

野菜種子の被覆整形と単粒播種に関する研究

矢 田 貞 美

要 約

矢田貞美 (1984) : 野菜種子の被覆整形と単粒播種に関する研究。広島農試報告 47 : 1 ~ 84

野菜の被覆種子の製法を中心に、被覆種子の播種精度や直播および移植体系において、単粒播種を前提とした被覆種子の利用方法とその省力効果をまとめたものである。

転動方法で種子を被覆整形すると、被覆粒径を大きくするほど単粒被覆率は低下するが、流動方法では小粒種子でも高かった。結合剤の添加は被覆層の強度面から水溶液にして噴霧するのが効果的であった。被覆層にクラックを生起させると発芽が良好で、そのためには数パーセントの疎水剤を使用するとよい。被覆の強度は被覆層の強度面から200メッシュ以下の微粉が70%以上含有する粉体が好適した。被覆種子の断面形状は、造粒筒内における種子の流動が良好な場合には、種子が被覆粒の中心に位置するとともに3層に被覆した各層が等厚な円形をなした。種子への被覆層形成物質の付着量が実験値と近似する理論式を提示した。被覆整形種子は外観から種子の種類の識別が困難なほど物理性状が斉一化された。被覆層の強度が5N以上では被覆層の損耗は認められなかった。被覆種子の貯蔵可能期間は裸種子のそれと同程度であった。

被覆整形性が良好で球形なほど播種精度が良好で、種々な播種機構でも96%以上単粒播種できた。

I 結 言

近年、野菜の栽培管理技術は著しく進歩したが、その前作業である播種および育苗の省力技術の開発は遅れ、あまり改善されていない。その原因は、直播体系・定植体系ともに、単粒精密播種がネックとなっているためである。播種とこれに関連した諸作業が省力化できないのは、同一品種の種子でもその大きさや形状などの物理的性状が異なり、種子の高精度な繰り出しが極めて困難なためである。

そこで、精選種子を適当な材料で被覆整形して、種子の見掛けの物理的性状を斉一化し、種子に機械適応性を付与すれば、播種精度を高めることができると考えられる。これまでに、播種精度の向上対策として、崎山ら (1972) が増量剤の使用⁹⁰⁾を、入子ら (1968) および梅原ら (1968) がシード・テープ⁹⁷⁾を、また静電気 (1978) の利用も^{79,116)}試みられたが、単粒播種は困難であった。種子の物理的性状を斉一化して播種精度を

高め、出芽後の間引き作業の省力化を図ることを目的とした少量精密播種に関する研究は、最初にBurgesser (1950) によりビート⁸⁾で試みられた。それは、種子を単粒ずつ適当な材料で一定の大きさに被覆整形し、種子の見掛け上の物理的性状を斉一化する方法である。しかし、被覆 (コーティング) 種子は裸種子 (無被覆) に比べて発芽が安定せず、しかも価格が高いため、単胚種子の育成が進むと、被覆種子の利用は普及しなかった。その後、Zinkら (1967) がセルリー¹³²⁾で、MoCOYら (1969) がレタス⁵⁴⁾で種子の被覆を試みたが、被覆種子は裸種子より発芽が悪かった。なかでも、レタスでは土壌水分が多いと被覆種子の発芽が悪く、キャベツでも同様なことを指摘するMillerら (1971) の報告⁵⁵⁾がある。

わが国においては、未沢ら (1960) がビート⁹⁷⁾で立枯病の予防を目的として、混入薬剤の種類と効果を追求し、関口ら (1975) は同じくビート¹⁰⁰⁾で、被覆すると

発芽が遅延するうえ、Stanhay 播種機で単粒播種精度が90%程度と不完全なことを報告している。関口らの写真から判断すると、被覆層に大きな凹凸が認められ、整形性が不十分なためと考えられる。また、内藤(1963)はムギ類⁶⁶⁾で、井口(1965)は水稻³⁶⁾で、それぞれ発芽障害のないことを報告している。しかし、タマネギ(1962)では被覆すると無処理に比べ発芽が遅延したり、被覆層の強度が弱く剝離するため、播種機の種子繰り出し装置にこの剝離した被覆用粉体が滞留し、種子の繰り出し不良を生ずるなどの欠点を克服できなかった⁸⁵⁾。

この種子の被覆整形方法に関する研究には、Jordanら(1967)、内藤(1963)、広田(1972)、関口(1975)および藤田(1969)の報告があり、いずれも転動あるいは打錠方法^{14, 39)}である。転動方法^{14, 19, 20, 36, 66, 89, 100)}では、イネやムギ類のような大粒種子の単粒被覆精度は高いが、野菜や牧草あるいは芝種子のような小粒種子の単粒被覆精度は低く、打錠方法でも小粒種子に対しては能率が低く、高圧に耐えられる限られた種子にしか利用することができない。

被覆整形材料としての被覆用粉体については、Copemanら(1960)、内藤(1963)、井口(1965)、Zinkら(1967)、Millerら(1971)、広田(1972)、穂波(1975)、関口(1977)、T. Miyamoto(1957) During(1962)、Murguíaら(1964)および中村ら(1976)の報告^{9, 10, 19, 23, 36, 55, 62, 63, 66, 70, 102, 136)}があるが、発芽性や経済性あるいは作業性などの面からの十分な報告はなく、被覆層の結合材料についても同様である。

また、被覆整形後の種子の乾燥方法、被覆種子の貯蔵性および輸送手段を想定した被覆層の損耗についての報告は見当たらない。被覆種子を利用した単粒播種に関する研究には、常松ら(1961)、岡村ら(1966)、大原ら(1971)およびGreigら(1976)の報告^{17, 83, 84, 112)}があるが、いずれも被覆層の強度が弱いと十分な成果をあげていない。

一方、被覆種子を利用して精密播種した直播栽培の間引き作業の省力化について、山口ら(1972)はビートにおいて無間引き栽培の可能性を報告¹²²⁾している。しかし、Zink(1967)はセルリー¹³²⁾を点播した場合の実験で、間引き作業の省力効果は認めているが、被覆種子の発芽が不良で、間引き後の残り株数が少なく収量が低下した。被覆種子を利用して精密播種し、移植および間引き作業を省略した省力的育苗作業も研究されている。未沢ら(1964)はビート種子表皮の凸部を研削した研磨

種子⁹⁶⁾を、播種板で繰り出すことを試みたが、播種精度が不十分であった。そこで、被覆種子の利用¹¹²⁾が常松ら(1960)によって試みられたが、被覆層の強度が弱く機械播種に耐えなかった。その後、大原ら(1971)により真空吸引式播種機⁸⁴⁾が開発されたが、無被覆のビート種子で単粒播種は85%しかできなかった。しかし、オランダで被覆種子を利用したソイルブロック育苗が開発され、広く普及した。

直播栽培では、播種量が少なく初期生育の遅れが懸念される。生育初期にはある程度栽培密度が高い方が、各個体の生育が良いといわれている。この隣接個体間の競合現象を常識的に考えると、競争が激しくなれば生育の揃いが悪くなることが想定される。三寸エンジンでは、栽植密度が密の時初期生育はむしろ促進されるが、収量には無関係なことが吉良ら(1952)によって報告⁵⁰⁾され、ビートでも栽植密度の密なものほど生育初期の乾物生産が高いが、生育後期にはほとんど差がなくなること⁴⁶⁾を、堅木ら(1976)が報告している。

このように、単粒播種とその利用技術については多くの研究者によって関心が持たれ、播種機の改良および被覆整形による種子の物理的性状の向上などが研究されてきた。しかし、種子の被覆整形に関する実用的報告は少なく、なかでも単粒播種を目的とした種子の被覆整形、あるいは播種精度と好適な播種機の利用法から圃場での栽培管理までを、体系的に慣行と比較実証した報告ははなはだ少ない。

本報告は、このような背景と着想にもとずき、1971年から1980年に至る間、発芽に支障なく野菜種子を被覆整形する被覆種子の製法に関する技術の確立と、これらの実用化を目的として、被覆種子を直播体系や育苗体系に利用し、その省力効果までを追求した結果をまとめたものである。

Ⅱ章は被覆種子の製法に関するもので、従来法とは全く異なる新しい手法を提案し、良好な被覆種子の発芽性を確保する被覆材料について記述した。また、被覆層への殺菌剤混入による苗立枯病の予防効果と、被覆層への肥料混入の有効性について検討した。次いで、裸種子と被覆種子の貯蔵性について比較検討し、被覆種子の貯蔵性は裸種子のそれと同等であることを明らかにした。さらに、被覆種子の物理的性状について調査し、被覆種子の外観から野菜種子の種類を識別することは困難なほど、物理的性状が斉一化されることを、また被覆層の強度が5N以上あれば機械播種に耐えることを明らかにした。

Ⅲ章では繰り出し機構の異なる4種類の播種機を供試

して、被覆種子の播種精度を調べ単粒播種の可能なことを明らかにした。Ⅳ章では、直播体系において被覆種子を利用して少量精密播種する際の留意事項と、被覆種子

を利用した栽培結果について、Ⅴ章では被覆種子を利用した直播および育苗作業の省力効果について述べた。また、Ⅵ章では本研究の成果をとりまとめて総括した。

Ⅱ 種子の被覆整形

1. はじめに

野菜は種類および品種が多く、同じ品種の種子でも大きさと形状あるいは比重等の物理的性状が異なり、間引きをしないでも良い程度に斉一（単粒）に播種することは困難である。播種精度の向上要因を播種機の構造から判断すると、種子の大きさ、形状、比重および安息角などの物理的性状を斉一にすればよいと考えられる。すなわち、精選された発芽率95%以上のいわゆる優良種子を被覆整形して、種子の物理的性状を斉一にすれば、播種精度が向上して少量精密播種が可能となり、間引き作業を簡略化することが容易になると考えられる。種子の被覆整形に関しては、わが国ではビートの苗立枯防除を目的として研究され⁹⁶⁾、その後ビートの播種間引き作業の省力化のため^{100, 101)}、また水稻では^{32, 36)}直播栽培における出芽歩合を高め、苗立ちを良好かつ安定にする目的で研究されてきた。一方、野菜においては、播種および間引き作業の簡略化を目的として、タマネギ⁸⁵⁾、セルリー¹³²⁾、コマツナ⁶⁶⁾、カブ⁶⁶⁾およびレタス^{55, 57, 66)}などの種子の被覆が行われている。その外にはタバコ¹⁴⁾、牧草^{9, 10, 19, 20)}などで若干の研究がされている程度にすぎない。これらの研究によると、供試した種子は被覆により発芽率が低下したり¹⁰⁰⁾、2~3日発芽が遅れたり^{85, 100)}機械播種した場合は被覆層が剝離し、その粉体が播種機の種子繰り出し機構に詰まって播種精度が低下したり⁸⁵⁾することが報告されている。ところが、水稻種子ではこのような被覆による障害はみられず、無被覆種子と全く同様である場合が多い^{32, 36, 52, 66, 70)}。

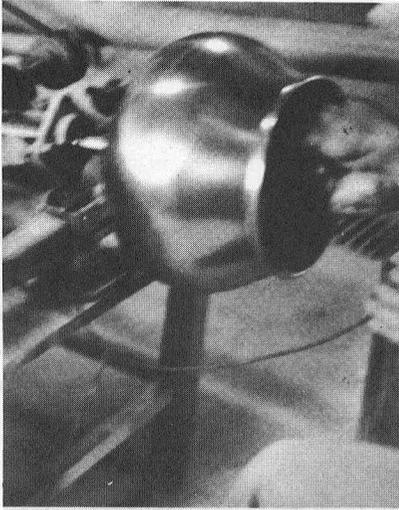
一方、種子の被覆整形の方法や装置についての研究は少なく、また被覆整形用粉体と、これに用いる結合剤などの理化学的特性についての報告は見当たらない。さらに、被覆種子の貯蔵性や、被覆種子を利用した育苗あるいは本圃の栽培についての報告はほとんど見当たらない。そこで、これらの関係を明らかにするため、1971~1980年に、野菜種子を被覆整形する場合の好適な方法と装置、

被覆整形に好適な粉体および結合材料の特性とその種類を探索した。これとともに、被覆整形直後における被覆種子の乾燥条件を究明し、被覆種子の物理的性状と貯蔵性との関係、ならびに被覆層に混入した殺菌剤および化成肥料などの有効性を調べ、併せて被覆種子の輸送中における振動などによる、被覆層の耐損耗性についても検討した。

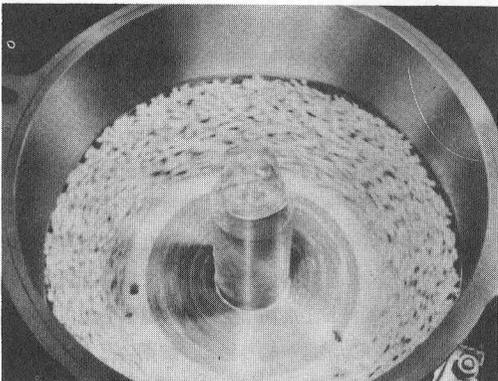
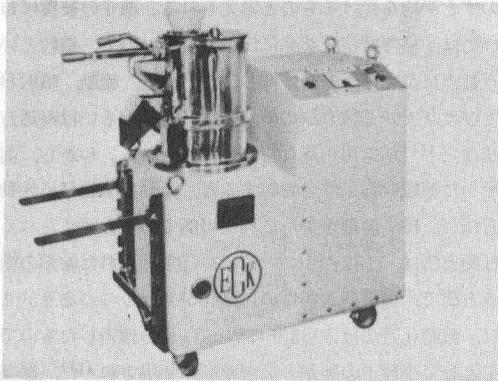
2. 種子の被覆整形方法および被覆整形装置

種子はその特質上熱および圧力がかけられないし、被覆整形中における種子の吸水は最小限におさえないと、発芽力が低下し貯蔵期間が短くなるので、その製法はおのずと制約を受けるものと考えられる。種子の被覆においては、被覆層が医薬品に比較して厚いので、造粒という観点にたてば、転動、押し出し、噴霧、流動、噴射およびカプセル造粒方法の外、静電気方法あるいは浸透方法など¹¹⁴⁾が応用可能な方法と考えられる。しかし、前記した被覆制約条件を考慮すると、転動方法並びに流動方法が、種子の被覆整形に利用可能であると考えられる。転動方法は、1837年にフランスで開発された錠剤の糖衣方法で、爾來糖衣操作の自動化が発展しつつある。また、流動化方法は1953年にWusterの報告したもので、主として小粒子の製剤の被覆整形に利用され¹¹³⁾、医薬品の被覆整形には、この両者が一般的に利用されている。

転動方法では、錠剤を被覆整形する際の結合剤水溶液の噴霧にあたって、錠剤相互の付着をさけるために、一度に多量の結合剤水溶液を用いることが不可能で、被覆整形に長時間を要し、且つ被覆の均一性を保つのに熟練を要する。一方、流動方法では、被覆整形作業中に被覆層の乾燥が効果的に速やかに行われるため、被覆整形の所要時間が短く、装置の自動化が容易で転動方法より熟練を要さず、顆粒および粉末などに被覆整形が可能である反面、小粒子の飛散が起り易く、錠剤などでは滑らかな被覆表層が得られない¹¹⁴⁾などの欠点も認められている。また、流動方法では、顆粒や粉末などの小粒子の被覆には粒度の揃ったものが望ましく、結合剤水溶液は各



2・3-1 図 パン装置



2・3-2 図 整粒機

注 上図は外観を，下図は整粒状況を示す。

被覆段階の粒子相互間の付着をさけるため，転動方法よりも若干濃度の低いものを用いなければならないとされている¹¹⁴⁾。それ故，転動方法で可能な錠剤の被覆整形には，流動方法でも可能である。これらのことから，種子の被覆整形には転動および流動方法が好適するものと考えられる。

2・3-1表 転動方法による被覆粒内の平均種子数(1972)

種類	被覆種子の粒径 mm				
	2~3	3~4	4~5	5~6	6~8
ハクサイ	2.3	3.7	5.4	0	0
キャベツ	2.4	3.8	5.6	0	0
レタス	2.8	6.5	0	0	0
ニンジン	3.6	7.9	0	0	0
ダイコン	0	0	1.4	1.8	0
イネ	0	0	1.0	1.1	1.1

3. 転動被覆整形

医薬品の錠剤用の被覆に使用される転動方法によって，種子の被覆整形が可能かどうかを究明するため，1972～1973の両年にわたって次の実験を行った。

1) 実験材料および方法

1971年に採取した市販種子のダイコン‘みの早生1号’・‘同2号’および‘平安時無’，ニンジンの‘チャンテネーインブルーブド’・‘黒田五寸’およびハクサイの‘王将’を1972年に供試し，被覆整形粉体にはミクライト，シリカセルおよびベントナイトを40：40：20の重量割合で混合したものを，また結合剤にはアラビアゴム5%水溶液を使用した。

転動方法には試作のパン装置と市販の整粒機〔エックマルメマルメライザー(Q-230型)〕を用いた。パン(2・3-1図)は深さ10cm，直径40cmのナシ型で，被覆整形時の回転数は30～35rpmであった。一方，整粒機(2・3-2図)の造粒機構は2mmピッチの波板(深さ；0.7cm)の整形板で被覆整形するもので，回転

数は被覆時で300 rpm、整形時で480 rpmであった。操作は両機種とも先ず被覆槽に種子を入れ、種子へ結合剤水溶液を噴霧した後に粉体を供給することを交互に繰り返して被覆した。被覆精度は被覆粒内の種子数で示し、併せて被覆整形所要時間を調査した。

2) 実験結果および考察

転動方法によると、両機種(Q-230型およびパン)とも種子を単粒ずつ被覆整形する単粒被覆は、大粒種子では比較的容易であったが、小粒で不整形な種子では極めて困難であった。すなわち、イネのような大粒種子ではほぼ80%、ダイコンのような中粒種子では40~50%、ハクサイやキャベツのような小粒種子で20~40%、小粒で不整形なニンジン種子では10%程度しか単粒被覆できなかった。しかも、2・3-1表で明らかのように、被覆粒径を大きくすると単粒被覆率は低下し、その傾向は種子が小さくて不整形なものほど著しく、被覆粒内の平均種子数は、ニジンの場合被覆粒径が3~4mmで7.9粒、同2~3mm粒径では3.6粒であった。なお、被覆整形時間はQ-230型でほぼ40~60分、パンでは60~90分程度を要した。このように、転動方法による種子の被覆整形は、種子の粒径が小さいか不整形、あるいは小さくてしかも不整形の場合には、単粒被覆率が低くなった。この原因は、結合剤水溶液の噴霧によって、種子が相互に付着しやすく分離が不十分のために、種子相互間および種子と、被覆整形機のパン内壁などの接触摩擦による種子の転動化が不円滑となり、種子の複粒被覆率が高くなるためと考えられる。しかも、このように一旦種子が相互に付着すると、そこへ被覆整形用粉体の散布および結合剤水溶液の噴霧が連続的にされるので、これを分離するのは極めて困難となり、単粒被覆率が低下するものと考えられる。

転動方法では、結合剤水溶液の噴霧と被覆整形用粉体の散布を交互に繰り返しながら、一定の目標粒径まで被覆整形が繰り返されるので、前述のように種子が小さく、被覆整形粒径が大きいほど、被覆粒内における種子数が多くなるものと推察される。

しかし、イネなどでは種子が大きく、粗殻が酸化珪素を含むため吸水しにくいと思われ、この方式が多く報告^{36, 60, 70)}されている。また、本方式に属する木製で卵形をした“くぎだる”³²⁾なども使用されている。

4. 流動被覆整形

流動被覆整形方法は操作が煩雑で、種子を単粒被覆することが困難であったため、Wusterの方法¹¹³⁾を改良

した流動被覆整形装置を試作^{124, 126, 129, 133)}して1972年に供試した。

1) 実験装置および方法

試作した流動被覆装置の外観および造粒筒内部は、2・4-1および2・4-2図のとおりである。概略仕様は、押し送風機(5m³/min, 1.600mmAq, 5.5kW)、引き送風機(5m³/min, 450mmAq, 0.75kW)、被覆整形用造粒筒(150φ×1650mm)、コンプレッサー(2・2kW, 使用圧力100kPa)およびポンプ(30l/h, 500kPa)などである。結合剤水溶液の噴霧用ノズルには2流体ノズルを使用した。被覆用粉体は2・4-3図に示すように、電磁フィーダーでほぼ定量供給した。

詳細は各部の名称と形状およびその大きさは2・4-4図に示す通りである。操作および構造の概略は2・4-5図に示すように、造粒筒上部のハッチから適量の2.7~3.5lの種子を投入し、スリット下部のダンパーを開放後、種子が落下しない程度にバルブCを開き、次にスリットを通過した整流の風で造粒筒内の種子をボッピングさせ(バルブB)、粉体を供給して(バルブA)、種子相互間に粉体を介在させ、種子相互間の分離を良好にし、そこへ結合剤水溶液を噴霧して種子の表皮と粉体の間に凝集力を誘起させ、さらに各被覆段階の種子を相互に研磨させて、種子に粉体を被覆整形する方法である。この装置を利用し、種々の野菜種子についてその被覆性能を調査した。

2) 実験結果および考察

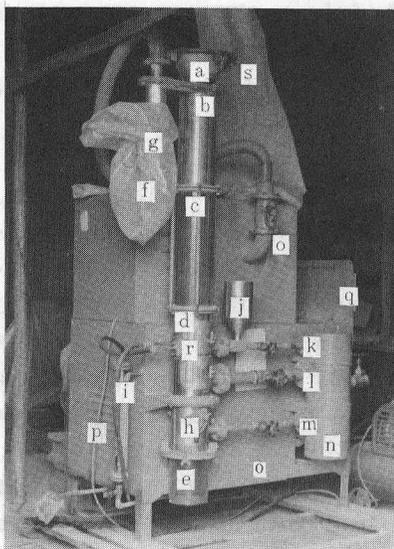
(1) 被覆整形装置の改良

本装置によると、単粒種子を高精度に被覆整形することができた。すなわち、被覆粒内に種子が単粒で入っている単粒被覆率は、ダイコンで100%、ニンジン・ハクサイおよびレタスで98%以上であった。これは本方法が風によって種子を造粒筒内に浮遊させるので、種子相互間の分離が良好であり、複粒被覆が少ないものと考えられる。

しかし、同条件下における転動方法にくらべ被覆層の強度が40~60%も低下し、240~360gであったので、2・4-1図に示す造粒筒の内部へもう一つの制御筒(2・4-6図のAおよびB)を設け、この内周部の上部を狭く絞り、種子を矢印(a)から(b)へと循環させ、種子の造粒筒内における往路と復路を分離したところ、被覆層の強度はほぼ転動方法と同程度に改善された。また、2・4-1図の造粒筒の中間ケースを15~30rpmで回転させても同様な結果が得られた¹²⁸⁾。改良前の流動装置では、各被覆段階の種子は造粒筒内を浮動するだけで、

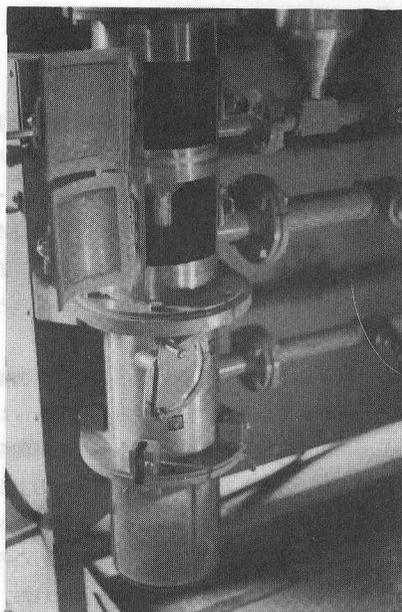
種子相互の接触による相互研磨および加圧力が転動方法より弱いため、被覆層内の粉体粒子の密度が小さくて空隙が多く、被覆層の強度が低いものと考えられる。ところが、転動方法では転動中に被覆種子が転動容器の内壁と各被覆段階の種子群から転動荷重を受け、被覆層内の粉体粒子の密度が緻密となり、被覆層の強度が高くなる

ものと考えられる。一方、改良後の流動装置は前述の短所が解消され、転動方法の場合に近い被覆層の強度が保たれるとともに、種子相互の分離性が良い流動方法の長所を残したものである。しかし、機構が複雑になる短所も新たに生じることとなった。

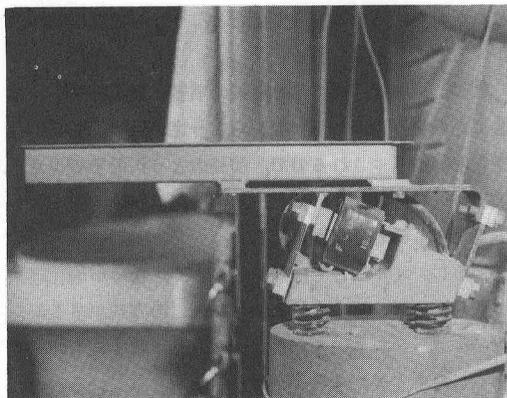


2・4-1図 流動被覆装置の外観

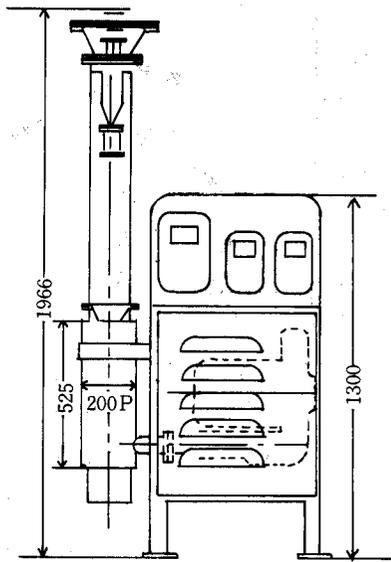
- | | |
|------------|------------|
| a 投入ホッパー | o ブロー |
| b 造粒筒上部ケース | p ポンプ |
| c 造粒筒中間ケース | q 配電盤 |
| d 造粒筒下部ケース | r 二流体ノズル |
| e 製品ポット | s バックフィルター |
| f サイクロン | |
| g 補集袋取付部 | |
| h ダンパー | |
| i 流量計 | |
| j 粉体供給ホッパー | |
| k 粉体供給管 | |
| l 流動化用管 | |
| m 強制循環管 | |
| n エアータンク | |



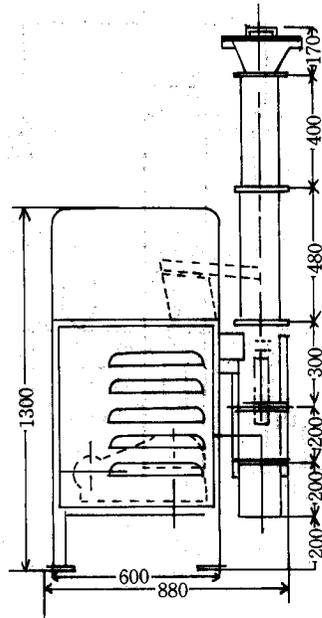
2・4-2図 多孔板付近の造粒筒内部



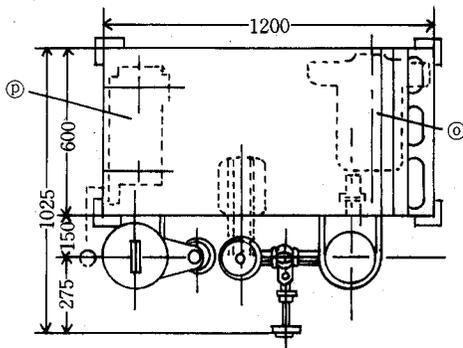
2・4-3図 電磁フィーダー



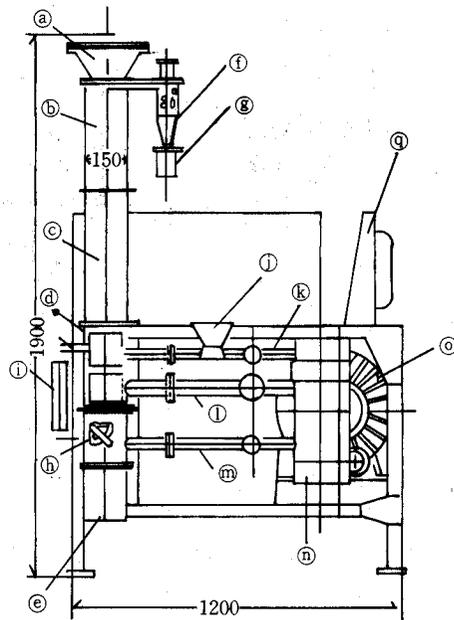
A 左側面図



B 左側面図



C 平面図

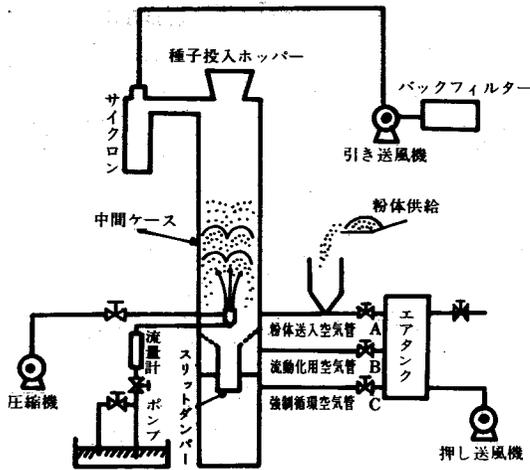


D 正面図

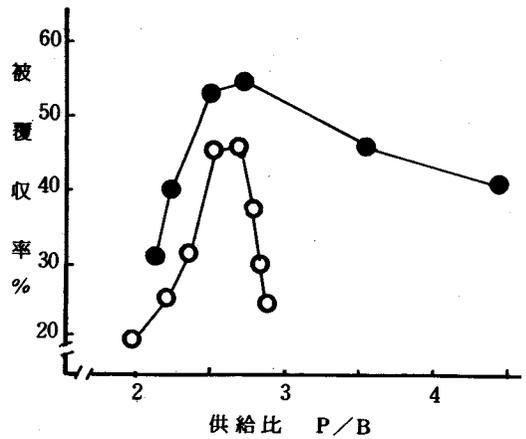
2・4-4図 流動被覆装置の寸法

注1. 単位はmmである。

2. ローマ字とその名称は2・4-1図に準ずる。



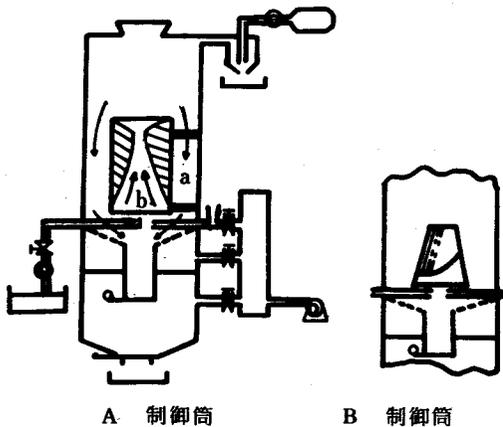
2・4-5図 流動方法による種子の被覆整形装置における諸機材



●— ダイコン (粒径; 4~5 mm)
○— ニンジン (粒径; 3~4 mm)

2・4-7図 供給比と被覆収率

注 P: 被覆用粉体, B: 結合剤水溶液の噴霧量



2・4-6図 造粒筒内の制御筒

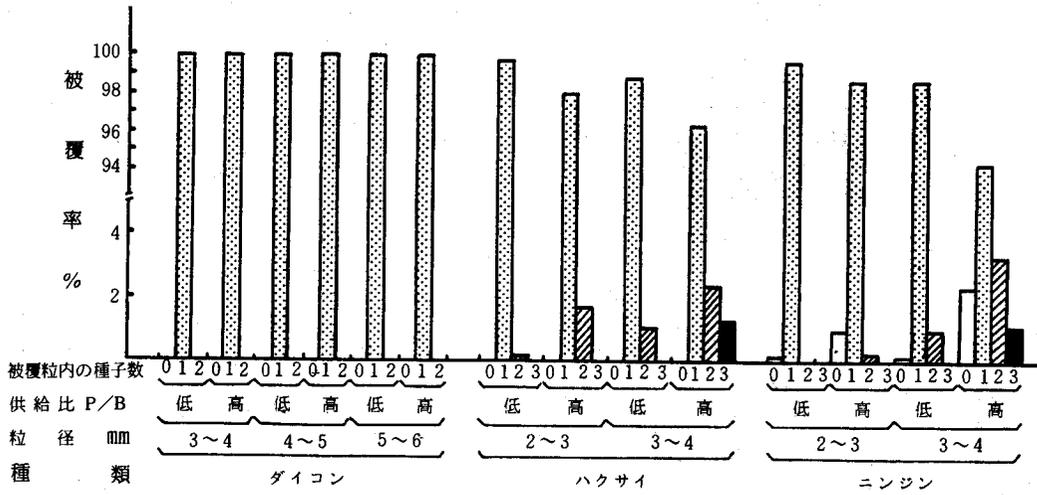
(2) 被覆収率

2・4-7図に示すように、粉体 (P) と結合剤水溶液の噴霧量 (B) の毎分当たりの供給比 (P/B) は、2.6前後が良好¹²⁵⁾で、供給比が小さくても大きくても、被覆収率 (裸種子を1粒含有する被覆粒の一定粒径の容積割合) は低下した。ダイコンおよびニンジン種子の被覆収率では、後者が前者よりその供給比が小さいと著しく減少した。

また、高い収率が得られる供給比 (P/B=2.6) での被覆整形精度は良好で、単粒被覆率は被覆整形粒径に

かかわらず高く、ダイコンでは100%、ニンジンおよびハクサイでは2~3mm粒径に被覆すると99%以上、3~4mm粒径では98%以上であった。この際の結合剤水溶液の噴霧量は、バッチ当たり種子の初期投入量にもよるが、70~120cc/minが適量であった。このように被覆粒径が大きくなると、わずかではあるが、単粒被覆率が低下した。

この原因は、裸種子の被覆整形が進む段階で、手動操作による微調整をした結果、供給比 (P/B) にむらを生じたためと推察される。すなわち、結合剤水溶液の供給過剰でP/B比が小さくなると、各被覆段階の種子が結合剤水溶液の粘性と表面張力で相互に付着するので、被覆粒径を大きくすると、複粒被覆率が僅かではあるが増加するものと考えられる。また、2・4-8図に示すように、供給比を高くすると単粒被覆率はハクサイで1.5~3.5%、ニンジンで1.0~5.5%低下したが、大粒のダイコンでは悪影響はほとんど認めなかった。これはハクサイおよびニンジンでは種子が小さく軽量のため、各被覆段階の被覆粒表面が噴霧水でぬれると種子相互間に表面張力が働き、種子相互の分離が幾分困難となり、単粒被覆率が若干低下するのであろう。しかし、ダイコン種子は粒径が大きくて重いので、造粒筒内の流動による



2・4-8図 噴霧量の多少と種子の被覆整形精度

注 被覆用粉体 (P) と結合剤水溶液の噴霧量 (B) の供給比が低: 2.1, 高: 3.1

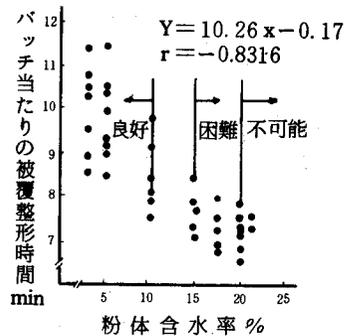
種子相互間の分離が容易に行われ、単粒被覆に悪影響がなかったものと考えられる。

次に、供給する粉体含水率の限界は2・4-9図に示すとおりである。種子の被覆に使用する粉体の含水率の限界はほぼ20%までで、これより高いと種子を被覆整形することが不可能であり、粉体の含水率が15%を超えると粉体の取扱いが困難で、粉体の供給が不均一となり、被覆能率も予想に反してバッチ当たりほぼ4~5分しか短縮できなかつた。

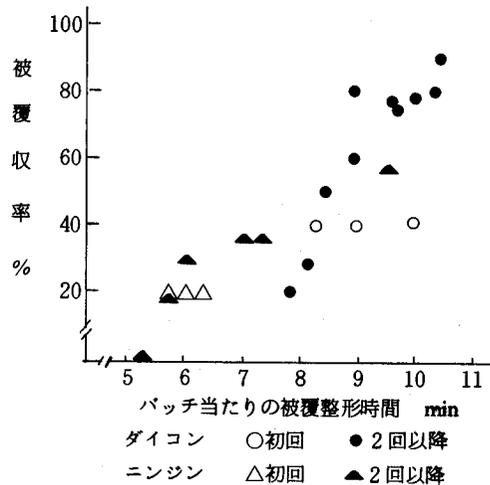
したがって、単粒被覆率が高い良好な被覆精度を維持するには、裸種子の粒径が小さいほど、良く乾燥した粉体を使用する必要が認められる。被覆整形精度が良好な粉体の含水率の範囲は、ほぼダイコンで10~15%、ハクサイで5~10%、ニンジンでは3~7%以下であった。つまり、裸種子が小さく不整形であるほど、乾燥して分散の良好な粉体を供給しないと、複粒被覆が生じたり、造粒筒内での種子の流動が不円滑になることが観察された。このような場合には、被覆整形機のバルブ操作により、粉体および結合剤水溶液の供給量を増減しなければならず、操作が煩雑になった。

また、バッチ当たりの被覆収率は2・4-10図に示すとおりである。初回目の被覆収率が20 (ニンジン) ~ 40% (ダイコン) と低かつたのは、スラッキングを起し流動化が不円滑であったためである。2回目からは前者で30~50%、後者では70~90%程度であった。

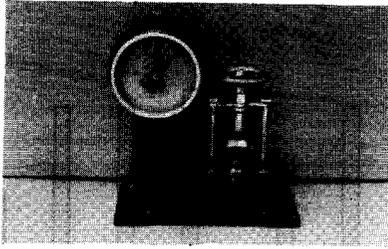
この流動化を助長促進するためには、多孔板 (スリッ



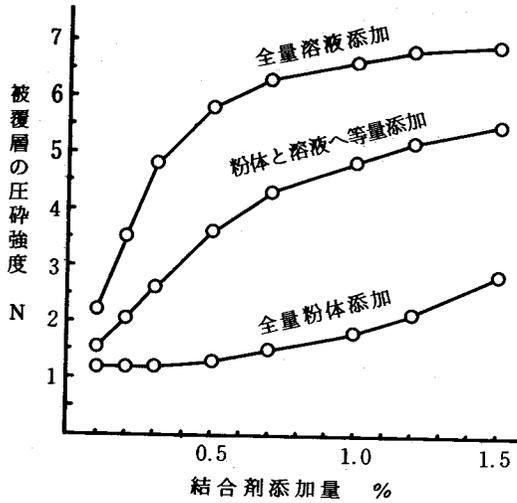
2・4-9図 供給粉体含水率と被覆整形の難易



2・4-10 被覆整形時間と被覆収率の関係



2・5-1図 硬度計



2・5-2図 結合剤の添加方法と被覆層の強度 (1976)

注1. 被覆種子(ハクサイ)の粒径: 3.0~3.6mm

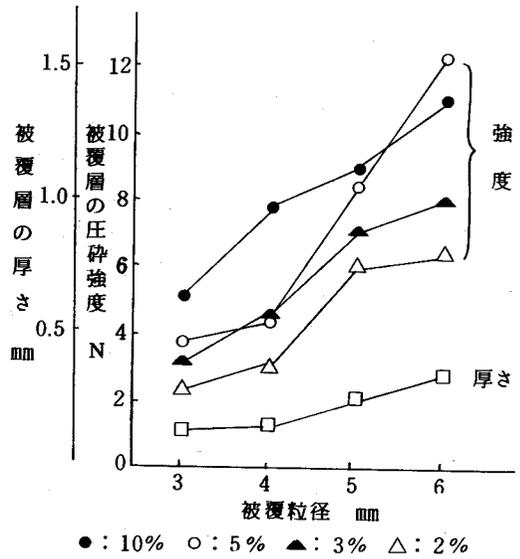
2. 結合剤: カルボキシルメチルセルロース (CMC)

ト)をさらに肉厚にしたり、造粒筒の形状を改良することなどが必要と考えられる。また、ブローワによる送風は乱流気味であるので、層流化して種子の流動を円滑にすれば、被覆率はより向上し、さらに被覆層の強度も高くなるものと推察される。

(3) 被覆整形能率

バッチ当たりの種子投入量、粉体(P)と結合剤水溶液(B)の供給比および種子の物理的性状などによって被覆整形能率は影響を受ける。これらがほぼ好適な条件下では、2・4-10図に示すようにバッチ当たりダイコンで7~10分、ニンジンで6~7分、ハクサイでは6~8分ぐらいで被覆整形できた。ある程度種子の周囲に粉体が附着し始めると、被覆率にみられるように急速に被覆層が厚みを増すものと考えられる。

しかし、被覆粒径が大きくなり、容積が増大して一定容積になると、スラッグングなどを起して流動化が不円滑になる。この状態が生ずると各被覆段階の種子が相互



2・5-3図 粒径と圧砕強度の関係 (1976)

