気圧による植物の発育制御*

富田 豊 雄*

東北大学農学部**

I は し が き

筆者はかつて秋まきコムギや美濃早生ダイコンのような植物にみられる春化現象は必ずしも低温処理によなくても、何か他の外的要因すなわち大気圧とか音波等の処理によっても同様な現象が起るのではなかろうかと考え、まず空気の圧力を変えて上述の植物の発芽種子を処理することを試みた。その結果それらの植物の発育に何らかの変化が起り、あたかも低温処理によって誘引された春化現象のように花成促進現象を認めたので次に報告する。

II 材料および方法

1) 予備実験

筆者がはじめて試作した空気圧種子処理装置は非常に簡単なもので、リヤカーのチューブを利用したものであった。すなわち長さ約 40 cm のリヤカーのチューブをトタン製円筒の中に入れ、まず一端を折曲げてたたみ、そのたたんだ所を 2 枚の板ではさんで蝶ネジで締めつけて閉じた。次にチューブの他端から約 100 粒の発芽した

図 1 1957年に試作した空気圧種子処理器

- A: エアポンプのノズル F: 蝶ネジと2枚の板
B: バルブ G: リヤカーのチューブ
C: 布切れ H: 湿ったヴァーミキュライト
D: 円筒に巻きつけた細紐 I: 発芽した秋まきコムギ種子
E: トタン製円筒

* Toyoo TOMITA: Plant Growth Control by Air Pressure.

** Faculty of Agriculture, Tohoku University, Sendai.

- 1) 土と砂と腐葉土をそれぞれ等量ずつ混合したもの。
- 2) 各鉢に3粒ずつ播種し、十分に水をかけてから15~20℃の実験室内に1週間放置、その後間引きを行なって1鉢あたり1個体にした。

ばかりの秋まきコムギ種子(農林 58 号)を湿ったヴァーミキュライトと共にに入れてから前と同様に蝶ネジで閉じ、両端を布切れと細紐で括ってから最後に空気ポンプで空気を送りチューブ内のコムギの発芽種子に圧力を加えた。図1は筆者が1957年に試作した空気圧種子処理装置を示すものである。

2) 加圧実験

最近筆者はふたたび(1)の実験を改めて行なうために図2に示したような空気圧による植物用加圧装置の改良型を作った。すなわちエアコンプレッサー(日立ベビコン, TFO-KS型)とオートクレープ釜(内径 35, 深さ 85 cm)を丈夫なプラスチックチューブで連結し、自動弁を調節して釜の圧力が常に 3.5 気圧から 4.5 気圧の間を上下するようにした。このようにして作った装置のオートクレープ釜の中に、コンポスト¹⁾をつめた Jiffy-pot (直径 6 cm の移植用泥炭鉢)にあらかじめ播種し発芽させておいた秋まきコムギ(ナンブコムギ)の苗²⁾ 20 鉢および美濃早生ダイコンの苗²⁾ 12 鉢を納めたのち、エアコンプレッサーから空気を送り込んだ。

この際自動弁の働きでオートクレープ釜の中の圧力が 4.5 気圧(圧力計の目盛で 3.6 kg/cm²)に達するとエアコンプレッサーの作動が停止し、オートクレープ釜の下方についているバルブから少しずつ空気を洩らすことによって3時間後に 3.5 気圧に下がるとエアコンプレッサーが自動的に作動してふたたび 4.5 気圧に戻った。このようにしてオートクレープ釜の中(暗黒)で2種類の植物の幼苗に圧搾空気による圧力処理を10日間施した。空気の漏洩を謀った理由は植物体から生ずる炭酸ガスをオートクレープの釜の外に排除するためであった。

対照区は次のようにした。すなわち 40×40 cm のホーローびき鉄製のコンテナに上述のコムギの鉢 20 コ、大根の鉢 10 コを入れて蓋をし、1気圧一室温一暗黒の条件下で10日間栽培した。この期間中数回蓋を瞬間的に開き容器内の通気を行なった。

