、これを用いた。発芽床は、スライドガラスに薄膜として作成し、これを第 2 表に示す、いろいろの化学物質の飽和溶液によつて得られた空気湿度一定の固定

瓶に入れ、恒温器に入れた。

2. 実験結果

開花運動と温度

分化發育の完全な翌日開花すべき蕾を定温器に入れ、開花運動と夜温との関係を調査した結果は、第 3 表のようになる。即ち、夜温 15～27°C の間で、開花運動は完遂され、この温度より、高温又は低温になつた場合には、不完全な開花運動を示す。

第 3 表 夜温と不完全開花率 (30 花平均)

温度 (°C)	0	5	10	15	20	27	30	33	35
不完全開花率 (%)	100	100	38.3	0	0	0	78.3	80.0	100

開花運動は、自然状態では午前 0 時～2 時頃から始つて、午前 5～7 時頃に終了するのであるが⁽¹⁷⁾、温度の週期的変化の影響を受けて開花時刻が変わるかどうかについて調査した。この場合、高温の平均気温は 24.5°C、低温の平均気温は 12.6°C となつた。開花運動は、午前 9 時～午後 5 時の間で観察した。

その結果、24 時間低温の場合は、完全開花は、午前 9 時迄に行われ、不完全開花は午前 9 時迄及び午後 3 時の 2 回認められた。半数以上不完全開花するが、残りはこのような温度下でも完全開花した。

第4表 昼間高温時の長短と開花時の分散並びに不完全花の発現率 (14 日間, 3ヶ体平均)

高 温 処 理 時 間	低温処 理時間	完全花の開花時と発現率					不完全花の開花時と発現率				
		9 時	11 時	13 時	15 時	計	9 時	11 時	13 時	15 時	計
0	24	33.3%				33.3	44.2			22.2	66.4
2(午前9時～午前11時)	22	11.5	15.4	7.8	7.7	42.4	46.1	11.5			57.6
4(午前9時～午後1時)	20	36.6	9.0	27.2		72.8	27.2				27.2
6(午前9時～午後3時)	18	33.3			11.1	44.4	33.3	11.1		11.1	55.5
8(午前9時～午後5時)	16	20.0	15.0		5.0	40.0	10.0	10.0		40.0	60.0

第5表 昼間低温時の長短と開花時の分散並びに不完全花の発現率 (14 日間, 3ヶ体平均)

低 温 処 理 時 間	高温処 理時間	完全開花時と発現率					不完全開花時と発現率				
		9 時	11 時	13 時	15 時	計	9 時	11 時	13 時	15 時	計
0	24	100%				100					0
2(午前9時～午前11時)	22	84.3				84.3	3.9			11.5	15.4
4(午前9時～午後1時)	20	60.0			10	70.0				30.0	30.0
6(午前9時～午後3時)	18	100				100					0
8(午前9時～午後5時)	16	100				100					0

午前9時～午後5時までの間に、午前9時から、2、4、6、8時間の高温を挿入し、それを毎日繰返して、開花の状況を観察してみると、第4表のようになる。即ち、2時間の高温を与えると(午前9時～11時)、開花時刻が分散し、不完全開花は少い。4時間の高温を与えると(午前9時～午後1時)、開花時刻が同様に分散し、不完全開花率は最も低い値を示した。6又は8時間の高温を与えると(午前9時～午後3時又は午後5時)、開花時刻はやはり分散し、不完全開花率は増加している。

これに対し、連続高温を与えた場合には、この程度の高温では、不完全開花せず、開花時刻も、早朝1回のみ認められた。

この高温の中に、午前9時から、2、4、6、8時間の低温を毎日挿入した4区を設けて開花の状況を調査してみると、第5表のようである。即ち、2又は4時間低温を挿入すると、開花期が多少分散し、不完全開花する花が認められる。6又は8時間の低温を挿入した場合には開花期は午前9時迄の1回のみとなつて、開花期は分散せず、しかも不完全開花する花は認められなかつた。