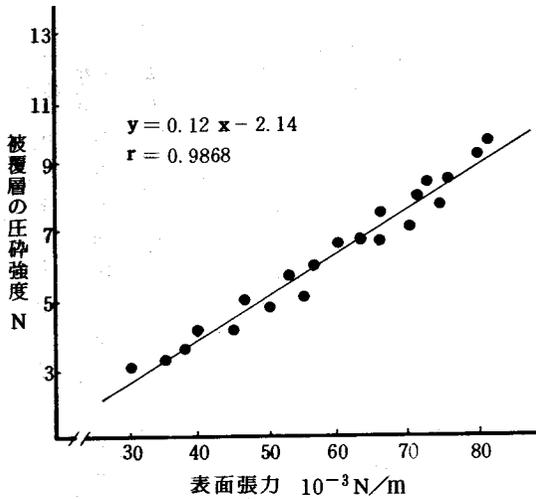
注1. 結合剤: CMC水溶液

2. 被覆種子: ハクサイ '京都3号'

に接触流動し、研磨や衝突が起るので、各被覆段階の被覆層の一部又は全体が崩壊し、各被覆整形段階の種子に附着して不整形粒となったり、被覆層の崩壊片を核とした種子の入っていない被覆粒が生じたりする。

したがって、種子群の流動が不円滑にならないように、常に各バルブを操作して風量を調節する必要がある。しかし、ブローワの性能から、本実験機のスラッグング発生限界の被覆種子量は5~5.5ℓであった。たとえば、ダイコンの裸種子3ℓを被覆整形するには、粉体は7.7kgを必要とし、そのうちサイクロンへ10%が捕集され、造粒筒内壁などへの付着が7.4%、吸引ブローワを通してバックフィルターへ2.6%が飛散した。したがって、種子の被覆整形に要した正味の粉体は80%で、これに要した結合剤水溶液は1.6ℓであった。その際に整形できた被覆種子(被覆粒径; 4~5mm)は12.8ℓ(8.96kg)で、被覆種子の仮比重は裸種子の0.68とほぼ等しい0.7であった。

このように、ダイコンでは被覆整形すると、裸種子に比べ重さで3.3倍、容積で4.3倍となった。この被覆整形機では、1時間当たり裸種子3.6ℓを粒径4~5mmに被覆し、15.4ℓの容積に被覆することができた。ニンジンでも3ℓ(1.2kg)の裸種子を被覆整形するには、粉体で6.8kg、結合剤水溶液で2.4ℓを必要とする。その際種子の流動状態を観察しながら、結合剤水溶液は毎



2・5-4図 被覆層の強度におよぼす表面張力の影響 (1977)
注1. 被覆種子：ハクサイ‘京都3号’の粒径：3.2～3.6 mm
2. 結合剤：1.5% CMC水溶液

分当たり平均94～103cc、同じく粉体は206～300gの範囲で供給すると、30分弱で被覆粒径3～4mm、全容積が28.2ℓ (19.2kg)の被覆種子を得ることができた。したがって、1時間に裸種子6.4ℓを被覆して3～4mm粒径とし、容積60.2ℓ (41.0kg)の被覆種子を得ることができる。このようにして、被覆整形したニンジン種子の仮比重は0.68で、裸種子の0.4よりもほぼ60%重くなった。

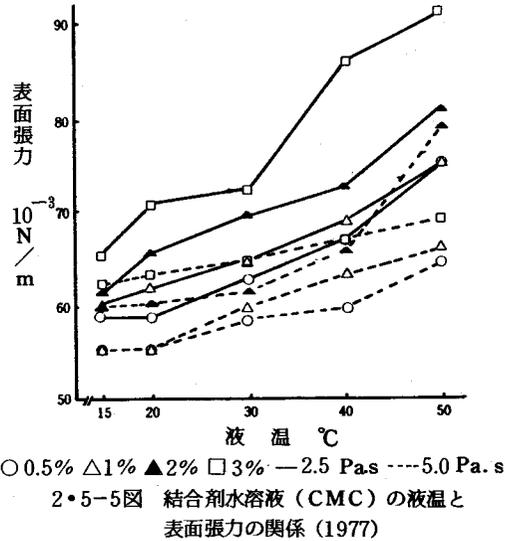
同様に、ハクサイおよびキャベツは1時間当たり裸種子7.2ℓを、レタスでは同じく6.5ℓを被覆し、粒径3.2～3.6mmの被覆種子 (仮比重0.7)を得たが、容積で約9.5倍となった。

5. 被覆用結合剤

被覆層の強度を保持するための結合剤および被覆用粉体は、弱酸性から中性で、電気伝導度は低く、しかも発芽阻害物質を含有しないことが必要と考えられる。そこで、種子を粉体で被覆整形する場合の結合剤およびその補助剤について検討した¹³³⁾。種子を被覆整形すると、発芽が遅延したり低下する種類が認められるが、その主原因は置床後被覆層が吸水膨潤し、泥状に崩壊して種子に対する酸素供給が不足し、種子の呼吸が困難になるためと考えられるので、その解決策について1975～1977年に検討した。

1) 実験材料および方法

各種工業用途に使用される結合剤の発芽性に対する影響と、結合力および被覆性について調査した。予備調査



として、各結合剤の水溶液の粘度が、ほぼ2 Pa.sまでの数段階の0.1～30%の濃度について、シャーレ内でレタスおよびキャベツを供試し、発芽阻害の有無を調査した。その後2・4-5図の改良流動被覆整形装置を利用し、結合剤水溶液を噴霧しながら、被覆用粉体ではば3.0～3.6mmの一定粒径に被覆整形した後、発芽性および被覆層の結合力を調査した。

なお、一部の試薬の結合力については、結合剤水溶液の液温を変えることにより、表面張力を変えて調査した。表面張力は表面張力精密測定装置〔型式CBVP-P、協和科学(株)〕によった。また、結合剤の添加方法として、全量を溶液または粉体へ混入した場合、溶液と粉体へ等量ずつ混入した場合の被覆層の強度を調査した。

次に、被覆層が播種後の吸水によって泥状に膨潤し、種子が酸素不足になるのを防ぐために、数種類の換水剤および防水剤を結合剤水溶液中や被覆用粉体へ混入し、一定粒径に被覆整形した後、吸水による被覆層の崩壊性を調査した。この被覆層の崩壊性は、シャーレ内あるいは水中で一定時間後における被覆層のクラックの発生の有無を確認し、併せて発芽調査を行った。

換水剤あるいは防水剤の使用の有無による被覆種子の発芽性については、シャーレを利用した発芽試験 (以降シャーレ法と称す) と、床土にマサ土〔花崗岩の風化土・SL (Sandy loam) ; 以降も同様である〕と壤土を用い、裸種子と比較して検討した。

また、被覆層の結合力の測定は、被覆整形後十分に乾燥させ、2・5-1図に示す木屋式硬度計を改良した台秤上へ1粒ずつ被覆種子を載せ、一定速度で徐々に芯棒を

2・5-1表 各種結合剤の有用性の有無(1975)

薬品名	水溶性	発芽障害	結合力	薬品名	水溶性	発芽障害	結合力
ボンド(アクリルエマルジョン)	可	無	上	ニトルセルロース	可	有	中
〃(酢酸ビニルエマルジョン)	可	無	上	サンエキス	可	有	上
ヒドロキシプロピルメチルセルロース	可	無	下	シェラック	不	無	下
ヒドロキシプロピルエチルセルロース	可	無	下	ラテックス	可	無	上
ポリビニルピロリドン	可	無	下	アラビアゴム	可	無	上
ポリ酢酸ビニル	可	有	上	トラガント	可	無	中
ポリビニルアセテート・ジエチルアミノアセテート	可	無	上	カラヤ	可	無	下
ビニルピロリドン酢酸ビニル共重合体	可	有	上	Xanthangum	可	無	下
ヒドロキシエチルセルロース	可	無	中	ダックアルギン酸	可	無	下
メチルセルロース	可	無	下	水ガラス	可	無	下
カルボキシルメチルセルロース	可	無	下	ローカストビーンガム	可	無	下
ポリビニルアルコール	可	無	下	グアールガム	可	無	下
エチルセルロース	可	無	下	サッカーロース	可	無	中
酢酸セルロース	可	無	中	プルラン	可	無	中

押しつけ、被覆層がクラックを生ずる荷重をもって被覆層の強度とした。

2) 実験結果および考察

(1) 結合剤の探索

主要な結合剤についての調査結果は2・5-1表のとおりである。これまで、ビート・イネ・野菜および牧草などで、水溶性結合剤として報告されているメチルセルロース・エチルセルロース・ポリビニルアルコール・水溶性ボンド・アラビアゴム・アルギン酸・サッカーロースなどの外、工業用に使用されているボンド、酢酸ビニル系など多数の水溶性および不水溶性接着剤のほぼ0.1~30%で、粘度が2 Pa・sまでの数段階の濃度について検討したものである。

発芽の良好な結合剤は被覆層の結合力が弱いか不十分で、結合力の強いものは発芽を阻害するものが多く、単独で使用できる結合剤は少なかった。すなわち、酢酸ビニル系のポリ酢酸ビニル・ビニルピロリドン・酢酸ビニル共重合体および各サンエキスの結合力は最も強いが、希釈しても発芽障害を起し、発芽阻害物質を含有するものと考えられた。

一方、結合力の強いボンド系統は20%、ラテックスは13%、ポリビニルアルコールの芒硝は3.0%までの水溶液では発芽阻害は認められない。しかし、何れも粘度が1.3 Pa・s以上で噴霧性が劣るので、1.0 Pa・s前後の濃度に抑える必要が認められる。

メチルセルロースおよびカルボキシルメチルセルロースは噴霧性と発芽性については良好であるが、結合力は

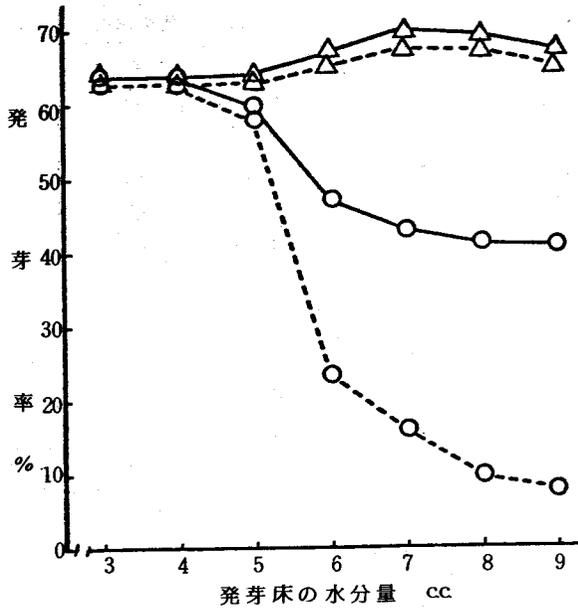
若干劣る。しかし、結合力は前者よりも後者が強いので、結合剤の主剤としてではなく補助剤として有効と考えられる。

以上の結果、使用可能な結合剤としては、発芽を阻害せず結合力も良好なものとして、ラテックス・ボンド・ポリビニルアルコールの芒硝・ポリビニルアセテート・ジエチルアミノアセテートなどであり、次いでサッカーロース、アラビアゴムなどであった。

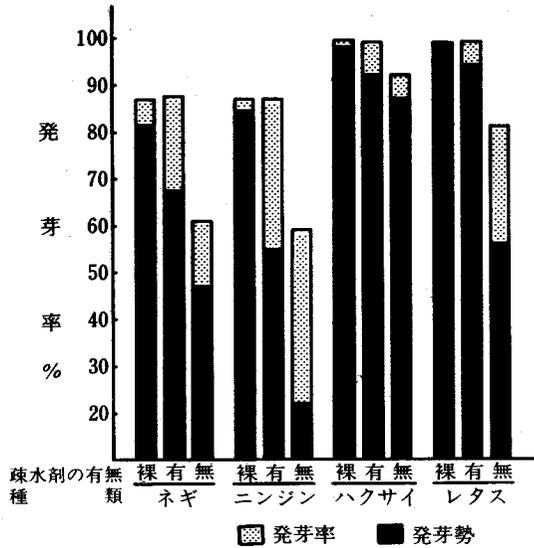
これまで、種子の被覆整形用結合剤としては、アラビアゴム⁶²⁾、アラビアゴムとゼラチンの併用^{66,102)}、アルギン酸⁶³⁾、メチルセルロース¹⁹⁾、ポリビニルアルコール¹⁹⁾、ドハロン¹⁹⁾、ボンド¹⁹⁾・プルランに酢酸塩を結合させたプルラン結合剤¹⁰⁹⁾・カルボキシルメチルセルロースのカルシューム塩⁴¹⁾およびこれら2~3種の混合物^{12,19)}の水溶液などが研究されているが、概して被覆層の結合力は弱い。硝酸カルシュームを除いたHoagland 5倍液に、アルギン酸0.75%、蔗糖1%、アスパラギン酸0.05%などを加えた混合液で処理すると、裸種子よりも発芽性が勝る⁶³⁾が、概して被覆層の強度が弱く、実用に供し得るものは見当たらない。

(2) 結合剤の添加方法

結合剤の添加方法としては次の3通りが考えられる。第一に結合剤の全量を水溶液にして被覆する。第二は結合剤の全量を被覆整形用粉体へ混入して被覆する。第三には結合剤の一部を被覆整形粉体に混入し、残りを溶液にして添加する方法である。これらの方法を被覆層の強度の面から、カルボキシルメチルセルロースで比較する



○被覆種子 △裸種子 — 発芽勢 ---- 発芽率
2・5-6図 発芽床の水分含量の多少と発芽率 (1977)



2・5-7図 結合剤 (CMC 1.5%) 水溶液中への疎水剤 (シリコン1.5%) 混入の有無と被覆種子の発芽率
注 裸: 裸種子

と2・5-2図のとおりである。被覆層の強度は結合剤の全量の水溶液に添加するのが最も有効で、結合剤の全量を被覆整形用粉体へ混入し、被覆整形行程の噴霧水で溶解させる方法は最も効果が低く、結合剤を等量ずつ溶液と被覆用粉体へ添加する方法は、前2者のほぼ中間の効果を示した。また、他の結合剤でもほぼ同様な傾向が認められた。

この原因は、被覆整形から乾燥行程までの所要時間が20~25分と短かく、結合剤を被覆用の粉体中に混入した場合は、十分に溶解しないかあるいは被覆層内へ十分浸透せず、被覆層の強度を弱くしたものと考えられる。また、2・5-3図に示すように、被覆層の強度は結合剤の添加量を増し、しかも被覆粒径を増大すると大きくなった。

(3) 結合力

カルボキシルメチルセルロース1.5%水溶液に界面活性剤を混入し、液温を変えることによって表面張力を換え、種子を被覆整形した結果は2・5-4図のとおりである。被覆層の圧砕強度 (y) は表面張力 (x) が高くなると強くなり、 $y = 0.12x - 2.14$ で表わすことができた。

カルボキシルメチルセルロース水溶液の液温と表面張力の関係は2・5-5図に示すとおりである。液温が高く

なると表面張力が高くなり、しかも重合度が低く、水溶液の濃度が高いほど表面張力も高くなった。

ところで、造粒物を構成する場合の凝集体の引張り強度は、 $\sigma = \alpha \cdot (1 - \epsilon) / \epsilon \cdot l / d \cdot f (\cos \delta) \psi (\varphi)$ で表わされる¹⁷⁾。ここに、 α : 結合剤水溶液の表面張力、 ϵ : 造粒物の空隙率、 δ : 粒子個体に対する液の接触角、 φ : 液充填度、 d : 造粒物を構成する粉体粒子の大きさ (直径)。

この式から、結合剤水溶液の表面張力が大きくて接触角が小さく、粉体粒子が小さくて被覆層の空隙が少ないほど、被覆種子の強度が大きいたことが推定され、前述の表面張力を変えた場合の結果と一致する。また、微小な種子と粉体が等径の球と仮定すれば、両球の間に働く毛管吸引力による結合力は

$$FS = 2\pi r \alpha / (1 + \tan \frac{Q}{2}) \text{ で表わされる }^{24)} \text{。ここに、}$$

r : 球の半径、 α : 液の表面張力、 Q : 接触角。

上式を結合力の方向に直角な断面積 πr^2 で除すと、被覆層の単位断面積に働く力 (FS') は

$$FS' = 2 \cdot \alpha / r (1 + \tan \frac{Q}{2}) \dots \dots (1) \text{ となる。}$$

したがって、(1式) から微細な粉体粒子ほど結合力が大きく、表面張力が大で接触角の小さい液体を結合剤に選べば、被覆層の結合力を大きくすることができることになる。

2・5-2表 裸種子および被覆種子の発芽状況の差異 (1977)

種 類	品 種	被 覆 種 子		裸 種 子	
		発芽勢%	発芽率%	発芽勢%	発芽率%
ト マ ト	栗 原	53	95	93	97
ヒ ロ シ マ ナ	-	97	98	98	98
ニ ン ジ ン	金 時	48	60	62	70
ハ ク サ イ	黒 田 五 寸	42	70	81	85
キ ャ ベ ッ	耐 病 6 0 日	95	100	98	99
ダ イ コ ン	夏 蒔 理 想	66	80	89	89
レ タ ス	は ま か ぜ	90	96	92	94
タ マ ネ ギ	み の 早 生 1 号	91	91	79	82
ピ ー マ ン	ペ ン レ ー ク	45	70	85	89
タ バ コ	O X	89	89	93	93
	キ ン グ	71	73	64	70
	バ ー ジ ニ ア	17	42	79	82

- 注 1. 撥水剤等使用
2. 結合剤; CMC 1.5%

2・5-3表 種子の吸水膨張 (1975)

種 類	吸水前 の厚さ mm	吸 水 時 間 h							
		16		20		24		32	
		厚さmm	同左増%	厚さmm	同左増%	厚さmm	同左増%	厚さmm	同左増%
ト マ ト	0.78	0.99	26.1	1.13	43.9	1.24	58.6	1.44	83.4
ピ ー マ ン	0.98	1.20	23.3	1.38	40.9	1.56	59.6	1.63	67.5
キ ャ ベ ッ	1.30	1.78	36.8	1.91	46.4	1.98	51.7	2.01	54.0
ハ ク サ イ	1.34	1.78	32.3	2.01	49.8	2.12	58.0	-	-
ヒ ロ シ マ ナ	1.33	1.68	26.5	1.95	46.6	2.12	59.8	2.27	71.1
ニ ン ジ ン	0.60	1.00	66.7	1.17	95.0	1.37	128.3	1.52	153.3
レ タ ス	0.40	0.81	103.8	1.21	202.5	1.45	263.8	1.58	296.3
ネ ギ	0.91	1.21	32.8	1.30	45.5	1.40	57.4	1.61	76.5
タ マ ネ ギ	1.00	1.21	21.4	1.44	44.1	1.67	67.3	1.78	78.2
ダ イ コ ン	2.19	2.45	11.9	2.82	28.6	3.02	38.0	3.12	42.7

(4) 被覆種子の発芽性

2・5-2表に示すように、種子を被覆すると発芽が低下したり遅延する種類が認められた。カルボキシルメチルセルロース1.5%の水溶液を結合剤として被覆整形した種子が、裸種子より良く発芽するものとしてはダイコンがあり、ヒロシマナ・ハクサイ・ピーマンおよびトマトはほぼ同等、タマネギはやや劣り、ニンジンおよびレタスはかなり劣った。キャベツには品種間差が認められ、

はるかぜ³は裸種子の場合と同等であったが、'夏蒔理想'はかなり劣った。これは発芽床の含水量の多少によっても異なった。2・5-6図で明らかなように、ニンジンの被覆種子の発芽は、含水量が少ないときに良好で多いときには劣った。しかし、裸種子の発芽は、発芽床の含水量の多少にかかわらずほぼ一定で良好であった。発芽床が過湿状態であると、被覆層は泥状に膨潤し、クラックの発生は困難であった。しかし、発芽床が適湿

2・5-4表 被覆種子の発芽性に関する諸要因

種 類	被覆種子の発芽性		裸種子の体積膨張量		被覆層のクラックの発生			裸種子の水中発芽性 ※3			低酸素分圧下での発芽性 ※1		
	良	不良	大	少	大	小	微(又は無)	良	やや良	不良	良	やや良	不良
ダイコン	○		○		○					○			○
ピーマン	○		○		○					○			
ニンジン		○	○				○			○			○
トマト	○		○		○			○			○	○	
ヒロシマナ	○				○			○					
タマネギ		○	○		○					○			○※2
キャベツ		○	○		○					○			
ハクサイ	○		○		○				○		○		
レタス		○	○				○		○				
キュウリ					○			○			○		

注 ※1 堀および杉山(1953)より作成

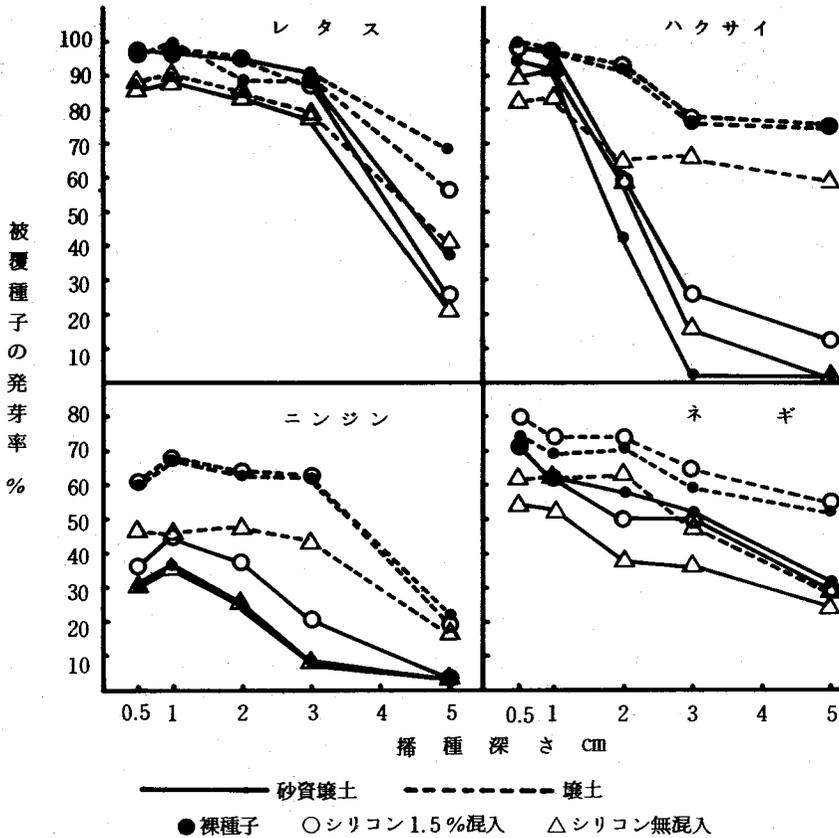
※2 ネギ

※3 未発表

2・5-5表 各種疎水剤とレタス種子の発芽(1975)

薬品名	%	発芽勢%	発芽率%	薬品名	%	発芽勢%	発芽率%
ネオプロテックス	3	76	80	サンリフターAM	3	86	87
	5	70	75		5	78	80
ユニペラン	3	80	85	ベトロックス	3	79	83
	5	82	85		5	75	76
パラジット RS	3	77	79	パラジット RSN	3	74	77
	5	77	80		5	77	80
シリコン	1.2	77	83	ワックス	1.5	79	83
	6	61	80		5	79	83
酢酸シルコニウム	1	2	3	パラジウム K	1	81	82
	3	0	0		3	81	81
	5	0	0		5	74	74
パラジウム MA	1	83	84	パラジウム SS	1	82	85
	3	82	83		3	78	80
	5	82	83		5	85	86
パラフィン	0.5	80	80	シュラック	3	78	83
	2	73	73				
	4	78	78				
	6	76	86				
				無処理		79	84

注 薬品名の%は水溶液の濃度を示す。



2・5-8図 結合剤水溶液中への疎水剤混入の有無と被覆種子の出芽率 (1975)

- 注 1. 疎水剤：シリコン1.5%
 2. 種子：レタス‘グレートレイクス659’，ハクサイ‘京都3号’，ニンジン‘春時金港五寸’，ネギ‘九条’

な場合 (4.5cc: 9cmシャーレろ紙2枚敷き)，被覆層のクラックの発生はダイコンで最も良く，内部の種子が見えるほど3~5個に大きく割れ，ピーマン・ハクサイ・キャベツ・ヒロシマナ・トマトおよびタマネギでは僅かに小さなクラックが見られたが，ニンジンおよびレタスではクラックの発生はほとんど認められなかった。

ところが，吸水した時の種子の体積膨張は，2・5-3表に示すようにダイコンが最も大きく，次にヒロシマナ・キャベツ・ハクサイ・トマトおよびピーマンで，タマネギはやや小さく，ニンジンおよびレタスの2者は最も小さいグループに属した。このことから，吸水による被覆層のクラックの発生は，適湿状態では種子の吸水による体積膨張が，被覆層の膨潤程度より若干大きい場合発生したと推察される。

したがって，被覆層がクラックを生じなかったり，そのクラックの程度が小さかった場合には，発芽床が過湿

状態では被覆層の粉体粒子間および微小クラック間に表面張力で水が充満し，ちょうど種子の周囲を水膜で被覆した状態となる。その結果，種子への空気の入出が困難で酸素不足となり，発芽に支障を来たしたものと推察される。

被覆種子の発芽に関する諸要因を整理すると，2・5-4表のようになる。被覆種子の発芽が良好な場合は，発芽時の酸素要求量が少ないか，吸水により膨潤する被覆層の膨張より，その際の種子の体積増加程度が大きく，被覆層にクラックの発生が多かった。本実験におけるダイコンおよびピーマンは後者の例であった。

ところが，被覆種子の発芽が良好な場合でも，発芽時の酸素要求量の少ない野菜で，種子の体積増加があまり多くなく，被覆層のクラック発生が少ないものがあった。水中発芽性の良好なトマトおよびヒロシマナと，水中発芽性がやや良好で，低酸素分圧下でも良く発芽するハク

2・6-1表 各粉体の理化学特性と発芽率(1975)

試料名	pH	電気伝導度 mS/cm	安息角 度	崩潰度 度	疎かさ密度 g/ml	密充填かさ 密度 g/ml	圧縮度 %	分散度 %	発芽率 %
ミクライト	10.4	0.240	47	36	0.29	0.43	14.9	45.0	96
炭酸カルシウム	9.7	0.087	37	34	0.29	0.52	23.0	48.3	96
カオリン	5.7	0.031	47	35	0.47	0.69	22.7	39.8	96
ベントナイト	5.2	0.320	46	37	0.39	0.58	18.3	42.3	96
酸性白土	8.7	0.441	41	31	0.54	0.71	17.3	65.2	96
ラジオライト	9.5	0.063	32	25	0.21	0.33	11.4	43.3	96
アサヒライト	6.9	0.024	44	37	0.45	0.59	13.7	59.3	96
シリカセル	9.5	0.059	37	33	0.21	0.31	10.0	45.4	96
パーライト	8.7	0.032	49	42	0.06	0.10	4.1	80.5	96
石灰	13.8	7.320	37	26	0.50	0.68	17.7	62.7	96
キビ土	6.6	0.040	39	34	0.79	1.02	21.5	60.3	96
カヌマ土	6.7	0.042	42	19	0.25	0.37	12.4	61.7	96
カルパー	13.2	6.080	38	31	0.53	0.71	18.3	69.7	0
クレー	5.2	0.082	34	28	0.99	1.18	19.8	56.6	96
焼石膏	6.8	5.870	45	33	1.23	1.41	19.0	51.1	0
生石膏	8.8	2.130	42	26	0.58	0.87	28.0	32.4	23
焼土(赤)	7.3	0.139	45	29	1.06	1.40	33.6	45.1	96

- 注 1. 圧縮度 = (密充填かさ密度 - 疎かさ密度) × 100
 2. 分散度(%) = $\frac{a-b}{a} \times 100$ a: 試料の重量 b: 皿上に残った試料の重量
 試料 a を 35cm 上方から直径 6cm の皿 b に落下させ上式により算出した。
 3. 供試種子はレタス 'G36' で、無処理の発芽率は 96% であった。

サイなどがその事例であった。

一方、被覆種子の発芽が不良なものは、発芽時の酸素要求量が大いにか、あるいは酸素要求量はそれほど大きくなくても、種子の体積増加が小さく、被覆層のクラックの発生が殆んど認められないものであった。キャベツおよびタマネギは、種子の体積増加が小さいばかりか水中での発芽が不良であり、被覆種子の発芽率も低かった。また、全く水中発芽せず酸素要求量の高いニンジン、吸水による種子の体積増加は著しいが、被覆層のクラック発生は見られなかった。これは種子が細長く扁平なために、体積増加が中央部の厚さの方向へ集中して縦と横方向へは小さく、膨潤した被覆層を内側から拡張する力が不均一となり、被覆層のクラックが発生し難いものと考えられた。また、レタス種子の場合は水中発芽はやや良好であるが、種子の形状がニンジンと類似しているためクラックが発生せず、被覆種子の発芽率は低かった。

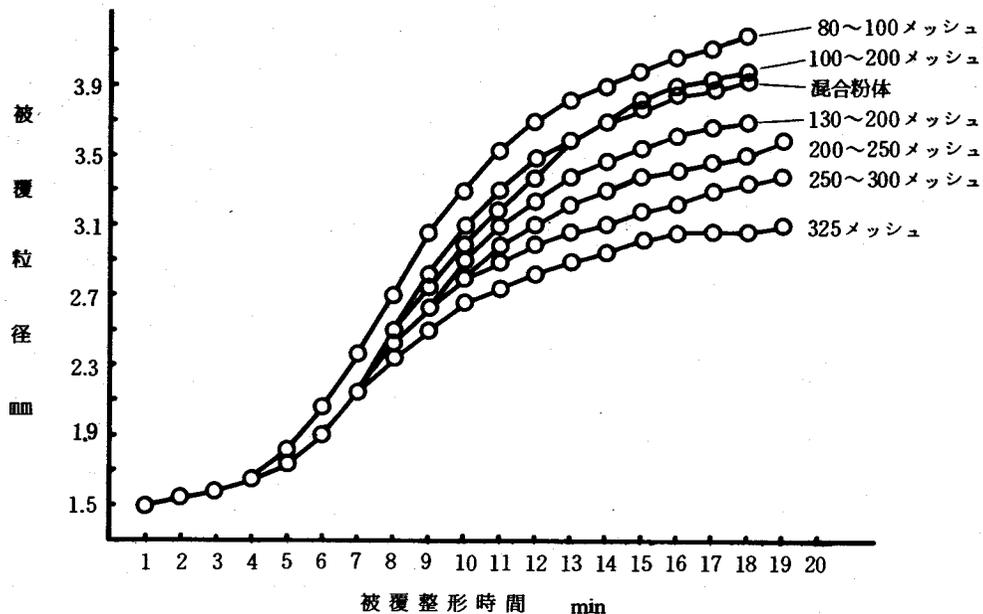
(5) 被覆層への疎水剤の混入

発芽床が水分過多の場合でも、種子の周囲へ空気の出入りを良好にするためには、吸水後に被覆層へ大きなク

ラックを生じさせれば、この問題は解決できると考えられる。また、被覆層が泥状に膨潤するのは被覆層が親水状態であるためと推察され、疎水基を有する疎水剤を結合剤水溶液や被覆用粉体へ混入することにより、被覆層を疎水状態に改良する必要が考えられる。

そこで、疎水基を有する各種疎水剤が発芽阻害物質を有するか否かを調べ、その結果を 2・5-5 表に示した。それによると、シリコン・ワックス・シェラックおよびパラフィンなどが発芽に悪影響がなく、各々 1~5% を結合剤水溶液中に混入すると、吸水後における被覆層へのクラックの発生状態が良好になった。また、被覆用粉体へあらかじめパラフィンおよびワックスの粉体を 5~15% 混入しても、同様に吸水後の被覆層へクラックを生じさせることができ¹²⁷⁾、Sooter^ら¹⁰⁵⁾も同様なことを指摘している。しかし、被覆整形用粉体中への疎水剤の混入は粉塵が発生するので、被覆整形作業の環境の面から、結合剤水溶液中への疎水剤混入が望ましいと考えられる。

そこで、カルボキシルメチルセルロース 1.5% の水溶



2・6-1図 粉体粒度とニンジン種子の被覆整形所要時間 (1976)

液中に、シリコン1.5%を混入して被覆整形し、前述(Ⅱ, 4)のシャーレ法で発芽試験した結果を2・5-7図に示した。シリコンを混入した被覆種子は、ハクサイをはじめ、ネギ・ニンジンおよびレタスなどで裸種子と全く同等の発芽率を示し、無混入区よりはほぼ20~30%発芽率が向上した。しかしながら、シリコン混入区の発芽勢を裸種子と比較すると、発芽所要日数の短いレタスで5%、ハクサイで7%、所要日数の長いネギとニンジンでは、各々15および32%低下した。これは裸種子の発芽は容易に観察できるが、被覆種子の場合、被覆層内における発芽の確認が困難なため、低い数値を示したものである。試みに被覆層を除去して観察してみたところ、裸種子と同程度の発芽状況が確認された。ただし、発芽所要日数が短かく幼芽の伸長の速い野菜では、被覆種子と裸種子との発芽所要期間の差が小さかった。

(6) 被覆種子の出芽性

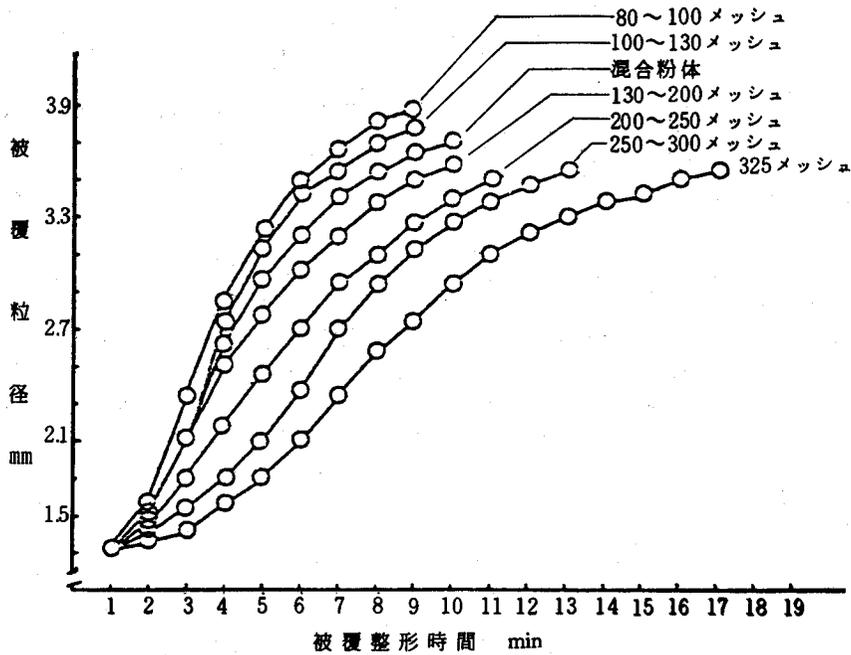
マサ土(花崗岩風化土・SL)と壤土(Mn型 灰色土壌)中における出芽状況を調査した結果は、2・5-8図に示すとおりである。ハクサイを初めレタス・ニンジンおよびネギにおいて、土性のいかんにかかわらず、疎水剤(シリコン1.5%)混入被覆種子の出芽率は裸種子と同程度であり、無混入区より高い場合が多かった。これは疎水剤を被覆層へ混入すると、吸水後被覆層へクラックを生じやすいので、空気の入りが良好になるためと考えられる。被覆種子の発芽性の低下については多くの

報告^{10, 136)}があり、総じて被覆層の崩壊剤を併用すると発芽率が低下している。石灰や崩壊剤は親水性であるため、吸水して泥状に膨潤し酸素不足になったものと考えられる。タマネギおよびニンジンでは、被覆粒径を大きくすると発芽率が低下⁵⁸⁾するのも、同様な酸素不足によるものと考えられる。

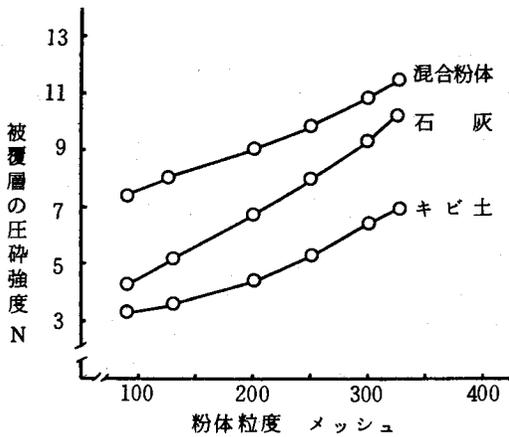
MILLER⁵⁵⁾も被覆による発芽率の低下の原因を吸水不足および酸素不足と推定している。しかも、被覆種子は発芽床の土壌水分含量が多いほど、出芽におよぼす悪影響が現われるので、粘土のような細かい土を使用せず、粒径177~250メッシュの微砂で被覆すると、出芽が良好であったことを報告している。

野菜類は発芽時の酸素要求量が概して大きいので、種子を被覆整形する際には、播種後の吸水で被覆層に大きなクラックを生じさせ、空気の入りを容易にする必要があると考えられる。

また、被覆層の成長を円滑に行わせるためには、噴霧液によって粉体粒子がぬれ易くすることが必要である。しかし、前述したように表面張力を大きくしても、被覆整形能率には差が認められず、むしろ流動化を安定維持するためのバルブ操作による風速および風圧の影響が大きかった。流動層中における種子の流動が円滑で、しかも均一に混合流動されることが、種子の被覆能率向上のための一大要因と考えられる。

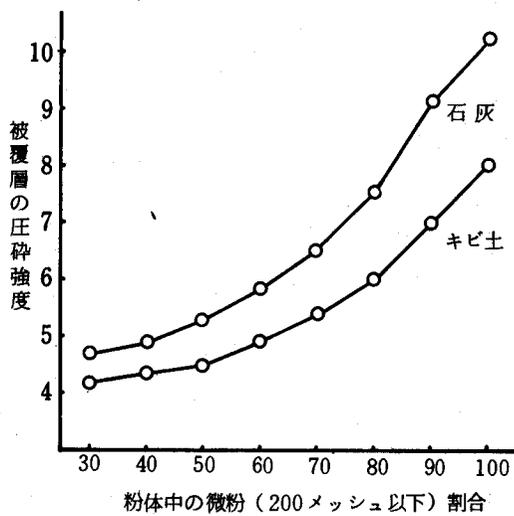


2・6-2図 粉体粒度とハクサイ種子の被覆整形所要時間 (1976)



2・6-3図 粉体粒度と被覆層の強度 (1977)

- 注 1. 結合剤：1.5% CMC水溶液
 2. 被覆種子：ハクサイ“京都3号”
 3. 被覆粒径：3.0~3.6 mm



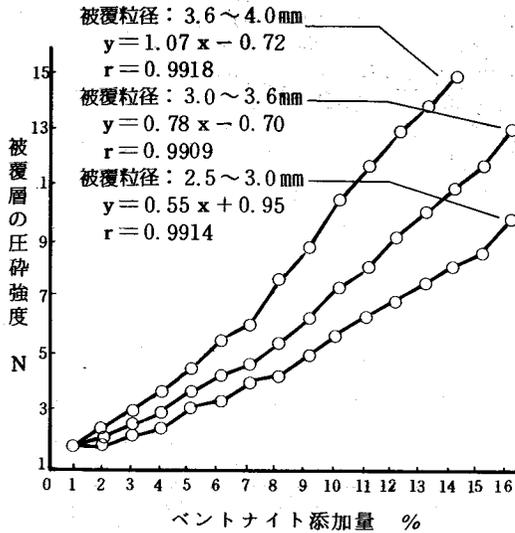
2・6-4図 粉体中の微粉割合と被覆層の強度 (1977)

6. 被覆用粉体

これまで被覆用粉体として、ベルミライト・火山灰土・ソイラック・磷酸-石灰およびパーライトなどの混合粉体⁸⁶⁾、ベントナイト¹³⁶⁾、火山灰土とタルクの等量混合¹⁰²⁾、タルクとケイソウ土¹⁴⁾、水田や畑土⁶⁶⁾、砂および粘土⁵⁵⁾、焼石こうと過酸化石灰⁷⁰⁾、スターチ¹⁶⁾などで試みられたが、決定的な種子の被覆用素材は見出されていない。

被覆用粉体に関する既応の結果によると、粘性、吸湿

性および保水性の高いものは発芽障害を起す^{14, 30, 32, 66, 102, 178)}が、砂のように粘性がなく粗いもの^{9, 19, 55, 62)}は発芽障害を起さない。また、ヒルイシなどの硬い物材^{14, 53, 111)}は被覆層に良好な強度を与える。一般に、被覆用粉体および結合剤の化学性は、弱酸性から中性で電気伝導度が低く、しかも発芽阻害物質を含有しない条件を具備していなければならない。本項ではこのような粉体を探索し、その被覆用粉体の粒度の最適範囲を知るため、1975~1977年に実施した実験結果を報告する。



2・6-5図 被覆層の強度におよぼすベントナイトの影響

1) 実験方法

各種粉体のpH、電気伝導度(EC)および発芽阻害の有無を検討した。pHおよびECは、粉体を5倍量の水で懸濁させて測定した。なお、粉体の理化学特性はA・B・D粉体特性測定器〔筒井理化学器械(株)製〕により測定した。発芽阻害の有無はシャーレ内に0.7cmの厚さに各粉体を堆積し、各粉体重量の30~40%の水を加えて、適湿にした粉体上へ種子を置床して発芽状況を調べた。