対照区のほかに春化処理区をも設けた。すなわちコムギの鉢を 20 コ、ダイコンの鉢を 12 コを 5℃の冷蔵庫に10日間保存した。

図 2 1963 年の改良型空気圧処理装置

A: エアコンプレッサー C: 圧力計
B: オートクレープ釜 D: 圧力調節用自動弁

以上のようにして 10 日間の処理が終了と各区のすべての黄化植物体を実験室の机の上に 2 日間置き、処理期間中の異常環境から普通の生育環境に馴らすようにした。その後ダイコン苗を Jiffy-pot に植えたまま 15×15 cm の素焼鉢に移植し、昼間温度 30°C、夜間温度 20°C の温室内で 12 月から 2 月にかけての自然日長（短日）条件下で栽培した。他方のコムギ苗はガラス室内の苗床に移し、この季節の自然日長および 150 W の白熱電燈 4 コの照明による 24 時間日長の条件下で栽培した。電球は植物葉面から 150 cm の高さに 1 m おきに直線的に吊し、苗床の下には 500 W のニクロム線を走らせて保温に努め

図 3 発芽種子減圧処理装置

A: 真空ポンプ B: 恒温真空乾燥機
X: 対照区に使用したホローびき鉄製コンテナー（部分）

* N: 40, P: 20, K: 20, Mg: 5, Ca: 4, Fe: 5 ppm
の混合溶液。

たが、ガラス室の昼間温度は、15°~27 °C で夜間温度の最低は 2 °C であった。苗床には毎回 1 回散水し、ときどき硫酸の稀釈液を如露で与えた。

3) 減圧実験

筆者はまた 1 気圧より低い空気圧で秋まきコムギ（ナンプコムギ）の発芽種子を処理してみた。すなわち図 3 に示すように恒温真空乾燥機（内径 23 cm、奥行き 50 cm）と真空ポンプを肉厚のゴム管で連結し、Jiffy-pot にあらかじめ播種し籾葉を伸ばしはじめたコムギの発芽種子を乾燥機の中に入れて 1/2 気圧の減圧条件下で 10 日間処理した。もちろん乾燥機のチェンバー内は暗黒にし、温度は 20°C 前後に保った。このようにして減圧処理され

たコムギ苗は(2)の場合と同様に、実験室内の散光下に数日間放置し、その後の普通の栽培環境に馴れさせた。次に砂を充たし 50×70×15 cm のコンクリート製容器に 10 cm の距離間隔で 12 カ所に移植し、稀釈水耕液*を 3 日に 1 回ずつ如露で注ぎ砂耕法で 6 月から 9 月までの真夏の自然条件下で栽培した。なおこの実験の対照区は(2)の場合と同様に鉄製のコンテナー内に 10 日間保ったのち、実験室においてかたくしてから砂耕に移された。

4) 酸素、窒素および炭酸ガスによる加圧実験

これまで述べた 3 つの実験はいずれも空気の高くしたり低くしたりして植物体を与えたものであるが、空気圧処理によってみられる植物の発育の変化が空気を構成している酸素や窒素や炭酸ガスの濃度によるのかどうかを調べるために次のような 2 つの実験を試みた。

(1) 酸素および窒素ガスによる加圧実験—

図 4 に示すようにポンプカロリメーターのポンプ（容量 300 cc）に播種後 3 日目の秋まきコムギ（ナンプコムギ）の幼苗を 12 個体入れ、珪砂を少量入れて水で湿らせたのちポンプの蓋をしめた。次に酸素ポンプあるいは窒素ポンプとポンプを細い金属製パイプで連結し、最初暫らくの間ガスをオーバーフローさせて空気を排除してから 4 気圧になるまで酸素または窒素ガスをポンプの中に封じ込み、その後 3 日目にポンプの中の植物体を観察した。

2) 1 気圧下における酸素、窒素、炭酸ガスおよび混

図 4 酸素あるいは窒素ガスによる加圧装置

- A: ポンプカローレーター・ポンプ
B: 酸素または窒素ボンベ
C: 圧力計
D: 細い金属製パイプ

合ガスによる処理実験—上記 1) の実験のように特に圧力を高めずに 1 気圧の条件下で酸素や窒素や炭酸ガスおよび組成を異にした混合ガスで同じコムギ種子を処理してみた。処理区は次の 7 区とした。すなわち (a) 空気 (対照区、酸素 1 容: 窒素 4 容), (b) 酸素 100%, (c) 窒素ガス 100%, (d) 炭酸ガス 100%, (e) 窒素ガス 50%+酸素 50%, (f) 炭酸ガス 20%+酸素 80%および (g) 炭酸ガス 50%+酸素 50%の各区である。