以上のように、昼間気温を週期的に変化させることによって、開花時刻はかなり変化し、又不完全開花も発現することを認めた。

花粉の発芽に及ぼす温度並びに湿度の影響

予備実験に於いて、供試材料の差により、花粉の発芽率の異なることを認めたので、既報の⁽¹⁹⁾、高温処理期間の異なる花芽の花粉について、形態的調査を行つてみた。その結果は第6表のようである。

第6表 花の発育の差と花粉の形態並びに発芽率

花の発育状態	花の長さ	葯の長さ	1葯中の花粉数	花粉の径	花粉発芽率
完全発育花	2.2 cm	675 μ $\pm$ 0.25	588	45 μ $\pm$ 0.3	98.0 %
不完全発育花 1	0.7	525 $\pm$ 0.22	120	30 $\pm$ 1.8	0
同 上 2	1.1	600 $\pm$ 0.49	345	30 $\pm$ 3.4	2.0
同 上 3	2.2	600 $\pm$ 0.27	445	37 $\pm$ 5.4	5.2

不完全発育花(1)は、花芽分化期前後から、開花期まで高温処理を受けた花である。この花芽は、多くは花粉形成期まで到達せずに脱落するが、開花期まで到達した花も弱小の不完全発育花で、その花粉は、内容を欠除した不稔花粉である。従つて全く発芽能力がない。

不完全発育花(2)は、竜骨弁の発育開始頃から高温処理を受けた花で、弱小の不完全発育花が多い。この花の花粉も、前者と同様大部分不稔花粉である。

不完全発育花(3)は、四分子形成期前後から高温処理を受けた花で、大部分開花期まで到達し、外観的には完全発育花と大差ない。この花の花粉には、やはり不稔花粉多く、発芽率も低い。

以上のように、花の素質の相異によつて、花粉の形態及び発芽率は非常に異つてゐる。

次に、完全発育花の花粉の年齢と発芽との関係は、第1図のようである。即ち、天候によつて多少異なるが、開葯時及び、開葯 10 時間前の花粉の発芽率が最も高い。開葯後は、漸次発芽率が低下し、晴天日には、開葯後 12.5 時間に、発芽率 0 となつた。曇天日には、花粉の

第1図 花粉の年齢と発芽率

発芽力保有期間がややのびて、開薬後 18 時間即ち午後 8 時でもなお 25% 発芽した。

次に開花前日の完全発育花の花粉を使用して、花粉の発芽と温度並びに湿度との関係を調査した。なおこの場合、いろいろの化学物質を使用した。予備実験の結果、硝酸アンモニウムの飽和溶液によつて得られた 64% の湿室内及び他の薬剤によるそれ以下の湿度の湿室では人工発芽床及び花粉からの吸湿が急で使用できないことを認めた。又塩化アンモニウムの飽和溶液による 79% の湿室内でも前者程ではないが、吸湿がやや速やかであるので正確な数字ではないと思われる。硫酸ナトリウムの飽和溶液によつて得られる 82% 以上の湿室の場合には、14 時間後に漸く発芽床の重量は 0.02~0.03% の減量で、花粉の発芽試験中には、薬品の吸湿による発芽床の濃度の変化は、ごく小さく、考慮の必要のないものと考えた。

これらの湿度一定の固定瓶を、いろいろの温度の恒温器内に入れて、花粉の発芽及び花粉管の伸長を調査した。その結果は第8表のようである。

花粉は、5°C では吸水するだけで、全く発芽しない。5~8°C の間で発芽し始め、40°C でもなおよく発芽する。関係湿度 79% 以下の場合でも発芽はするが、発芽

第8表 花粉管の伸長に及ぼす温度、湿度の影響 (単位 μ)

温度 湿度	18	20	22~24	20~25	25	35	40
100%	180	195	300	382	600	180	45
98	360	525	445	495	450	300	45
94	225	375		510	360	180	
92	195	420	420	240	270	225	66
88	180	285	180	240	202	97	60
82	75	495	90	180	45	120	135
79	15	0	0	45		15	15
64	15	300	45	0	0	0	30
52	0	0	15	0	0	0	0
43	0	0	7.5	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0