次に、2・4-5図の改良流動装置を用いて、キビ土・石灰および混合粉体の粒度を80~325メッシュの範囲で、6段階に分級した粉体で種子を被覆した。粉体粒度が被覆能率および被覆層の強度におよぼす影響を調べるとともに、粉体中に占める200メッシュ以下の微粉の割合と被覆層の強度の関係を調査した。なお、混合粉体はベントナイト・炭酸カルシウム・キビ土およびクレーを、15:15:30:40の重量割合で混合したものである。

また、被覆用粉体へ、ベントナイトを重量比で1~15%添加した場合の被覆層の結合力を調べた。結合力は被覆層の圧砕強度で表し、測定方法は2・5-1図の硬度計による既述の方法によった。さらに、各種粉体で被覆整形した場合の、被覆層の結合力と発芽率の関係を調査した。

2) 実験結果および考察

(1) 粉体の探索

各粉体の理化学特性は2・6-1表に示すとおりである。

pHが高いのはカルパー・ミクライト・炭酸カルシウム・ラジオリイト・シリカセル・生石膏・パーライトおよび酸性白土などで8.7以上であり、低いのはベントナイトおよびクレーで5.2、カオリンは5.7、ほぼ中性か弱酸性のものは赤粘土・キビ土・カヌマ土・焼石膏および焼土で7.3~6.5であった。一方、発芽障害の大きな原因となる電気伝導度(EC)は、カルパー・焼石膏および生石膏では2.13 mS/cm以上もあって濃度障害が考えられるが、その他の粉体は0.024~0.441 mS/cmの範囲で、濃度に起因する発芽障害はないものと推定された。

そこで、各粉体の発芽に対する障害の有無をレタスで検討したところ、ECの高いカルパーと石膏では殆んど発芽しなかったが、pHの高いミクライト・炭酸カルシウム・ラジオリイト・シリカセル・パーライトおよび酸性白土では、発芽開始が約半日遅延しただけで、発芽率には影響がなかった。また、ベントナイト・クレー・カオリン・赤粘土・キビ土およびカヌマ土でも、無処理と同程度の発芽率を示した。しかし、漂白等を施した化学処理品(一部のシリカセル・ラジオリイト等)や硫酸バンドのような産業廃棄物はECが高く、発芽しても発芽勢が劣り、甚だしい場合には発根しなかった。

以上の結果から、野菜種子の被覆用粉体としては、ECの高いカルパーおよび石膏は不相当といえる。イネ種子の被覆ではこれらも有用⁷⁰⁾とされているが、その理由は湛水直播のために水中で拡散し、濃度が薄められてECが低くなるためと考えられる。しかし、野菜などの畑作物では、播種後に被覆層が吸水しても十分に薄められず、種子の範囲は高ECとなり発芽が困難になるものと考えられるので、被覆用粉体の主材としては、キビ土・カヌマ土・赤粘土および焼土などが適当であろう。pHが極端に高い粉体は発芽が遅延するので主材としては不相当で、ベントナイトおよびクレーなどpHの低い被覆材と混用する調整材としてなら使用できると考えられる。

(2) 粉体粒度の最適範囲

被覆整形の作業面から粉体の最適粒度を知るために、キビ土を80~325メッシュの範囲で6段階に分級した粉体で、3.0~3.6mm粒径まで被覆整形するに要する時間を比較すると、2・6-1および2・6-2図のとおりである。被覆整形所要時間は、種子の種類にかかわらず粉体粒径が小さいほど長く、逆に粉体粒径が大きいと早く被覆できた。同様なことが転動造粒においても確認されている⁷¹⁾。

被覆用粉体の粒径の大小と被覆層の強度の関係を示したのが2・6-3図である。被覆層の強度は粉体粒径が大

きいと弱く、小さいと強かった。そこで、石灰およびキ
ビ土を別々に供試して、200メッシュ以下の微粉の割合
と被覆層の強度の関係を調査すると、2・6-4図のよう
に200メッシュ以下の微粉割合が増加すると被覆層の強
度は強くなった。造粒の場合には普通の粒度分布より微
粉の多いFuller曲線分布の方がよく、鉱石球などの場
合では325メッシュ以下のものが少なくとも50%は必要
40)といわれている。

このように流動法で被覆整形する場合、被覆整形能率
は80~325メッシュの範囲内では粒径の大きい粉体の方
が早く被覆できるが、逆に被覆層の圧砕強度は小さくな
る。したがって、被覆能率は7~8分遅れるが、被覆層
の強度面からは、200メッシュ以下の微粉を70%程度以
上含有する粉体が適当と考えられる。

(3) 被覆用粉体の補助材

ベントナイトは吸水による粘度が大きいため、被覆用
粉体への混入割合が多いと、各被覆段階で種子が相互に
復粒付着したり、造粒筒内壁へ種子とともに粉体が付着
して作業性が低下する。しかし、2・6-5図で明らか
のように、ベントナイトを被覆用粉体へ適量混入すると、
被覆層の圧砕強度が大きくなり、結合剤の助材として明
らかに有効であった。しかも、被覆粒径が増大するほど
その効果は高くなった。

このように、ベントナイトの混入は他の粉体の理化学
特性にもよるが、10~15%程度までの量であれば作業
性にも悪影響はないので、被覆用粉体への混入の外、結
合助剤としても有用と考えられる。

(4) 粉体の付着要因

種子の被覆は種子の表皮へ微粉を徐々に付着成形させ
て粒径増大を行わせるので、被覆といっても造粒という
表現が適当かも知れない。

種子の表皮に粉体が付着するために働く力は多様で、
種々の要因の総合と考えられる。第一に粉体自身も相互
に付着すると考えられ、粉体表面のエネルギーによって
粉体相互間に働く力は $F = K\delta\sqrt{Sc}$ で表され、さらに
 Sc は2種の粒径の調和平均の2乗に逆比例すると仮定
して、 $F = K^1 \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot \delta / (d_1 + d_2)$ が成立する
と考えられている³²⁾。ここに F :2種の粉体間の凝集
力、 δ :表面自由エネルギー、 Sc :接触面積。上式は
粉体表面自由エネルギーが大きくて、接触面積が大きい
と粉体自身の結合力は強いことを示している。接触面積
を大きくするには、粉体の形状が球形でなく不整形なフ
レック状で、微細なほどよいことを示している。これは
本試験の結果とよく一致し、既述(II, 5)した(1)式も

粉体粒子が小さいほど結合力が大きいことを示している
第二に同式は粉体の間に水が充満すると、粉体と種子の
間に毛管吸引力による結合力を生じ、吸水により粉体の
付着が変化することを示している。第三に帯電による結
合も想定されるが、静電気は乾いた粉体に生ずるので、
本方式のような湿式の被覆整形方式では、帯電による結
合力を利用することは考えられない。

7. 被覆整形過程の機構解明

これまで、種子の被覆整形方法および好適な結合剤と
被覆用粉体について述べてきた。しかし、種子の被覆整
形過程における被覆機構および種子を造粒筒内で円滑に
流動させるための送風条件についての報告は見当たらない。

そこで、本項ではこれらを解明するための二三の実験
を行った¹³⁴⁾。

1) 材料および実験方法

実験1: 種子の被覆整形機構

2・4-5図に示した流動被覆整形装置で、2色の被覆
用粉体を使って、ハクサイ(粒径1.7mm)を粒径4mmの
大きさに被覆整形し、その被覆整形過程を類推しようと
した。そのため、被覆層を3段階(内層1.7~2.5mm、
中層2.5~3.2mm、表層3.2~4.0mm)に分級し、中層
を赤色のクレーで、内層と表層を白色のタルク粉体で3
層に被覆整形した。そして、白色および赤色の粉体が種
子へ付着する状況と、サイクロンおよびバックフィルタ
ーへ飛散した前記2色の粉体を3段階の被覆層ごとに捕
集し、2色の粉体の混入程度を調査した。4mmに被覆整
形した被覆種子は、被覆層を破損しないように種子とと
もに等分に切断し、中層の赤色クレー中へ混入した白色
タルクの有無および表層の白色タルクへ混入した赤色ク
レーの有無を、各々顕微鏡で400倍に拡大して調べた。

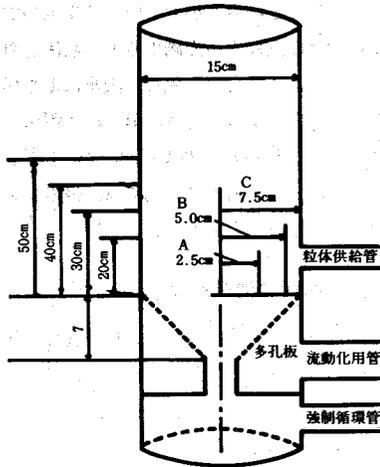
実験2: 種子の好適流動化のための送風条件

実験1の被覆装置において、2・7-1図に示す各部位
の風速および静圧などを測定し、造粒筒内における種子
の円滑な流動化に必要な送風条件を求めた。種子の被覆
中における送風条件の測定は困難なので、造粒筒内に種
子のない状態で測定した。そのためにあらかじめ被覆段
階におけるバルブ(2・4-5図のA, B, C)の開度など
の操作条件を記録し、種子の各被覆段階の流動条件を再
現して測定した。

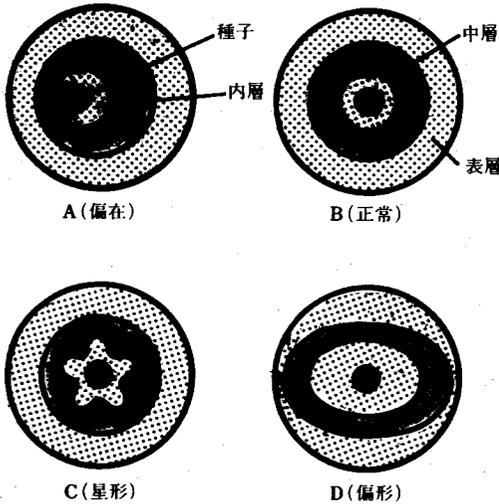
2) 結果および考察

(1) 種子の被覆整形機構

2種類に色分けした被覆用粉体を使って、種子の被覆



2・7-1図 造粒筒内における送風条件の測定部位



2・7-2図 被覆種子の断面形状

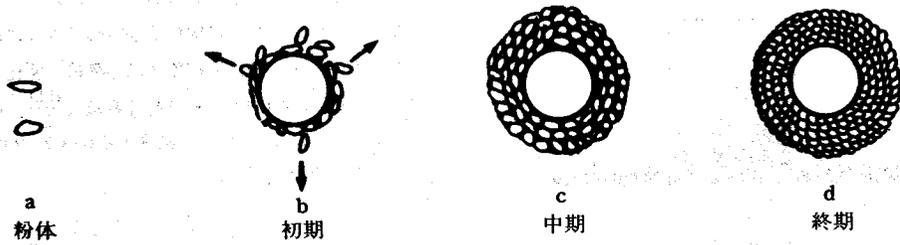
整形過程を調査したところ、2・7-2図の被覆種子の切断面で明らかのように、被覆粒のほぼ中心に種子が存在し、その周囲を白色の粉体（内、表層）が赤色の粉体（中層）をはさんでいる。被覆種子の切断面を大別すると、2・7-2図のA、B、C、Dの4形状に分類できる。すなわち、被覆種子の切断面において、種子は被覆粒内のほぼ中心に（B）位置するものが多いが、被覆粒内の中

心から外れて偏在（A）するものも見受けられた。種子が被覆粒内の中心に位置する場合は、各色の被覆層の各部位の厚さがほぼ均一で、円形であった。被覆種子が偏在している場合は、各色の被覆層の厚さが不均一であったが、各層は円形であった。また、Cのように内層が星形のような凹凸をしていたり、Dのように内層および中層が楕円形のものも、外観は円形を呈する場合が多かった。

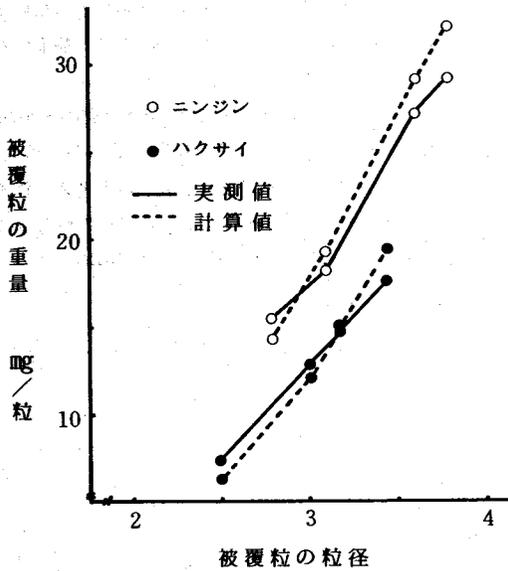
この被覆種子の断面形状は、造粒筒内における種子の流動状況によって異なり、それが良好な場合はBのように種子が被覆粒の中心に位置するとともに、各色の被覆層が等厚な球形をしていると考えられる。被覆開始時におけるバッチ当たりの種子の投入量が極端に少ないと、裸（無被覆）種子が円形のハクサイでも、2・7-2図Aのように偏在したり、あるいはDのように内層や中層が変形になった。これは造粒筒内での被覆粒の相互接触による被覆表層の研磨が少く、粉体粒子が種子へ局部的に付着した場合、十分に整形できず、被覆層に凹凸を生じたためと考えられる。しかし、被覆整形が進み被覆粒径が増大すると、種子の相互接触による被覆表層の研磨が良好になるため、最終的には被覆粒の外観は球形に整形されたものと考えられる。本実験装置における造粒筒内での、種子の相互接触が良好な被覆開始時の種子投入量の下限はほぼ1.6 μ であった。

造粒筒内における各被覆段階の流動化が不円滑な場合には、星形Cのような被覆層の凹凸が発生した。この被覆表層の凹凸が一旦生じると、これを正常に整形することは極めて困難で、種子を複粒被覆する割合も多くなった。その上、結合剤水溶液や粉体の供給量を極度に制限しなければならないので、被覆整形に要する作業時間は正常時（B）の数倍を要することが認められた。したがって、吸水速度の速い種子では、被覆整形後の発芽に支障を来す場合が生じることも懸念される。造粒筒内での種子の流動状態が良い（2・7-2図B）と、中層（赤色）への白色粉体の混入および表層（白色粉体）への赤色粉体の混入は、ほとんど認められなかった。しかし、被覆開始時に造粒筒内への種子の投入量が少ないか、種子の造粒筒内での流動状態が不円滑な場合は、赤色の中層へ白いタルク粉が、また白色の表層へ赤いクレイ粉が付着点存在することが認められた。また、サイクロンやバックフィルターへ飛散した粉体中でも同様なことが確認された。

このような状態は、粉体（P）と結合剤水溶液（B）の供給比（P/B）により影響を受け、適正な供給比



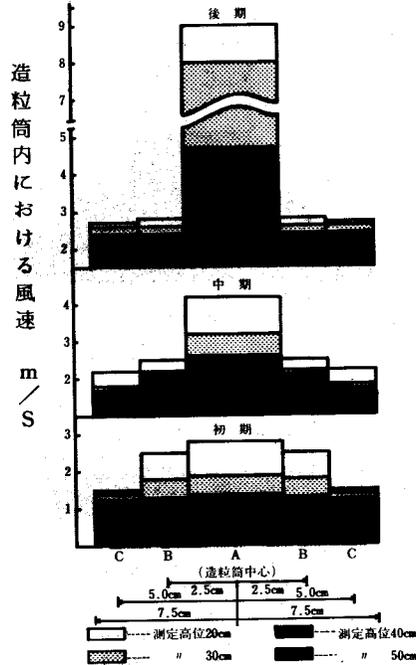
2・7-3図 種子の被覆成長過程



2・7-4図 被覆層形成物質の付着量の実測とモデル式による値の比較

($P/B \div 2.6$)の場合は、前述(2・7-2図B)のような良好な被覆状態となった。これより供給比が大きくなると、被覆層の含水比が低くなるため、せっかく付着した粉体が剥離して、剥離した粉体が新たに供給された粉体と共に種子へ混在付着する確率が高くなった。反対に供給比が小さいと被覆層の含水比が大きくなり、粉体の付着が良好で、サイクロンやバックフィルター内にも2色の粉体は混在せず、しかも被覆段階の各色の被覆層中にも他の色の粉体は混入しないが、複粒被覆率が増加した。

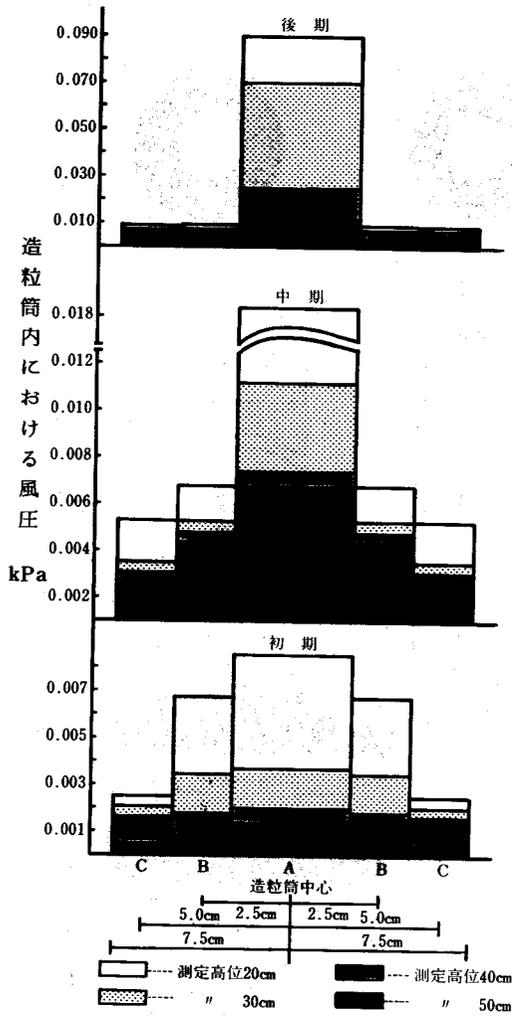
種子の表皮に一定の厚さに付着した粉体粒子は、適正な流動条件下ではほとんど剥離しない。しかし、種子の流動化が不円滑な場合には、種子へ付着した粉体が離散し、他の種子へ付着したり、サイクロンやバックフィルターへ飛散すると考えられる。ところが、2・7-3図に示すように、種子の流動が始まって種子の表皮が結合剤



2・7-5図 造粒筒内における風速分布 (1974)

水溶液の噴霧でぬれると、粉体粒子が付着を開始する。粉体が種子へ付着を開始するところは、種子の表皮と粉体粒子のぬれが不十分なため、粉体粒子は種子の表皮へ付着および離散を繰り返す(b)ので、被覆初期には被覆粒の粒径増大速度が遅いものと考えられる。その状態を過ぎて、種子の表皮に付着した粉体粒子の間に結合剤の水溶液が、均等に分布するような前記の供給比および円滑な種子の流動のための送風条件を与えると、急速に粉体粒子の付着が多くなる(2・7-3図c)。各被覆段階の種子は、相互の流動接触で研磨され、被覆層を徐々に圧密化しながら急速かつ均等に被覆層を増大して、一定粒径(2・7-3図d)に整形されるものと推察される。

以上のことから、好適な種子の流動条件下では、一旦付着した粉体の粒子はほとんど剥離することなく、各被覆段階の種子の表層は相互に研磨されながら、ほぼ均等に被覆層を形成する。しかし、種子の流動化が不円滑な



2・7-6図 造粒筒内における風圧分布 (1974)

場合には、種子は相互の接触の際、一旦種子へ付着した粉体が離散し、他の種子へ付着したり飛散するものと考えられる。

(2) 被覆層形成物質の種子への付着モデル

(a) 球状種子の場合

球体の種子の周囲に等厚な被覆層が形成される場合、被覆行程では、微小時間 dt における被覆層形成物質の供給量 Qdt と、次に示す被覆層形成物質の付着量 q_1 および q_2 とが平衡しながら、被覆層の増大が進行すると考えられる。

① 微小時間 dt における被覆層形成物質の付着量は、球状種子の表面積に比例すると考えられる。したがって、 dt 時間に被覆層の直径が dD 増加したとすれば、近似的には次式(1)で被覆層形成物質の付着量 q_1 が与えられる。

$$q_1 = \frac{1}{2} \rho_c \pi D^2 dD \dots\dots (2 \cdot 7-1) \text{ 但し, } D:$$

被覆種子の直径, ρ_c : 被覆層形成物質の密度

② 被覆層が形成され、被覆粒が一定の大きさになると、被覆粒の相互接触のため被覆層は急激に圧密化され、被覆層形成物質は、 dt 時間における付着量 $(\frac{dD}{2})$ のうち、体積に比例した量 q_2 だけ圧密化する(2・7-2)ので、被覆粒の増大速度は低下する。

$$q_2 = \frac{1}{12} K_1 \pi r D^3 dD \dots\dots (2 \cdot 7-2)$$

但し, K_1 : 定数, r : 被覆層の圧密率

③ 好適な種子の流動条件下では、一旦付着した粉体は剥離しない。また本被覆方法は湿式のため、静電付着も起らないと考えられる。

したがって、上記の3条件下では、 dt 時間の被覆層形成物質の供給量 Qdt が、被覆層形成物質の付着量 $(q_1 - q_2)$ とバランスして、被覆層を形成すると考えられるので、被覆層形成物質の供給量 Qdt と種子への付着量の関係は(2・7-3)式で、また Qdt と付着量の関係は(2・7-4)式で示される。

$$Qdt = \frac{1}{12} \rho_c \pi (6D^2 - KD^3) dD \dots\dots (2 \cdot 7-3)$$

但し, $K = r K_1 / \rho_c$

Q は一定として積分すれば、

$$Q \int_0^t dt = \frac{1}{12} \pi \int_{D_3}^D \rho_c (6D^2 - KD^3) dD \\ = \frac{1}{12} \pi \left[2\rho_c D^3 - \frac{1}{4} KD^4 \right]_{D_0}^D$$

上式より

$$Qt = \frac{1}{48} \rho_c \pi \left\{ 8(D^3 - D_0^3) - K(D^4 - D_0^4) \right\} \dots\dots (2 \cdot 7-4)$$

(b) 楕円形の裸種子の場合

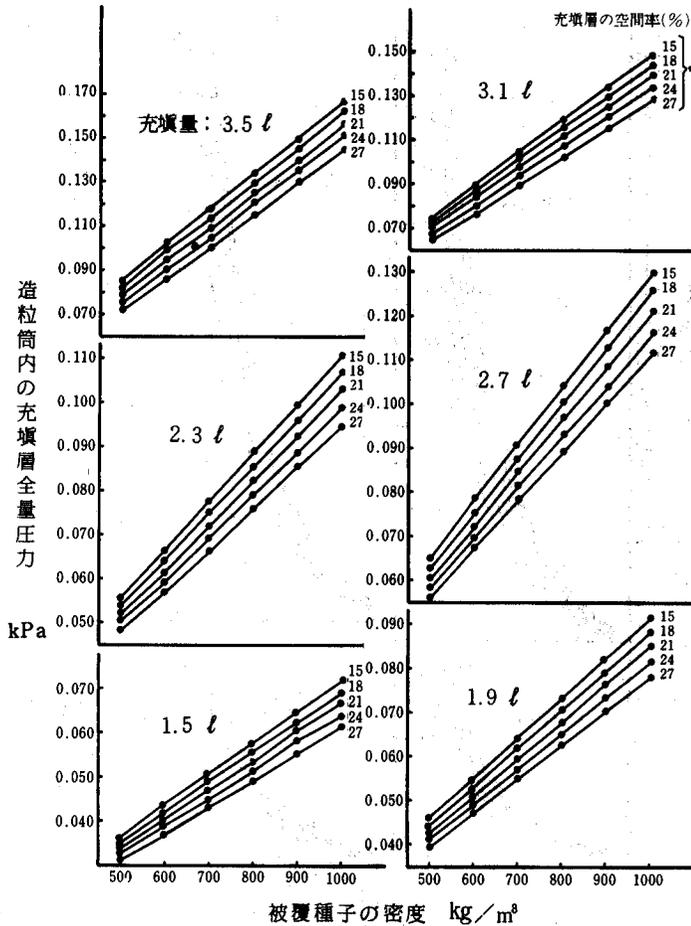
楕円形の裸種子の周囲に被覆層が形成される場合、被覆行程では前述の球状種子と同様な3条件の下で、被覆層は増大すると考えられる。すなわち、

① 微小時間 dt における種子への被覆層形成物質の付着量は、種子の楕円体表面積に比例する。 dt 時間に被覆層が dD 増えた場合、付着量 q_3 は近似的には次式(2・7-5)で示される。

$$q_3 = \left\{ \rho_c \left[\frac{1}{4} \pi \lambda^2 D^2 + \frac{\pi D^2}{4\epsilon} \log \lambda (1 + \epsilon) \right] \right\} dD \dots\dots (2 \cdot 7-5)$$

但し、離心率: $\epsilon^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = \frac{\lambda^2 - 1}{\lambda^2}$, $\frac{a}{b} = \lambda$, $2b = D$

とする。



2・7-7図 造粒筒内における被覆種子の密度と充填層全量圧力の関係 (1974)

② 被覆層が形成され、一定被覆粒径になると、被覆粒の相互接触のため被覆層は急激に圧密化され、被覆層形成物質は、 dt 時間における付着量 $(\frac{dD}{2})$ のうち、体積に比例した量 q_4 だけ圧密化される (2・7-6) ので、被覆粒の増大速度は低下すると考えられる。

$$q_4 = \frac{1}{12} K_2 \pi \lambda r' D^3 dD \dots \dots (2 \cdot 7 - 6)$$

但し、 K_2 : 定数、 r' : 被覆層の圧密率

③ 好適な種子の流動条件下では、一旦付着した粉体は剝離しない。また本被覆方法は湿式のため、静電付着も起らないと考えられる。

したがって、上記の3条件下では、 dt 時間内の被覆層形成物質の供給量 Qdt が、種子への付着量 $(q_3 - q_4)$ とバランスして、被覆層を形成すると考えられるので、 Qdt と種子への付着量の関係は次式 (2・7-7) で、 Qdt と付着量の関係は (2・7-8) 式で示される。

$$Qdt = q_3 - q_4$$

$$= \frac{1}{12} \pi \lambda^2 \rho_c \left\{ 3D^2 + \frac{3D^2}{\lambda^2 \epsilon} \log \lambda (1 + \epsilon) - \frac{KD^3}{\lambda} \right\} dD \dots \dots (2 \cdot 7 - 7)$$

但し、 $K' = K_2 r' / \rho_c$

Q を一定として積分すれば

$$Q \int_0^t dt = \frac{1}{12} \pi \int_{D_0}^D \rho_c \lambda^2 \left\{ 3D^2 + \frac{3D^2}{\lambda^2 \epsilon} \log \lambda (1 + \epsilon) - \frac{KD^3}{\lambda} \right\} dD$$

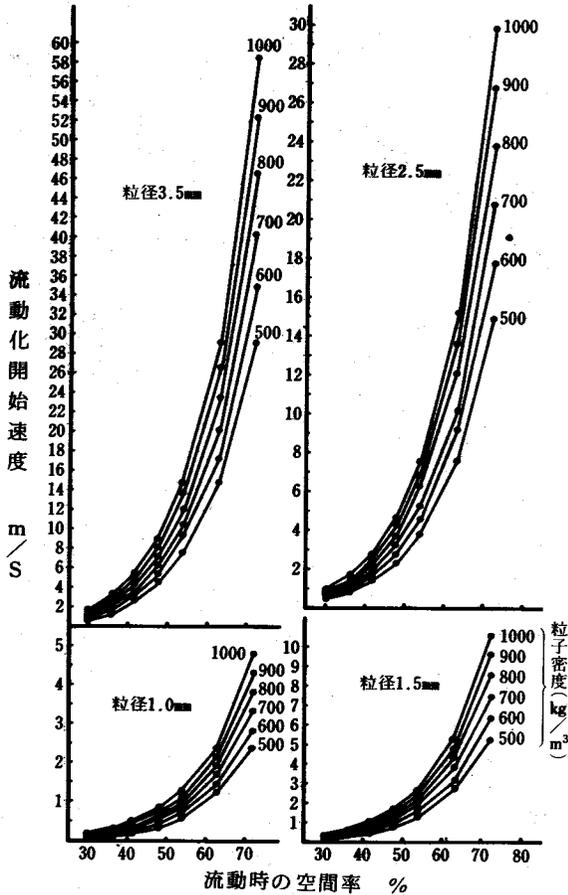
故に

$$Qt = \frac{1}{12} \pi \rho_c \lambda^2 \left[D^3 + \frac{D^3}{\lambda^2 \epsilon} \log \lambda (1 + \epsilon) - \frac{KD^4}{4\lambda} \right]_{D_0}$$

展開すれば

$$Qt = \frac{1}{12} \pi \rho_c (D^3 - D_0^3) \left\{ \lambda^2 + \frac{1}{\epsilon} \log \lambda (1 + \epsilon) \right\} - \frac{1}{48} \pi \lambda \rho_c K' (D^4 - D_0^4) \dots \dots (2 \cdot 7 - 8)$$

(c) 付着モデル式の値と実測値の比較
球状および楕円状種子の常数 K および K' の値を (2・7



2・7-8図 充填層の流動開始速度 (1974)

-3)式および(2・7-7)式から求めて、球状および楕円状種子の被覆層の附着量を(2・7-4)式および(2・7-8)から求め、実測値と比較すると2・7-4図のとおりである。定数を算出した被覆種子における粉体附着量のモデル式による値と実測値はほぼ一致する。ここで、定数kおよびk'は、各々0.945、-1.145であった。したがって、2・7-4および2・7-8式は次のようになる。

$$\text{球状種子: } Qt = \frac{1}{48} \rho_c \pi \{ 8 (D^3 - D_0^3) + 0.945 (D^4 - D_0^4) \}$$

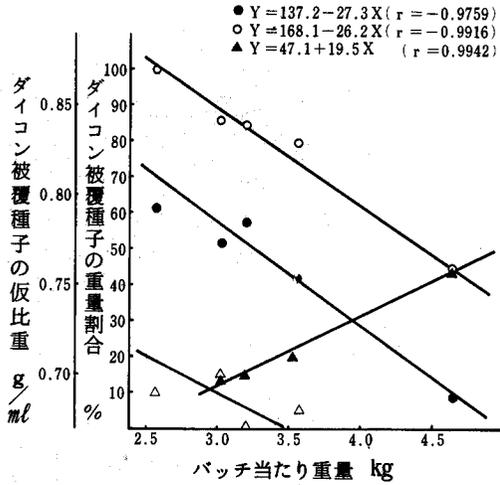
$$\text{楕円状種子: } Qt = \frac{1}{12} \pi \rho_c (D^3 - D_0^3) \left\{ \lambda^2 + \frac{1}{\epsilon} \log \lambda (1 + \epsilon) \right\} + 0.0239 \pi \lambda \rho_c (D^4 - D_0^4)$$

(3) 種子の好適流動化のための送風条件

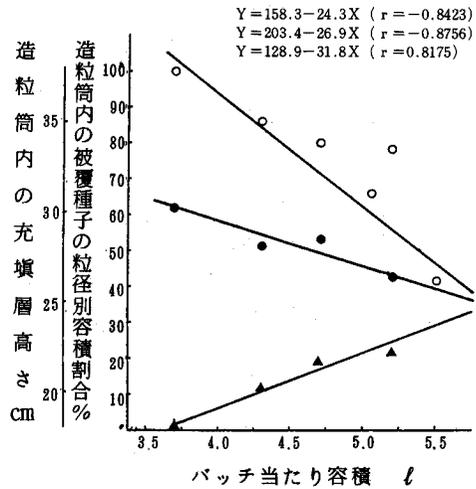
2・7-2図に示す造粒筒各部位における風速を測定した。強制循環管と多孔板下部の接合部より、上方27~57cm(測定高位20~50cm)点において、種子を円滑に混合流

動させるのに必要な風速は、2・7-5図に示すとおりである。風速は流動化開始初期では遅いが、種子の被覆が進むに従って速くなった。とくに、造粒筒内中央部における流速の増大が著しく、後期には初期の3倍以上の風速を必要とした。すなわち、被覆開始初期には中央部のA点で2.8m/s、その周囲部のB点で2.5m/s、さらに造粒筒の内壁に近いC点では1.5m/sであった。それが被覆層がほぼ半量形成された中期には、A点で4.2m/s、B点で2.5m/s、C点で2.2m/sを、所定量の被覆層が形成された後期には、A点で9m/s、B点で2.8m/s、C点で2.7m/sの速い風速を必要とした。

次に、造粒筒へ送風する3本の送風管の風速は、粉体供給管ではごく初期以外はほぼ一定であるが、流動化用管と強制循環管は操作時期によって異なった。被覆整形が進み、被覆粒径が増大する中~後期には、風速は初期よりも速くしなければならなかった。とくに、強制循環管の風速は後期には初期のほぼ3倍、流動化用管でも中



2・7-9図 ダイコン種子の粒径別重量比と流動化限界 (1974)



2・7-10図 ダイコン種子の粒径別容積比と流動化限界 (1974)

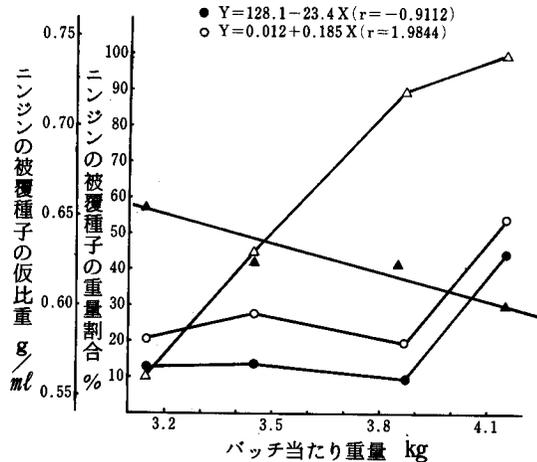
2・7-1表 静止流体内の自由落下速度 (m/s)

粒子径 mm	粒子密度 Kg/m^3					
	500	600	700	800	900	1000
1.0	13.7	16.5	19.2	21.9	24.7	27.4
1.5	33.6	39.5	47.0	52.7	59.3	65.9
2.5	93.2	111.9	130.5	149.2	167.9	186.6
3.5	180.9	217.1	235.4	289.7	325.9	362.2

注 $U_m = \frac{g_0}{18} (D\rho)^2 \left(\frac{\rho_s - \rho_f}{\mu_f} \right)$ より計算

および後期には流動開始初期の4.7倍および5.2倍の風速を必要とした。すなわち、ブローワから調圧タンクを經由して送風される粉体供給 (20mmφ), 流動化 (40mmφ) および強制循環 (25mmφ)用の各送風管の風速は、流動化開始初期にはそれぞれ1.3 m/s, 2.4 m/s, および7.6 m/sであったが、中期には8.8 m/s, 11.5 m/s および18.0 m/sを、また後期には7.5 m/s, 12.5 m/s および21.0 m/sの風速を必要とした。

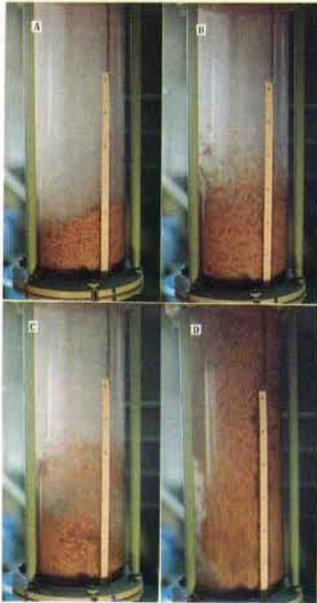
造粒筒内の各部位における風圧のうち、動圧は2・7-6図で明らかなように、風速と同様な傾向を示し、被覆開始初期には小さく、中期には初期のほぼ3倍、後期には同じく10倍の風圧を必要とした。すなわち、種子を流動させるに必要な風圧は、被覆開始初期には強制循環用管と多孔板下部の接合部より、上方27cmのA点で



2・7-11図 ニンジン種子の粒径別重量比と流動化限界 (1974)

0.0086 kPa, その周囲のB点で0.0068 kPa, さらに造粒筒内の内壁に近いC点では0.0025 kPaであった。被覆層がほぼ半量形成された中期には、A点で0.0185 kPa, B点で0.0069 kPa, C点では0.0053 kPaを、また被覆層の形成がほぼ完了した後期では、A点で0.0890 kPa, B点で0.0086 kPa, C点で0.0080 kPaを必要とした。なお、この際の静圧は、初期においては0.00004 kPa, 中期で0.0014 kPa, 後期では0.0022 kPaと僅小であった。

このような流動層における風速と風圧の関係については矢木¹¹⁸⁾の報告があり、粒子を充填した筒の下部より



- A 正常 B バブリング
C チャンネリング D スラッキング

2・7-12図 造粒筒内における種々の流動状況

気体を吹込むと、最初は層による圧力降下が見られるが、風圧が下記の充填層全量圧力 $\Delta \rho$ (筒単位断面積当たり重量)に相当するようになれば、粒子が筒内で流動を開始する。

$$\Delta \rho = V_T (1 - \epsilon) (\rho_s - \rho_F) / A_T$$

(A_T : 造粒筒断面積 m^2 , V_T : 充填層容積 m^3 , ϵ : 充填層の空間率%, ρ_s : 粒子密度 kg/m^3 , ρ_F : 流体密度 (kg/m^3))

さらに、充填層の流動開始速度は、次式で表されるとしている。

$$Um\rho = (g_0 / 150) (D\rho)^2 (\rho_s - \rho_F / \mu_F) \left\{ \frac{Em\rho^3}{1 - Em\rho} \right\}$$

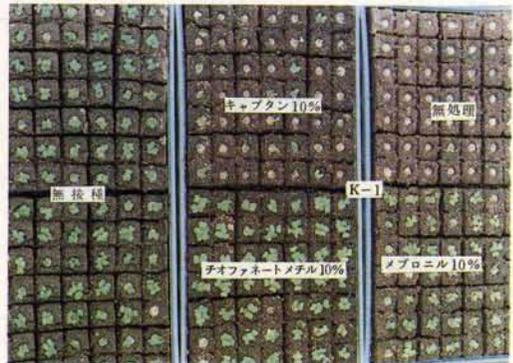
(g_0 : 重力, $D\rho$: 粒子径, μ_F : 流体粘度 $kg/m \cdot sec$, $Em\rho$: 流動時の空間率)

しかし、本装置のようにV字形をした多孔板の底部の、中央に設けた強制循環用管および多孔板下から、流動化用の送風をするとともに、多孔板上方からも粉体供給用の送風をして、種子の流動化を円滑にした場合には、流動を開始するに要する風圧は、矢木¹¹⁸⁾の提案した式から求めた2・7-7図に示す値の数分の1の風圧でよく、また流動化開始速度も、矢木¹¹⁸⁾の提案した式より計算した値2・7-8図の数分の1であった。

ところで、流動化開始速度 $Um\rho$ が粒子1個の性質と



2・8-1図 裸種子および被覆種子



2・9-1図 被覆層への殺菌剤混入効果

如何なる関係にあるかは、興味のあるところである。これは2・7-1表に示すように、充填層を構成する粒子の自由落下速度 $Um = (g_0 / 18) (D\rho)^2 (\rho_s - \rho_F) / \mu_F$ の数パーセントの流速を与えれば、流動を開始する¹¹⁸⁾とされているように、本実験でも自由落下速度 Um のほぼ20分の1程度の流速で流動を開始した。

裸種子の粒径が大きいダイコンでは2・7-9および2・7-10図で明らかのように、被覆種子の大粒の割合が多いほど、流動化可能な重量および容積は小さく、逆に粒子が小さくその割合が多いほど、流動化限界の重量と容積はともに増大した。

ダイコンでの流動化限界の上限は4.7kg(5.5ℓ)で、被覆整形がほぼ完了した後期の流動化限界は、充填層高さが28.8cm弱で、充填層高さ(H)/造粒筒内径(D)の充填指数が1.92前後と考えられる。ニンジンのような粒径の小さい種子の流動化限界は、2・7-11図に示すように、被覆終了段階における大粒の被覆種子の多少による影響は認められず、その最大充填量は4.15kg(5.7ℓ)であった。その際における造粒筒内の充填層高さの限界は、図示しなかったが29.6cmで、充填指数(H/D)はダイコンとはほぼ同じ1.97であった。

2・8-1表 被覆種子の物理的性状(1977)

種類	品種	大きさ mm			容積 粒数 粒/50cc	密度 g/ml	安息角 度	圧砕 強度 N	被覆 層の 厚さ mm	容積 の増 加倍 数	外觀
		縦径	横径	厚さ							
レタス	グレートレイクス	4.7 (3.5)	3.4 (0.4)	3.3 (0.2)	1,240	0.76	27~29 (27~28)	9.5	1.3	9.8	卵形
キャベツ	黒葉	4.1 (1.8)	3.9 —	— —	920	0.74	27~29 (26~28)	9.9	1.2	10.3	球形
ハクサイ	耐病60日	3.3	3.3	—	1,540	0.78	26~28	10.6	0.8	9.2	球形
		3.6 (1.8)	3.5	—	1,290	0.77	26~28	10.6	0.9	9.8	球形
ニンジン	春播五寸	4.1 (2.6)	3.4 (1.4)	3.3 (0.8)	1,320	0.78	27~29 (40~42)	10.5	1.0	12.5	卵形
ダイコン	夏みの早生1号	4.4 (16~26)	4.3	—	880	—	—	—	—	4.3~4.7	球形
ネギ	九条	4.5 (2.8)	4.1 (2.0)	— (1.4)	790	0.78	27~29 (40~42)	8.3	1.3	11.5	球形
ピーマン	市場	5.6	5.3	3.7	490	0.71	29~32	7.4	1.4	8.7	扁平
トマト	大型赤福	4.9	4.2	3.8	850	0.74	31~33	7.6	1.2	3.6~4.5	球形
		2.4	2.4	—	4,110	0.80	31~33	5.6	1.0	14.6	球形
タバコ	バージニア	2.7 (0.2~0.4)	2.7	—	3,000	0.79	31~33	6.1	1.0	20.0	球形