図 5 に示したようにあらかじめ広口瓶 (容量 1,000 cc)

図 5 気圧の酸素、窒素、炭酸ガスおよび混合ガスによる種子処理装置

- A: 1,000 cc 容量の広口瓶
B: 酸素 (あるいは窒素、炭酸ガス) ボンベ
C: 酸素 (あるいは窒素、炭酸ガス、それらの混合ガス)
D: 水
E: 秋まきコムギの種子
F: 珪砂
G: 容積を 10 等分した目盛
H: ゴム管
I: ピンチコック

の中に珪砂を底から 2 cm になるまで入れ、残りの容量を 10 等分する線を瓶の壁に印した。次に 20 粒のコムギの種子を珪砂の上にまき、静かに水を注いで充たしてから、図 5 のように片方は瓶の底までとどく長いガラス管、もう一方は短いガラス管をさしこみ、それらの管の上部にゴム管のついているゴム栓で広口瓶に蓋をした。それから短い方のガラス管の上方から酸素、炭酸ガス、窒素、あるいはそれらのガスを瓶壁の目盛を見ながらかわるがわる入れて混合ガスを瓶中に詰めると同時に長い方のガラス管の上端から瓶内の水を排除した。水がほとんど排除されるや否や直ちにガラス管の先についているゴム管をピンチコックで閉じて空気の流入を防いだ。

以上のようにして作った 7 つの瓶を黒ビニールで包んで 20°C のグロースキャビネット内に 3 日間置き、4 日目にガス処理を打ち切り

ゴム栓をとり去った。それから瓶に入っているまま 1 週間実験室の散光下に放置したのち、コンポストをつめた 25×11×10 cm のプラスチック容器に 6 個体ずつ移植し、(2) の実験で述べたガラス室で 24 時間日長条件下で栽培し、花成が早められるかどうかを観察した。

III 結果および考察

1) リヤカーのチューブを利用した空気圧種子処理装置では構造が貧弱であったため十分な空気圧を発芽したコムギの種子にかけることができず、どの程度の圧力がかかっているのかも測定することができなかった。しかしこのような装置で 2 週間処理されても植物体は枯死しなかったが、対照区に比べて葉や第 1 葉の長さは短く、発根もまた著しく阻害されていることを認めた。これは容積の小さいチューブの中に比較的多くの種子が入られ、しかも処理期間が長かったために空気による圧力よりも炭酸ガスの影響があったものと思われる。

2) オートクレーブ釜の中で平均 4 気圧の空気圧を加えて 10 日間処理した秋まきコムギや美濃早生ダイコンの植物体は対照区と比べていずれも著しく早く花開し、図 6, 7 にみられるようにあたかも低温処理を受けて春化されたような現象を呈した。

圧搾空気により加圧処理された秋まきコムギは最初節間伸長し、低温処理区よりも早く出穂した。図 6 は 1964 年 2 月 24 日 (出穂開始後 3 日目) に撮影したものである。

図 6 空気圧による加圧処理で花成が促進された秋まきコムギ (中央)

左端は対照区, 右端は春化処理区.
1963年12月1日播種, 1964年2月24日撮影.

図 7 空気圧による加圧処理で花成が促進された美濃早生ダイコン (中央). 左端は対照区, 右端は春化処理区.

1963年12月1日播種, 1964年2月24日撮影.

図7は 1964 年 2 月 17 日すなわち加圧処理後 63 日目に写真を撮ったものである。加圧区は 2 月 8 日に開花し始め 24 日までは 11 個体が開花を完了した。低温処理区 (春化区) のダイコンは加圧区より 4 日おくれた 2 月 12 日に開花しはじめ 2 月 24 日までに 8 個体が開花

した。対照区は 2 月 24 日現在では全部ロゼット状を呈し、数本は太い根部を一部地上にあらわし、明らかに栄養生長期にあることを示した。対照区の開花はずっとおくれ 3 月に入ってから花をつけはじめた。表 1 と表 2 に秋まきコムギおよび美濃早生ダイコンの個々の植物体の開花 (出穂) 日を示す。