第9表 花の温度処理と花粉の発芽 (開花前日の花を1昼夜温度処理)

花粉播種 前の花の 温度	同 湿 度	花粉播 種後の 温度	発芽率	花 粉 管 長		
				最高	最低	平均
30°C	76~82%	30°C 24 20	0 % 61.0 65.0	— 450 400	— 180 45	— 250 200
24	86~94	30 24 20	5.0 7.5 32.5	120 300 200	45 150 150	85 250 150
20	94	30 24 20	0 85.0 38.8	— 1000 230	— 450 150	— 800 203

率低く、94~100% の湿度の時高い。しかも、35、40°C のような高温の場合には、湿度が高くないと花粉の発芽率は低い。温度の低い場合には、高温の場合に比べて低い湿度でもよく発芽することを認めた。

第7表 花粉の発芽に及ぼす温度、湿度の影響

温度 湿度	5°C	5~8	8~11	15~18	18	20	22~24	20~25	25	35	40
100%	0%				30.0	53.7	81.0	57.2	50.3	44.0	50.0
98	0	56.0	44.5	30.0	48.5	44.0	51.6	56.3	52.6	40.0	35.3
94	0				42.7	38.9		44.5	49.6	16.9	
92	0				10.8	9.5	6.9	17.0	24.5	15.5	26.7
88	0				11.1	10.1	8.8	4.0	17.9	10.1	16.7
82	0				10.3	14.8	5.0	2.0	10.3	2.5	18.1
79	0				2.1	0	0	2.4		1.2	4.3
64	0				3.8	4.6	4.0	0	0	0	5.8
52	0				0	0	2.0	0	0	0	0
43	0				0	0	2.4	0	0	0	0
32	0				0	0	0	0	0	0	0

花粉管の伸長の大小も、発芽率と同様の傾向にあつて温度の低い場合には、花粉管の伸長し得る関係湿度の範囲が広いが、温度が高くなると、その範囲が狭く、湿度が高くないと花粉管の伸長が不良となるようである。40°C の場合には、たとえ湿度が高くて花粉管の伸長は悪い。以上の結果から、花粉の発芽率及び花粉管の伸長の適当な温度、湿度の範囲は、20~25°C、94~100% 位であらう。

次に、開花時迄完全発育をした花が、開花前日 20°C, 24°C, 30°C の各温度に 1 日 遭遇した場合、花粉の発芽が影響を受けるかどうかについて調査した。その結果は第 9 表のようである。即ち、この程度の高温にあつた花の花粉は、発芽床に播種後の温度が高温 (30°C) でなければ、よく発芽し、花粉管の伸長も良好である。即ちこの程度の高温に 1 日完全花が遭遇しても、その後の条件が良ければ高温の障害はあらわれない。しかし、発芽床の温度が高いと、たとえ湿度が高くても発芽しない。

3. 考 察

菜豆の開花運動並びに授精現象は、午前 0 時前後から始つて、早朝に完了するのが普通であるが、この間に完全な tripping の行われないような不完全発育花は、授精率が低いということは、既に、ARMSTRONG⁽³⁾、著者⁽¹⁹⁾等によつて認められたところである。本実験の結果から、昼、夜温の変化如何によつて、開花運動、開花時刻がかなり影響を受けることを認めたが、この点、御園生氏⁽¹⁶⁾は燕麦の開花現象について詳細な調査を行い、温度の人為的变化によつて開花時刻の変化することを認めている。本実験の場合も、昼間の高温が夕方遅くまで続いた場合には、午後 1~3 時頃までに高温の終つた場合に比較して、翌朝の完全開花数の少いことを認めた。わが国の温暖地に於ける菜豆不結実の時期は夜遅くまで高温が続き、同時期に於ける菜豆産地の気温は、後者のような様相を呈することから併せ考えると、菜豆が高温によつて不結実になる一因は、たとえ完全発育花でもこのように不完全開花することによつて、授精率の下ることにあるのではないかと考えられる。