注 1. 大きさ, 圧砕強度, 被覆層の厚さは100粒の平均である。
2. ()内は裸種子。

したがって、充填層内の種子の流動は、種子径、種子密度および充填層高さにも影響されるが、充填層底部、すなわち造粒筒の多孔板周辺の構造、なかでも種子を造粒筒内で強制流動させる送風方法、および構造に最も影響を受けると考えられる。強制循環管などからの送風で、多孔板上の筒内の風速が流動開始速度 U_{mp} に近づく、充填層内の下部に気泡が発生し、充填層が上昇しはじめる。これより流速を増せば充填層全体が膨張し、種子の流動が不安定な状態となる。さらに、流速を増加すれば種子は激しく流動しながら混合する。しかし、これ以上流速を増すと充填層外に種子が飛び出すので、被覆用に供給した粉体が種子には付着せず、サイクロンやバックフィルターへ飛散する率が高くなり、種子への粉体の付着効率が低下すると考えられ、実際に2・7-12図に示す流動状況が生じた。種子の充填層内部における気体の流速が遅い場合には、造粒筒内で気泡が生じたり、種子の充填層内部で局部的に生じた不規則な通路を通して、気体が不均一に流れるチャンネリングが発生した。また、

流動層の表層で大きささまざまな気泡が破裂し、種子が沸騰状態になるバブリングが、さらに進むと気泡が造粒筒内の全面にまで発生拡大して、気柱化したスラッキングが生じ、均一な種子の流動状態を維持することが困難なことがしばしば起った。

このような造粒筒内での種子の不円滑な流動状態は、造粒筒内の種子層が不均一になるために起り、1) 小さな造粒筒内径で種子の充填層が高く、2) 大きな種子径と大きな種子密度、3) 小さな気体密度、4) 造粒筒内へ送られる気体の流速分布が不均一なとき、5) 粉体の比重が大きく、かつ形状が球形に近いときに助長される¹¹⁸⁾といわれている。種子の被覆整形では、被覆粒径が3~5mmと大きく、造粒筒内で種子が不均一層を形成する前記要因の第2項が該当する。野菜の種子は一般に小粒であるが、不整形なので種子間のかみ合う力や摩擦が大きく、しかも本被覆装置は湿式のため種子の表面が湿潤になるので、なおさら相互に付着し易くなる。

この程度の実験室規模の装置では、スラッキングなど

2・8-2表 被覆層の損耗(1978)

被覆方法	被覆層の強度N	振 盪 時 間 h										
		0.25	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	24
粗仕上げ	3	0.42	0.85	1.25	1.32	1.47	1.72	2.01	2.22	2.43	2.65	4.78(8.23)
	5	0.40	0.54	0.81	1.02	1.13	1.29	1.42	1.47	1.49	1.50	1.51(2.60)
	10	0.28	0.45	0.73	1.09	1.09	1.19	1.24	1.37	1.44	1.45	1.47(2.50)
	20	0.29	0.50	0.54	0.77	0.79	0.82	0.86	0.92	0.96	1.03	1.04(1.79)
精密仕上げ	30	0.16	0.17	0.22	0.22	0.22	0.23	0.26	0.26	0.30	0.33	0.60

- 注 1. 数字は重量%で示すが、()内は容積%を表す。
 2. 粗仕上げ; 結合剤は CMC 溶液 3%, アラビアゴム 5%の 30:70の混合液。
 3. 精密仕上げ; 粗仕上げ後に、表層をシェラック 2%溶液で被覆した。

の不均一な種子の流動を防止するには、1) 注意深く流動状況を確認しながら送風用のバルブを操作し、2) 被覆整形が完了するまで、チャンネリングやバブリングあるいはスラッキングを起こさない程度の初期充填量を確保し、3) 多孔板を厚くするなどの方法により、造粒筒内への送風を層流にして、流動化を助長することが有効と考えられる。

8. 被覆種子の物理性と被覆層の損耗

被覆種子の物理的性状が、裸種子に比べてどの程度に斉一化されたかについての報告は見当たらない。そこで、被覆種子の形状および安息角などの物理的性状を1977年に測定した。

次に、輸送中などに生ずる振動による被覆層の剝離、破損および減摩などの損耗程度を1978年に調査し、さらに包装容器および輸送方法を検討し、被覆層の強化や被覆用粉体の改良に役立たせることを目的とした。

1) 材料および実験方法

実験1: 被覆種子の物理的性状

各種類別の被覆種子の大きさ、容積当たりの粒数、密度、安息角および被覆層の厚さなどの各項目について調査した。

被覆種子の大きさは、縦径・横径および厚さについて100粒平均を求め、容積当たりの粒数は、漏斗を使って50ccメッシュリンダーの上縁5cm上から斉一に入れて算出した。安息角の測定にはABC粉体特性測定器(筒井理化学器械製)を使用した。(使用条件は受皿内径5cm、落下高さ10cm)。被覆層の厚さは被覆種子を等分縦切斷後、ノギスで測定し、100粒平均を求めた。被覆層の測定についてはII, 4に準じた。

実験2: 被覆層の損耗

被覆層の圧碎強度が3~20Nの4段階の被覆種子を、別々にプラスチック製円筒(直径×高さ: 4×6cm)へ、容積(80cc)の約半量入れ、振盪方向に対し容器を横にして振盪し、ほぼ1時間ごとに24時間調査した。供試した振盪機は三田村理研工業製(型式14-50B)で、振盪回数は毎分当たり155往復、振盪ストロークは6.3cmであった。被覆用粉体はいずれもミクライト・シリカセルおよびベントナイトを各々40:40:20の割合で混合したものを、結合剤としてはCMC3%水溶液とアラビアゴム5%水溶液を30:70の割合で混合したものを使用した。

被覆表層の仕上げは、粗仕上げと精密仕上げの2通りで、粗仕上げは被覆終了まで前述の結合剤水溶液で、精密仕上げは粗仕上げ後、その表層を軽くシェラック水溶液2%で被覆した。この両区の被覆層の圧碎強度は3Nであった。

2) 実験結果および考察

(1) 被覆種子の物理的性状

被覆種子の物理的性状は、2・8-1表および2・8-1図のとおりである。被覆種子の外観はほぼ3~4mm粒径に被覆すると、裸種子が丸形をしたキャベツ・ハクサイおよびタバコ、扁平なトマトおよびピーマン、角形をしたネギおよびタマネギはいずれも球形となり、細長いレタスおよびニンジンに卵形となった。

被覆種子の容積は被覆粒径がほぼ3.5mmの場合、レタス・ハクサイ・キャベツ・ネギおよびニンジンで10倍、トマトでは4.5倍、タバコの場合は被覆粒径が2.4~2.7mmで150~200倍になった。

被覆種子の密度は各種類ともにほぼ0.71~0.80g/mlの範囲にあり、タバコ(0.79~0.80g/ml)が最も大きく、ピーマン(0.71g/ml)は最も小さかった。密度は被覆層を形成する粉体でほぼ均一化され、タバコのように

2・9-1表 供試した菌株の来歴

菌株	培養型	分離寄生	播種場所	分離年月日	備考
H-42	I B	夏みの早生2号ダイコン	広島県比婆郡高野町	1977. 7. 11	広島農試
H-10	I	聖護院ダイコン	広島県東広島市八本松町	1977. 4. 15	広島農試
K-1	III A	キュウリ	久留米市広川町(原種育成会農場)		野菜試(久留米市場)
SH-33	III A	土 壤	帯 広 市	1962. 10.	農 技 研
H-22	III A	夏みの早生2号ダイコン	広島県比婆郡高野町	1977. 7. 11	広島農試
H-3	III B	夏みの早生2号ダイコン	広島県比婆郡高野町	1976. 8. 4	広島農試

に裸種子の粒径が小さいほど大きく、ピーマンのように粒径の大きい種子ほど小さい傾向が認められた。

被覆種子の安息角は27~33度の間にあり、安息角が裸種子より小さいのは、データは示さないが種子が扁平なトマトやピーマンと角形のネギ、それに細長い種子のニンジンで、同程度なのは種子が丸形のキャベツ・ハクサイおよび細長い形状のレタスであった。このように外観が同じように細長い形状でも、ニンジンとレタスでは被覆種子の安息角は異なった。これは、ニンジンの種子は完全な除毛ができず、しかも中央部がお碗のように窪んでいるため摩擦係数が大きい、レタスの種皮は平滑で摩擦係数が小さいため、被覆しても安息角は変らなかつたものと考えられる。

粒径の小さい種子ほど被覆整形による容積増加はほぼ10倍と著しく、被覆種子の容積粒数は、レタス・ニンジンおよびハクサイなどで50cc当たりほぼ1,200粒、ネギで800粒であった。

以上のように、種子は被覆形状および粒径が同一の場合、外観から種類を識別することは困難なほど、物理的性状が斉一化された。しかし、被覆による最大の短所はこの容積の増加で、輸送手段や貯蔵倉庫の確保などが新たな問題となり、今後包装方法および資材面からの検討を要する。

種子の播種機への適応性および経済性(後述)からみて、被覆整形する大きさは種類によって異なり、ハクサイ・キャベツ・レタス・ニンジンおよびネギなどの中粒種子は、裸種子の約10倍(被覆粒径3~4mm)、小粒のタバコでは150倍(被覆粒径2.5mm)、大型のトマトおよびダイコンで5倍(被覆粒径4~5mm)ほど容積が増加する程度が最適と考えられる。

(2) 被覆層の損耗

被覆層の損耗調査の結果は2・8-2表のとおりである。被覆層の圧砕強度が高いほど、被覆層が容器中で互に接触あるいは衝突して生じる砕粒、剥離および摩擦などに

よる被覆層の損耗は少なく、また振盪時間が短かいほど少なかった。被覆層の圧砕強度が5N以上あれば、24時間振盪後でも重量で1.5%、容積で2.6%以下の損耗であった。

また、被覆層の表層を被覆する結合剤の水溶液によっても、被覆層の損耗は軽減された。CMC 3%水溶液とアラビアゴム5%水溶液を30:70の割合で混合した溶液で、表層まで被覆した粗仕上げより、その後さらに表層をシエラック水溶液2%で被覆すると(精密仕上げ)損耗量は0.6%となった。ここでは、シエラックの特徴の一つである耐摩耗性を利用したが、被覆層の強度が低い(3N)場合でも、十分にその効果が認められた。

以上のことから、被覆層は粗仕上げの状態でも、圧砕強度が5N以上であれば損耗は少なく、さらにシエラック溶液で被覆すれば、振動の激しい輸送にも十分堪えることができると考えられる。

9. 被覆種子の被覆層への殺菌剤混入効果

種子は菌に侵されている場合が多く⁷²⁾ *Alternaria tenuis*, *Helminthosporium sativum*, *Fusarium Spp.* および *Rhizoctonia solani*. 等に侵されたものは発芽力が減じる。しかし、モザイク病にかかったたばこ種子は発芽率に差を生じない²¹⁾、軽度の罹病によって発芽歩合や生長が促進される¹⁵⁾場合もある。ところが、一般に疾病にかかった種子は発芽力が減退すると考えられ、なかでも苗立枯の原因となる *Fusarium* や *R.solani* による被害は大きい。この立枯予防の見地から多くの研究がなされ⁵⁹⁾、未沢⁹⁶⁾は、苗の立枯率が裸種子では99%以上であるが、被覆種子は30~40%程度で、収量も増加すると述べている。しかし、被覆整形することによって発芽が遅延したり、被覆層の機械的強度が弱く、播種機に対する適応が不十分で実用化には至らなかつた。前述したごとく、その後被覆整形技術の改良を重ね、発芽性の安定と向上が図られるとともに被覆層の強度も高められた。

2・9-2表 *R. solani* に対する種子被覆層への薬剤混入の効果(1978年)

菌 株	調 査 項 目	K-1 (ⅢA)				SH-33 (ⅢA)				H-22 (ⅢA)				
		健率 全株	不株 出芽	発死 病株 枯率	生良 育株 不率	健率 全株	不株 出芽	発死 病株 枯率	生良 育株 不率	健率 全株	不株 出芽	発死 病株 枯	生良 育株 不率	
バリダマイシン	9%	6.7	11.1	82.2	0	33.3	4.7	62.0	0	65.5	3.3	30.0	1.2	
キャプタン	9	5.1	38.6	55.1	1.2	0	62.5	37.5	0	22.9	9.4	67.7	0	
ジクロフルアニド	9	5.7	4.5	89.8	0	6.7	9.0	83.2	1.1	46.3	5.7	46.8	1.2	
メプロニル	9	27.6	1.1	67.9	3.4	46.3	1.2	51.4	1.1	61.8	2.2	32.6	3.4	
チオファネートメチル	9	30.5	2.2	62.8	4.5	35.1	1.1	62.7	1.1	53.3	1.2	41.0	4.5	
チウラム・チオファネートメチル	9	2.2	0	68.9	28.9	2.2	0	86.7	11.1	6.7	2.2	58.9	32.2	
イプロジオン	9	40.2	0	55.3	4.5	47.6	3.3	47.9	1.2	64.5	2.2	32.2	1.1	
チウラム・ペノシル	12	9.1	3.4	77.2	10.3	28.9	3.3	66.7	1.1	50.7	0	40.4	8.9	
無 処 理		0	95.5	4.5	0	0	73.3	25.6	1.1	5.5	72.3	22.2	0	
Lsd		0.05	12.5	4.2	19.6	15.9	26.9	8.9	29.4	4.8	12.7	10.9	17.7	5.4

- 注 1. 供試ハクサイ品種 '王将'
 2. 播 種 3月15日 出芽調査 3月24日 発病調査 4月10日
 3. 薬剤濃度(種子重に対する重量%)

2・9-3表 種子被覆層への薬剤混入が苗の生育におよぼす影響(1978年)

菌 株	調 査 項 目	K-1 (ⅢA)			SH-33 (ⅢA)			H-22 (ⅢA)			
		最大葉 長 cm	葉数 枚	乾物重 g/10本	最大葉 長 cm	葉数 枚	乾物重 g/10本	最大葉 長 cm	葉数 枚	乾物重 g/10本	
バリダマイシン	9%	9.6	2.1	0.25	9.7	2.1	0.29	10.4	2.1	0.33	
キャプタン	9	7.6	1.6	0.13	8.2	1.9	0.25	9.7	2.0	0.19	
ジクロフルアニド	9	9.8	2.2	0.30	9.6	2.0	0.31	10.3	2.1	0.26	
メプロニル	9	9.3	2.0	0.18	8.8	1.9	0.21	9.8	1.9	0.16	
チオファネートメチル	9	10.7	2.1	0.32	9.4	2.1	0.30	11.0	2.1	0.33	
チウラム・チオファネートメチル	9	4.2	0.7	0.24	3.9	0.6	0.06	4.8	0.5	0.07	
イプロジオン	9	9.7	2.1	0.24	9.7	2.0	0.27	10.2	2.2	0.26	
チウラム・ペノシル	12	9.7	2.1	0.21	10.0	1.9	0.23	11.0	1.9	0.19	
無 処 理		9.2	1.2	0.17	8.0	2.1	0.20	9.5	2.0	0.21	
Lsd		0.05	1.8	0.3	0.03	2.3	0.3	0.04	1.9	0.3	0.01

- 注 1. 供試ハクサイ品種 '王将'
 2. 播 種 3月15日 生育調査 4月10日
 3. 薬剤濃度(種子重に対する重量%)

そこで、立枯病菌 *Rhizoctonia solani* に有効と考えられる殺菌剤を、あらかじめ被覆用粉体に混入してハクサイ種子を被覆し、播種後から幼苗期までの予防効果を調査した¹³²⁾。

1) 材料および実験方法

被覆層への混入薬剤は、ペノシル水和剤など予備試験で防除効果の認められた薬剤を供試した。あらかじめ

各薬剤を所定濃度(種子重に対する重量%)で被覆用粉体と混合し、2・4-5図の装置で裸種子を被覆整形した。被覆用粉体としては炭酸カルシウム・ベントナイト・クレーおよびシリカセルを15:20:50:15の割合で混合したものを、結合剤としてはアラビアゴム5%、カルボキシルメチルセルローズ(CMC)2%の混合水溶液にシリコン1.5%を混入したものをを用いた。ハクサイ '王将'

2・9-4表 R. solani に対する種子被覆層への薬剤混入の効果 (1978年)

菌 株	K-1(ⅢA)			SH-33(ⅢA)			H-3(ⅢB)			H-10(Ⅱ)			H-42(ⅠB)			
	健率 全株	不株 出芽	発死 病株 枯率	健率 全株	不株 出芽	発死 病株 枯率	健率 全株	不株 出芽	発死 病株 枯率	健率 全株	不株 出芽	発死 病株 枯率	健率 全株	不株 出芽	発死 病株 枯率	
バリダマイシン	9%	0	33.7	66.3	50.6	9.3	35.3	16.3	11.7	65.2	29.3	20.1	44.0	40.6	19.7	34.8
メプロニル	9	37.2	7.9	51.5	57.5	15.0	25.3	45.1	20.1	30.3	38.2	17.0	43.6	29.9	24.1	35.7
チオファネートメチル	10	34.8	9.0	51.5	48.9	12.2	35.6	27.3	10.1	60.4	44.4	8.9	42.2	19.9	43.3	33.3
イプロジオン	9	31.1	5.5	53.4	51.1	10.2	36.5	26.3	10.2	60.1	38.9	13.3	47.8	38.3	22.5	33.6
無 処 理		1.2	81.7	12.4	15.6	55.6	24.4	13.3	7.8	67.8	31.6	13.4	51.6	48.9	10.0	34.4
Lsd	0.05	8.1	21.0	15.6	17.9	22.6	21.6	30.0	9.2	30.5	17.1	11.9	22.2	21.8	19.8	22.4

- 注 1. 供試ハクサイ品種 ‘王将’
 2. 播 種 5月18日 出芽調査 5月26日 発病調査 6月15日
 3. 薬剤濃度(種子重に対する重量%)
 4. 生育不良株率の記載は割愛した。

2・9-5表 R. solani K-1(ⅢA)防除におよぼす薬剤混入濃度の影響(1978年)

調 査 項 目	薬 剤								Lsd	
	メプロニル		バリダマイシン		イプロジオン		チオファネートメチル			無処理
	6%	9	9	12	9	12	10	14		
健 全 株 率	44.9	57.0	37.1	43.2	42.8	44.4	60.0	48.9	0	24.5
不 出 芽 株 率	5.6	7.9	15.7	44.4	6.8	3.3	2.2	0	100.0	5.3
発 病 枯 死 株 率	49.5	35.1	47.1	41.1	41.6	48.8	45.6	48.9	0	20.5

- 注 1. 供試ハクサイ品種 ‘王将’
 2. 播 種 6月26日 出芽調査 7月3日 発病調査 7月12日
 3. 薬剤濃度(種子重に対する重量%)
 4. 生育不良株率の記載は割愛した

‘野崎春蒔交配一号’の種子を用い、粒径3.3mmの球形に被覆した。被覆種子はR. solaniを接種した土壌に播種して発芽させ、立枯れの発生を調査した。

接種したR. solaniの菌株(培養型ⅠB, Ⅱ, ⅢA, ⅢB)の来歴は2・9-1表のとおりである。各菌株ともふすま培地で12~22日間培養したものを接続した。ふすま培地はふすま50g, 0.5~1.0mm粒径の微砂150g, 水60gを混合したものである。薬剤の探索試験では植壤土7, マサ土(花崗岩風化土, 微砂質壤土)3の混合土を125°Cで1時間蒸気殺菌し, あるいは殺菌しないでそのまま培地として使用した。培地5kgをバット(40×38×6.5cm)に入れ, 各菌を培養したふすま培地をバット当たり15g(5gは土壌と混和, 10gは土壌表面へ)均一に散布してから播種した。播種粒数は1区30粒で, 3連制とした。

ソイルブロックによる育苗試験では, ピートモス, 甘

草粕およびマサ土を50:40:10の割合で混合した培地を, ソイルブロック成形機で3.9cm立方に成形し, これを水稲用育苗箱(縦×横: 58×28cm)へ98個入れ, ソイルブロックの表面に菌を培養したふすま培地を1箱当たり10g均一に散布し, 1日後に播種して(1980年5月6日)ハウス内で育苗した。培養した菌の接種には均一を期したが, 播種穴〔ソイルブロックの中央部に成形と同時にあけた播種用の穴(深さ×直径: 1.5×1.0cm)〕の中央部に, 菌を培養したふすま培地が集中的に落下する傾向が観察された。1区当たり49個のソイルブロックを用い, 1個当たり3粒を播種した。

露地での直播試験では, 耕うん整地後, 菌を培養した培地をm²当たり70gの割合で土壌表面に均一に散布し, 表面からほぼ2cmの深さに軽く混和した(1980年5月8日)。接種2日後に浅い播き溝を切って播種し, 1cmの覆土をした。播種直後に降雨があったので, 灌水はしな

2・9-6表 R. solani K-1 (ⅢA) に対する薬量と生育 (1978年)

菌有株無接種の	薬有剤無混入の	調査項目	薬 剤								
			メプロニル		バリダマイシン		イプロジオン		チオファネートメチル		Lsd
			6%	9	9	12	9	12	10	14	
無	最大葉長	cm	10.6	10.2	11.9	11.0	12.1	10.2	11.6	11.2	1.7
	葉 数	枚	2.4	2.5	2.7	3.0	2.7	2.5	2.5	2.4	0.3
	乾物重	g/10本	0.309	0.304	0.332	0.511	0.481	0.301	0.456	0.357	0.05
有	最大葉長	cm	10.8	9.8	10.6	11.3	13.6	12.8	13.2	13.4	1.8
	葉 数	枚	3.1	2.6	2.9	2.8	3.2	3.1	3.1	3.2	0.4
	乾物重	g/10本	0.513	0.377	0.530	0.510	0.669	0.610	0.743	0.712	0.07
無 有	最大葉長	cm	9.8	10.0	10.8	10.4	10.7	11.0	10.5	11.8	1.7
	葉 数	枚	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.5	2.4	2.4	0.3
	乾物重	g/10本	0.345	0.357	0.320	0.338	0.395	0.366	0.476	0.495	0.05

- 注 1. 供試ハクサイ品種 '王将'
 2. 播種 6月26日 生育調査 7月12日
 3. 薬剤濃度(種子重に対する%)

かった。圃場は砂壤土の休耕地である。播種粒数は1区400粒で、3連制とした。ソイルブロックによる育苗と露地の直播きの各試験では、播種後4~14日目に発芽率を調査し、23~28日目に抜き取って水洗後、胚軸および根部について発病の有無と生育状況を調査した。

2) 結果および考察

(1) 薬剤の探索と薬効

殺菌上に *R. solani* を接種して播種し、薬剤の防除効果を調査した結果は2・9-2と2・9-3表および2・9-1図のとおりである。菌株は苗立枯れを生じやすいⅢA型の3菌株を用いたが、それらの病原性は菌株番号K-1が最も強く、SH-33、H-22の順に弱かった。供試した3菌株に対し、発芽から苗立ち後も発病しない健全株率は、イプロジオン水和剤が最も高く、次いでメプロニル水和剤、チオファネートメチル水和剤の順となった。しかし、メプロニル水和剤は発芽後の生育がやや悪く、軽い葉害が認められた。バリダマイシン粉剤はH-22やSH-33に対して有効であったが、K-1では健全株率が低く効果が劣った。チウラム・チオファネートメチル水和剤およびチウラム・ベノミル水和剤では、苗立枯れに対する防除効果が認められないばかりか、発芽率が低く、出芽したものの幼根の伸長が遅延し、特に前者では最大葉長の伸長が抑制される致命的な葉害を生じた。また、種子粉衣消毒に使用されるキャプタン水和剤では不発芽率が高く、防除効果も認められなかった。なお、他の試験で、TPN剤の効果も調べたが、イプロジオン水和剤・メプロニル水和剤・チオファネートメチル水和剤、あるいはバリダマイシン粉剤などに比べ明らかに劣った。

次に、無殺菌土を用いた四つの培養型の *R. solani* を接種して、殺菌土で有効と認めた4薬剤の効果を供試した結果は2・9-4表のとおりである。無処理区では発芽まで無発病であった完全発芽率は、ⅢA培養型のK-1で11.2%、同SH-33で33.3%と低かったが、他の各培養型では高かった。無処理区の完全発芽率が低いK-1に対し、メプロニル・チオファネートメチルおよびイプロジオンの各水和剤は健全株率が高く、明らかな効果が認められたが、バリダマイシン粉剤の効果は低かった。しかし、SH-33では4薬剤ともに無処理区に比べ健全株率が高く、明らかに効果が認められた。また、菌株番号H-33にはメプロニル水和剤が、H-10にはメプロニル・チオファネートメチルおよびイプロジオンの各水和剤の効果が認められたが、H-42に効果のある薬剤は供試した中には認められなかった。

各薬剤の薬量を変えた場合のK-1に対する効果および苗の生育状況を、2・9-5および2・9-6表に示した。健全株率は各薬剤とも無処理区に比べ明らかに高く、防除効果が認められた。しかし、各薬剤間および薬量間には有意差は認められなかった。完全発芽率は各薬剤とも無処理区に比べ明らかに高かった。生育調査では各薬剤とも薬量による有意な差は認められなかった。しかし、メプロニル水和剤9%、イプロジオン水和剤12%、チオファネートメチル水和剤14%の3薬剤区では、僅かではあるが生育抑制が認められたので、各薬剤の混入濃度は

2・9-7表 育苗および直播栽培における *R. solani* に対する薬剤の効果(1980年)

育苗法	接種菌株	薬 剤	出芽状況 %		発病状況 %		
			出芽株率	不出芽株率	健全株率	発病株率	発病枯死株率
育苗 (ソイルブロック)	H-10(Ⅱ)	チオフアネートメチル 10%	79.1	20.9	98.9	0.6	0.5
		メプロニル 6	78.5	21.5	78.2	1.1	20.7
		キャプタン 10	70.5	29.5	39.9	49.8	10.3
		無 処 理	66.9	33.1	9.0	57.0	34.0
		無 接 種	83.2	16.8	98.7	1.0	0.3
	Lsd 0.05	8.40	8.42	39.7	6.81	8.7	
	K-1(ⅢA)	チオフアネートメチル 10	72.8	27.2	62.8	31.8	5.4
		メプロニル 6	74.4	25.6	53.4	0.9	45.7
		キャプタン 10	17.4	82.6	13.5	3.3	83.2
		無 処 理	0.4	99.6	0	16.7	83.3
無 接 種		83.2	16.8	99.7	0	0.3	
Lsd 0.05	4.59	4.59	24.76	27.94	25.91		
直 播	H-10(Ⅱ)	チオフアネートメチル 10	73.0	27.0	99.7	0.3	0
		メプロニル 6	72.5	27.5	92.7	3.7	3.6
		キャプタン 10	66.2	33.8	40.4	48.3	11.3
		無 処 理	61.9	38.1	10.2	48.6	41.2
		無 接 種	76.8	23.2	100	0	0
Lsd 0.05	6.25	7.25	13.63	5.97	14.87		
播 種	K-1(ⅢA)	チオフアネートメチル 10	72.3	27.7	62.7	31.8	5.5
		メプロニル 6	69.0	31.0	54.2	2.8	43.0
		キャプタン 10	9.3	90.7	19.1	5.6	75.3
		無 処 理	3.1	96.9	2.8	0.4	96.8
		無 接 種	76.8	23.2	100	0	0
Lsd 0.05	4.78	5.01	17.37	5.06	17.07		

- 注 1. 供試ハクサイ品種 ‘野崎春壽亜配一号’
 2. 播 種 ソイルブロック 5月6日, 直播 5月8日
 3. 出芽調査 ソイルブロック 5月17日, 直播 5月19日
 4. 発病調査 ソイルブロック 6月3日, 直播 6月5日
 5. 出芽株に対する百分率
 6. 薬剤濃度(種子重に対する重量 %)

本試験に用いた濃度以下にすべきだと考えられた。

以上のことから、播種から幼苗期にかけての立枯病の防除を目的とした被覆層への混入薬剤は、イプロジオン水和剤9%, メプロニル水和剤6%, チオフアネートメチル水和剤10%などが有望と考えられる。

(2) 薬剤の種類と生育

ソイルブロックによる育苗と露地での直播き試験では、いずれもふすま培地で培養した菌を接種した後、殺菌剤を含有する被覆種子を播種した。その結果は2・9-7および2・9-8表のとおりである。H-10は低温性の菌株

で、その接種区では苗立枯れの発生が少なく、K-1接種区より明らかに発芽率が高かった。菌を接種して1日後に播種したソイルブロック育苗では、出芽率、発病率および生育状況から、H-10およびK-1の両菌株に対してはチオフアネートメチル水和剤が最も有効であった。次いでメプロニル水和剤で、キャプタン剤の効果は両菌株に対して共に若干劣った。たとえば、播種28日後における発病状況をみると、H-10に対する健全株率は、チオフアネートメチル水和剤が無接種区と同程度であったのに対し、メプロニル水和剤とキャプタン剤はそれぞれ

2・9-8表 種子被覆層への薬剤混入が菌の生育におよぼす影響(1980年)

接種菌	薬 剤	育苗 (ソイルブロック)			直 播			
		最大葉長 cm	葉 数 枚	乾物重 g/20本	最大葉長 cm	葉 数 枚	乾物重 g/20本	
H-10(Ⅱ)	チオファネートメチル	10%	13.9	3.5	2.76	7.6	4.3	4.22
	メプロニル	6	10.3	3.4	1.86	4.3	4.3	2.19
	キャプタン	10	12.3	3.4	2.46	6.8	4.0	2.76
	無 処 理		10.9	3.3	2.39	6.7	4.4	3.70
	無 接 種		12.6	3.2	2.29	7.7	4.1	2.46
	Lsd	0.05	1.07	NS	0.45	NS	NS	1.50
K-1(ⅢA)	チオファネートメチル	10	12.5	3.6	2.96	7.8	4.5	5.64
	メプロニル	6	8.1	3.5	1.98	5.9	4.0	2.47
	キャプタン	10	12.4	3.3	3.18	7.0	3.7	4.76
	無 処 理		13.2	3.2	3.36	7.7	4.1	3.22
	無 接 種		12.5	3.2	2.39	7.7	4.2	2.96
	Lsd	0.05	5.42	NS	NS	1.04	0.5	3.15

- 注 1. 供試ハクサイ品種 ‘野崎春時交配一号’
 2. 播 種 ソイルブロック 5月6日, 直播 5月8日
 3. 生育調査 ソイルブロック 6月3日, 直播 6月5日
 4. 葉害濃度(種子重に対する重量%)

78.2と39.9%とかなり劣り, 特に無混入区はわずかに9%しか認められなかった。一方, 発病株率は無混入区, キャプタン区でそれぞれ57.0, 49.8%と高く, チオファネートメチル水和剤, メプロニル水和剤および無接種区では極めて低く, ほぼ1%であった。発病枯死株率も無混入区が最も高く, 次にメプロニル水和剤, キャプタン剤で, チオファネートメチル水和剤は0.5%と最も低かった。H-10よりもK-1に対する各薬剤の効果が顕著に現われた。無混入区は殆んど出芽しないか出芽しても全て発病枯死したのに対し, チオファネートメチル水和剤での健全株率は62.8%で最も高く, 次にメプロニル水和剤であった。しかしキャプタン剤はほとんど効果が認められなかった。

ところで, メプロニル水和剤は薬剤の探索試験で葉害が認められたが, この試験においても同様に葉害を生じた。この葉害は出芽時から子葉が黄変し, 本葉の伸長も遅れ, 播種28日後の葉数は他の薬剤と同等であったが, 最大葉長は極めて小さく, 乾物重も著しく劣った。チオファネートメチル水和剤については, 両菌株区とも乾物生産は順調であり, 葉色も良好で葉害は認められなかった。

一方, 露地における直播きでも, 2・9-7および2・9-8表で明らかなように, 育苗の場合とほぼ同様な傾

向が認められ, 両菌株に対する薬効はチオファネートメチル水和剤が最も高かった。病原性の高いK-1よりも病原性の低いH-10で各薬剤の効果は顕著に現われ, チオファネートメチル水和剤の場合では, 健全株率が前者は63%であったのに対し後者は99%であった。R. solani に対するチオファネートメチル水和剤の効果は, 作物への地際散布では一般的に十分でないが, 被覆層に混入した本試験では, 供試薬剤中最も優れた効果を示した。しかし, その理由については明らかにできなかった。両菌株区ともにメプロニル水和剤は最大葉長や乾物重が著しく劣り, 他の薬剤区よりも初期生育が遅れ, 葉害による生育障害が認められた。しかし, 2・9-5表の実験と予備調査によれば, 7%の混入では葉害が認められるが6%では認められなかった事例もあるので, 薬効が高いだけにさらに混入濃度について検討する必要がある。また, 防除効果の高かったチオファネートメチル水和剤でも, 病原性の高いK-1区では無接種区と同程度の健全株率を得ることは困難であった。しかし, 実際の育苗や栽培圃場では, このような高密度の R. solani 菌の分布はまれと考えられ, 実用場面では本試験の結果と同等以上の防除効果が期待できると考えられる。

未沢ら¹³⁾も Pellicularia 菌を接種し, 素焼鉢(直径8cm)内に菌がまん延した培地でビートの種子を

2・10-1表 ニンジン種子の被覆層への肥料混入量と発芽(1975)

肥料名	発芽の内訳	肥料混入量 %									
		0	0.2	0.4	0.7	1	2	3	5	6	9
硫酸アンモニア	発芽勢%	46.0	—	—	—	0	0	0	—	0	0
	発芽率%	55.2	49.0	45.3	24.3	5.8	0	0	—	0	0
過燐酸石灰	発芽勢%	46.0	—	—	—	12.3	0	0	—	0	0
	発芽率%	55.2	53.0	50.4	46.2	40.0	0	0	—	0	0
CDU	発芽勢%	46.0	—	—	—	42.4	43.7	26.0	25.3	—	—
	発芽率%	55.2	—	—	—	53.2	52.7	45.3	48.7	—	—

注 肥料混入量は被覆用粉体との重量%である。

発芽させたところ、裸種子では地上まで出芽するものはなかったが、薬剤を混入した被覆種子は40～50%以上の出芽を示し、発芽から出芽まで幼芽の罹病や腐敗を防止することに大きな効果が認められ、圃場での栽培試験でも立枯病の発生がかなり防止でき、その結果増収したことを報告している。種子の不出芽の原因には、1) 種子自体の無胚や不稔などの生理的なもの、2) 汚染された種子が発芽までに罹病し腐敗する場合、3) せっかく発芽しても出芽の前後に幼芽や幼根が罹病し腐敗する場合の三通りが考えられる。

このように、種子や幼植物の罹病や腐敗による出芽の不安定は、少量精密播種の実用化を阻害する大きな要因の一つで、ニンジン・タマネギ・ホウレンソウなどでは特に大きな問題である。圃場での出芽を安定させるには十分な肥培管理のほかに、土壌消毒と種子消毒が必要であるが、ここでは後者について論議を進める。

野菜種子の消毒には、薬剤による化学的方法と温度処理による物理的方法が利用されている。化学的方法には薬液浸漬方法と粉衣方法とがあり⁹⁸⁾、薬液浸漬方法はその消毒効果は高いが、作業が煩雑なうえに播種後の種子または幼植物を、土壌からくる病原菌などの侵害から十分に保護できないという欠点を持っている⁹⁹⁾。

一方、消毒作業の簡易な粉衣方法は、類似の塗まつ方法とともに一部の野菜で利用されている¹¹⁵⁾が、欠点の一つはせっかく粉衣した薬剤がその後の取り扱いで播種までに脱落することが多く、またこの方法では種子に薬剤を付着させる量の上限には限界があり、しかも薬剤の付着量が多いと裸種子が薬剤と直接接触するために発芽障害の発生が懸念されることである。種子量の0.4～0.8%の少量を粉衣した場合でも、殺菌剤の種類によっては著しく発芽力が低下し、その程度は野菜の種類によっても相違するとされている⁹⁸⁾。

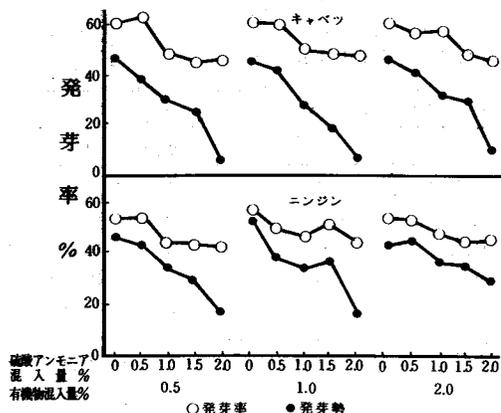
被覆種子では任意の薬量を被覆用粉体へ混入して被覆することができるので、従来の粉衣方法や塗まつ方法より発芽率の低下は少ないと考えられる。また、被覆種子は被覆層を幾重にも被覆することができるから、種子へ薬剤を直接接触させないで、被覆層の表層など任意の各層に薬剤を混入して発芽率の低下を防ぐことも可能である。

殺菌剤を被覆層へ混入したハクサイの被覆種子をデンケータ内に貯蔵した場合、120日間では裸種子との間に発芽率(96%)の差が認められなかった。したがって、殺菌剤は種子に直接粉衣するより、被覆層へ混入したほうが種子の発芽への悪影響が少なく、短期間の貯蔵ならば発芽力は低下しないものと思われる。

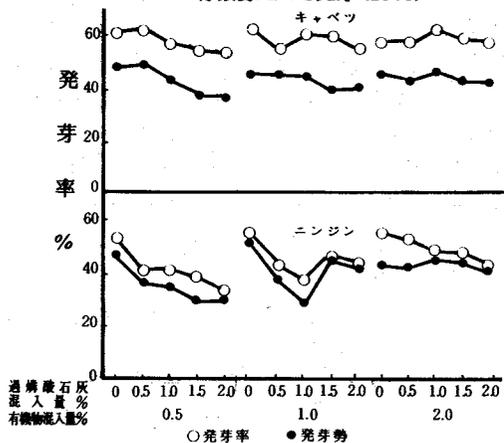
これまでの実験結果によると、播種後から幼苗期にかけての *R. solani* 菌による立枯病を防除するには、ハクサイではチオファネートメチル水和剤の10%、イプロジオン水和剤の9%が有望であった。メプロニル水和剤6%も効果が高いが薬害が認められるので、さらに薬害および薬量の両面から検討する必要があることを指摘した。

チウラム・チオファネートメチル水和剤、ベノミル水和剤およびチウラム・ベノミル水和剤は、幼植物の生長が遅延するなどの薬害を生じたが、竹内、長井ら¹⁰⁷⁾はホウレンソウの苗立枯れに2～3%のチウラム・チオファネートメチル水和剤粉衣が有効としており、本実験の結果と異なっている。これは薬剤の粉衣量が本実験の被覆量より1/3～1/4と少ないため、薬害の発生が無かったものと思われる。

以上の結果から、被覆種子の利用にあたっては、あらかじめ被覆層へ適切な薬害を混入しておけば、播種後から幼苗期にかけての *R. solani* 菌による苗立枯病の発生を防除することができると考えられる。



2・10-1図 被覆層への硫酸アンモニアおよび有機物混入と発芽 (1975)



2・10-2図 被覆層への過磷酸石灰および有機物混入と発芽 (1975)

10. 被覆種子の被覆層への肥料混入効果

被覆種子の利用にあたっては、少量精密播種を前提とするので、出芽した少数の幼植物を確実に生育させる必要がある。その保護対策の一つとして殺菌剤を利用することについては既述のとおりであるが、さらに被覆層へ肥料を混入することによって、初期生育を促進助長することができれば、実用性がいっそう高まると考え、1975年に次のような各種肥料を混入し、発芽におよぼす影響について検討した。

1) 実験方法

肥料混入の被覆用粉体は以下の3種類とした。すなわち、被覆用粉体へ60メッシュ以下に粉碎した硫酸アンモニアおよび過磷酸石灰を、重量で0.2~9%を別々に混入した粉体で、ニンジン種子‘新黒田五寸’を被覆整形した。次にこれらの被覆用粉体へ有機物(ピートモス60メッシュ以下)の微粉末を重量で0.5, 1.0および2.0%混入し、ニンジン‘新黒田五寸’およびキャベツ‘はつゆき’の種子を被覆整形した。さらに、緩効性のCD

U粉末(60メッシュ以下)を被覆粉体の重量比で1~5%混入して、ニンジン種子‘新黒田五寸’を被覆した。発芽試験はシャーレ法で行った。被覆用粉体には、炭酸カルシューム、ベントナイト、クレーおよびシリカセルを重量比で15:20:50:15の割合で混合したものを用い、粉体結合剤はアラビアゴム5%とCMC2%の混合水溶液へ、シリコンを1.5%混入したものを使用した。