このように空気による加圧処理をうけた秋まきコムギや美濃早生ダイコンが著しく花成を早めたのは、それらの植物の発芽種子が異常環境下におかれたために彼等の発育の過程 (代謝系) に何らかの変化が起り、栄養生長期が短縮されたことによるものであろう。

小島、前田ら (1958)⁽¹⁾ はダイコン苗の双子葉を除いた部分を石膏の中に埋めて物理的に圧力をかけた結果花成が促進されたと報告したが、この場合も筆者の行なった空気圧による加圧処理により起った現象と関連があると思われる。しかし物理的に圧力を加えることだけがこの報告に述べた花成促進の原因ではなさそうである。というのは次に述べるように空気圧を低く (1 気圧より) した減圧処理によっても花成が促進されるからである。

WENT⁽²⁾ は圧搾空気による加圧処理で起った花成促進現象はエアコンプレッサーからオートクレーブ釜の中に入れて来た非常に微量な揮発性炭化水素も関係しているのではなか

ろうかとの推論をしているが、空気を濾過し完全に清浄な状態にすることは非常に困難であると思われるので、この問題についてはここでは触れないことにする。

3) 1/2 気圧の減圧処理によっても秋まきコムギの出穂が早められることが認められた。減圧処理区のコム

表 1 空気圧による加圧処理区, 春化処理区, 対照区の秋まきコムギ (ナンプコムギ) の各個体の出穂日および各区の主稈葉数

(1963年12月1日播種)

処理区	出穂月日 1964								主稈葉数
	2月 25	3月 1	5	10	15	20	25	30	
加 圧 区	•	•	•	•	•	•	•	•	9—11
春 化 区			•	•	•	•	•	•	9—11
対 照 区				•	•	•	•	•	12—14

表 2 空気圧による加圧処理区、春化処理区、対照区のみ濃早生ダイコンの各個体の開花日

(1963年12月1日播種, +印: 生育途中で損傷)

開花日 1964 処理区	2 月					3 月				
	10	15	20	25	1	5	10	15	20	25
加 圧 区	..	..	..	..	.					
春 化 区		..	..	.	..					(+)(+)
対 照 区							..	..	..	(+)

ギが8月下旬に出穂を開始し9月半ばまでほとんど出穂したのに反し、対照区は10月はじめになって漸く出穂の兆がみられた。この減圧処理による出穂促進現象はおそらく発芽種子をとりまく外気の酸素の濃度が低いために異常な代謝が営まれた結果によるものであろう。

4) (1) ポンプカロリメーターのポンプの中で4気圧の酸素あるいは窒素ガスで秋まきコムギ苗を3日間処理した結果、いずれの場合もポンプ内の植物体は3日目には完全に潰死していることが観察された。このことはおそらく4気圧の酸素の中では呼吸が盛んになりすぎて消耗が著しかったからであらうし、4気圧の窒素が

スの中では呼吸が停止し窒息したものと考えられる。

(2) 上記の実験で4気圧の酸素も窒素も3日以内にコムギの幼苗が潰死することがわかったが、1気圧に圧を下げた場合、あるいは1気圧の炭酸ガス、組成を変えた混合ガスで処理した場合の結果を表3に示す。

図8は処理終了後1週間目(処理開始後10日目)にプラスチック容器に移植する時に撮影したものであるが、この写真の示すように空気や酸素の中で発芽したコムギ苗は草丈が長くなっているが、窒素ガス、炭酸ガスおよび混合ガスの中で発芽したコムギの苗は前の2者に比べると一段と短かく、なかんづく炭酸ガス中で発芽したものが一番短かった。これらの苗を移植してその後の発育を観察したが、数週間後には茎葉の繁り方に差が認められなくなり、出穂期もほとんど同じであった。

この実験の場合は未発芽種子を、しかも3日間という短期間で処理したために発育に著しい変化がみられなかったのかもしれない。

酸素や窒素や炭酸ガスの組成をいろいろ変えてそれらの混合ガスの植物体の発育におよぼす影響について今後さらに慎重に探究する必要がある。

以上述べた4つの実験結果から総合して考えると、秋まきコムギや美濃早生ダイコンのような植物体の幼苗期に空気の圧力の異常な状態にある期間置くと、植物体内の代謝系に変化が起こり発育が異常になってくる。そして空気の圧力が高い場合も低い場合も花成が早くなるが、加圧処理と減圧処理がこのような植物の花成におよぼす