花芽の分化並びに発育期間中に、高温の障害を受けた花の花粉は不稔花粉が主体で、授精能力がない。即ち不完全発育花の一形態としての不稔花粉を有する花が不結実の一因になるようである。このことは、他の作物についても多く認められているところである^(8,14)。

これに対し、完全発育花の葯中には花粉数も多く、ほとんど完全花粉で、開葯期に発芽能力が最も大きい。

開葯、授粉は、午前 0~2 時頃から始まるのであるが一方、この頃の温度が、花粉の発芽を不良にする程高温になることは、暖地の菜豆の不結実期でもごく稀である。しかも授精の完了するのは、早朝までであるから、開花時の 10 時の高温⁽¹³⁾によるか、開花期の高温による花粉の発芽不良によつて、直ちに、高温が不結実の原因とはなり難いように思われる。むしろ、花粉の発芽又は花粉管の伸長に対して、温度と同時に、湿度が大きな影響を及ぼしていると考えられる。即ち、本実験の結果から、どの程度の温度の場合でも、湿度が低いと花粉の発

芽、花粉管の伸長が不良であり、かなり高温の場合でも、湿度が高ければ結果のよいことから、一応湿度の重要性を認めることができる。この点は既報⁽¹⁷⁾のように、わが国の菜豆産地の開花期に於ける関係湿度の高いことから類推できるようである。しかし、温度の低い場合には、高温の場合に比較すると、それ程湿度について考慮を払う必要はないようである。

このように、菜豆の結実にとつては、湿度が重要な条件と考えられるが、Alfalfa⁽¹⁰⁾、Redclover⁽¹¹⁾や大豆⁽⁹⁾ではそれ程重要ではないようである。しかし、間宮氏⁽¹⁵⁾のいう葉上灌水による大豆の増収、或いは、わが国⁽¹⁷⁾及びアメリカ⁽¹²⁾に於ける菜豆産地の開花期の殊に夜間~早朝に於ける関係湿度の異常に高い点などから考えて、湿度と開花、結実との関係はみのがすことのできない重要な問題と考えられるが、この点は更に詳細な研究を必要とする。

4. 摘 要

1. 開花時刻は、昼、夜間の気温の週期的変化によつて変化し、昼間の高温が、夕方迄長く続く場合には、午後 1~3 時に高温の終る場合に比較して不完全開花率が高い。
2. 花芽の分化発育期に高温により発育障害を受けた花の花粉は、機能が極めて低い。
3. 完全発育花の花粉の発芽率は、開葯時及び、それより 10 時間前の間に於て最も高い。開葯後は、漸次発芽率が低下するが、晴天高温の場合それが著しい。
4. 完全発育花の花粉は、低温の場合には発芽又は花粉管の伸長し得る関係湿度の範囲が広いが、高温の場合にはその範囲が狭く、多湿状態でないと不良となる傾向がある。20~25°C, 94~100% 位が花粉の発芽、花粉管の伸長に適当な温度並びに関係湿度と考えられる。

引用文献

- (1) ANDREWS, F. S. (1935): Physiological factors associated with the fruiting habits of the bush lima beans. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 33.
- (2) ——— (1937): Physiological factors associated with the fruiting habits of the bush lima beans. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 34.
- (3) ARMSTRONG, J. M. and WHITE, J. W. (1935): Factors influencing seed-setting in alfalfa. Jour. Agr. Sci. 15.
- (4) BINKLEY, A. M. (1932): The amount of blossom and pod drop on six varieties of garden beans. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 29.
- (5) BOSWELL, V. R. : Growing field beans in humid areas. U. S. Dept. Agr. 223.
- (6) CORDNER, H. S. (1934): External and internal factors affecting blossom drop and set of pods in