2) 実験結果および考察

被覆層へ単胞および化成肥料を混入した種子の発芽調査の結果は、2・10-1表に示すとおりである。ニンジンでは、無肥料の被覆種子は55.2%の発芽率を示したが、硫酸アンモニアを被覆用粉体に0.2%混入した種子の発芽率は49%で、1%混入で5.8%、2%以上の混入では全く発芽しなかった。同様に、過磷酸石灰を被覆用粉体へ0.2%混入したニンジンの被覆種子は53%の発芽率で、無肥料区とほとんど変らなかつたが、1%混入すると40%しか発芽せず、発芽勢も12.3%と低く、2%以上混入すると全く発芽しなかった。このように、被覆用粉体へ速効性の肥料を0.2~1%混入しただけで発芽に悪影響があり、混入量が同じ場合には、過磷酸石灰よりも硫酸アンモニアの発芽障害が大きかった。この原因は塩類濃度障害の程度によるものと考えられる。濃度障害軽減のため緩効性のCDUを2%混入した被覆種子は、発芽率52.7%、発芽勢43.7%となり、無処理とほぼ同様であった。しかし、CDUを3%混入した場合は、無処理に比べて発芽率で10%、発芽勢で20%の低下をみた。

有機物(ピートモス)の微粉を被覆用粉体の0.5~2.0%混入し、硫酸アンモニアおよび過磷酸石灰を前回同様0.5~2.0%混入したニンジンおよびキャベツの被覆種子は、肥料による発芽障害を幾分軽減させることができたが、その効果は十分でなかつた。すなわち、2・10-1図に示すように、有機物の量が1%以下と少ない場合、硫酸アンモニアの混入を増すと発芽率および発芽勢ともに低下し、特に発芽勢の低下が著しいが、有機物を2%混入した被覆種子では、硫酸アンモニアが1.0%までなら無処理と同様の発芽率であった。しかし、発芽勢は無処理よりも若干劣った。これらはニンジンおよびキャベツとともに同様な傾向であった。

次に、2・10-2図に示されるように、有機物を0.5%混入した粉体へ過磷酸石灰を0.5%混入しても、キャベツの発芽率はほとんど低下しないが、過磷酸石灰を1%以上混入するとわずかな低下がみられた。有機物を1%混入すると、過磷酸石灰を1.5%まで混入しても無混入と同程度の発芽率を示したが、発芽勢はわずかに低下し

2・11-1表 被覆種子の乾燥条件と発芽(1975)

試験区		B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	I-1	I-2	H-1
種子		パーミューダグラス					イタリヤンライグラス			ハクサイ
供試被覆種子重	kg	1	1	1	1	1	0.7	1	0.8	1
送風温度	°C	40.9	39.5	37.9	29.1	22.3	15.2	3.9	29.5	39.8
排気温度	乾球°C	34.1	31.8	24.3	18.3	15.6	11.9	32.8	22.5	31.0
	湿球°C	22.6	20.1	19.3	16.9	14.4	10.6	20.8	15.5	19.0
室温	乾球°C	18.5	19.6	19.4	21.5	21.1	14.5	19.6	14.5	17.6
	室球°C	15.3	13.3	13.2	14.3	14.3	11.9	14.1	9.8	11.5
静圧	mmAq	32.7	35.7	36.7	38.0	37.3	27.5	36.3	31.2	37.4
風量	m ³ /min	1.67	1.88	2.12	2.14	2.35	2.18	1.84	2.32	2.32
風速	m/s	1.17	1.34	—	—	—	—	1.58	1.65	1.65
最少流動化風速	m/s	0.86	—	0.93	0.93	0.93	0.93	1.15	—	1.44
含水率%	初期	18.5	10.8	19.3	20.8	20.5	20.0	18.6	18.8	22.5
	仕上り	2.4	2.4	5.5	9.6	8.6	10.1	3.2	4.3	5.8
乾減率%/h	—	—	—	82.5	67.4	44.7	33.1	—	—	—
	初期	900	—	704	—	699	—	862	—	813
容積重kg/m ³	仕上り	794	800	654	671	666	676	752	758	787
	被覆種子	32	32	33	32	33	31	94	95	98
発芽率%	被覆種子	32	32	33	32	33	31	94	95	98
	裸種子	32	32	32	32	32	32	95	95	98

た。さらに、有機物の混入を2%にすると、過磷酸石灰を2%混入しても、発芽率はもちろんのこと発芽勢にも悪影響は見られなかった。ニンジンでも程度は劣るが、有機物2%区でキャベツとほぼ同様な傾向が認められた。

一方、被覆整形作業の難易性からみると、硫酸アンモニアは被覆用粉体へ2%まで混入しても被覆整形性は良好であるが、過磷酸石灰は1.5%混入すると被覆整形性が若干劣り、2%以上混入すると被覆用粉体が固まり易く、被覆表面に凹凸を生じ、被覆および整形作業が困難であった。また、2%以上の有機物を被覆用粉体へ混入すると、有機物の被覆層への付着むらが観察された。

このような発芽直後の初期生育促進を目的とした被覆層への肥料混入は、既に幾例かの試みがあり¹²⁾、広田¹⁰⁾は牧草種子(ヘアリーベッチ)を硫酸アンモニアの5%混入粉体で被覆しても、無混入に比べ15%程度の発芽率低下で止まり、磷酸肥料を5~10%混入した被覆用粉体を用いると、無混入区より発芽率が良いことを指摘している。これは恐らく牧草は家畜の排糞内や糞面からも発芽する^{120, 121)}能力があり、塩類濃度障害に強いものと思われる。

被覆層中に化成肥料を混入する場合に、有機質を併用して塩類濃度障害を軽減させ、かつ肥効期間を長くする方法はタバコなどで試みられ、Shustrove⁹⁴⁾はコンポスト、ピートモス、過磷酸石灰などを混入して種子を被

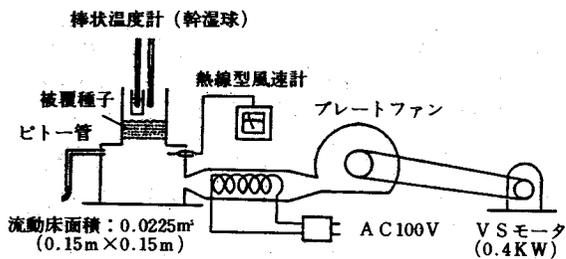
覆整形すると、発芽率が向上するばかりか葉も増収し、かつ品質も良くなると述べている。

これら一連の結果から判断すると、被覆用粉体へ硫酸アンモニアを混入する場合には、同時に有機物を2%混入すれば、硫酸アンモニアを1.0%まで混入しても、ニンジンおよびキャベツでは無処理と同程度の発芽が期待できる。しかし、発芽勢がやや劣るので、被覆層への硫酸アンモニアの混入は実用性が低いと考えられる。一方、過磷酸石灰の被覆用粉体への混入は、有機物を2%併用するとニンジンで1.5%、キャベツでは2.0%までは、発芽勢および発芽率は共に低下しないので、実用性は高いものと考えられる。

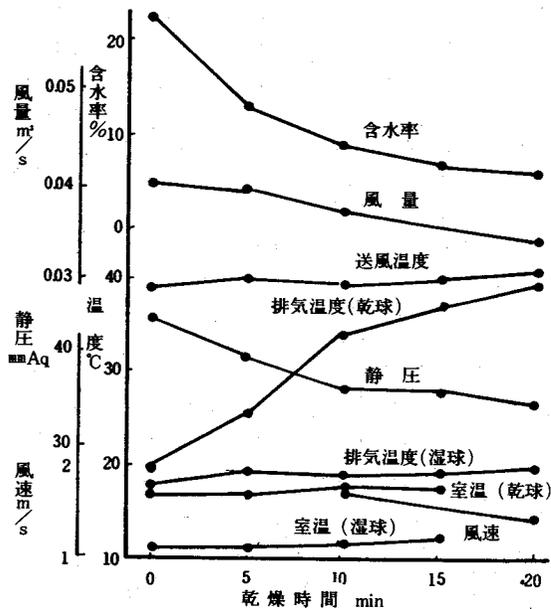
今後の問題点としては、被覆層への肥料混入が初期生育におよぼす影響について検討する必要がある。

11. 被覆種子の熱風乾燥条件

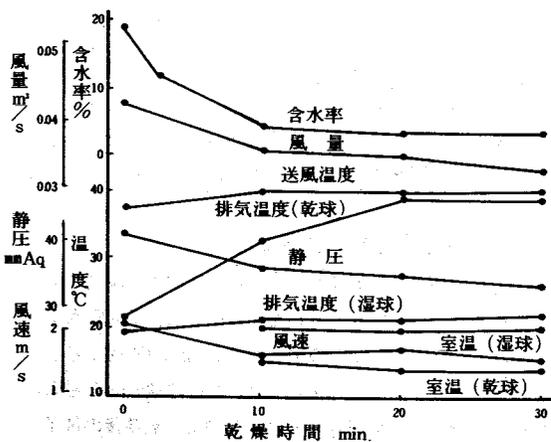
供試した種子の被覆整形機は流動法に属する湿式であり、種子は短期間ではあるが被覆整形中に若干の吸水をする。このように貯蔵中の種子の含水量が増減すると、その後における種子の発芽力、ひいては貯蔵性への悪影響をおよぼすことが知られている⁴⁾ので、被覆後の種子は速やかに乾燥させる必要があるが、この乾燥も条件によっては種子の発芽力を損うおそれがある。熱風乾燥するとすれば、送風温度、乾燥速度および種子の含水率な



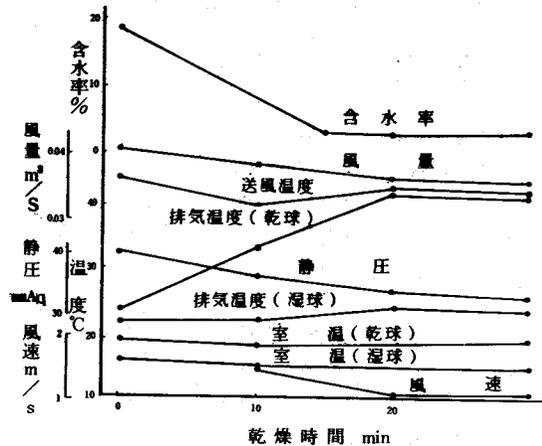
2・11-1図 流動乾燥装置



2・11-2図 ハクサイの被覆種子の乾燥経過
注 試験区: H-1



2・11-3図 イタリアンライグラスの被覆種子の乾燥経過
注 試験区: I-1



2・11-4図 パーミュダグラスの被覆種子の乾燥経過
注 試験区: B-1

どの要因が相互に関連しており、種子の含水率が高いと送風温度を下げないと発芽力が低下する^{30, 78)}。ところが、含水率20~22%の被覆層に包含された被覆種子の乾燥条件についての報告は見当たらない。採種直後に被覆整形すれば、その後における種子の発芽におよぼす悪影響を最小限にとどめることができるであろうが、実際には採種後一定期間貯蔵された種子を被覆する場合が多くなるので、被覆整形種子の乾燥条件については明確にしておかななくてはならない。

そこで本項では、採種後貯蔵していた種子を翌年(1975年)4月上旬に被覆整形し、流動乾燥装置で乾燥した際の乾燥条件について究明した結果を述べる。

1) 実験材料および方法

供試した流動乾燥装置は2・11-1図のとおりである。乾燥ボックスの流動床の面積は0.0225m²(0.15×0.15m)で、所定の送風湿度に設定した後、被覆種子0.7~1kgを乾燥ボックスへ入れ、流動層(スリット下部から送風し、被覆種子を浮遊懸濁の状態に保った層)の状態乾燥した。

乾燥が進むにつれて吹き抜け風量が多くなり、流動層の反転が激しすぎて溢流する場合には、送風機の回転数を低くして風量を調節した。主な調査項目は次のとおりである。送風温度(サーミスタ温度計)、排気温度(棒状乾湿球温度計)、湿度(アースマン湿度計)、静圧(マンメータ)、風速(長さ500mmの測定用ダクトを取り付け、熱線型風速計で9点測定)および含水率(13.5

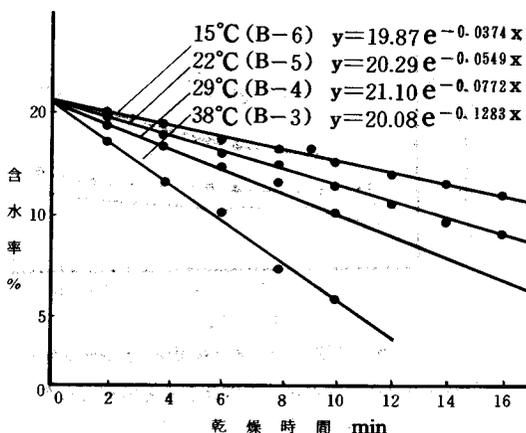
℃で24時間乾燥して算出)。供試した被覆種子は、便宜上ハクサイ(3.2~3.6mm粒径)、イタリアンライグラス(7×3mm粒径)およびパーミューダグラス(2×3mm粒径)で、被覆整形直後(被覆開始からはば25分後)に乾燥試験に供した。発芽調査は乾燥1日後にシャーレ法で行った。なお、供試した被覆用粉体および結合剤は、既述(Ⅱ、9)の殺菌剤混入に用いたものと同一である。

2) 実験結果および考察

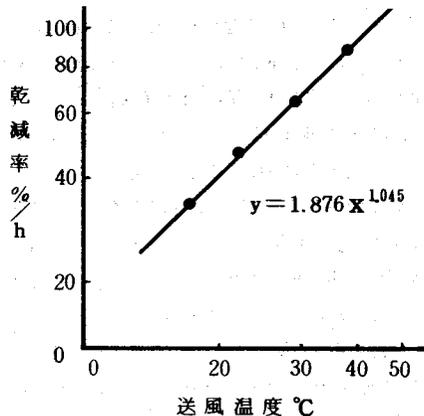
被覆種子の乾燥条件および発芽試験の結果は2・11-1表に示すとおりである。送風機回転数が1800~2000rpmと高く、通常の流動状態(表層が浮遊懸濁)よりも激しく攪拌されており、流動化を維持するに要するスリット上の風速は0.86~1.44m/sであった。被覆種子の仮比重は被覆直後で0.70~0.90g/mlで、乾燥終了時には0.65~0.79g/mlであった。被覆粒径が2~3mmの小粒種子(パーミューダグラス)の流動化に必要な風速は、乾燥初期で1.55m/s、乾燥終期で1.20m/sであり、最小流動化風速は0.86m/sであった。被覆粒径が3.2~3.6mmの中粒種子(ハクサイ)の流動化に必要な風速は、同様に初期で2.00m/s、終期で1.75m/sであり、最小流動化風速は1.44m/sであった。被覆粒が卵形をした7×3mm粒径の大粒種子(イタリアンライグラス)でも、同様に各々に2.10、1.60および1.15m/sであった。被覆粒径が大粒のイタリアンライグラスが、中粒のハクサイより終期および最小流動化の風速が小さいのは、仕上り容積重がm³あたり30kg軽いためと考えられる。被覆種子を流動乾燥するための風量は、被覆種子1トン当たり35kg~40m³/sが必要で、流動層における圧力損失は、層の高さが60mmで40mmAqであった。

被覆種子の乾燥経過は、2・11-2、2・11-3 および2・11-4図のとおりである。乾燥当初10分間の乾減率は、ハクサイで80.8%/h、パーミューダグラスで47.6~63.4%/h、イタリアンライグラスでは73.6~88.6%/hであった。被覆層を含む被覆種子の含水率を10%程度に乾燥するには、送風温度が40℃ではパーミューダグラスで8分、イタリアンライグラスで5~6分、ハクサイではほぼ9分要した。同様に、被覆層を含む被覆種子の含水率を6~7%に乾燥するには、ほぼ1~1.5時間の送風で乾燥できるものと推察できる。

被覆整形過程における裸種子の吸水は、被覆開始から30分後にハクサイで0.5%、パーミューダグラスで0.2%、イタリアンライグラスでは2.4%である。ハクサイおよびパーミューダグラスは、種子の表皮が脂質であるため吸水速度が遅く、イタリアンライグラスは稈を被



2・11-5図 被覆種子の含水率と乾燥時間の関係

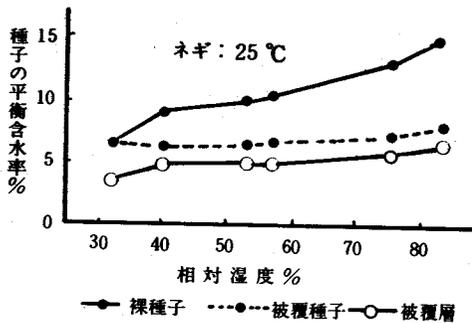


2・11-6図 被覆種子の乾減率と送風温度の関係

ており、この稈の吸水が速いので種子の見掛けの吸水速度が速いものと考えられる。乾燥時には、この吸水作用の逆作用が生じるので、乾燥速度の速い順は、イタリアンライグラス、パーミューダグラス次いでハクサイになるものと考えられる。本流動被覆整形方式による被覆整形時間は15分以内なので、被覆中における種子の吸水量はごく僅かである。したがって、被覆整形後直ちに被覆種子を乾燥すれば、被覆開始から乾燥終了までの全行程時間が、80~110分で、被覆整形前の含水率まで乾燥できると考えられる。

各送風温度における被覆種子の含水率(Y)と乾燥時間(X)を片対数グラフで表すと、2・11-5図のとおりである。各測定値がほぼ直線で結ばれ、 $Y = ae^{bx}$ で近似できる。この場合の(a、b)を最小二乗法で求めると、試験区B-3の場合、 $Y = 20.08e^{-0.1283x}$ で表すことができる。このときaは初期含水率を、bは乾減率を示す。

送風温度と乾減率の関係を両対数グラフで表わすと、



2・12-1図 被覆種子の貯蔵湿度と平衡含水率

2・11-6図に示すように、各測定値がほぼ直線で結ばれるので、 $Y_1 = aX_1^b$ で近似できる。この場合の定数(a および b) を最小二乗法で求めると、送風温度(X_1) と乾減率(Y_1) の関係は、 $Y_1 = 1.876 X_1^{1.045}$ となる。このとき X_1 の指数を $1.045 \approx 1.000$ みなせば、送風温度と乾減率は正比例の関係にあるといえる。

この被覆種子を乾燥1日後に発芽調査したところ、送風温度が 40°C の場合、ハクサイおよびパーミューダグラスは発芽に悪影響は認められなかった。イタリアンライグラスでは無処理に比べわずかに発芽率が低下したが、実用上はほとんど問題にならない程度といえよう。

一般に種子の死因としては、1) 貯蔵養分の消耗、2) 原形質蛋白質の変質、3) 酵素系の不活性化、4) 代謝で生ずる有害産物の蓄積などが考えられる。これらのうち、乾燥による発芽力の低下は、熱風による原形質蛋白質の変質と、これに伴う酵素系の不活性化が想定され、熱風は必ずしも高温ではなくても長時間かければ変質が起るものと考えられる。

野菜種子を乾燥する場合の送風温度の限界については、野菜の種類によって異なり未だ不明確な点が多い。中村⁶⁸⁾の図表から推察すると、5~6時間以内に乾燥できる装置であれば、耐熱性の弱い種類でも含水率7~8%の場合には送風温度を 60°C 程度まで上げ得るが、9~10%以上では短時間でも悪影響が認められる。種子はその含水率によって温度に耐える力が異なることが指摘され⁶⁹⁾、North⁷⁸⁾は野菜種子を安全に乾燥する最高送風温度は、種子の含水率が8%を越えると、それ以下の場合より 10°C 程度低くなるとしている。本実験の結果も前述の中村⁶⁸⁾およびNorth⁷⁸⁾の報告とほぼ同様な傾向を示した。すなわち、被覆整形時における種子の吸水量は前述のごとく僅かで、被覆直後における種子の含水率はハクサイで7.3%、パーミューダグラスで7.4%、

イタリアンライグラスで9.4%であり、いずれも10%以内である。このような低含水率の被覆種子では、送風温度が 40°C の乾燥による発芽率への悪影響はほとんど認められなかった。

ところで、防湿包装による貯蔵性の維持を目的として、野菜種子を乾燥する場合には、適当な乾燥送風温度の上限は、大部分の野菜種子では 35°C ²⁹⁾といわれている。しかし、本実験のように乾燥開始時における被覆種子の含水率が7.3~9.4%と低い場合には、送風温度が 40°C でも差し支えなかったものと推察される。

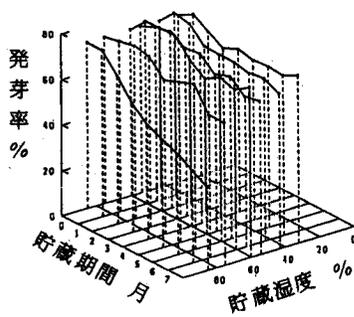
わが国のように夏期が高温多湿な気候下では、加熱乾燥によって、防湿包装に適する相対湿度25%下での平衡含水率まで、種子を加熱乾燥することはできない¹⁷⁾。なぜなら、外気温 30°C で相対湿度100%の場合、加熱して送風温度を 10°C 上げて 40°C にしても、相対湿度は39%にしかならないからである。したがって、防湿包装を前提とする場合、送風温度の限界を 35°C とすれば、外気温が 13°C 以上で相対湿度が100%では、加熱送風の相対湿度は25.6%となり、吸湿剤や冷却防湿機を使用しなければならないことになる。

12. 被覆種子の貯蔵性

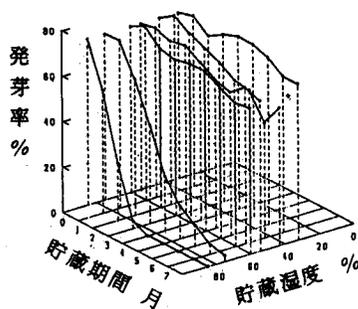
被覆種子の防湿包装と密封貯蔵の際の最適含水率は種子の種類によって異なり、6~10%とその範囲が広い⁴³⁾。一方、裸種子の好適な貯蔵条件と貯蔵可能期間についても、多くの報告^{26, 28, 94)}がみられる。しかし、6~7%の一定含水率で貯蔵中であった種子が、短時間(20~30分)ではあるが被覆整形行程で若干吸水した直後に熱風乾燥された場合、それ以降における種子の経時的発芽力の推移を調査した報告は見当たらない。そこで本項では、被覆種子の貯蔵性の推移について検討した。

1) 実験材料および方法

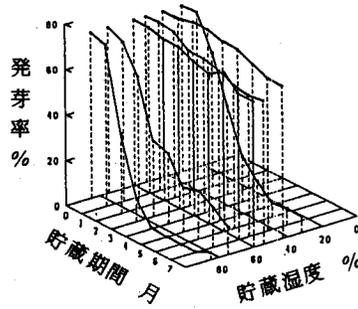
一定温度下で所要の相対湿度を維持するため、種々の試薬の飽和溶液を満した容器を内径29cmのデシケータ内に入れ、被覆種子を貯蔵して発芽勢および発芽率をほぼ1か月ごとに調査した。所要の相対湿度(RH)を保つために使用した試薬は、 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (RH 32%)、 $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (RH 43%)、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (RH 51~57%)、 NaBr (RH 57~60%)、 NaCl (RH 75%)、および KCl (RH 85%)である。貯蔵温度は 15°C と 25°C および常温区(鉄筋家屋の北側室内)とし、貯蔵温度において32~85%の範囲で6段階の相対湿度区を設定した。したがって、常温区は貯蔵室の変温に伴って、相対湿度が若干変化したことになる。



貯蔵温度 15℃

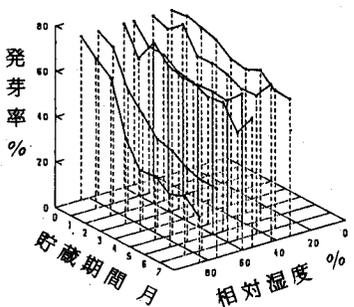


貯蔵温度 25℃

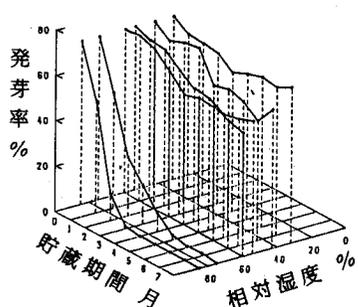


貯蔵温度 常温

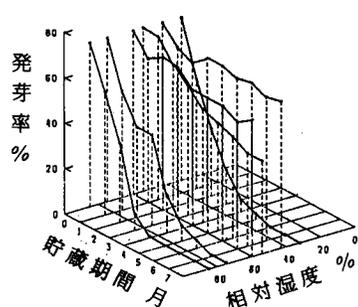
2・12-2図 ネギ種子の貯蔵中の相対湿度および温度が発芽におよぼす影響 (1977)



貯蔵温度 15℃



貯蔵温度 25℃



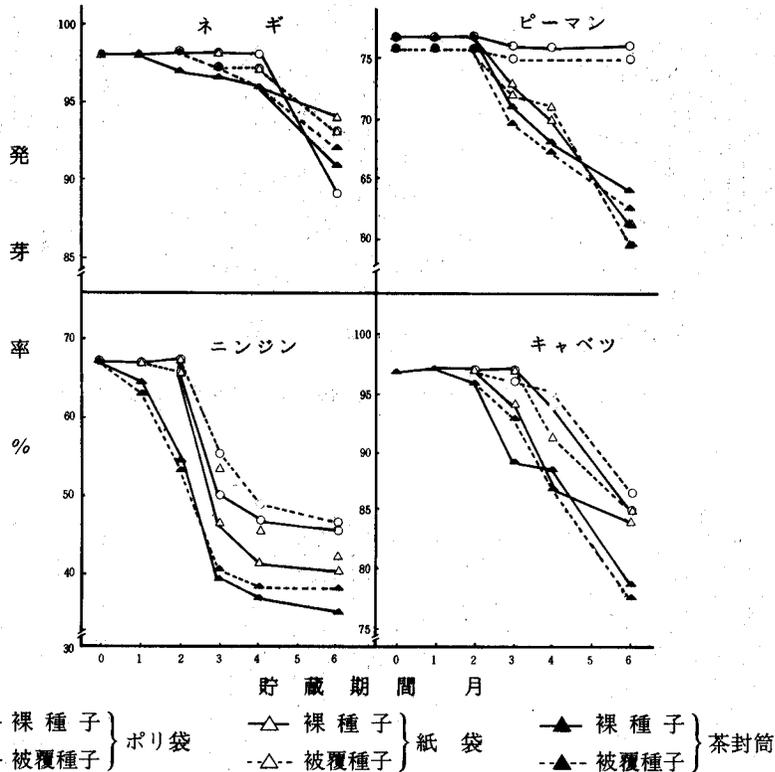
貯蔵温度 常温

2・12-3図 ニンジン種子の貯蔵中の相対湿度および温度が発芽におよぼす影響 (1977)

2・12-1表 貯蔵被覆種子の発芽率5%減期

(月)

種類	貯蔵温度	裸・被覆種子の別	相対湿度 %					
			32	43	54	60	75	85
ニンジン	15℃	裸種子	4.6	2.7	2.5	2.0	1.1	0.5
		被覆種子	4.9	2.6	2.9	1.8	1.4	0.7
	25℃	裸種子	3.0	2.0	1.8	1.6	0.2	0.2
		被覆種子	2.9	1.9	1.9	1.7	0.2	0.2
	常温	裸種子	2.2	1.7	1.4	0.7	0.2	0.2
		被覆種子	2.2	1.6	1.3	0.6	0.2	0.2
ネギ	15℃	裸種子	8.0	6.8	6.0	4.9	4.0	0.2
		被覆種子	8.0	6.5	5.9	5.0	4.4	1.3
	25℃	裸種子	8.0	6.4	6.0	4.4	1.1	0.3
		被覆種子	7.6	6.0	5.8	4.7	1.0	0.2
常温	裸種子	7.1	6.0	4.4	3.3	0.7	0.6	
	被覆種子	6.9	6.0	3.9	3.1	0.6	0.4	



2・12-4図 常温下での包装容器別発芽状況 (1976)

次に、実用面から種子の包装容器を選定するため、ポリ袋(ポリエチレン0.05mm)、紙袋(供出米用3枚張)および紙筒筒(茶封筒)に裸種子と被覆種子を別々に入れて密封し、常温下に貯蔵して前記と同様に発芽勢および発芽率を1か月ごとに調査した。供試した種子はネギ‘九条太’、ニンジン‘春蒔五寸’、キャベツ‘英雄’およびピーマン‘キング’で、各々採種後に貯蔵し、翌年(1976)の4月下旬～5月上旬に被覆して3～4日後から実験を開始した。なお、供試した被覆用粉体および結合剤は、既述の殺菌剤混入(Ⅱ, 9)に供試したものと同一である。

2) 実験結果および考察

(1) 被覆種子の平衡含水率

特定試葉の飽和水溶液を満した容器を入れ、所要の相対湿度にしたデシケータ内に被覆種子および裸種子を密封し、25℃下で4～6日間放置した後の、密封した種子の平衡含水率は2・12-1図に示すとおりである。相対湿度85%下では、ネギ種子の含水率は裸種子で14.5%、裸種子では7.5%であり、被覆種子の平衡含水率は裸種子のほぼ1/2であった。これは被覆整形時に被覆層へ疎水剤を混入したので、被覆層が空気中の湿度の透過を

ほぼ遮断し、被覆層内の種子の含水率が高まるのを抑えたものと思われる。被覆整形行程で、疎水基を含有し防水および撥水作用を有する疎水剤を、被覆用粉体や結合剤用水溶液へ添加して被覆すると、播種後の給水で被覆層がクラックを生じて発芽率の向上に有効なのは、既述(Ⅱ, 5)のとおりである。

このように防湿被覆した種子を、温度と相対湿度も変えて貯蔵した場合の発芽率の経時変化については、2・12-2および2・12-3図に示すとおりである。裸種子の場合も被覆種子と殆んど変わらないので図示を省略した。発芽率の経時的な減少傾向は、温度と湿度の組み合わせによってほぼ次の三つのタイプに分類される。1) 相対湿度が低い(RH32%)場合、15℃および25℃における裸および被覆種子の発芽率の減退は比較的ゆるやかであるが、常温区の減退は著しい。2) 相対湿度が中間(RH43～60%)の場合、設定温度間の発芽率の差は極めて少ないが、被覆種子の発芽率が裸種子より僅かに優れている。3) 相対湿度が高い(RH75～85%)場合、15℃に比べて25℃区および常温区の減退が著しく、被覆種子と裸種子の発芽率は、貯蔵期間が2か月まではほぼ同程度であったが、その後は被覆種子が若干劣り、その傾

向は貯蔵温度が高いほど著しかった。

この原因は二つ考えられる。その一つは裸および被覆種子の貯蔵湿度が高い(75, 85%)と、貯蔵中に裸種子の種皮および被覆層の表層にカビが発生したことである。短期間の貯蔵では、被覆種子は吸湿速度が遅いのでカビの発生による種子の変質は少ないものと思われるが、高温下で長期間貯蔵すると被覆層は徐々に吸湿し、菌の侵害による原形質蛋白質などの変質と、これに伴う酵素系の不活性化⁹³⁾をもたらしたものと考えられる。他の一つは、採種後約10か月めに被覆整形して乾燥したが、この乾燥行程中に短時間(30分以内)ではあるが0.2~0.4%内外の吸湿をした。このように一旦貯蔵下にある種子を被覆した場合、被覆時に吸水した種子含水量の変化が、その後の種子の発芽に悪影響をおよぼしたものと考えられる。

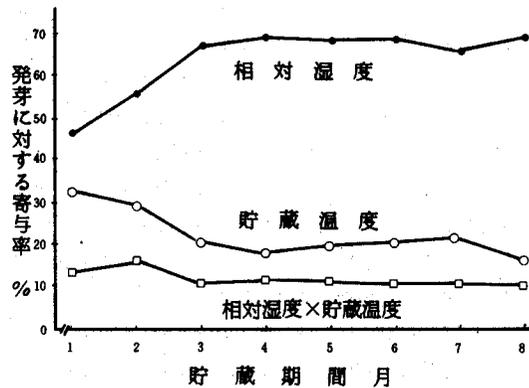
一方、相対湿度が43%下では、各温度区の裸および被覆種子はほぼ同等の発芽率を示すが、相対湿度が32%の低温下では、常温区の裸および被覆種子の発芽率は急激に低下した。常温区は空気中の昼夜温の較差があり、昼夜の相対湿度も1日周期で若干変化したと推定され、同時に種子の含水率も若干ではあるが1日周期で変動したと考えられる。このような長期間にわたる1日周期の種子含水率の若干の変化が、発芽に悪影響をおよぼしたものと考えられる。

また、被覆種子の発芽率は貯蔵中の相対湿度が高く、温度が高いほど早く低下した。これは高温多湿が種子の寿命を短くする³⁰⁾というこれまでの結果と一致した。

一般的にネギとニンジンにおける被覆種子の発芽率の推移は、同一条件下で貯蔵された裸種子と同様な傾向を示し、両種間を比較するとネギの発芽率低下がニンジンより幾分少なく、ネギの方が長期間の貯蔵が可能である。従来、ネギの種子は開封後の発芽力の低下が早い⁴⁷⁾とされているが、本調査ではニンジンほどではなかった。すなわち、発芽率の低下が殆んど無いいわゆる被覆種子の貯蔵可能期間は、相対湿度が60%以下の常温下では、ニンジンで1か月、ネギで6か月、別の調査でキャベツおよびピーマンでは4か月未満と考えられる。また、例えば15℃の温度下に相対湿度43%以下で貯蔵する場合、採種10か月経過後に被覆した種子の貯蔵可能期間は、ニンジンで3か月、ネギで8か月、キャベツおよびピーマンでは4か月と考えられる。

(2) 被覆種子の包装様式

実用面から種子の包装容器による発芽率の経時的低下の遅速を検討した結果は、2・12-4図に示すとおりであ



2・12-5図 ニンジン種子の貯蔵要因と発芽率に対する寄与率の関係

る。供試した種類別の裸および被覆種子の発芽率の低下は、茶封筒が最も早く、次いでポリエチレン袋(0.05mm)で、紙袋(供出米用3枚張り)はやや遅く、従来の結果⁵⁶⁾とはほぼ一致した。ポリエチレン袋は空気中の湿気を透過し⁵⁶⁾、袋内の種子は貯蔵中に含水量を増加したものと考えられる。容器別種子の発芽率低下の少ない貯蔵可能期間は、ネギでは茶封筒で3か月、紙袋およびポリエチレン袋では4か月であり、ピーマンは茶封筒および紙袋で2か月、ポリエチレン袋で6か月、ニンジンは茶封筒で1か月未満、紙袋およびポリエチレン袋では2か月、キャベツでは茶封筒で2か月、紙袋およびポリエチレン袋では3か月程度と推定される。

被覆種子の利用にあたっては、少量精密播種が前提になるので、発芽率の低下は僅少でも望ましくないが、発芽率低下の許容限界を5%とし、それまでに貯蔵期間を示したのが2・12-1表である。貯蔵中の湿度および温度が高いと、発芽率5%減期は一般に短く、ニンジン被覆種子を温度15℃相対湿度43%以下で貯蔵したときの、発芽率5%減期は3か月未満であるが、貯蔵温度25℃では低温下でも2か月未満、常温では低温下でも2か月未満であった。ネギ被覆種子の発芽率5%減期は、相対湿度54%以下で15℃では6か月未満、25℃でも6か月未満であり、常温区では4か月未満であった。したがって、種子の被覆整形時期は、各野菜の播種予定期より逆のぼって、各々前記貯蔵可能期間または発芽率5%減期を超えない時期に計画する必要がある。

一般に種子は貯蔵中の温度および湿度が低いほど発芽率の低下が少なく^{1, 2)}、湿度が低いと室温状態でも長期間発芽力は低下しない⁹²⁾。本調査でも2・12-5図に示すニンジン種子の貯蔵要因と寄与率の関係で明らかによ

うに、貯蔵中における種子の発芽率の低下には湿度が最も悪影響をおよぼし、次いで貯蔵温度とこれらの交互作用であった。ネギの種子でも同様な傾向が認められた。

種子の発芽率が低下する要因には、貯蔵条件とともに被覆整形以前の種子の履歴が重要と考えられる。

それには、種子をとりまく環境条件の外に、受精後種子完熟までの栄養状態の良否²⁶⁾、種子の活力と熟度⁴⁾、並びに刈取り、脱粒、乾燥および調製作業などの適否が考えられる。貯蔵後の要因としては次の二つが考えられる。一つは貯蔵中における種子の含水率と湿度である。種子を長期間貯蔵しようとするれば、種子の含水率をRH 40%との平衡含水率以下にして、微生物の繁殖しない含水率にしなければならない^{26, 28, 43, 94)}が、種子の含水率が低い(RH 10%平衡する)ほど好適な種類(レタスおよびネギなど)と、不適当な種類⁶⁸⁾があり、一概には論じられない。他の一つは種子の含水率と貯蔵温度の関係である。しかも、この二つは別個に作用し、含水率が10%の種子を20℃で貯蔵する場合と、その種子の含水率を8%に下げ、30℃で貯蔵する場合とは発芽力は同じである²⁵⁾ともいわれる。

このように、種子の発芽率にもっとも影響する環境要因は、相対湿度と温度で、それに種子の含水率が著しく影響することになる。したがって、不良環境下での発芽率の低下が、イネやムギに比べて著しい野菜の種子を長期に貯蔵するには、低温防湿倉庫の利用が最良といえよう。いずれにしても、同条件下に貯蔵した被覆種子と裸種子の発芽率は、本試験の結果ではほぼ同等であり、被覆種子は裸種子と同様な貯蔵方法および包装容器を使用すれば良いと考えられる。

13. 摘 要

野菜種子を被覆整形するための、好適な被覆方法、装置、被覆用粉体および結合剤を探索するとともに、被覆整形直後における湿った被覆種子を乾燥するための乾燥条件を究明した。さらに、被覆層に混入する殺菌剤および肥料の有効性を明らかにし、併せて被覆種子の物理性と貯蔵性について検討した。

1. 転動方法による種子の被覆は、単粒被覆率が低く、操作に熟練を要した。しかも、被覆粒径を大きくするほど単粒被覆率は低下し、その傾向は裸種子が小さく、不整形なほど著しかった。また、被覆整形時間はほぼ60~90分以上を要した。

2. 流動方法(2・4-5図)では、風によって種子を造粒筒内で浮動循環させるので、種子相互間の分離が良

好であり、単粒被覆率は大粒~中粒種子で100%、小粒種子でも98%以上であった。さらに、次のように改良すると、被覆層の圧砕強度が転動方法と同程度になった。すなわち、造粒筒内の中間ケース内部にもう一つの制御筒(2・4-6図)を設け、内周部を狭く絞り、種子を矢印(a)から(b)に循環させて往路と復路を分離することと、造粒筒の中間ケースを15~30 rpmで回転させることの二点である。

この改良流動方法によると、好適流動条件下ではダイコンが7~10分、ニンジンが6~12分、ハクサイは6~8分で被覆整形が完了した。

3. 流動方法による被覆収率は、粉体(P)と結合剤水溶液の噴霧量(B)の供給比(P/B)がほぼ2.6の場合が良好で、これより小さいと単粒被覆率が低下し、大きいと被覆用粉体のサイクロンへの飛散量が多く、能率も低下した。

4. 結合剤としては、発芽および結合力が最も良好なラテックス、ボンド、ポリビニルアルコールの芒硝およびポリビニルアセテート・ダイエチルアミノアセテートで、次いでサッカーロースおよびアラビアゴムが有効であった。

5. 結合剤の添加方法は、被覆層の強度からみて、全量の水溶液にして噴霧するのが最も効果的で、全量を被覆用粉体に混入し、被覆中に噴霧水で溶解させる方法は効果が低く、結合剤を噴霧水溶液と被覆用粉体に等量添加する方法は、前二者の中間の効果を示した。

6. 被覆層の強度は、表面張力が大きく接触角の小さい溶液を結合剤に用い、被覆層の空隙を少なく、密にするほど大きくなった。

7. 種子を被覆すると、発芽が良好なものと不良な種類が認められた。発芽が良好な種類は、発芽時の酸素要求量が少ないか、吸水による被覆層の膨潤程度よりも種子の体積増加が大きくて、被覆層にクラックの発生が良好なものであった。反対に発芽が不良な種類は、発芽時の酸素要求量が大きく、しかも種子の体積増加が小さく被覆層のクラックの発生が小さいか、ほとんどクラックが発生しないものであった。前者にはダイコン・ピーマン・トマト・ヒロシマナおよびハクサイが、後者にはキャベツ・タマネギ・ニンジンおよびレタスなどが含まれた。

8. 発芽床が水分過多の場合には、被覆層が泥状に膨潤して被覆種子の発芽率が低下した。しかし、疎水剤を被覆層に混入すると被覆層は泥状に膨潤せず、クラックが発生して被覆種子の発芽が安定した。疎水剤としてはシリコン・ワックス・シェラックおよびパラフィンなど