図 8 1気圧の酸素、窒素、炭酸ガスおよび混合ガスで3日間処理され、その後1週間経過した秋まきコムギの幼苗

表 3 1気圧の酸素、窒素、炭酸ガスおよびそれらの混合ガスの中で発芽させられた秋まきコムギ(ナンプコムギ)の処理期間中の発育状況

処 理 区	処理開始後日数			1 日 後	2 日 後	3 日 後
	1	2	3			
(a) 空 気 (対照区)	未	発	芽	発芽・発根開始	発芽・発根開始	発根 拔 群
(b) 酸 素 (100%)	未	発	芽	発芽・発根開始	根の生長をみる	根の生長対照区ほど旺盛ならず
(c) 窒 素 (100%)	未	発	芽	未	発 芽	未 発 芽
(d) 炭 酸 ガ ス (100%)	未	発	芽	未	発 芽	未 発 芽
(e) 窒素(50%) + 酸素(50%)	未	発	芽	発芽開始直前	発 芽 開 始	発 芽 開 始
(f) 炭酸ガス(20%) + 酸素(80%)	未	発	芽	発 芽 開 始	発 芽 開 始	発 根 開 始
(g) 炭酸ガス(50%) + 酸素(50%)	未	発	芽	未	発 芽	発芽開始直前

作用機作はいまの所わかっていない。しかし空気以外のガス体を用いて加圧処理すると植物体は間もなく潰死することから、加圧処理実験に関するかぎり酸素だけでも、あるいは窒素ガスだけでも、これらの植物の花成を促進させるような処理はできないのではなからうか。

この一連の実験で空気圧の高低が植物体のその後の発育を変えることが知られたが、加圧の場合も減圧の場合も植物幼苗の生命を持続させる限界圧力があることは確かである。どの程度の空気圧でどの位の期間処理すればもっとも花成が早まるか、つまり最適圧力と最適処理期間を知るべく現在研究中である。

IV 摘 要

空気の圧力(気圧)という環境要因で秋まきコムギや美濃早生ダイコンのような植物の発芽種子あるいは幼苗を4気圧で10日間処理したのち、普通の栽培条件下で栽培すると、ちょうど低温処理によって春化されたように花成が著しく花成が促進された。また1/2気圧の減圧

処理を10日間処理を行なっても秋まきコムギの花成が早められた。しかしこの気圧処理による花成促進現象を調べるために4気圧の酸素や窒素ガスあるいは1気圧の酸素、窒素、炭酸ガス、これらのガスの混合ガスで処理してみたが3日以上処理することはできず、空気を用いた場合の加圧処理によるような花成促進現象はみられなかった。

加圧処理および減圧処理を行なう場合の最適圧力および最適処理期間があるものとして研究中であるが、それらについては今後の研究結果に俟つ。

文 献

- (1) KOJIMA, H. and MAEDA, S. 1958 Promotion of flower-initiation by restraining the vegetative growth in the Japanese radish. Bot. Mag. Tokyo, 71: 246-253.
- (2) WENT, F. W. 1964 Personal communication, Dept. Botany, Washington Univ., St. Louis, Mo., U. S. A.

原 稿 の 募 集

会員のみなさまからの投稿をお願いします。去る8月18日の役員会で従来の投稿規定を若干変更しましたので、御投稿いただくときは本号60頁の投稿規定を御参照の上、編集幹事までお送りください。

会員加入および会費納入のお願い

生物環境調節に関心のある方々は御入会ください。会員には正会員(会費年800円)、団体会員(会費年3,000円)、賛助会員(会費年1万円)の別があります。下記にお問合わせください。

39年度会費未納の方は同封の振替用紙その他御便宜の方法でお送りください。

東京都文京区向ヶ丘弥生町
東京大学農学部農業工学教室内

日本生物環境調節研究会

振替番号 東京 76801
電話東京812-2111
(内線)7145, 4153, 6655