- lima beans. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 30.
- (7) DAVIS, J. F. (1945): The effect of some environmental factors on the set of pods and yield of white pea beans. Jour. Agr. Res. 70. (7)
- (8) 藤井健雄:(1945) 蕃茄の落花に関する研究
(3) 高温が落花に及ぼす影響, 京大園芸学研究集録, 第3輯.
- (9) 福井重郎 (1949): 大豆の不稔現象, 農業及園芸 24 (5).
- (10) GRANDFIELD, C. O. (1945): A alfalfa seed production as affected by organic reserves, air temperature, humidity, and soil moisture. Jour. Agr. Res. 70.
- (11) HOLLOWELL, E. A. (1929): Influence of atmospheric and soil moisture upon seed setting in red clover. Jour. Agr. Res. 39.
- (12) 位田藤久太郎 (1949): 菜豆の結実に関する研究, 育種と農芸, 5 (3).
- (13) 岩見直明 (1950): 菜豆の生態的研究 (第2報), 落
- 花に就いて (1), 園芸学会雑誌 20 (1).
- (14) MACGINTY, R. A. and ANDREWS, F. S. (1933): Factors affecting the fruiting habits of the Fordhook Bush lima beans. South Carolina Exp. Sta. Annual Rept.
- (15) 間宮 広 (1951): 大豆畑の玉蜀黍混作が大豆の生育に及ぼす影響 (予報), 農業及園芸 26 (10).
- (16) MISONOO, G. (1936): Ecological and physiological studies on the blooming of oat flowers. Jour. Faculty Agr. Hokkaido Imp. Univ. 37 (4).
- (17) 渡辺齊・桑原勉 (1949): 苳科蔬菜の開花結実に及ぼす環境要素の影響に就て (第1報), 園芸学会雑誌 18 (3, 4).
- (18) 渡辺齊 (1953): 菜豆の花芽の發育並びに開花現象について, 千葉大学園芸学部学術報告, 第1号.
- (19) ——— (1953): 苳科蔬菜の開花結実に及ぼす環境要素の影響に就いて (第2報), 花芽分化時及び開花期の温度が菜豆の開花結実に及ぼす影響, 園芸学会雑誌 22 (2).

Summary

The blooming of bean flowers in natural conditions usually occurred about midnight to sunrise, but this blooming time varied according to the temperature of day and night, when the higher temperature of day continued until evening, the perfect tripping in next morning and setting of flowers decreased.

The activity of pollens showed the highest at the stage of anthesis and 10 hours before it.

The germination of pollen grains and growth of pollen tubes were favoured under wet conditions and moderate temperature, and optimum ones were 94~100% and 20~25°C.

抄 録

エンドウ品種の發育に及ぼす温度及び日長の影響

温室内で夜温を 50°F (日中はこれより約 10°F 高くなる) と 60°F (同上) の2通りとし, 各々を更に日照時間9時間及び16時間(第2回実験では12時間区も加える)の2区に分け, 計4区を作つてエンドウを鉢栽培し, その發育状態を調査した。用いた品種数は第1回実験8品種, 第2回実験12品種であつた。

播種から開花始迄の日数及び成熟迄の日数(突エンドウ)を見ると, 60°F 区では早生の Alaska, Surprise の2品種は日長の影響を受けないが, 他の品種 (Gradus, Alderman, Walah, Early Perfectah, Idaho Whites, Pride, Wands) は9時間日長よりも16時間日長の方が早くなり, 又 50°F より 60°F の方が全般的に早くなった。晩生の品種程長日によつて開花成熟の早

まる程度が大きかつた。短日, 低温では節間のつまつた型に Little Marvel, Walah などの品種はなるが, Alaska, Surprise などそうならない品種もある。莢の長さや1莢中の種数にも温度, 日長は多少の影響があり高温, 短日で小となる。

播種から成熟迄の積算温度を算出してみると各処理区の間にかんがりの相違が認められ, 收穫期の予測には役立たないが, 春播種期を異にしたものについて温度×日照時間を積算したものは各品種共かなり近い間を示し, 收穫期の予測には(かんづめ用の場合に必要である)より正確なことが認められた。REATH, A. N. and S. H. WITTWER: Proc Amer. Soc. Hort. Sci. 60: 301—310. 1952.