が有効であり、これらを粉体又は結合剤水溶液あるいは両者に数パーセント混入すればよかった。

9. 被覆用粉体の主材としてはキビ土・カヌマ土・赤粘土又は粘土が、助剤としてはベントナイト又はクレーが好適した。被覆用粉体は一般的に pH が弱酸性から中性で、BC は高くても 0.8 mS/cm までのもので、かつ発芽阻害物質を含まず、被覆整形の作業性が良好であれば良いといえる。

10. 被覆整形所要時間は、粉体粒径が 80~325 メッシュの範囲では、粉体粒径が小さいと長く大きいと短かった。また、被覆層の強度は粉体粒径が大きいと弱く小さいと強かった。したがって、被覆層の強度面から、作業能率は若干劣るが、200 メッシュ以下の微粉を 70% 以上含有する混合粉体が適当と考えられた。

粉体は表面自由エネルギーが大きく接触面積が大きいほど、すなわち球形でなく不整形のフレーク状で微細な粉体ほど、被覆層の強度は大きかった。

11. 被覆層を 3 層に分け、内層および表層を白色粉体、中層を赤色粉体で被覆した後、被覆種子の切断面を観察すると次の 4 形状に大別された(2・7-2 図)。1) 種子が被覆粒のほぼ中心(同図 B)に位置する。2) 被覆粒内で種子が偏在する(A)。3) 内層が星形のような凹凸(C)を呈する。4) 内層および中層は楕円形であるが表層は円形(D)をしている。

この被覆種子の断面形状は、造粒筒内における種子の流動状況によって異なり、種子の初期投入量が適当で流動が良好な場合は、(B)のように種子が被覆粒の中心に位置するとともに 3 段階の被覆層が等厚な円形をなし、種子の初期投入量が少ない場合は、(A)のように被覆粒内に種子が偏在したり、(D)のように内層および中層が変形する場合が多かった。

12. 被覆種子の切断面形状が良好な場合(2・7-2 図)には、赤色の中層内への白色粉体の混入や、表層の白色粉体内への赤色粉体の混入はほとんど認められなかった。種子の初期投入量が少ないか、種子の流動状況が不円滑な場合には、赤色の中層内へ白色粉体が、また白色の表層内の赤色粉体が付着点在了。また、サイクロンやバックフィルターへ飛散した粉体中にも同様なことが確認された。したがって、種子に一定の厚さで付着した粉体粒子は、適正な流動条件下ではほとんど分離しないが、流動が不円滑な場合には付着した粉体が離散し、他の種子へ付着したり、造粒筒外へ飛散すると考えられた。

13. 被覆層形成物質の種子への付着量 Q_t は次式で示すことができ、実測値とほぼ近似した。

$$\text{球状種子: } Q_t = \frac{1}{48} \rho_c \pi \{ 8(D^3 - D_0^3) + 0.945(D^4 - D_0^4) \}$$

$$\text{楕円状種子: } Q_t = \frac{1}{12} \rho_c \pi (D^3 - D_0^3) \left\{ \lambda^2 + \frac{1}{\epsilon} \log \lambda (1 + \epsilon) \right\} + 0.0239 \pi \lambda \rho_c (D^4 - D_0^4)$$

但し、 D_0 : 裸種子の直径、 D : 被覆種子の直径、 ρ_c : 被覆層形成物質の密度、 $\epsilon^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = \frac{\lambda^2 - 1}{\lambda^2}$ 、離心率、 $\frac{a}{b} = \lambda$ 、 $2b = D$ とする。

14. 造粒筒内で種子を流動させるのに必要な風速は、流動開始初期には小さくてよいが、種子の被覆が進むと大きくなり、とくに造粒筒内中央部の流速の増大が著しく、後期では初期の約 3 倍以上の風速を必要とした(2・7-5 図)。風圧のうち動圧は被覆開始期には小さく、中期には初期の約 3 倍、後期では同じく 10 倍を要した。

15. 本実験装置のように、V 字型をした多孔板の底部の中央に設けた強制循環管および多孔板下から流動用の送風をするとともに、多孔板上方からも粉体供給用の送風で種子の流動を円滑にした場合には、従来¹¹⁾の方法の数分の 1 の風速で流動を開始した。

16. 被覆される種子が大きい(ダイコン)場合には、粒径の大きい被覆粒の割合が多いほど、流動が可能な種子重量および容積は小さく、逆に被覆粒が小さくその割合が多いほど流動限界の種子重量および容積は大きくなった(2・7-9 および 2・7-10 図)。

しかし、被覆される種子が小さい(ニンジン)場合には、流動限界量に対して、大粒の被覆種子の多少による影響はあまり認められない(2・7-11 図)。

17. 3~4mm 粒径に被覆する場合、裸種子が丸形のキャベツおよびハクサイ、扁平なトマトおよびピーマン、角形をしたタマネギおよびネギはいずれも球形に、細長いニンジンおよびレタスは卵形に被覆整形された。被覆粒径をほぼ 3.5mm にすると、その容積はレタス、ハクサイおよびネギなどで 10 倍、トマトで 4.5 倍、タバコでは 150~200 倍(粒径 2.5mm)に増大した。被覆種子の密度は 0.71~0.80 g/ml の範囲内にあり、安息角は 27~30 度であった。被覆形状(球形、卵形)と被覆粒径が同一の被覆種子は、外観からはその種類を識別することが困難なほど、物理的性状は斉一化された。しかし、被覆種子の短所は容積が増加することで、包装や輸送あるいは貯蔵倉庫の容量などで、新たな問題が発生することになる。

18. 被覆種子の振盪試験によると、容器中で被覆種子が互いに接触あるいは衝突して生じる被覆層の剝離および破損などの損耗は、被覆層の圧砕強度が 5 N 以上では認められず、わずかに接触による摩耗(重量比で 1.5%)

が認められた。3Nでは被覆層の剝離や破損が多少観察されるが、被覆整形の最終段階で表層を2%のシエラック水溶液で被覆すると、被覆層の損耗量は無処理の0.6%と軽減し、振動が激しい長距離輸送などには有効と考えられた。

19. 幼苗期の苗立枯病(*Rhizoctonia*)の予防を目的に被覆層へ混入する薬剤は、出芽や生育に対する薬害の有無および薬効の両面からみて、イプロジオン水和剤9%(種子重量に対する薬量)、チオファネートメチル水和剤10~14%が有望と考えられた。

20. 被覆層への肥料の混入については、単肥の硫酸アンモニアおよび過磷酸石灰は0.2~1%と僅少でも悪影響をおよぼし、その程度は過磷酸石灰よりも硫酸アンモニアで大であった。この原因は濃度障害によるものと考えられる。緩効性のCDU1%の被覆用粉体への混入では発芽障害は無かった。また、塩基置換容量の大きい有機物(ピートモス粉末)2%を被覆層へ混入すると、硫酸アンモニア1.5%を共に混入しても発芽障害が軽減され、無処理に比べ発芽勢は若干劣るものの発芽率は同程度であった。同様にピートモスと共に混入した過磷酸石灰は、ニンジンで1.0%、キャベツでは1.5%まで発芽率および発芽勢を低下させることがなく、無処理と同程度であった。

21. 被覆整形直後の被覆層の含水率が20~22%の被覆種子を流動乾燥する場合、被覆種子の含水率(Y)と乾燥時間(X)の関係は、 $Y = ae^{bx}$ で近似でき、バーミューダグラスでは $Y = 20.08e^{-0.1283x}$ で表すことができた。

但しaは初期含水率を、bは乾減率を示す。送風温度(X1)と乾減率(Y1)の関係は、 $Y_1 = aX_1^b$ で近似でき、 $Y_1 = 1.876X_1^{1.045}$ となった。X1の指数を1.045=1.000とみなせば、送風温度と乾減率は正比例の関係にあった。

22. 被覆整形直後のハクサイ(3.2~3.6mm粒径)、バーミューダグラス(2~3mm粒径)およびイタリヤンライグラス(7×3mm粒径)の被覆種子を流動乾燥する場合、流動化を維持するためのスリット上の風速は0.86~2.10 m/sで、乾燥初期には1.55~2.10 m/s、乾燥終期には1.20~1.75 m/sであり、最終流動化風速は0.86~1.44 m/sであった。また、種子にもよるが、乾燥開始当初10分間の乾減率は高く(48~89%/h)、含水率を6~7%に乾燥するには送風温度40℃では60~90分必要と推定された。

23. 被覆種子の貯蔵可能期間は、裸種子のそれと差が認められなかった。ニンジンの発芽率5%減期は、貯蔵温度が15℃で相対湿度が43%以下の場合には3か月未満であり、貯蔵温度が25℃の時は低湿下で1~2か月、常温では低湿下でも2か月未満であった。ネギの発芽率5%減期は、15℃の相対湿度54%以下では6か月未満、25℃の相対湿度54%以下でも6か月未満、常温の相対湿度60%以下では4か月未満であった。

24. 常温下で包装容器の種類を検討したところ、裸および被覆種子の発芽率低下は茶封筒で最も早く、次いでポリエチレン袋および供出米用紙袋の順であった。

III 被覆種子の播種精度

1. はじめに

野菜の栽培技術は、従来から労働集約的技術の開発研究が主流で、労働生産性はなおざりにされてきたきらいがあった。野菜へ播種機が利用されるようになったのは、比較的新しく1950年代の中頃といわれ、播種や間引きあるいは収穫作業の機械化は旧態依然としている。

そのうち、播種および間引き作業の省力化についての研究は比較的新しく、播種機はビート用としてまず回転皿式が開発され、その後ロール式およびその改良型が開発されて今日までの主流となってきた。ダイコンのように比較的大形でかつ球形の種子は、粒径選別だけでもかなり播種精度を向上させることが可能であるが、このような性状をした種子の種類は限定されている。

また、増量剤として砂や死滅した種子などを種子と混和することにより、播種精度の向上を図ろうとする試み¹⁴⁾もあったが、結果は不十分であった。その後、水溶性ポリビニルアルコールテープを利用したシーダ・マシンが、キャベツやニンジンあるいはダイコンなどの主産地に導入^{42, 117)}され、それなりの成果をあげたが、播種精度は今一步の感があった。そこで、精密播種に関する研究がはじめられ^{31, 38, 83)}、なかでも空気を利用した真空吸着式が研究対象になった^{83, 36)}。この真空式は、凹凸のない球状種子ではかなりの播種精度が期待できるが、不整形種子では播種精度が低下する^{83, 92)}ばかりか、吸引ノズルが詰まるという欠点があり、その対策として排気圧の利用⁶⁷⁾などが試みられてきたが、十分な成果はあがっていない。

そこで、種子の物理的性状を均一にするため、種子の周囲を被覆粉体で被覆整形することが研究⁶³⁾された。また、同じ目的で静電気を利用⁷⁹⁾したり、種子に鉄粉を粉衣して磁気を利用⁸⁰⁾することも研究されているが、いずれも十分な効果をあげていない。精密播種の究極の目的は、単位面積当たりの目標栽植本数と同一な種子粒数を一定の設定株間に播くこと、すなわち株当たり単粒播種して無間引き栽培¹²²⁾を可能にすることにある。ところが、直播では株当たり単粒播種を実施することは、市販種子の現状と、発芽、出芽

および苗立率の確保からみて当面困難である。しかし、定植を目的とする育苗方式では、良好な環境条件を得やすく、発芽および苗立の安定性の確保が比較的容易と考えられる。

また、株当たり単粒播種する無間引き栽培は、直播では当面不可能としても、仕上げ間引き後の目標株間の数倍を定間隔に単粒播種すれば、群落状に密生して苗立しないので、手による間引き作業が容易になると考えられる。

既述したように、単粒播種には被覆整形種子を利用するのが最も容易に目的が達成できると考えられるが、これまでの被覆種子は、被覆技術が未熟なために発芽が良くなかったり、被覆層が種子繰り出しロール等で破損^{85, 111, 112)}したりして、高精度に単粒播種できた例は少ない。しかし、筆者はその後実用に耐え得る種子被覆技術を開発したことは前述のとおりである。

そこで、市販播種機の中から選んだベルト穴式人力播種機と、三形式の試作播種機を用い、被覆種子の播種精度(1977)を試験した。

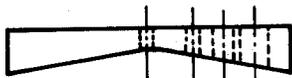
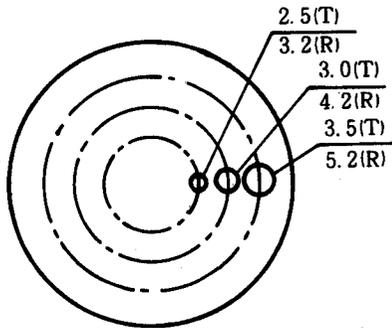
2. 被覆種子の繰り出し機構別の播種精度

播種様式には、点播、散播および条播の3通りが、また点播には単粒播きと複粒播きとがある。単粒播種が可能な種子の繰り出し機構には種々な方法が考えられるが、ここでは種子の繰り出し機構の異なる次の4機種を供試し、被覆種子の播種精度を調査した。すなわち、市販播種機の中から選んだベルト穴式的人力播種機(1977)と、三形式の試作実験機(1974~1977)を用いた。

1) 実験方法および供試機械の概要

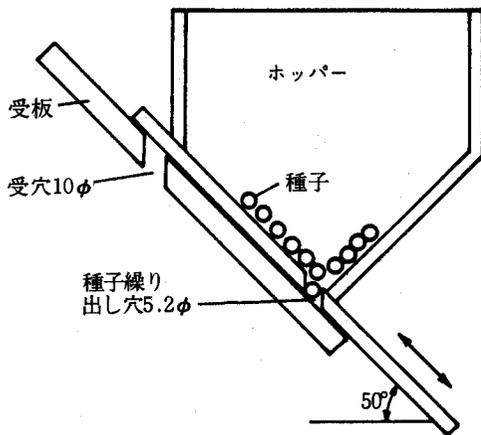
実験1および2の調査はベンチテスト方式で、回転する平ゴムベルト(幅40cm)上にグリスを塗付し、その上にセットした播種機から繰り出される種子を粘着させた。種子繰り出しベルトの速度調節は、Vベルトを介して播種機の接地駆動輪をVSモータで変速して行った。

供試した種子はタバコ(2.0~2.5mm, 2.5~3.0mm粒径)、ニンジン、ハクサイ、レタスおよびネギの裸種子と被覆種子(3.0~3.2mm粒径)である。種子繰り出しベルトおよび円錐板回転皿の傾斜角度は、機



3・2-1図 円錐板回転目皿の概略

注 T：種子繰り出し穴の深さmm
R：種子繰り出し穴の直径mm



3・2-2図 板穴摺動式播種装置

体を傾斜させることにより調節した。その他については下記のとおりである。

実験1：円錐板回転目皿式

供試した試作機は、回転目皿を改良した円錐板回転目皿式である。従来の回転目皿式では、種子の大きさによって目皿を交換していたが、3-2-1図に示すように等厚な円錐板ではなく、円錐板の下面中心部は薄く、外周部を厚くし、中心部から外周部に向かって小(2.5T/3.2D)、中(3.0T/4.2D)および大(3.5T/5.2D)の3種類の大きさの種子繰り出し穴(T：深さ、D：直径)を設けた。したがって、ホッパーのシュート部を任意の繰り出し穴上へ摺動させて、被覆種子の

粒径に適合させることが可能なので、回転目皿の交換を必要としない。

実験2：ベルト穴式

種子繰り出しがベルト穴式の人力播種機〔こんべえ号-R型、(向井化学工業製)〕を供試し、被覆種子の播種精度を調査した。

実験3：真空吸着式

真空吸着式は、種子を吸着する吸引ノズル穴径が、0.5mm間隔で0.5~2.5mmの5段階である。吸引ノズル穴の先端形状は、平面(□)と曲面(凹)の2種類を供試した。

吸引ノズル先端の吸引圧が-40、-70、-100、-150および-200mmHgで、各種子(ダイコン、ニンジン、ハクサイおよびネギの裸および被覆種子)の吸着精度について検討した。実験装置は、真空ポンプ(容量：15ℓ/min)から調圧タンク(2ℓ)を介して、ホース先端に接続した回転自在継手(15rpm)のL字型部の先端に取付けた各穴径の吸引ノズルを着脱できるようにしたものである。ホッパー内の種子はノズル吸着後、ホッパー上部において自動的にハケで払い落とされる。その際、ノズルの回転が遅いので種子吸着の有無は目視で確認できた。

実験4：板穴摺動式

ソイルブロック成形機のアタッチメントとして試作した板穴摺動式は、3-2-2図に示すように種子繰り出し用の摺動板を50度の角度に取り付け、受板の上面に接して摺動する繰り出し板は、厚さが2.5mm、繰り出し穴が5.2mmで、ホッパーの下方において定速で往復動する。この時繰り出し穴へ入った種子は、繰り出し板の摺動とともに上方へもちあげられ、種子の入った繰り出し穴が受板の受穴と合致すると、種子は落下し播種される。調査時の繰り出し板の摺動回数は、間歇的に毎分当たり25往復であった。供試したのはハクサイおよびレタスで、3.0~3.2mm粒径の被覆種子である。

2) 実験結果および考察

(1) 円錐板回転目皿式

円錐板回転目皿式播種機の繰り出し精度の結果は、3-2-3図のとおりである。種子繰り出し穴径が3.2mmの場合、被覆粒径が2.0~2.5mmのタバコでは、98~99%の単粒播種ができた。しかし、繰り出し穴からの被覆種子の放出程度が劣り、1~2%の無繰り出しとなったが、繰り出し穴径をさらに大きくすると、複粒繰り出しが認められた。

3-2-1表の播種速度と円錐板周速度の関係から分

3・2-1表

円錐板播種機の播種速度と円錐板周速度との関係(1977)

駆 動 輪			円 錐 板 周 速 度 m/min			
回転数 rpm	播種速度 cm/s	円錐板 回転数 rpm	円 錐 板 の 位 置			
			外 周	5.2 ϕ	4.2 ϕ	3.2 ϕ
25	34.2	15	5.7	4.9	4.1	3.3
35	47.8	20	7.8	6.7	5.6	4.5
42	57.0	25	10.2	8.7	7.3	5.8
52	71.0	30	12.1	10.3	8.6	6.9
70	95.0	40	16.9	14.5	12.1	9.7
88	118.3	50	20.2	17.3	14.4	11.5
105	142.0	60	24.2	20.7	17.3	13.8
123	165.7	70	28.2	24.2	20.1	16.1

3・2-2表

円錐板播種機の播種精度の分散分析(1977)

要 因	ニ ン ジ ン		ハ ク サ イ	
	F	寄与率%	F	寄与率%
A(回転数)	12.7861**	32.0	32.2472**	48.2
B(傾斜角度)	1.2101	1.2	7.6710**	4.6
C(穴 径)	39.8658**	19.9	76.0724**	22.6
A×B	0.2793	1.4	1.3655	4.1
A×C	8.0142**	20.0	10.3687**	15.5
B×C	20.4685**	20.5	3.0127	1.8
E		5.0		3.0

** 1%有意, 傾斜角度は種子繰り出し用円錐板を示す。

るように, 種子の粒径が2.5~3.0mmでは繰り出し穴径が4.2mmの場合, 繰り出し円錐板の回転数が50rpmすなわち周速度が14.4m/min以下では正確に単粒播種できた(3・2-3図)。卵形をしたニンジン(粒径3.0~3.2mm)の場合, 繰り出し穴径が4.2mmで, 円錐板の周速度が5.6m/minまでは単粒繰り出しできたが, これ以上では急速に精度が低下した。しかし, 繰り出し穴径が5.2mmの場合, 円錐板の傾斜角度が45~55度, 周速度が14.5m/min以下では正確に単粒播種できた。

ハクサイ(粒径3.0~3.2mm)の場合, 繰り出し穴径が4.2mmでは単粒繰り出し精度は劣るが, 穴径5.2mmの場合, 円錐板の周速度が10.3m/min以下では正確に単粒播種できた。

また, 各種子とも種子径(A)/種子繰り出し穴の深さ(T)の比が0.83~1.0のとき, 種子粒径が2.0~2.5mmでは(T-A)差が1.2~1.7mm, 同様に3.0~3.5mm粒径では, 上記の差が1.7~2.2mmの場合,

単粒播種精度が良好であった。

種子径/穴径の比は, 0.58~0.72の範囲で播種精度が良好であった。このように, 種子繰り出し円錐板の周速度が14.5m/min以下(播種作業速度が0.95m/s以下)では正確に単粒播種ができた。円錐板の傾斜角度は概して45~55度の場合に播種精度がよく, 円錐板が緩傾斜では複粒繰り出しの増加が確認された。一方, 観察によると, 周速度が速くなれば種子の繰り出し穴への入穴が機械的遅れを生じ, これが無繰り出しの原因となった。

播種精度の要因を分散分析すると, 3・2-2表で明らかなように, 播種精度には種子繰り出し円錐板の回転数が最も影響し, 次に繰り出し円錐板の穴径と両者の交互作用であった。

したがって, 高精度に単粒播種するためには, 被覆種子の粒径と適合する繰り出し円錐板の穴径を選択するとともに, 圃場を良く整地し, 低速で播種作業をすることが必要と考えられる。

(2) ベルト穴式

ベルト穴式人力播種機による被覆種子の繰り出し精度は、3・2-3表のとおりである。繰り出しベルト（以下ベルトと称す）が低速（0.15m/s以下）では、繰り出しベルトの傾斜角度にかかわらず、単粒繰り出し精度は低下しないが、中速（0.2m/s）以上でベルトの傾斜角度が大きくなれば（33度以上）、急激に低下した（ハクサイ・ニンジン）。種子の無繰り出しは、ハクサイの場合、傾斜角度にかかわらず低速（0.12m/s）では認められないが、中速（0.2m/s）以上では緩傾斜（27度）でも発生し、高速時（0.3m/s）には中傾斜（33度）以上の場合急激に増加した。ニンジンでも同様な傾向が認められ、ベルトを急傾斜（37度）にしても、中速（0.2m/s）以下では種子の無繰り出しの発生は少なかった。

複粒繰り出しは、ハクサイでは傾斜角度が33度以下の低速（0.2m/s）でわずかに（3～5%）認められたが、急傾斜（37度）ではほとんど認められなかった。ニンジンでもほぼ同様な傾向が認められるが、急傾斜（37度）でも低速の場合複粒繰り出しが認められた。

繰り出しベルトが高速の時に種子の無繰り出しが多いのは、高速では遠心力のためにベルトの繰り出し穴内の種子が落下できないためである。また、圃場で使用した結果、平担地で整地が良好な場合は、ベンチテストと同様に斉一な播種精度を示したが、傾斜地（7～8度）の上下作業では極端に播種精度が低下し、等高線作業でも播種精度がかなり不安定で、機体の安定維持に熟練を要した。

以上のことから、本播種機は被覆種子の外観が球形なハクサイでも、卵形なニンジンでも、繰り出しベルトが緩傾斜の状態、しかも繰り出しベルトを0.15m/s以下の低速で使用すれば、94～96%程度の単粒播種が可能と考えられる。

(3) 真空吸着式

真空吸着式の吸着精度は3・2-4および3・2-5図に示すとおりである。吸着精度は吸引ノズル穴の形状が平面（□）より曲面（凹）で良好であった。また、吸引ノズル穴径が1.5mm以下では種子の吸着精度は低下し、吸引ノズル穴径が2.0および2.5mmで、吸引圧はノズル先端で-150mmAq程度の場合に種子の吸着精度が良かった。ニンジンやネギでは、被覆種子の粒径が大きいほど種子の単粒吸着精度が向上した。これは被覆粒径が大きいとよく球形化され、被覆層表面の凹凸が少ないためと考えられる。ところが、球形をしたダイコンおよびハクサイ、細長いニンジン、菱

形をしたネギの各裸種子は、共に吸引ノズル穴径が0.5mmの場合、吸引圧-100～-150mmAqでは吸着粒数が1.0以下、-200mmAqでは1.0以上の吸着粒数となり、ノズル穴径が1.0mm以上では複粒吸着が増加した。また、裸種子ではノズル穴形状の平面（□）と曲面（凹）による吸着精度の差はあまり認められず、吸引ノズルの穴径や形状あるいは吸引圧を調整しても、単粒吸着は非常に困難であった。

被覆種子では吸引穴形状が吸着精度に影響し、単粒吸着精度は平面（□）より曲面（凹）で良好であった。吸引ノズル穴形状が平面の場合は、被覆層表面の整形状態が吸着精度に影響した。すなわち、球形のハクサイは被覆種子でも2～3mmの小粒径では単粒吸着は困難であったが、3.0～3.2mm粒径の被覆種子は、吸引ノズル穴径2.0および2.5mmで、吸引圧-200mmAqの場合高精度で単粒吸着した。一方、卵形をしたニンジン、わずかに凹凸のあるネギ、球形でも大粒のダイコンは、ほとんど単粒吸着できなかった。

ところが、吸引穴形状が曲面（凹）の場合には、被覆粒径が大きく良く整形されていると、各種子（ハクサイ・ニンジンおよびネギなど）は単粒吸着精度が良好であった。ただし、吸着穴径が1.5mm以下の場合には、単粒吸着は不安定で、例えばニンジンは吸着穴径が1.5mmの場合、被覆粒径が3.0mm以下では複粒吸着し、被覆粒径が3.0～3.2mmでは平均吸着粒数は1.0以下であった。しかし、吸着穴径が2.0および2.5mmでは、被覆粒径が3.0～3.2mmの場合、吸引圧が-100mmAq以上で正確に単粒吸着した。したがって、種子を吸引吸着する場合は、ノズル穴径は2.0～2.5mmで、吸引圧はノズル先端で-150mmAqに調節するとともに、被覆種子の表面が凹凸にならないように、3.0～3.2mm程度の球形に被覆整形することが必要と考えられる。

(4) 板穴摺動式

摺動板が毎分当たり25往復する条件下での種子の単粒、複粒および無繰り出しは、球形をしたハクサイが各々98.3、1.4および0.3%で、卵形をしたレタスが各々97.1、2.8および0.1%であった。

このように、本方式はベルト穴式や回転円錐板式より性能が若干劣った。この原因は、後者では種子繰り出し板が、一定方向へほぼ定速でホッパー下部に接して回転するから、繰り出し穴が種子群に接触する時間が長くなるので、被覆種子が繰り出し穴へ良く入り、繰り出し精度が良くなったものと考えられる。これに反して、本方式は種子を繰り出す板が早戻り機構で、間歇的に摺動するので、繰り出し穴が種子群に接触す

る時間が短かく、種子の繰り出し穴への入穴率が低下したものと考えられる。

(5) 総合考察

少量精密播種については種々の方法で多くの研究がなされ^{13, 76, 79, 82, 84, 86, 87, 136}) 種子を研磨したり⁹⁶⁾、種子の被覆⁶³⁾および播種機の改良¹³⁵⁾などがなされた。浦井ら¹³⁴⁾は波出形の播種精度の向上要因として、セルの直径が種子粒の長さの最大長よりわずかに大きい程度が適正で、深さは扁平種子ではその厚さに、長紡錘形のオオムギおよび楕円形のコムギでは種子の幅に、また球形に近い種子ではその長さによって決めるべきであるとしている。

本試験の結果でも、被覆種子の場合、同種の回転目皿では、繰り出し穴の直径は種子の長さよりわずかに大きい程度が良好であった。しかし、深さは浦井ら¹³⁵⁾の結果よりも浅めで、A/Tの比は0.83~1.00で単粒繰り出しが良好であった。

また、ビートの研磨種子では真空吸着方式が試みられたが、単粒吸着率は80~85%、複粒吸着率が15%程度と播種精度が低く⁶⁴⁾、播種作業時間は従来の播種板利用と実質的に大差はない。

これまでビートおよびタマネギなど^{64, 83, 85)}では、種子を被覆するとかなり播種精度は向上したが、被覆層の強度が弱く、ノズルや繰り出し機構が詰まり、十分な播種精度を維持することが困難であった。これらの対策として、真空装置の排気を利用し、逆噴射することによってノズルを清掃することが試みられたが、不十分であった^{64, 67)}。しかし、ノズルを機械的に清掃すれば¹³⁰⁾、この問題は解決でき、排気を利用するための弁機構も不必要と考えられる。

この吸引播種装置の吸引圧は、-400 mm Aq程度が最も良く、これ以上にしても無吸着粒の減少は認められず、むしろ複粒吸着が多くなるという報告⁶⁴⁾がある。これはビートの裸種子を用いた試験で、種皮の凹凸が大きく、吸引圧が高くても空気漏れが多いが、本試験のように表層が滑らかな被覆種子では、空気漏れが少なく、低い吸引圧でも単粒播種が高精度になったものと考えられる。

これまでノズル形状についての研究は少なかったが、平面(□)より曲面(凹)にすれば、被覆表層の凹凸に対する吸着性が向上し、より良好な播種精度が期待できる。ノズル穴径は本試験のように吸引圧が小さい場合は大きい方がよく、小さい場合にはノズルの目詰まりの原因になり、播種精度の低下につながる。

Rohrbachら⁸⁶⁾もノズル穴径はほぼ2.6 mmが適当だと

している。

被覆整形して種子の物理的性状を斉一化すれば、ベルト穴式および円錐板式でも好適な条件下では、高精度の単粒播種が可能である。通常の播種作業には、製造コストが安価でしかも保守が容易なこの方式の播種機が有効と考えられるが、高速で精密播種する場合は真空吸着方式が適当であろう。ところが、いくら高精度に種子を単粒ずつ繰り出しても、播溝へ落下する際種子の跳ね返りと回転作用によって5~30mmは変位する⁷⁾ので、この変位量以上の播種精度を期待することは困難である。したがって、播種間隔(K)を設定しても、実際には $K \pm 5 \sim 30$ mmとなるわけで、単粒播種する場合には株間は3cm以上で広いほど、精度の高い設定株間が得られることになる。

3. 摘 要

単粒播種を目的として、播種機構の異なる4機種を供試し、被覆種子の播種精度を調査した。

1. 試作した円錐板回転目皿式の特徴は、種子の大きさが異なっても目皿の交換を要さず、任意の繰り出し穴上へホッパーを摺動させる機構で、好条件下では被覆種子を98~99%単粒播種できた。円錐板の傾斜角度は45~55度で、その周速度は0.24m/sぐらゐまでが、単粒繰り出し精度が良好であった。

分散分析の結果、播種精度を左右する要因は種子繰り出し円錐板の周速度であり、次いで繰り出し穴の穴径および両者の交互作用であった。

2. ベルト式人力播種機(こんべえ号)による被覆種子の単粒繰り出し精度は、繰り出しベルト速度が0.15m/s以下の低速で、繰り出しベルトの傾斜角度が27~37度の範囲では94~96%と良好であったが、0.2m/s以上の中速で、傾斜角度が大きくなると精度は急激に低下した。

3. 真空吸着式は吸引ノズル穴の形状が平面(□)より曲面(凹)でよく、また吸引ノズル穴径は2.0および2.5mmで、ノズル先端の吸引圧は-150 mm Aq以上ではほぼ正確に単粒播種できた。また、被覆種子の粒径は3.2mmまでは大きいほどよく、さらに被覆層表面の整形が良好で、球形ほど単粒播種精度が良好であった。

4. ソイルブロック成形機のアタッチメントである板穴摺動式は、被覆種子が球形なハクサイで98%、卵形をしたレタスでは97%の単粒播種が可能で、前者では1.4%、後者では2.8%の複粒繰り出しが認められた。

Ⅳ 野菜直播体系における被覆種子の利用方法

1. はじめに

野菜の間引き作業は短期間に集中的に行わねばならない手作業であり、収穫作業とともに規模拡大を阻む大きな要因になっている。その上前傾姿勢を強いられる重労働でもある。この作業を省力化するためには、定株間に単粒播種することが必要条件と考えられる。

その一方法として、種子を適当な材料で被覆整形し、種子の大きさや形状などの物理的性状を斉一化することにより、播種精度が向上し省力化できることは前項までに述べたとおりである。少量精密播種体系では、播種した種子を斉一に、しかも確実に発芽苗立たせなければならない。そのためには、播種前の碎土や整地作業の精度が重要となる。しかし、作業機の駆動輪の

スリップにより、整地の定速作業は困難であり、そのため表土が局所的に集散して圃場表面に凹凸を生じるなど、整地の程度にはおのずから限界がある。その結果、機械播種作業では覆土に深浅が生じるし、小区面の圃場では播種機の車輪などで覆土上を鎮圧⁷⁵⁾する場合もある。いずれの場合も出芽には不都合で、深すぎると出芽が遅延したり、著しい場合には出芽できないこともある。その出芽の困難性の程度は、覆土層から抜け出る幼芽の力(抽出力)によって異なると考えられるが、この点に関しては、イネおよびムギの種子について二三の報告があるのみで、野菜種子については見当たらない。

本項では、数種の野菜についてこれらの関係を明らかにするため、1973～1979年に行った二三の実験結果をとりまとめたものである。

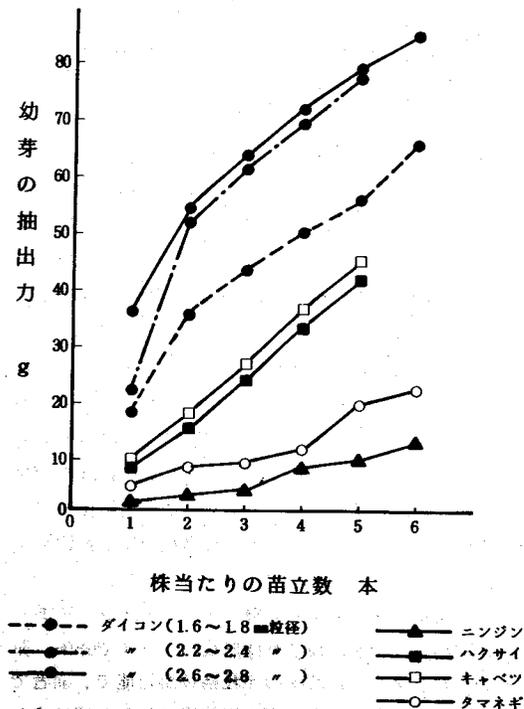
2. 幼芽の抽出力

これまで幼芽の抽出力については、イネ科を主体に大粒種子で試みられた^{34, 35, 108)}が、野菜などの小粒種子での報告は見当たらない。播種後、降雨に会うと腐植の少ない粘質土壌では耕土の表層が硬くなるクラストが形成される。散播や条播などの密播では、多数の幼芽がこのクラスト層を押し上げ破壊して出芽する。しかし、硬いクラストや大きな土塊下では発芽しても出芽できず、よう折する幼植物を観察することがある。

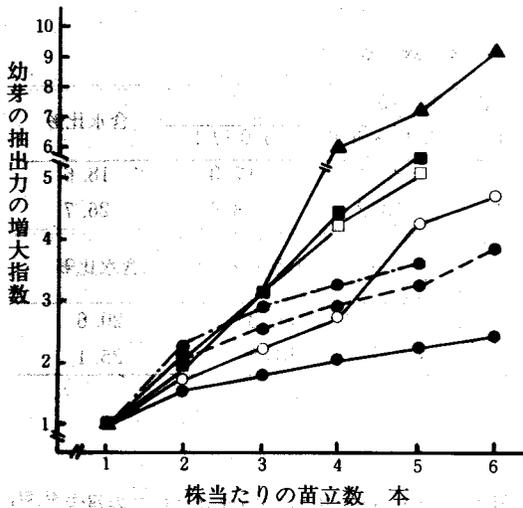
そこで数種類の野菜種子について、発芽後の幼芽が覆土層から出芽する際に、覆土を押し上げて伸長する力(幼芽の抽出力)を1972年から1973年にかけて測定した。

1) 実験材料および方法

幼芽の抽出力は次のようにして測定した。微小荷重変換器の感応部の先端に取り付けたプラスチック平板を幼芽が押し上げる力を受感し、その微小な力をストレンメータで増幅してレコーダへ記録した。幼芽はピーカー(内径×高さ: 8.5×12cm)内で3～7mmに出芽したものである。ピーカー内の培地(植壇土へピートモスを容積で45%混入したもの、培地の深さはほぼ12cm)は、あらかじめ水分を調節し、測定時における培地の含水量が一定(25～29%)に保持されるように努めた。培地の表面は0.25kg/cm²の硬さに締め固め、



4・2-1図 株当たりの苗立数と幼芽の抽出力(1973)



4・2-2図 株当たりの苗立数と幼芽の抽出力の増大指数 (1973)

注 抽出力の増大指数 = 株当たりの幼芽の抽出力 (g) ÷ 1本立ちの幼芽の抽出力 (g)

注 抽出力の増大指数 = 株当たりの幼芽の抽出力 (g) ÷ 1本立ちの幼芽の抽出力 (g)

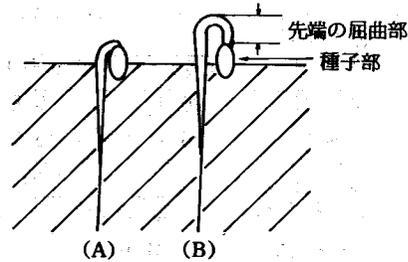
覆土はほぼ3~5mmとした。

供試した種子はニンジン 'チャンテネーインブルーブド', タマネギ 'OA黄', キャベツ '三冠', ハクサイ '王将' およびダイコン '夏みの早生1号' で, ダイコンについては小粒 (1.6~1.8mm), 中粒 (2.2~2.4mm) および大粒 (2.6~2.8mm) の粒径別に分け, 播種して生じた斉一な幼芽についてその抽出力を測定した。

2) 実験結果および考察

株当たりの苗立数と幼芽の抽出力の関係を示したのが4・2-1図である。ここで株とは, 点播したときの播き穴のことをいう。幼芽の抽出力は, 1本立ちの場合ニンジンが最も小さく, 1.3gで, 次にタマネギ3.9g, ハクサイ7.2g, キャベツ8.2gの順となり, ダイコンが17.7~35.5gで最も大きかった。なお, ダイコンは小粒種子よりも大粒種子のほうが大きかった。

次に, 株当たりの幼芽の抽出力を, 1本立ちの幼芽の抽出力で除した幼芽の抽出力の増大指数と, 株当たりの苗立数との関係を示したのが4・2-2図である。キャベツおよびハクサイの幼芽の抽出力は, 株当たりの苗立数に比例して増加し, とくに1本立ちの幼芽の抽出力が小さいニンジンは, 株当たりの苗立数の増加に伴う抽出力の増大指数が極めて大きく, 株当たりの播



4・2-3図 胚軸先端の屈曲状態

4・2-1表 出芽時の胚軸

種類	品種	胚軸 mm	
		長さ	太さ
レタス	ペンレーク	0	0.35
ハクサイ	耐病60日	0	0.65
キャベツ	金系201号	1	0.48
タマネギ	OX	6	0.37
ダイコン	夏みの1号	2	1.12
ニンジン	黒田五寸	5	0.34

種粒数が多いほど, 出芽が容易なことを示している。しかし, 1本立ちの幼芽の抽出力が大きいダイコンでは, 苗立数の増加に伴う幼芽の抽出力の増大指数がニンジンよりも小さく, その増大指数は大粒よりも小粒種子で大きかった。したがって, ダイコンでは1本立ちの抽出力は大きい, 株当たりの播種粒数を増してもニンジンほどには抽出力の増大を期待できない。

イネでは土壌水分が多いと幼芽の抽出力が弱くなるという報告^{34,36}がある。また, 覆土後鎮圧すると, 無鎮圧よりも大きな抽出力を示す作物³⁵も知られているが, 一般的に覆土後に締め固めると出芽は阻害される恐れが多い。

したがって, 種子は幼芽の抽出力の大きい大粒のものを選別して播種するとともに, 排水を良好にして幼芽の抽出を助ける必要がある。

一般に種子が吸水すると, その胚が生長を開始し幼根が発生する。直播した被覆種子では4・2-3図に示すように, 胚軸は先端に子葉を付けて屈曲した状態で地上に出芽する。その際に屈曲した胚軸の長い種類 (4・2-3図B) と短い種類 (同図A) があり, 前者にはニンジン・タマネギおよびネギなどがあって, 4・2-1表のように胚軸が細く, 後者はダイコン・ハクサイ・キャベツおよびレタスなどで, 胚軸は前者

4・3-1表 播種の土壌条件

表土からの深さcm	土塊の大きさ cm					含水比%
	0.5以下	0.5~1.0	1.0~3.0	3.0~5.0	5.0以上	
0~10	20.4	9.8	26.1	26.4	17.3	18.6
10~20	26.1	15.7	33.4	16.2	8.6	26.7

表土からの深さcm	三相分布%			孔隙率%	含水比%
	気相	固相	液相		
0~10	31.6	45.2	23.2	54.8	20.6
10~20	21.5	48.5	30.0	51.5	25.1

注 1.土塊分布：播種直前で単位は%である。

2.三相分布：播種後5日

よりも太いものが多い。

このように屈曲した胚軸部は、短いものより長い方が覆土層との接触抵抗が大きいものと推定され、出芽に対する抵抗も当然大きいものと考えられる。また、多くの野菜種子では、胚軸が子葉部を付けた状態で出芽する。したがって、子葉の形状や大きさによっても出芽の際の抵抗が異なり、小さいものより大きい方が、また形状が細長いものより球状あるいは菱形状のものが、出芽抵抗は大きいものと考えられる。

そこで、ニンジンのような抽出力の小さい種子では、面積当たりの播種粒数が少ないと、クラストの発生し易い土性で覆土が厚過ぎる場合、出芽障害を生じ易いといえる。また、砕土が不十分な場合にも、抽出力を越えた重量の土塊が覆土される危険性があり、これも出芽障害の原因になる可能性がある。したがって、播種前の耕うんや砕土、あるいは整地を十分に行うとともに、覆土は浅めにして幼芽の出芽を助ける必要がある。そのためには堆肥および初穀などの有機物を施用して土壌の物理性を改善すること、あるいは耕土を膨軟にするとともに客土などで土壌を改良し、クラストの発生を防ぐことも、出芽の安定に有効な方法と考えられる。クラストの発生し易い土壌へ、幼芽の抽出力が弱いニンジンなどを播種する場合には、覆土は斉一でしかも浅めにすることが重要である。また、クラストの発生しにくい土壌やわらなどの代替資材で覆土することも、高い出芽率を得るための一つの手段といえよう。

3. 播種の深さおよび土壌踏圧が

出芽におよぼす影響

機械播種作業では、播種し覆土した後に作業者やトラクタの車輪などで踏圧する場合がある。この土壌踏

圧が作物の生育におよぼす影響についての報告^{45,51,75)}は多いが、発芽や出芽への影響を論じたものは少なく、播種深を一定にした時のイネ科を主体に数例^{13,33)}みられるにすぎない。また、種子の大きさと出芽については、Austinら³⁾がニンジンでは種子の大きいほど出芽率が高いことを、Alamsら²⁾はブロッコリで種子の大きさは発芽の速さに影響し、大きいほど速く、播種深が出芽に悪影響するのは小粒種子で、大粒および中粒種子は比較的影響されないことを指摘している。しかし、その他の野菜についてはほとんど見当たらない。

そこで、直播野菜の2種類を供試し、播種の深さおよび土壌踏圧が出芽におよぼす影響について、1972、1973および1978年の3か年にわたり検討した。

1) 実験方法

種子粒径が小粒(1.6mm以下)、中粒(1.6~1.8mm)および大粒(1.8~2.0mm)の3段階のダイコン‘平安時無’を、1cm間隔に1cmから10cmまで深さを変えて播種した。次に、同様な目的で、裸種子および被覆種子(粒径3.0~3.2mm)について、覆土をしないものと、1cm間隔に5cmまでの深さに播種した場合の出芽状況を、ハクサイ、‘耐病60日’およびレタス‘ペンレイク’を供試して、2種類の土性【壤土およびマサ土(花崗岩風化土, SL)】で比較検討した。さらに、播種後の土壌踏圧による出芽障害の程度を、1.6~1.8mm粒径のダイコン‘夏みの早生1号’とニンジン‘春時五寸’を1/1000のポットに播種し検討した。播種位置の土壌含水量が一定(pF 1.5~1.7)になるよう水位を調節し、1~5cmの深さに播種後、コンクリート製テストピースなどで30秒間各踏圧(0.065, 0.185, 0.313および0.432kg/cm²)をかけた。土性は壤土および砂壤土(壤土と2mm以下の川砂を等量混合)

である。

2) 実験結果および考察

(1) 播種深と出芽

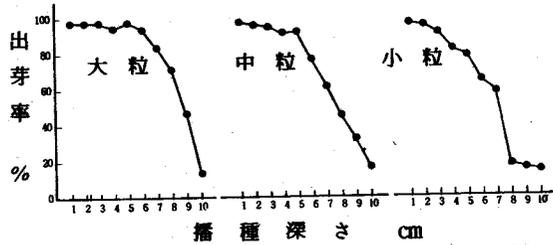
4・3-1表に示すような土壌条件下におけるダイコン種子の大きさと播種深が異なる場合の出芽状況を4・3-1図に示した。覆土が浅いと種子の大きさによる出芽率の差は明らかでないが、播種が深いとその差は明瞭となり、小粒種子では播種深がほぼ3cm、中粒で4cm、大粒では4~5cmから出芽率は急激に低下した。

また、播種深がほぼ2cmまでは、種子の大きさによる播種後出芽開始までの所要日数に差はないが、これより深いと小粒種子ではほぼ1日長く要した。播種深が同じ場合、出芽揃いは大粒種子で早く、小粒種子では長時間を要しかつ出芽率も劣った。これらの結果は前項の小粒種子より大粒種子で幼芽の抽出力が大きいこととよく一致する。

以上のことから、ダイコンは単粒播種のような少量播種で欠株を少なくするには、大粒種子で4~5cm、中粒種子では2~3cm、小粒種子の場合は1~2cm以下の浅播きをすることが望ましいといえる。

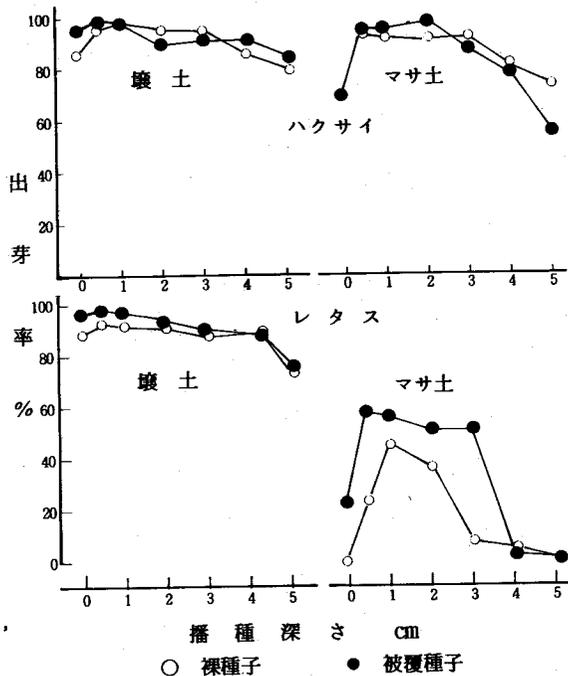
次に、播種深および土性とお出芽率との関係は4・3-2図のとおりである。レタスの出芽率は裸種子より被覆種子でやや高かったが、ハクサイでは種子の被覆の有無による差は認められなかった。壤土に比べマサ土ではレタスの裸種子および被覆種子はともに出芽率が低かった。観察によるとマサ土はかん水によって耕土の表層が硬くなるので、抽出力の小さいレタスでは、わずかな覆土でも出芽に悪影響を与えたものと考えられる。

マサ土のハクサイは、播種深が浅いと裸種子よりも被覆種子の出芽率がやや高いが、3cm以上の深播きになると、裸種子よりも被覆種子の出芽率が僅かに劣った。既述した(II, 5)ように、被覆層は播種後の吸水によってクラックを生じるが、マサ土は粘土分を含有するのでかん水によって覆土層が硬くなり、被覆層は大きなクラックを生じることができない。また、ハクサイの種子は球形なので、胚の部位が常にクラックに接するとは限らず、接しない場合には空気の入りが不十分になり、出芽が遅れたり、幼芽が硬い被覆層に封じ込められたりするものと考えられる。しかし、裸種子にはこのような障害は無いので、僅かながら出芽が良好であったものと考えられる。一方、レタスの種子は細長くしかも扁平であり、胚部は長径方向の先端に位置するため、胚が播種後の吸水で生じる被覆層



4・3-1図 ダイコン種子の播種深さと出芽状況(1972)

注1. 品種は平安時無である。
2. 小,中,大の粒径は各々1.6mm以下, 1.6~1.8mm, 1.8~2.0mmである。



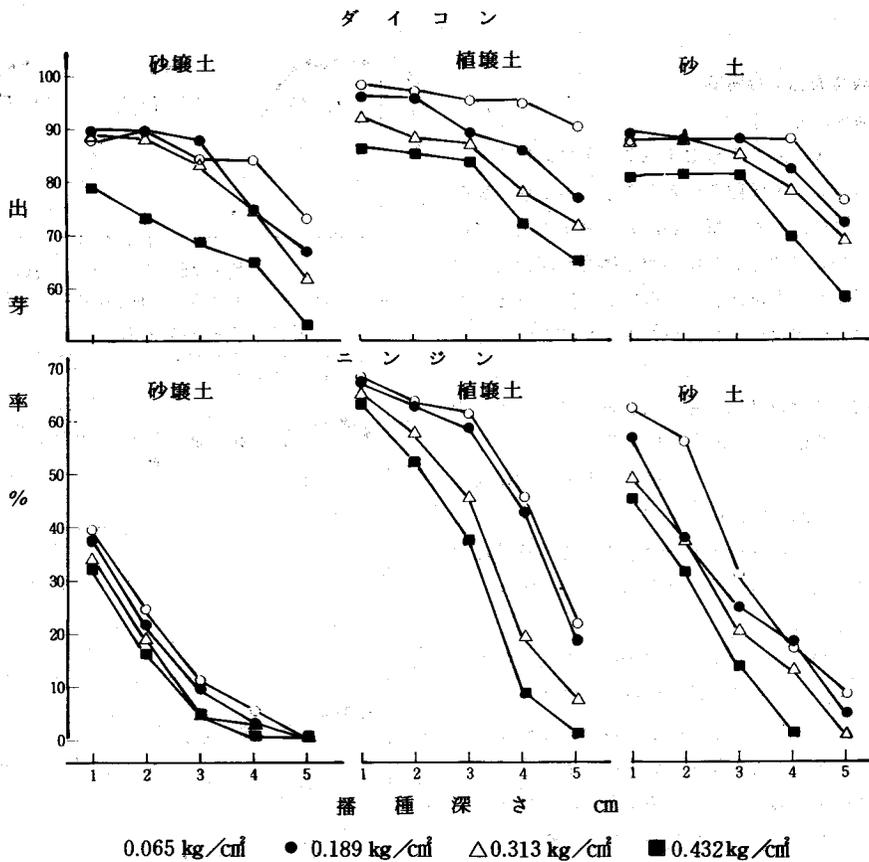
4・3-2図 播種深さによる裸および被覆種子の出芽率(1978)

注 マサ土:花崗岩風化土・SL

のクラックに接する確率が極めて高く、マサ土のように締まりやすい土性であっても、出芽はハクサイよりも安定したものと考えられる。播種深が浅いと、被覆層で被覆されている被覆種子の方が、裸種子よりも水分保持が容易であるため、被覆種子の出芽率が安定したものと考えられる。

(2) 土壌踏圧と出芽

直播では播種位置が深過ぎないように注意しなければならないが、特に腐植の少ない粘質な土壌ではクラストが生じ易いので、深播きにならないよう一層の注意が必要である。さらに、腐植が多く土壌水分の保持が容易な好条件下で、発芽所要時間の短い野菜種子を播種する場合は、播種後の覆土を行わず、軽い鎮圧だけでも良いと考えられる。



4・3-3 図 土壤踏圧が出芽におよぼす影響(1973)

次に、播種直後に30秒間踏圧した場合の出芽状況は4・3-3図に示すとおりである。

播種直後の土壤踏圧による出芽障害は、ダイコンよりもニンジンで大きく、播種深が深く踏圧程度が大きいかほど著しかった。土壤踏圧による出芽障害の程度は土性によっても異なり、ダイコンおよびニンジンでは砂壤土で最も大きく、次いで砂土で、植壤土では最も小さかった。これは幼芽の抽出力が大きく、締りにくい土性ほど踏圧による出芽障害が少ないことを示している。前述(IV, 2)したように、幼芽の抽出力が大きいダイコンは踏圧で覆土層が硬くなっても、幼芽が覆土層を押し上げることができるが、ニンジンは幼芽の抽出力が小さいので、覆土層を貫通して出芽できないためである。また、締りにくい植壤土では踏圧が強くても出芽率が高く、逆に締りやすい砂壤土での出芽率が低い。

(3) 総合考察

播種の深浅は、幼芽発生の遅速あるいは二段根の発生などを通じて、その後の生育に影響を与える。播種の深浅を支配する条件としては、気候、土質、種子の

大小および発芽特性などがあげられ、各々の畑地に最適な播種深があって一概には論じられない。一般論¹¹⁰⁾として、種子の覆れる程度に覆土するものとして、ネギ、タマネギ、ニンジンおよびチシャなど、5~10mm覆土するものはキャベツ、ハクサイおよびカブなど、15~20mm覆土するものとして、ダイコンおよびホウレンソウなどがあげられ、いずれも幼芽の抽出力による分類とほぼ一致する。幼芽の抽出力が小さいタマネギやニンジンの覆土は浅く、抽出力が大きいダイコンは深めにして、キャベツおよびハクサイはその中間とされている¹¹⁴⁾。ゴボウのような大粒種子でも、播種が深いと踏圧により出芽が遅れ出芽率も低くなる⁸¹⁾。そして、作物によっては播種深が出芽におよぼす影響には品種間差も認められる¹⁰⁶⁾ようである。

次に、土壤踏圧が作物の生育に影響することは良く知られ、根菜類では不整形根および岐根の発生がみられる^{45, 51, 75)}が、その程度には種類間差がみられ、レタスおよびハクサイなどでは悪影響が軽微⁴⁵⁾である。

伊佐³³⁾は幼芽を種々の形状でシュミレーションして、ハダカムギではほぼ0.245 kg以上の伸長抵抗が幼

4・4-1表 供試野菜の播種および間引き方法

種類	品種	目標株間 cm	播種様式	播種間隔 cm	播種量	間引き方法 本/cm*		
						1回目	2回目	3回目
ダイコン	夏みの早生1号	25	条播	—	8粒/目標株間	1/4~1/5	1/8	1/25
			点播	25	3粒/株標	—	2/25	—
			単播	8	1粒/株	—	—	—
ニンジン	黒田五寸	9	条播	—	8粒/目標株間	1/2~1/3	1/4~1/5	1/9
			点播	9	3粒/株	—	2/9	—
			単播	3	1粒/株	—	—	—
ハクサイ	耐病60日	30	条播	—	8粒/目標株間	1/5~1/6	1/10	1/30
			点播	30	3粒/株	—	2/30	—
			単播	10	1粒/株	—	—	—
ヒロシマナ	—	33	条播	—	8粒/目標株間	1/5~1/6	1/11	1/33
			点播	33	3粒/株	—	2/33	—
			単播	11	1粒/株	—	—	—

- 注 1. 播種：ダイコン1976年9月1日，ニンジン1976年8月20日，ハクサイ1979年9月1日
ヒロシマナ1979年9月21日
2. 間引き：ダイコン9月18日，9月21日，ニンジン9月24日，10月4日と13日，ハクサイ9月19日
ヒロシマナ10月7日，14日，19日
3. 収穫：ダイコン11月5日，ニンジン11月1日，ハクサイ11月11日，ヒロシマナ11月29日
4. 各野菜とも畦幅120cm，条間40cm，2条播きとした。
5. ※は仕立本数/株間を示す。

芽に作用すると，出芽阻害が現れ始めると推定している。しかし，踏圧による出芽の抑制は，高加重による種子の破損による不発芽は別として，覆土層が圧密化し，土壤含水量および土性によってはクラスト層を形成し，これを幼芽が貫通できないためと考えられる。土壤水分が発芽の最適範囲では低踏圧で良く出芽するが，水分が少ない場合は高踏圧の方が良好で出芽が早い¹⁰³⁾ともいわれる。同じ土性でも腐植が多いと踏圧による出芽への悪影響は少なく，踏圧によって締りやすい土性あるいは同じ土性でも，含水量が高い場合に悪影響が多いといわれている。

4. 播種様式と播種密度が出芽，初期生育および収量におよぼす影響

間引き作業の省力化の観点からの，栽植密度と栽植様式に関する研究は，イネ，ムギ^{48,49)}やビート⁴⁴⁾では多いが，野菜について論じたものはほとんどなくわずかに三寸ニンジン⁵⁰⁾，コマツナ⁵⁷⁾にみられる程度である。間引き作業を省力化するため，薄播きに過ぎると初期生育の遅延^{50,57)}が懸念されるが，播種様式と生育や収量あるいは品質の関係については不明確な点が多い。

本質では，数種の野菜についてこれらの関係を明らかにするため，1973～1979年に行った二三の実験結果をまとめたものである。

1) 材料および実験方法

供試野菜はダイコン，‘夏みの早生1号’，ニンジン‘黒田五寸’，ハクサイ‘耐病60日’およびヒロシマナである。各野菜とも，条播区，点播区（各野菜それぞれの栽植株間をとって，1株3粒播種）および単播区（株間をそれぞれ栽植株間の3分の1にとり，単粒播種）の3区を設け，1区面積は9.6㎡の3区制とした。調査個体数はハクサイおよびヒロシマナの生育調査で80株以上，収量調査では60株以上とした。

間引き作業は各野菜とも3回実施し，ダイコン，ハクサイおよびヒロシマナは，1回目に条播区を5～6cm株間とした。2回目に条播区を栽植株間の3分の1にするとともに，点播区は2本立にした。3回目には各区とも1本にして栽植株間とした。ニンジンは1回目に条播区をほぼ2～3cm間隔に，2回目には条播区を4～5cm株間にし，その他はダイコンなどと同じ要領で株間調節をした。

耕種概要は，4・4-1表に示すとおりである。供試した圃場は，土性が壤土Mn型灰色土壌で，多年に

4・4-2表 被覆野菜種子の播種密度と出芽状況

種類	播種様式	出芽株率%				不出芽株率%				※発芽率%	試験年次
		1本	2本	3本	合計	単株	2連続株	3連続株以上	合計		
ダイコン	点播	5.4	16.3	77.2	98.9	1.1	0	0	1.1	97	1976
	単播	89.3	—	—	89.3	9.9	0.8	0	10.7		
ニンジン	点播	41.6	34.4	11.6	87.6	10.9	1.3	12.4	12.4	89	1976
	単播	75.0	—	—	75.0	12.6	5.3	7.2	25.0		
	点播	39.7	34.9	0	74.6	14.6	6.4	2.4	23.4	73	
	単播	52.9	—	—	52.9	24.7	13.6	8.8	47.1		
ハクサイ	点播	6.9	28.4	66.4	98.1	1.9	0	0	1.9	95	1977
	単播	88.2	—	—	88.2	10.4	1.4	0	11.8		
ヒロシマナ	点播	7.7	18.0	69.2	94.9	5.1	0	0	5.1	95	1977
	単播	84.6	—	—	84.6	11.0	4.4	0	15.4		

※ 発芽試験法に基づく発芽率

わたって初穀や堆肥などの有機物を多量に施用した結果、試験時には熟畑であった。

2) 実験結果および考察

(1) 播種様式と出芽

異なる播種様式における出芽状況は4・4-2表のとおりである。どの種子も出芽株率は単播区より点播区で高く、シャーレ内発芽試験での発芽率と同程度であったが、欠株となる不出芽株率は単播区より点播区で高かった。

シャーレ内の発芽試験で発芽率が95%を示したヒロシマナの出芽株率は、単播区で84.6%、点播区で94.9%であった。しかし、単播区でも収量に影響すると思われる3株以上の連続不出芽株は生じなかった。

ダイコンでもヒロシマナおよびハクサイと同様な傾向を示した。ただし、ダイコンの不出芽株は、単播区では発生せず点播区で1.1%発生した。

ニンジンでも同様な傾向を示し、点播区より単播区が欠株になる不出芽株の発生は少なかった。ニンジンの場合、発芽試験での発芽率が比較的高く(89%)でも、欠株になる不出芽株率が点播区では12.4%、単播区でも7.2%生じ、発芽試験での発芽率が低い(73%)種子では、さらに両区とも欠株になる不出芽株の発生率が高くなった。これらのことから、シャーレ内の発芽試験の発芽率が比較的高い(89%)場合でも、前述

(IV, 2)のように幼芽の抽出力の弱いニンジンでは、間引き後の栽植本数の3倍の播種量では、不出芽株の発生を防止することが困難であったものと考えられる。シャーレ内の発芽試験での発芽率が比較的低い(73

%) ニンジン種子を播種した場合の、出芽頻度を示したのが4・4-1図である。播種間隔を1, 1.5, 2および3cmにした場合、出芽間隔は各々播種間隔の小さい順に、平均1.7±1.5cm, 2.6±2.2cm, 3.8±3.2cmおよび5.4±4.3cmとなった。したがって、発芽試験の発芽率が73%と低いニンジンで、最大出芽間隔を栽植株間の9cm以内にするには、2cm以下の間隔に播種することが必要と考えられる。また、発芽試験で比較的高い89%の発芽率を示したニンジン種子でも、点播および単播の両区で不出芽株が多発した原因は、覆土下で発芽しても幼芽の抽出力以上の重量の土塊が覆土されたり、クラストの発生などにより出芽できず、土中でよう折したものと考えられる。

ところで、圃場での不出芽株の発生率(Y)と、シャーレ内の発芽試験での発芽率(A)との関係は、単播区では $Y = (100 - A) / 100 \cdot m$ で示される。ここでmは栽植株間当たりの播種粒数を示す。

この関係式から、シャーレ内の種々な発芽率における、不出芽株の発生率を試算した結果を図示すると4・4-2図のとおりである。不出芽株率の発生を5%以下に抑えるには、シャーレ内の発芽試験での発芽率が95, 90, 80および70%の場合には、栽植株間当たりの播種粒数は、それぞれ1, 2, 4および6粒以上を要することになる。

一方、点播区での不出芽株の発生率(Y')と株当たりの播種粒数(n)の関係は、 $Y' = [(100 - A) / 100]^n$ で表される。圃場では、この不出芽株の発生確率の外に耕土の要因(砕土率, 土性, 土壌含水量など)や病害

虫、天候などにも規制されると考えられる。両式を比較すると、単播区より点播区で不出芽株の発生率が小さい。この不出芽株の発生率の試算値と実測値が、単播区ではほぼ一致するが、点播区では試算値よりも実測値の方が大きくて一致せず、他の種類でも同様である。単位面積当たりの播種粒数が同じ場合、点播区は単播区に比べ、局部的に播種されたことになる。またニンジンでは幼芽の抽出力が小さく、単播の1粒でも点播の3粒でも同様に、幼芽の抽出力を超えた土塊で覆土されたり、覆土がクラストを生じるなど、前記の出芽を阻害する種々な要因の危険を分散することができない。したがって、点播区の不出芽株の発生率は試算値(Y)より実測値で大きかったものと推定される。ところが、幼芽の抽出力が比較的大きいダイコン、ハクサイおよびヒロシマナでは、シャーレ内の発芽試験で95%程度の発芽率を示す種子を、栽植株間の3分の1程度の間隔で単播すれば、欠株は生ぜず、点播するよりも出芽が安定した。点播および単播のいずれにしても、苗立率を見込めば、さらに多量に播種しなければならないので、少量精密播種する場合には、発芽率の高い精選種子の利用が前提条件といえる。

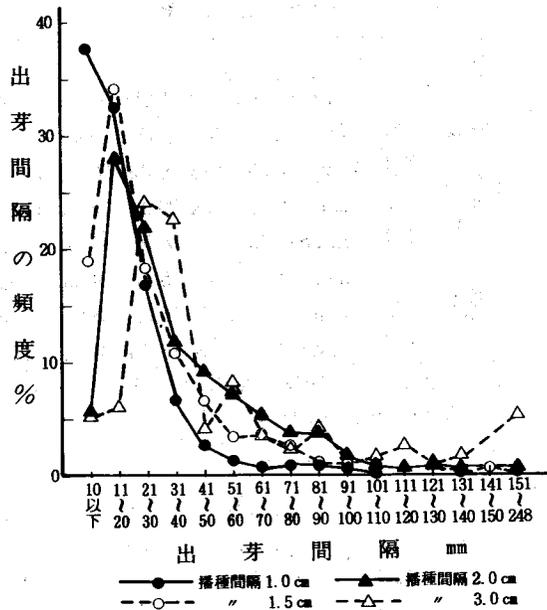
(2) 播種様式と初期生育および収量

初期生育は4・4-3表で明らかなように、種類によって多少異なるが、どの種類もほぼ同じ傾向を示した。

ニンジンでは、葉柄は播種後48日目まで単播区より条播区で長く、葉身も同様に34日目までは他2区より条播区で長かったが、その後有意差は認められなくなった。葉数においても、播種後69日目には播種様式による区間差は認められなくなった。

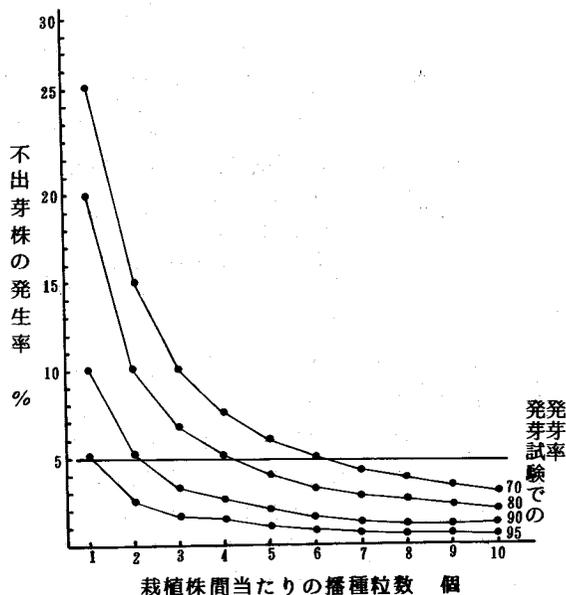
ダイコンでも同様に条播区で初期生育の促進傾向が認められ、播種後23日目までの最大葉長および葉数は単播区より条播区で優れた。しかし、葉数は播種後30日目には区間差がなくなり、同45日目には逆に条播区より単播および点播の両区で多くなった。その後は最大葉長および葉数には差は認められなかった。このようにダイコンは播種後30日ごろまで競合による初期生育の促進が認められたが、その後は播種様式による生育差は認められなかった。

ハクサイでも同様の傾向が認められ、最大葉長は播種後21日目まで他2区より条播区で長い、同25日目には差が認められなくなり、同27日目には条播区より単播区で長くなった。葉数は播種後21日目まで条播と単播の両区間に有意差は認められないが、同25日目には点播区で最も少なく、単播区で最も多かった。葉幅



4・4-1図 ニンジンの播種間隔と出芽間隔(1979)

注 発芽試験での発芽率73%の場合



4・4-2図 単播における播種粒数と不出芽株の発生率

注 $y = (100 - A) / 100 \cdot m$ より算出した。

A: 発芽試験での発芽率%

m: 栽植株間当たりの播種粒数 個

y: 不出芽株の発生率%

4・4-3表 被覆野菜種子の播種様式と初期生育の関係

種 類	ダイコン					ニンジン					ハクサイ				
	調査月日	9.24	10. 1	10. 8	10.16	11. 5	9.24	10. 1	10. 8	10.16	10.29	9.19	9.22	9.26	9.28
播種後の日数	23	30	37	45	64	35	41	48	56	69	18	21	25	27	
最大葉長 cm	条播	13.1c	16.8a	22.2a	30.3a	39.7a	14.1c	20.4c	23.5c	32.2c	57.4c	10.4c	13.9c	20.0a	21.7ab
	点播	12.1a	16.7a	22.2a	29.3a	39.9a	11.8a	18.1b	22.0b	30.4b	56.5c	8.2a	12.3a	19.0a	20.9a
	単播	12.2ab	16.6a	21.9a	30.0a	43.0a	10.0a	17.4ab	21.1ab	29.8ab	56.2c	8.3ab	12.5ab	20.2a	23.4c
葉数枚	条播	5.0c	7.2a	11.8a	15.4a	24.6a	4.4a	5.3a	6.5a	8.5a	12.8a	3.3a	4.5a	6.1ac	7.0b
	点播	4.7a	7.2a	12.3a	16.2c	23.9a	4.3a	5.6a	6.9a	9.4a	13.0a	3.6a	4.4a	5.8a	6.3a
	単播	4.8ab	7.3a	12.1a	16.0bc	24.6a	4.3a	5.6a	6.7a	8.9a	13.3a	3.8a	4.5a	6.4c	7.4c

注 1.ダイコン：1976年9月1日播種，ニンジン：1976年8月20日播種，ハクサイ：1977年9月1日播種
2.播種様式間で同じ英文字を付記しない数値間に有意差(t = 0.05)が認められ，以下同様に示した。

4・4-4表 被覆種子の播種様式と葉菜の収量

種 類	播種様式	平均株間 cm	栽植本数	欠株率	収穫株率	収 量 t /10a	平均株重 kg/株	平均調整 株重 kg/株
			a 本/10a	b %	a(1-b/100) %			
ハ	目 標	30	5,553	—	100			
ク	条 播	30.9a	5,392	3.0a	97.1b	13.2b	3.16a	2.45a
サ	点 播	32.0a	5,206	6.7b(3.6)	93.8a	12.5a	3.15a	2.40a
イ	単 播	30.8a	5,409	2.7a	97.4b	13.5b	3.17a	2.50a
ヒ	目 標	33	5,048	(4.1)	100	—	—	—
ロ	条 播	31.7a	5,255	5.7a	104.1b	7.3a	1.62a	1.38a
シ	点 播	33.4b	4,988	1.2b(5.4)	98.8a	7.4a	1.74ab	1.48ab
マ	単 播	32.0a	5,206	6.7a(0.9)	103.1b	8.9b	1.93c	1.70c

注 1. 欠株率は目標平均株間に対する割合で示し，()内は条播区に対する割合である。

2. 収穫株率 = $\frac{\text{最終栽植本数}}{\text{目標栽植本数}} \times 100$ で計算した。

3. 同じ英文字を付記しない数値間に有意差(t = 0.05)が認められる。

にも同様な傾向が認められた。ヒロシマナでもハクサイと同様な傾向であった。

このように供試した野菜では生育初期に密生すると、いわゆる競合による生育促進(ダイコン：播種後30日、ニンジン：57日、ハクサイ：21日、ヒロシマナ：23日目ごろまで)が認められたが、それ以降は厚播きと薄播きによる生育差は認められなかった。

播種様式の違いが収量におよぼす影響を調査した結果は、4・4-4および4・4-5表のとおりである。

各播種区と単播区との間の収量の差は、ハクサイ、ニンジンおよびダイコンでほとんど認められなかった。ただし、ヒロシマナは条播および点播の両区よりも、

単播区での収量が多かった。

一般に厚播き(条播)すると、根葉および葉菜ともに草姿が立性になる傾向を示し、薄播き(単播)すると逆に開張性になる。このような草姿は生育初期に顕著で、そのため薄播きすると一層生育が遅れているように見える。吉良⁵⁰⁾は三寸ニンジンで最適栽植密度は出芽後における日数の経過とともに低密度の方向へ移動し、播種60~70日以降には最低密度と一致して競合は消えるとしているが、本実験の結果もほぼ同様であった。

個体の栽植距離が密にすぎると、地下部および地上部における個体間の競争が激しくなり、逆に粗にすぎ

4・4-5表 被覆種子の播種様式と根菜の収量

種 類	播種様式	平均株間 cm	栽植本数 本/10a	欠株率 %	収穫株率 %	収量 t/10a	L級品割合 %	根長 cm	根径 cm	根重 g	抽根長 cm
	目 標	25	6,664	(2)	100						
ダ	条 播	24.5	6,800	2.0	102.0b	4.8a	76bc	35c	6.2a	702a	16.9c
イ	点 播	25.4	6,559	1.6	98.4a	4.7a	72a	34ac	5.9a	719a	14.9b
コ				(3.7)							
ン	単 播	25.1	6,637	0.4	99.0b	4.8a	74ab	33a	6.0a	716a	13.2a
				(2.4)							
	目 標	9	18,511	(14.3)	100						
ニ	条 播	10.5	15,866	16.7	85.7b	2.6c	39b	18a	4.6a	163a	-
ン				(-)							
ジ	点 播	11.7	14,239	30.0	76.9a	2.3a	33a	18a	4.5a	161a	-
ン				(11.4)							
	単 播	10.7	15,570	18.9	34.0b	2.5b	40c	18a	4.5a	160a	-
				(1.9)							

注 1. 欠株率は目標平均株間に対する割合で示し、()内は条播区に対する割合である。

2. 収穫株率 = $\frac{\text{最終栽植本数}}{\text{目標栽植本数}} \times 100$ で計算した。

3. 同じ英文字を付記しない数値間に有意差 ($t=0.05$) が認められる。

るとこれらの空間を最大限有効に利用できないことになる。したがって、生育段階に応じて各野菜および環境条件に適応した栽植密度をとれば、空間の利用効率が低いといえる。

そのためには、生育段階に応じて間引きを行い、残存株間を最適間隔に保てばよい。このように、栽植期間がほぼ同一で、最終収量および品質に差がなければ、たとえ初期生育は劣っても問題はないはずである。しかし、宮城⁵⁷⁾はコマツナで播種粒数、間引きの時期および程度を変えて実験したという、常に葉が重なり合わない程度に間引きをした場合が、これより薄く播いた場合より平均株重は大きく、また播種1週間後に栽植株間に間引いた場合は、3回にわたって間引いた場合より小さかったとして、競合による初期生育の促進効果を認めている。これは栽植時期が晩秋から初冬(10~12月)のため、気温が低く生育速度が遅かったもので、薄播き区の生育が厚播き区に追いつけなかったものと推察される。

また、株間が広いとアブラムシの飛来が多く、モザイク病が多発するとの報告⁵⁸⁾もあり、薄播きする場合には病虫害の発生にも留意する必要がある。

いずれにしても、この方面の研究は少なく、作期お

よび種類、播種量と間引き時期などについては、肥培管理を含めてさらに検討する必要がある。

5. 摘 要

被覆種子を利用し、直播体系で少量精密播種を行った場合の出芽の様相を、播種様式と播種密度の面から検討し、さらにこれが初期生育、収量におよぼす影響を、数種類の野菜について調査した。

1. 幼芽の抽出力はニンジンが最も小さく、1本立ちで1.3g、タマネギで3.9g、ハクサイで7.2g、キャベツでは8.2gで、ダイコンが最も大きくて17.7~35.5gであった。同じ種類でも幼芽の抽出力は小粒種子より大粒種子で大きかった。キャベツおよびハクサイの抽出力は、株当たりの苗立数にほぼ正比例して増加した。1本立ちの幼芽の抽出力が小さいニンジンでは、株当たりの苗立数の増加に伴う幼芽の抽出力の増大指数の増加が特に著しかった。

2. 種子の大小による出芽率は、播種深が浅いと差は認められないが、深いと大粒種子は小粒種子より出芽が早く、播種深や土性にかかわらず、被覆種子が裸種子より出芽率が高かった。撒種直後の土壌踏圧によ

5・2-1表 間 引 き 労 力

種 類	播 種 様 式	播種量		1 回 目			2 回 目			3 回 目			合 計		目 標 栽 植 株 数	間 引 き 本 数 目 標 栽 植 株 数	
		cc/10	千粒/10a	本数	時 間	本数	時 間	本数	時 間	本数	時 間	本数	時間	本/10a			本/10a
			※	千本/10a	h/10a	秒/本	千本/10a	h/10a	秒/本	千本/10a	h/10a	秒/本	千本/10a	h/10a			※2
ダイ コン	条播	1,200	53.3(8)	24.1	9.79	1.46	9.3	6.17	2.39	6.8	7.97	4.22	40.2(100)	23.93(100)	6,664	6.04	
	点播	450	20.0(3)	-	-	-	4.3	4.12	3.46	5.2	7.12	4.94	9.5(23.5)	11.24(47.0)	"	1.42	
	単播	450	20.0(3)	-	-	-	-	-	-	9.9	10.11	3.67	9.9(24.6)	10.11(42.2)	"	1.49	
ニン ジン	条播	1,200	397.2(21)	63.6	31.28	1.77	13.6	9.65	2.55	10.2	15.67	5.55	87.4(100)	5.60(100)	18,511	4.72	
	点播	170	55.5(3)	-	-	-	3.5	5.44	5.66	8.9	12.49	5.07	12.4(14.2)	17.93(31.7)	"	0.67	
	単播	170	55.5(3)	-	-	-	-	-	-	12.5	12.36	3.56	12.5(14.3)	12.36(21.8)	"	0.68	
ハク サイ	条播	310	64.7(12)	35.2	13.06	1.34	14.0	9.50	2.44	8.6	2.40	4.32	57.8(100)	38.00(100)	5,553	10.41	
	点播	80	16.7(3)	-	-	-	3.7	4.86	4.75	5.1	4.80	3.41	8.8(15.1)	9.66(25.4)	"	1.35	
	単播	80	16.7(3)	-	-	-	-	-	-	9.5	8.10	3.06	9.5(16.4)	8.10(21.3)	"	1.71	
ヒロ シマ ナ	条播	330	61.2(12)	24.2	10.38	1.54	17.8	12.63	2.55	11.2	10.69	3.42	53.2(100)	33.70(100)	5,048	10.54	
	点播	80	15.2(3)	-	-	-	4.1	4.59	4.02	5.4	5.39	3.59	9.5(17.9)	9.98(29.6)	"	1.88	
	単播	80	15.2(3)	-	-	-	-	-	-	8.8	8.51	3.41	8.8(16.5)	8.51(25.2)	"	1.74	

注 ※1. (内は播種粒数÷目標栽植株数を示す。

※2.3 (内は条播区を100とした場合の指数である。

5・2-2表 少量精密播種による経済効果

種 類	播 種 様 式	播種量		種子費 千円		小 計 千円	* 同左比 %	間 引 き 時 間 h	間 引 き の 人 件 費 円 ②	* 同左比 %	種子費+ 間引きの 人件費円	* 同左比 %	条播との 経費節減額 円	③ A	④ A+B
		未被覆	被覆	未被覆	被覆										
ダイ コン	条播	1.20	-	12.00	-	12.00	100	23.93	13,674	100	25,647	100	-	1.14	0.53
	点播	0.45	2.0	4.50	4.0	8.50	70.8	11.24	6,432	47.0	14,923	58.1	10,742	0.76	0.43
	単播	0.45	2.0	4.50	4.0	8.50	70.8	10.11	5,778	42.0	14,278	55.6	11,396	0.68	0.40
ニン ジン	条播	1.20	-	6.00	-	6.00	100	56.60	32,343	100	38,343	100	-	5.39	0.84
	点播	0.17	1.7	0.85	3.4	4.25	70.8	17.93	10,246	31.7	14,496	37.8	23,847	2.41	0.71
	単播	0.17	1.7	0.85	3.4	4.25	70.8	12.36	7,063	21.8	11,312	29.5	27,031	1.66	0.62
ハク サイ	条播	0.31	-	11.47	-	11.49	100	38.00	21,715	100	33,205	100	-	1.89	0.65
	点播	0.08	0.8	2.96	1.6	4.56	39.8	9.66	5,520	25.4	10,800	32.5	22,405	1.21	0.51
	単播	0.08	0.8	2.96	1.6	4.56	39.8	8.10	4,629	21.3	9,189	27.7	24,016		0.50
ヒロ シマ ナ	条播	0.33	-	0.99	-	0.99	100	33.70	19,258	100	20,248	100	-	19.45	0.95
	点播	0.08	0.8	0.24	1.6	1.84	186	9.98	5,703	29.6	7,543	37.3	12,705	3.10	0.76
	点播	0.08	0.8	0.24	1.6	1.84	186	8.51	4,863	25.3	6,703	33.1	13,545	2.64	0.73

注 *は条播区を100とした場合の指数である。

る出芽障害は、深く播種した場合、また幼芽の抽出力が小さい種子で著しかった。

3. 単位面積当たり播種粒数が同じ場合、出芽株率は単播区より点播区で高くなったが、欠株となる不出芽株率は点播区で高かった。

4. ダイコンは播種後30日、ニンジンで57日、ハクサイで21日、ヒロシマナでは23日ごろまで、いわゆる

競合による初期生育の促進が認められた。この傾向は単播区より条播区において著しかったが、上記期日以降では生育差は認められなかった。

5. 播種様式が収量におよぼす影響は、ハクサイ、ニンジンおよびダイコンでは認められなかった。しかし、ヒロシマナでは単播区が条播区より多収であった。

V 野菜の被覆種子利用による省力効果

1. はじめに

野菜の場合、機械播種の目標の一つは無間引き栽培¹²⁹⁾にあるといえる。しかし、面積当たりの収量のみを問題とするときは、無間引き栽培も可能と考えられるが、生産物の個々の品質を問う場合には問題点が多い。しかも、この間引き作業は適期幅が短かく、短期間に集中反覆する必要があるので、その省力化をねらった機械化が早くから研究され^{6, 11, 60, 65)}、電気化学的方法⁶⁰⁾などが試みられたが、十分な成果は得られていない。播種密度と間引き労力についても、これまで多くの報告^{1, 69, 74, 99, 116, 119, 122)}があるがいずれも条播した場合の播種量の多少や点播粒数の多少を比較したもので、定間隔に単播した場合の報告は見当たらない。

野菜類の育苗の省力化については、ペーパーおよびジフィーポットの利用や練着育苗などが研究実施されてきた。しかし、ペーパーポットは活着に問題がありジフィーポットは高価であり、練床育苗は育苗床土の準備が煩雑で、篤農技術としての経験と勤に依存する度合いが高い。そこで、この育苗ポットへの移植を省略し、ポットへの床土詰め、穴あけ、播種、覆土およ

びかん水作業を同時にしようとするソイルブロック育苗が新たな研究対象となってきた。しかし、このソイルブロック育苗と慣行育苗の所要労力を対比した例はない。

2. 直播および育苗の省力効果

ビートの単胚種子による無間引き栽培と間引き栽培とを比較すると、収量および糖分に差が生じていない¹²²⁾ことに着目して、数種の野菜について播種法を検討することにより、間引き作業の省力限界を確かめることとした。とくに、少量精密播種が間引き作業におよぼす省力効果を、また被覆種子の単播によるソイルブロック育苗と慣行育苗とを比較し、その省力効果の検討を行った¹³¹⁾。

1) 実験材料および調査方法

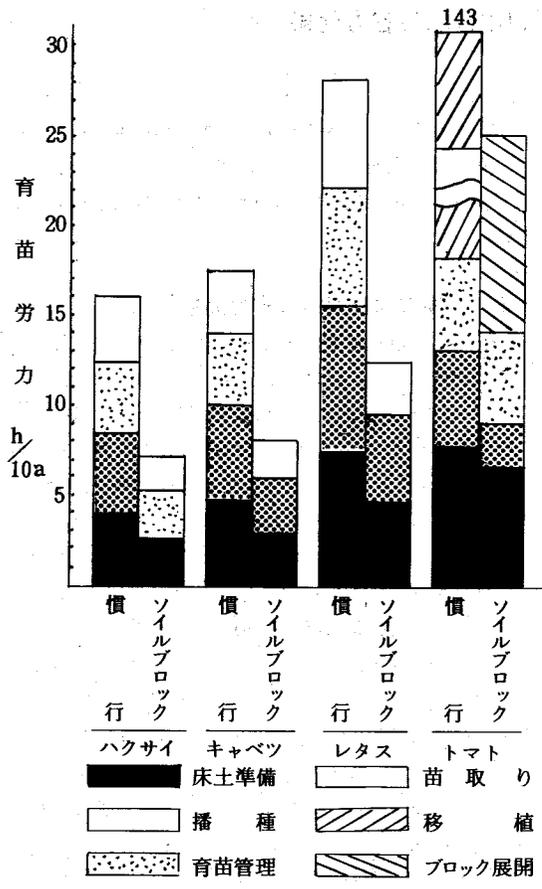
調査1：直播栽培における間引き作業の省力効果
供試した野菜はダイコン「夏みの早生1号」、ニンジン「黒田五寸」、ハクサイ「耐病60日」およびヒロシマナで、播種および間引き方法は前項4.4-1表に示したとおりである。各種類とも条播区(慣行)、点播区(仕上げ目標株間に3粒播種)、単播区(仕上げ目標株間の1/3の間隔に単粒播種)の3

5.2-3表 育苗経費の比較

(円/本)

種 類	育苗方法	資 材 費					人 件 費		合 計	* 人件費*		* 合計
		ポット	床土	肥料	種子	種子の加工費	育苗(播種)	資材費		育苗(播種)		
ハクサイ	慣 行	0.87	0.31	0.004	0.42	-	2.27(0.66)	3.87	100	100(100)	100	
	ソイルブロック	0	0.96	0.002	0.14	0.099	1.00(0.40)	2.20	75	44(61)	56	
キャベツ	慣 行	0.87	0.31	0.004	0.97	-	2.27(0.66)	4.42	100	100(100)	100	
	ソイルブロック	0	0.96	0.002	0.32	0.099	1.01(0.40)	2.39	64	45(61)	54	
レタス	慣 行	0.87	0.31	0.004	0.57	-	2.29(0.66)	4.04	100	100(100)	100	
	ソイルブロック	0	0.96	0.002	0.19	0.121	1.00(0.40)	2.27	73	44(60)	56	
トマト	慣 行	6.10	4.35	0.059	1.85	-	40.94(1.29)	53.30	100	100(100)	100	
	ソイルブロック	0	8.60	0.038	0.92	0.236	7.14(0.80)	16.93	79	17(62)	32	

* は慣行区を100とした場合の指数である



5・2-1 図 育苗労力の比較

試験区を設け、1区9.6㎡の3連制とした。なお、各種類の点播および単播両区の播種量は目標栽植株数の3倍の種子粒数を、また条播区の播種量はダイコンで目標栽植株数の8倍、ニンジン21倍、ハクサイおよびヒロシマナで8倍の種子粒数とした。種子は条播区が裸(無被覆)種子を、点播および単播の両区は被覆種子を使用した。試験を行った圃場は、土性が壤土Mn型灰色土壌で、多年にわたって糞殻や堆肥などの有機物を多量に施用した結果、試験時には熟畑であった。

調査2：育苗作業の省力効果

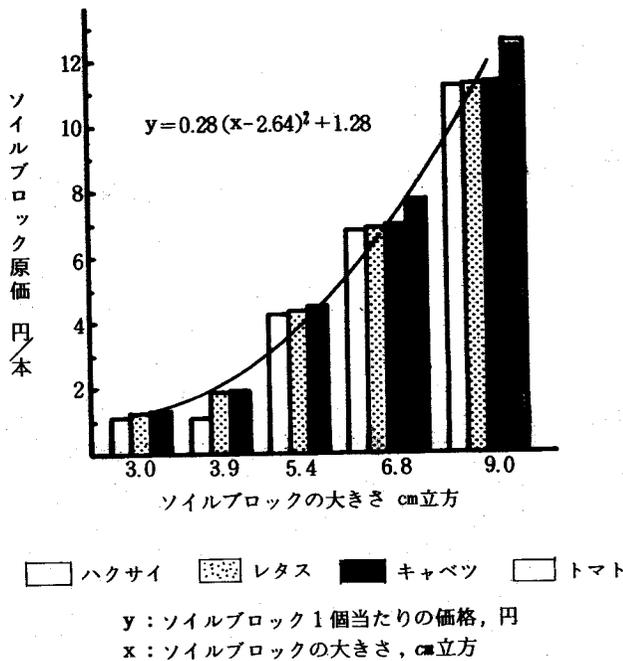
供試野菜の各種子は慣行育苗で裸種子を、ソイルブロック育苗で被覆種子を使用し、品種は2・8-1表のとおりである。慣行育苗は葉菜類(ハクサイ・キャベツおよびレタス)では直径3cm深さ5cmのペーパーポットへ2~3粒播き、トマトではトロ箱へ播種して子葉の展開時に別のトロ箱へ5×5cm間隔に移植、本葉がほぼ2枚の時に直径12cmのポリポットへ移植した。床土は慣行育苗がピートモスおよび砂質壤土を25:75、

ソイルブロック育苗がピートモスと甘草粕およびマサ土(花崗岩風化土:SL)を5:4:1の割合で混合したものである。肥料は各混合床土100ℓあたりN12g、P₂O₅8gを施用した。種子は葉菜類の慣行育苗は裸種子を2~3粒播種し、ソイルブロック育苗区では被覆種子を単粒播種した。各区とも出芽揃い後に間引いて1本仕立てとした。ソイルブロックの大きさは葉菜類で3.9cm立方、トマトで9cm立方とし、10a当たりの育苗本数はハクサイで4,000本、キャベツで4,400本、レタスで7,000本、トマトでは2,000本とした。

作業内容は下記の6作業に分類し、それぞれの所要時間を調査した。1) 床土準備(慣行育苗区は堆肥と土の積み込み、切返し、水分調整および施肥。ソイルブロック育苗区は施肥、混合および水分調整)、2) 播種(慣行育苗区はポットへの土入れ、ポット当たり裸種子を2~3粒人力播種。ソイルブロック育苗区は床土材料の搬入、押し固め、成形および穴開け後にブロック当たり被覆種子を単粒ずつ自動播種)、3) 育苗管理(かん水、間引き、補植、除草および防除)、4) 移植(トマトの苗取り後トロ箱およびポリポットへの移植)、5) ソイルブロックの展開(育苗中のソイルブロックをほぼ15cm間隔に展開する作業)、6) 苗取り(トロ箱およびポリポットへトマト苗を移植する際の2回の苗取り作業、葉菜類の慣行区における苗取り作業)。

調査3：育苗経費の試算

新たにソイルブロック成形機(購入価格:88万円)を導入し、その償却を5年とし、床土混合機、ベルトコンベヤおよびハウスを活用して無加温育苗をした場合の、ソイルブロック育苗および慣行育苗の経費を、次のような条件で算出した。算出基礎となるソイルブロック成形機の性能および育苗労力は調査2の結果によった。電力料金および供試資材等は、1980年4月の広島県内における市販標準価格によった。使用資材は調査2と同じで、主要資材の単価は次のとおりであった。床土の資材はピートモスで15.8円/ℓ、甘草粕堆肥3.3円/ℓ、マサ土は育苗床土用に篩下したもので3.0円/ℓとした。肥料は各混合床土100ℓ当たりN12g、P₂O₅8gを施用し、硫酸アンモニア(40.5円/kg)および過磷酸石灰(42.5円/kg)を使用した。種子代は裸種子20ml当たりハクサイで580円、キャベツで1,200円、レタス1,000円、トマトでは1,400円であり、種子の被覆加工費は製品でハクサイ、キャベツおよびレタス3,000円/ℓ、トマトで4,000円/ℓであ



5・2-2 図 ソイルブロック成型播種までの原価

った。また、人件費は4,000円/7h・女とした。試算基礎となる被覆種子の粒数は2・8-1表によった。

2) 調査結果および考察

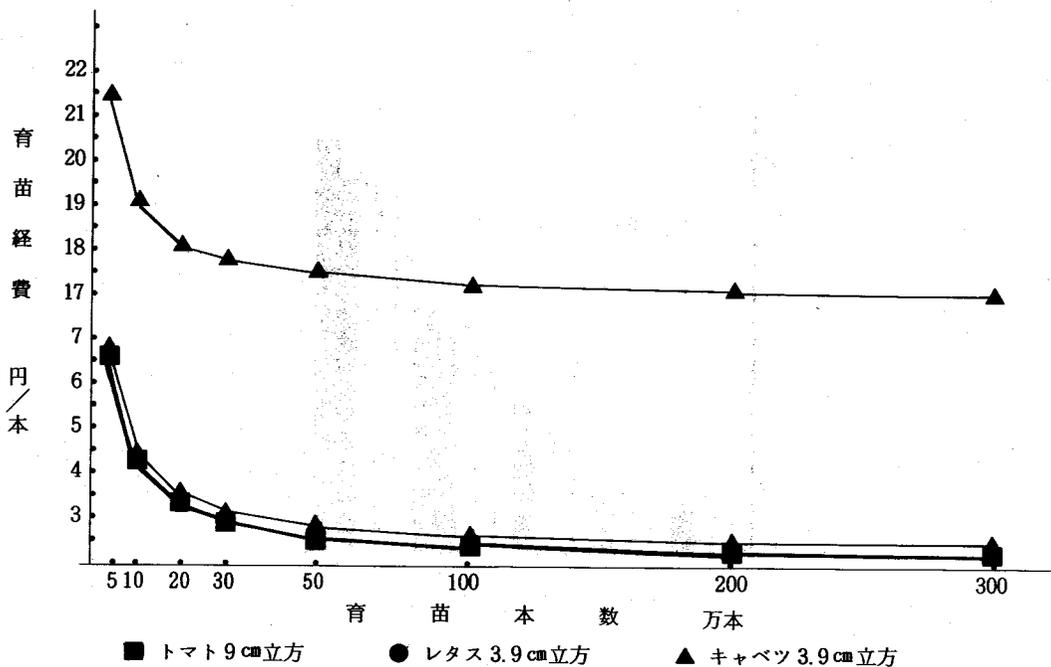
(1) 直播栽培における間引き作業の省力化

間引き作業の所要労力は5・2-1表に示すように、単播区で最も少なく、次いで点播区で、条播区で最も多くかかった。すなわち、ダイコンでは10a当たりの目標栽植株数を6,664本とした場合、10a当たりの間引き本数は条播区で40,200本、点播区で9,500本、単播区で9,900本で、各々目標栽植株数のほぼ6,1.4および1.5倍の間引いたことになる。間引き作業の所要時間は、10a当たり条播区が24時間で、点播区は条播区の47%であり、単播区は同様に42%で最も省力的であった。条播区の場合、1回目の間引き作業では1本当たりの間引き作業時間はほぼ1.5秒、2回目には同2.4秒、3回目には同4.2秒と、作物が成長するほど1本当たりの作業時間は多くかかり、点播でも同様な傾向が認められた。ニンジン・ハクサイおよびヒロシマナでも、ほぼ用様な傾向が認められた。

このように、各野菜とも点播区より単播区で省力効果が高かったが、これは点播および単播区ともに間引

き本数はほぼ同数であるが、点播区では、株内で幼苗が2~3本隣接しているため隣接個体の茎葉がからみ合い、間引き作業の際残留個体が損傷しないよう留意する必要があるため、作業時間を多く要したものとと思われる。一方、単播区ではほぼ定間隔に苗立ちしているので、茎葉のからみもなく、作業が容易で、点播区より一層省力効果が高かったものと考えられる。この傾向は単位面積当たりの目標栽植株数が多くなるほど明らかとなり、ニンジンではより顕著であった。

次に、少量精密播種による播種および間引き作業の経済効果を、種子費と間引きに要する人件費のみに限定して試算すると、5・2-2表のとおりである。ダイコンでは種子費が10a当たりの条播区の12,000円に対し、点播区および単播区では8,500円(うち4,000円は被覆加工費)である。点播区および単播区の間引き作業の人件費は、条播区の50%以下となり、各々6,423円、5,778円となる。さらに、種子費と間引き作業の人件費の合計額をみると、条播区が10a当たり25,674円と最も高く、点播区は条播区の58%、単播区は同じく56%である。ニンジンでは播種法の相違による間引き作業の所要時間差が大きいので、この傾向



5.2-3図 ソイルブロックによる育苗経費

はより顕著となった。すなわち、点播および単播の両区は条播区の各々38%と30%であった。また、ハクサイおよびヒロシマナでも同様な傾向が認められた。

したがって、種子単価の安い裸種子を使用した条播区より、種子単価は高くても、被覆加工した種子を使用した点播および単播の両区が、播種量が少なく済むので10a当たりの種子費は安くなる。また、間引き作業の人件費も、点播区と単播区が条播区の1/2~1/5と少ない。種子費と間引き作業の人件費を合計すると、点播および単播の両区が、条播区よりに10a当たりのダイコンではほぼ1.1万円、ニンジンでも2.5万円、ハクサイで2.3万円、ヒロシマナでは1.3万円ほど経費が節減できることになる。

このように、慣行の条播は種子を必要以上に多量に播種し、さらに間引き作業に多くの労力をかけなければならない。したがって、F1種子などの高価な種子を使用する場合には、点播や単播などの薄播きによる経費節減の効果が、一層高くなるといえる。

(2) 育苗作業の省力効果

床土の準備から播種、育苗管理および苗取りまでの育苗に要する作業時間を比較したのが5.2-1図である。

レタスの場合は、10a当たり慣行育苗で28時間、ソイルブロック育苗で12.3時間で、ソイルブロック育苗は慣行育苗の44%であった。また、ハクサイの場合

慣行育苗は15.9時間であるが、ソイルブロック育苗は7時間であり、同様にキャベツでも慣行育苗の17.5時間に対し、ソイルブロック育苗では7.8時間と、各々慣行育苗に比べて50%以上省力できた。トマトの場合は、9cm立方のソイルブロックを使用して第1花房開花期の10~11葉期まで育苗すると、10aあたりは25時間でよく、慣行育苗の143時間に対してはほぼ1/6に省力できた。6~7葉期までの育苗では、ブロック展開の作業を必要としないので、さらに省力効果が高く、10aあたり11.8時間となった。

このように、ソイルブロック育苗の省力効果は大きいことが実証できたが、その要因としては次のことがいえる。1) 慣行育苗では堆肥とマサ土の積込みおよび切り返しなど、床土の準備に多くの労力を必要とするが、ソイルブロック育苗ではすべてが購入資材であり、これらの混合作業だけである。2) 播種作業も人力で2~3粒播きする慣行育苗に比較して、ソイルブロック育苗は機械で単粒播種できる。3) 慣行育苗では苗立後に間引きをしなければならないが、ソイルブロック育苗では精選種子を被覆整形し単粒播種するので、間引き作業を必要せず、育苗管理が大幅に省力できる。4) ソイルブロック育苗に水稲用の育苗箱を利用すれば、苗取り作業を必要としない。

しかし、ソイルブロック育苗は、種子費の節減と管理作業が大幅に省力化できる反面、苗立率をいかに高

める(95%以上)かがこの技術の成否を左右すると考えられる。そのためには、精選された発芽率の高い種子を用いることが前提条件となる。なお、本試験においては、ハクサイ、キャベツおよびヒロシマナは、市販種子を風選と粒径選別し、レタスとトマトは発芽率が良好であったのでそのまま利用した。

一方、最近新しく開発されたペーパーポットへの土詰め機を使用したレタスの大量育苗法⁸⁰⁾は、10a当たり14時間を要している。これは本調査の28時間に比較して大幅な省力化が図られている⁷⁴⁾が、ビートの場合の問題点としては、播種精度の向上^{64, 83, 84)}による間引き作業の削減と、高い苗立率の確保による補植作業の労力軽減をあげている。いずれの方法にしても、育苗作業の省力化には播種精度の向上と高い苗立率の確保が必要条件といえる。なお、本試験における苗立率は、ハクサイおよびレタスで96%、キャベツで94%、ヒロシマナで97%、トマトでは92%であった。

(3) 育苗経費の試算

3.9cm立方のソイルブロック育苗と慣行のペーパーポット育苗について、床土の準備から、播種、間引きおよび育苗管理を含む苗取りまでの育苗経費を試算した結果を5・2-3表に示した。ソイルブロック育苗では、レタスの場合、苗1本当たりビートモスなどの混合床土費が0.96円、肥料費0.0021円、種子費0.19円、種子の被覆加工費0.12円で、これらの資材費の合計はほぼ1.27円/本となり、床土の準備から成形・播種および育苗管理を含めた人件費が1.0円、資材費と人件費を合すると2.27円/本弱となった。これに対して、慣行育苗では、ペーパーポット費の0.87円、床土費0.31円、肥料費0.0042円、種子費0.57円、人件費2.29円で、合計4.04円となった。したがって、育苗経費はペーパーポットの慣行育苗に比べ、ソイルブロック育苗の資材費は73%、人件費は44%、合計では56%に節減できた。ハクサイおよびキャベツでも同様に、ソイルブロックによる育苗経費は、ペーパーポット育苗の場合の54~56%であった。また、トマトの場合では、9cm立方のソイルブロック育苗と慣行育苗のポリポットによる育苗経費を比較すると、前者は後者の32%に過ぎなかった。

資材費の内訳についてみると、慣行育苗ではペーパーポットおよび床土が1.14円/本であるのに対し、ソイルブロック育苗では床土が0.96円/本必要だけである。また、ハクサイの場合、ソイルブロック育苗では、種子の被覆加工費を製品で1当たり3,000円とすれば、1粒当たりの種子費は被覆加工費を加えた約0.

24円であるのに対し、ペーパーポット育苗では裸種子を2~3粒播くので、ポット当たりの種子費はほぼ0.42円となり、被覆種子を利用したソイルブロック育苗が安い。

次に、ソイルブロック成形から播種までの原価(床土および床土準備の人件費、肥料および種子費、ソイルブロックの成形に要する電気代および人件費)は、5.2-2図のとおりである。野菜の種類により多少の変動はあるが、 $y = 0.28(x - 2.64)^2 + 1.28$ で近似できた。(y:ソイルブロック1個当たりの価格円 x:ソイルブロックの大きさcm立方)。ソイルブロック1個当たり3cm立方では1.5円強となり、以下同様に3.9cm立方:1.8~2.0円、5.4cm立方:4.5円、6.8cm立方:7.8円、9cm立方:12.7円となった。

そこで、5年で償却するソイルブロック成形機を利用するとすれば、育苗経費は5.2-3図のようになる。レタス(3.9cm立方)では、70a当りに相当する5万本を生産した場合6.7円/本となり、13万本以上育苗すると慣行育苗より安価に生産できることを示している。この育苗本数は栽培面積1.8ha分に相当する。ハクサイでは栽培面積が3.5ha分の14万本以上、キャベツでも2.7ha分の12万本以上を、ソイルブロック(3.9cm立方)で育苗することにより、次々慣行のペーパーポット育苗(3.9円/本、4.4円/本)より安価に生産できることになる。一方、トマトではソイルブロック(9cm立方)で6,200本育苗すれば、慣行育苗と同程度の53.3円/本となる。5万本生産したとすれば21.5円/本で、慣行育苗の40%の経費で育苗できることになる。したがって、ソイルブロック育苗は、トマトのような育苗労力のかかる果菜類で、葉菜類よりも一層メリットが大きいといえる。

従来、育苗作業は集約的な管理を必要とするので、同時に栽培している作物の収穫や調製あるいは出荷作業などと競合し、規模拡大を阻害する要因の一つとなっていた。しかし、ソイルブロック育苗を導入すれば慣行育苗に比較して安価で安定した大量育苗が可能なので、規模拡大が容易になると考えられる。しかも、慣行育苗に比較して労力が軽減できるので、露地栽培でも直播より安定した移植栽培が可能となり、農業経営安定への貢献度は高いものと結論できる。

3. 摘 要

1. 播種様式の違いによる間引き労力は、ダイコン・ニンジン、ハクサイおよびヒロシマナでは単播区で最も少なく、次いで点播区で、条播区で最も多く要した。

2. 種子費と間引き作業の件費の合計は、10a当たりで点播および単播の両区が条播区よりも、ダイコンでは1.1万円、ニンジンで2.5万円、ハクサイで2.3万円、ヒロシマナでは1.3万円ほど節減できる。

3. 床土の準備から、播種、育苗管理および苗取りまでの育苗に要する作業時間は、ソイルブロック育苗ではペーパーポット慣行育苗より、ハクサイ、キャベツおよびレタスでは1/2、トマトでは1/6程度に省力化される。

4. 5年で償却のソイルブロック成形機を利用して育苗経費を試算した結果、3.9cm立方のソイルブロックの場合、レタスで1.9 ha分の13万本以上、ハクサ

イでは3.5 ha分の14万本以上、キャベツでは2.7 ha分に相当する12万本以上を育苗すると、慣行育苗より安価に生産できる。また、9cm立方のソイルブロックによるトマトでは、6,200本育苗すれば慣行育苗とはほぼ同一コストの53.3円/本となり、5万本生産すれば慣行育苗の40%の経費でよい。

5. ペーパーポットを利用する慣行育苗では、大量生産による育苗経費の低下はほとんどないが、ソイルブロック育苗ではコストダウンが可能となる。また、一般に直播栽培している種類でも、ソイルブロック育苗の導入によって、技術経営面で安定した移植栽培が可能になるものと考えられる。

VI 結 語

野菜種子の単粒播種などの精密播種を目的として、被覆種子の製法と実用化を図るため次の項目について調査した。1) 不整形で微小な野菜種子を被覆整形するための、被覆方法、装置、被覆用粉体および結合剤を探索するとともに、被覆直後における湿った被覆種子を乾燥するための乾燥条件を検討した。2) 被覆層へ混入する殺菌剤と肥料の有効性の有無を検討した。3) 被覆種子と裸種子との貯蔵性を比較し、好適な包装容器の仕様を明らかにした。4) 被覆種子の物理的性状と被覆層の耐損耗性を調査した。5) 被覆種子の播種精度を4種類の播種機で確認した。6) 被覆種子を利用し、直播体系で少量精密播種した場合の出芽の様相を、播種様式と播種密度の面から検討し、初期生育および収量に与える影響を数種類の野菜で検討した。7) 被覆種子を利用した直播および育苗の省力効果を明らかにした。

それらの結果を要約すると次のとおりである。

1. 転動方法による種子の被覆には熟練を要し、被覆粒径を大きくすると単粒被覆率が低下した。その傾向は裸種子が小さくかつ不整形なほど著しかった。また、被覆時間は60~90分以上を要した。

2. 流動方法(2・4-5図)による種子の被覆は、造粒筒内の種子を風によって浮動循環させるので、種子相互間の分離が良好であり、種子の大小にかかわらず単粒被覆率は98%以上であった。しかし、被覆層の強度が弱いので、次の2点の改良を試みた。1) 造粒筒の中間ケース内部へもう一つの制御筒(2・4-6図)を設け、内周部を狭く絞り、種子の往路を分離して循

環させる。2) 造粒筒の中間ケースを15~30 rpmで回転させる。この改良流動装置によると、好適流動条件下ではダイコンで7~10分、ニンジンで6~12分、ハクサイでは6~8分で被覆整形が完了し、被覆層の強度は転動方法と同程度に強化された。

3. 流動方法による被覆率は、粉体(P)と結合剤水溶液の噴霧量(B)の供給比(P/B)がほぼ2.6で良好であり、これより小さいと単粒被覆率が低下し、大きいと被覆用粉体のサイクロンへの飛散量が多く、被覆能率も低下した。

4. 結合剤としては、発芽および結合力が良好なラテックス、ボンド、ポリビニルアルコールの芒硝およびポリビニルアセテート・ジエチルアミノアセテートが有効で、次いでサッカロースおよびアラビアゴムが利用可能であった。

5. 結合剤の添加方法は、被覆層の強度から、全量の水溶液で噴霧するのが最も効果的で、全量を被覆用粉体へ混入、被覆処理中の噴霧水で溶解させる方法は効果が低く、水溶液と被覆用粉体へ半量ずつ添加する方法は、前二者の中間の効果を示した。

6. 被覆層の強度は、表面張力が大きく接触角が小さい結合剤水溶液を用い、被覆層をち密に加工すると大きい。

7. 種子を被覆すると、発芽が良好な種類と不良な種類が認められた。良好な種類は発芽時の酸素要求量が小さいか、吸水による種子の体積増加が大きく、被覆層のクラック発生が良好なものである。発芽が不良な種類は、発芽時の酸素要求量が大きく、しかも種子

の体積増加が少なく被覆層のクラック発生が小さいもの⁹⁾または酸素要求量は小さくても、被覆層にクラックがほとんど発生せず、泥状に膨潤する場合である。前者にはダイコン、ピーマン、トマト、ヒロシマナおよびハクサイが、後者にはキャベツ、タマネギ、ニンジンおよびレタスなどがある。

8) 被覆すると発芽が不良な種類の種子は、被覆層に疎水剤を混入して被覆すれば、播種後の吸水によって被覆層が泥状に膨潤することがなく、クラックが生じて被覆種子の発芽が安定した。疎水剤としては、シリコン、ワックス、シエラックおよびパラフィンなどが有効で、これらの数パーセントを粉体または結合剤水溶液、あるいは両者へ等量混入することにより、何れも同様な効果がある。

9) 被覆用粉体には、主材としてキビ土、カヌマ土赤粘土および焼土が、助剤としてはベントナイトおよびクレーが好適する。被覆用粉体は、pHが弱酸性から中性で、ECは0.8 mS/cm以下、発芽阻害物質を含まず、被覆整形作業性が良好であれば良い。

10) 被覆整形所要時間は、粉体粒径が小さいと長く大きいと短かった。被覆層の強度は、粉体の粒径が大きいと弱く小さいと強かった。被覆能率は多少劣るが、被覆層の強度の面から、200メッシュ以下の微粉が70%程度以上混在する粉体が適当であった。粉体は表面自由エネルギーが大きく、接触面積が大きいほどつまり球形ではなく不整形のフレーク状で、微細な粉体ほど被覆層の強度は大きい。

11) 被覆機構を明らかにするため、赤および白の2色の粉体で、内層(白)、中層(赤)、表層(白)の3層に被覆し、その切断面を観察(2・7-2図)したところ、1) 種子が被覆粒のほぼ中心に位置する、2) 被覆粒内で種子が偏在する、3) 内層が星形に近い凹凸をしている、4) 内層および中層は楕円形だが表層は円形をしている、の4形状に大別された。この被覆種子の断面形状は、造粒筒内における種子の流動状況によって異なり、それが良好な場合は種子が被覆粒の中心に位置するとともに、各被覆層は等厚な円形をなすが、裸種子の初期投入量が少ない時は、被覆粒内で種子が偏在したり、内層および中層が変形することが多かった。

12) 被覆種子の切断面形状が良好(2・7-2図B)な場合には、赤色の中層内への白色粉体の混入や、表層の白色粉体内への赤色粉体の混入はほとんどなかった。しかし、種子の初期投入量が少ないか、種子の流動状況が不円滑な場合には、赤色の中層内へ白色粉体

が、白い表層内へ赤色粉体が付着点無し、サイクロンやバックフィルターへ飛散した粉体中でも同様であった。したがって、種子に一定の厚さで付着した粉体粒子は、適正な流動条件下ではほとんど分離しないが、流動化が不円滑なときは付着した粉体が離散し、他の種子へ再付着したり、造粒筒外へ飛散すると考えられる。

13) 被覆層形成物質の種子への付着量 Q_t は次式で示すことができ、実験値とはほぼ近似した。

$$\text{球状種子: } Q_t = \frac{1}{48} \pi \rho_c \{ 8(D^3 + D_0^3) + 0.945(D^4 - D_0^4) \}$$

$$\text{楕円状種子: } Q_t = \frac{1}{12} \pi \rho_c (D^3 - D_0^3) \left\{ \lambda^2 + \frac{1}{\epsilon} \log \lambda(1 + \epsilon) \right\} + 0.0239 \pi \lambda \rho_c (D^4 - D_0^4)$$

但し、 D_0 : 裸種子の直径、 D : 被覆種子の直径、

P : 被覆層形成物質の密度、 $\epsilon^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = \frac{\lambda^2 - 1}{\lambda^2}$;

離心率、 $\frac{a}{b} = \lambda$ 、 $2b = D$ とする

14) 造粒筒内で種子を流動させるに必要な風速は流動化開始初期では遅いが、種子の被覆が進むと速くなり、とくに造粒筒内中央部の流速の増大が著しく、後期では初期の約3倍以上の風速を必要とした(2・7-5図)。風圧のうち動圧は、被覆開始初期では少なく、中期には初期の約3倍、後期では同じく10倍を必要とした(2・7-6図)。

15) 本実験装置のように、V字型をした多孔板の底部の中央に設けた強制循環用管と多孔板下から流動用の送風で、種子の流動を円滑にした場合には、従来¹¹⁸⁾の数分の1の風速で流動を開始した。

16) 被覆する裸種子が大きい(ダイコン)と、粒径の大きい被覆粒の割合が多いほど、流動が可能な重量および容積は小さく、逆に被覆粒が小さくその割合が多いほど、流動化限界の重量および容積は大きかった(2・7-9および2・7-10図)。しかし、被覆粒が比較的小さい(ニンジン)と、流動化限界は大粒な被覆種子の多少による影響は認められなかった(2・7-11図)。

17) 3~4mmの粒径に被覆すると、裸種子が丸形のキャベツやハクサイ、扁平なトマトやピーマン、角形のタマネギやネギなどは球形に、細長いニンジンやレタスは卵形に被覆整形される。3.5mm粒径の被覆種

子は、その容積が、レタス、ハクサイおよびネギなどで10倍に、トマトで4.5倍、タバコでは150~200倍(2.5mm粒徑)に増大し、密度は0.71~0.80 g/mlの範囲に、安息角は27~33度であった。被覆種子の形状と粒徑が同一であると、外観からは野菜の種類が識別できないほど、被覆種子の物理的性状が齊一化されたが、容積の増加は被覆粒子の最大の短所で、包装や輸送あるいは貯蔵倉庫の容量などの面で、新たな問題が生じる。

18. 被覆種子の振盪試験によると、容器中で被覆種子が互いに接触あるいは衝突して生ずる被覆層の剥離や破損などの損耗は、被覆層の庄砕強度が5N以上では認められず、3Nでは剥離や破損が観察された。被覆整形の段階で、表層を2%のシエラック水溶液で被覆すると、被覆層の損耗量は軽減され、振動が激しい長距離輸送などには有効と考えられた。

19. 幼芽期の苗立枯病(*R. solani*)の予防を目的として、被覆層へ混入する薬剤は、出芽や生育に対する薬害の有無と薬効の面から、イプロジオン水和剤9%, チオファネートメチル水和剤10~14%が有望であった。

20. 被覆層への肥料の混入は、単肥の硫酸アンモニアや過磷酸石灰は0.2~1%の僅少でも悪影響をおよぼし、特に硫酸アンモニアで発芽障害が大きかった。原因は濃度障害によると考えられる。しかし、緩効性のCDUは1%までの混入では発芽障害が無かった。塩基置換容量の大きい有機物(ピートモス粉末)2%を被覆層に混入すると、発芽障害は軽減され、硫酸アンモニアの1.5%混入でも、発芽勢が若干劣るものの発芽率は無処理と変わらず、過磷酸石灰の混入はニンジンで1.5%、キャベツでは2.0%まで発芽勢および発芽率はともに低下しなかった。

21. 被覆整形直後の、被覆層の含水率が20~22%の被覆種子を流動乾燥する場合、被覆種子の含水率 $Y = 20.08e^{-0.1283X}$ と乾燥時間(X)の関係は、 $Y = ae^{-bx}$ で近似できパーミューダグラスでは、 $Y = 20.08e^{-0.1283X}$ で表すことができた。但し、aは初木含水率をbは乾減率を示す。送風温度(X_1)と乾減率(Y_1)の関係は、 $Y_1 = aX_1^b$ で近似でき、 $Y_1 = 1.876 X_1^{1.045}$ となった。 X_1 の指数を1.045 = 1,000とみなせば、送風温度と乾減率は正比例の関係にある。

22. 被覆整形直後のハクサイ(3.2~3.6mm粒徑)、パーミューダグラス(2~3mm粒徑)およびイタリヤンライグラス(7×3mm粒徑)の被覆種子を流動乾燥する場合、流動化を維持するためのスリッ

ト上の風速は、0.86~2.10 m/sで、乾燥初期には1.55~2.10 m/s、乾燥終期には1.20~1.75 m/sで最小流動化風速は、0.86~1.44 m/sであった。また乾燥開始当初の10分間の乾減率は高く(48~89%/h)、含水率を6~7%に乾燥するには、送風温度40°Cで1~1.5時間が必要と推定された。

23. 被覆種子の貯蔵可能期間は裸種子との差がなく、ニンジンの発芽率5%減期は貯蔵温度15°C相対湿度43%以下で3か月未満、25°Cの低湿下で1~2か月常温の低湿下でも1か月未満であった。ネギの発芽率5%減期は、15°Cおよび25°C下が相対湿度54%以下の時6か月未満、常温の相対湿度60%以下では4か月未満であった。

24. 常温下で貯蔵容器の種類を検討したところ、裸および被覆種子の発芽力の低下は茶封筒で最も早く次いでポリエチレン袋および供出米用紙袋の順であった。発芽率の低下状況から、被覆種子の常温下における貯蔵可能期間は、ネギで3~4か月、ピーマンで2~6か月、ニンジンで1~2か月であった。

25. 試作した円錐板回転皿式の播種機は、被覆種子を98~99%単粒播種できた。円錐板。傾斜角度が45~55度で、その周速度が0.24 m/sまでが単粒繰り出し精度が良好であった。分散分析の結果、播種精度を左右する要因は種子繰り出し板の回転数(周速度)で、次いで繰り出し穴の穴径および両者の交互作用であった。

26. ベルト式人力播種機による被覆種子の単粒繰り出し精度は、繰り出しベルトの速度が0.15 m/s以下の低速で、繰り出しベルトの傾斜角度が27~37度の範囲で94~96%と良好であるが、0.2 m/s以上の中速では、傾斜角度が大きくなると急激に低下した。

27. 真空吸着式播種機の吸引ノズル穴の形状は、平面(□)より曲面(凹)が良く、また吸引ノズル穴径は、2.0および2.5 mmで、ノズル先端の吸引圧は-150 mm Aq程度で、ほぼ正確に単粒播種できた。また被覆層表面の整形性が良好で球形なほど、単粒播種精度は良好であった。

28. 板穴摺動式播種機は、被覆種子が球形のハクサイで98%、卵形をしたレタスでは97%の単粒播種が可能で、前者で1.8%、後者では2.8%の欠粒繰り出しが認められた。

29. 幼芽の抽出力はニンジンが最も小さく、1本立ちで1.3 g、タマネギで3.9 g、ハクサイで7.2 g、キャベツで8.2 gであり、ダイコンが最も大きくて、17.7~35.5 gであった。同じ種類でも幼芽の抽出力

は小粒種子より大粒種子で大きかった。キャベツおよびハクサイの幼芽の抽出力は、株当たりの苗立数にほぼ正比例して増大するが、1本立ちの幼芽の抽出力が小さいニンジンでは、株当たりの苗立数の増加に伴う幼芽の抽出力の増大指数が大きかった。

30. 種子の大小による出芽率は、播種深が浅いと差は認められないが、深いと大粒種子が小粒種子より高く、しかも出芽が早かった。播種深や土性にかかわらず、裸種子よりも被覆種子の出芽率が高かった。播種直後の土壌踏圧による出芽障害は、播種が深く、さらに踏圧が大きいほど、また幼芽の抽出力の小さいもので大きかった。

31. 単位面積当たりの播種粒数が同じ場合、出芽株率は単播区より点播区で高いが、欠株となる不出芽株率も点播区で高かった。

32. 播種後、ダイコンでは30日、ニンジンで57日ハクサイ21日、ヒロシマナでは23日まで、いわゆる競合による初期生育の促進が認められるが、それ以降の生育差は認められず、初期生育に競合の無い単粒播種区も、収量および品質に有意差は認められなかった。

33. 播種様式による間引き労力は、単播区で少なく、ついで点播区で、条播区が最も多く要した。種子費と間引き作業の人件費の合計は、10a当たり点播お

よび単播の両区が、条播区よりもダイコンでは1.1万円、ニンジンで2.5万円、ハクサイで2.3万円、ヒロシマナでは1.3万円ほど節減できた。

34. 床土の準備、播種、育苗管理および苗取りまでの育苗に要する作業時間が、被覆種子を利用するソイルブロック育苗では、裸種子とペーパーポットを利用する慣行育苗より、ハクサイ、キャベツおよびレタスではほぼ1/2に、トマトでは1/6程度に省力化された。

35. 5年償却のソイルブロック成形機を利用した育苗経費を試算すると、3.9cm立方のソイルブロックの場合、レタスでは1.9ha分に相当する13万本以上ハクサイで3.5ha分の14万本以上、キャベツでは2.7ha分の12万本以上育苗すると、慣行育苗よりも安価に生産できた。トマト(9cm立方)でも、6,200本育苗すれば、慣行育苗とほぼ同一コストの53.3円/本となり、5万本生産すれば慣行育苗の40%の経費で済んだ。

36. ペーパーポットを利用した慣行育苗では、大量生産による育苗経費のコストダウンはほとんどないが、ソイルブロック育苗ではコストダウンが可能である。また、一般に直播される野菜でも、ソイルブロック育苗の導入により、技術および経営面で安定した移植栽培が可能になると考えられる。

謝

本論文は、東京大学農学部農業機械学研究室における、3か月の研修中にとりまとめたもので、終始有益な御指導と御鞭撻を賜わり、かつ本論文の校閲の労をとられた同大学教授木谷 収博士、同助教授岡本嗣男博士の両先生には謹んで深謝の意を表する。また、同教授細川 明博士、同教授岩田正利博士、同教授森島博 博士には有益な御指摘と御助言を賜わった。

本研究は広島県立農業試験場において行ったものである。本研究の端緒は元同場長川竹基弘博士から賜わった。実施にあたっては、元同場長原田哲夫博士の英断によって研究の機会と便宜を賜わり、さらに元同場長故吉原千代司博士からは終始有益な御教示と便宜を与えられたことに対し深謝する。研究の遂行にあたっては、元同場企画調査部長故池宗勝三郎氏から温かい御指導と御助言を賜わった。II-9項の実施にあたっては、同場病害虫部研究員井本征史氏の多大な御助力を得た。また、II-10項では同場前土壌肥料部長河本

辞

泰博士をはじめ、同場関係係員各位の御指導と御協力を賜わり、種子の被覆整形の項を実施するにあたっては、同場元技術員八谷 巧氏の献身的な御尽力に負うところが多く、圃場試験では業務課の職員各位および関係実習性諸君の熱心な御助力を得た。本稿取りまとめに際しては、同場企画調査部長河野富香氏よりその機会と御助言を賜わり、また同場業務課主任技術員岩石信子氏および同場企画調査部研究員田中正邦氏の御援助を得た。ここに記して各位に謝意を表する。

さらに、試験材料として多くの種子提供を快諾された種苗業界各位ならびに各種試験機械・装置の製作に御尽力を賜わった関係業界各位に深く感謝する。

本研究は7年間にわたる農林水産省の総合助成研究事業の一環として行い、さらに財団法人・園芸振興島島財団からの研究助成により遂行されたことを記し、関係各位に対して深甚なる謝意を表する。

なお、本論文は東京大学審査学位論文である。

引 用 文 献

- 1) 阿部 勇 : 1971. そ菜の機械化栽培における間引きについて・農作業研究12 : 71-72.
- 2) ALAMS, C. and S. T. LOCASIO : 1965. Proc. Flo. Sta. Hort. Soc. 78 : 107-112.
- 3) AUSTIN R. B. and P. C. LONGDEN : 1967. Some effects of seed size and maturity on the yield of carrot crops. Jour. Hort. Soc. 42 : 339-353.
- 4) BARTON, L. V. : 1941. Relation of certain air temperature and humidity to viability of seeds. Contr. Boyce Thomps. Inst. 12 : 85-102.
- 5) BARTON, L. V. : 1943. Effects of moisture fluctuations on the viability of seed. Contr. Boyce Thomps. Inst. 13 (2) : 35-45
- 6) BECKER, C. F. : 1969. Influence of planting rate and thinning method on sugar beet stand. Trans. ASAE 12 (2) : 274-276.
- 7) BUFTON, L. P., P. RICHARDSON and M. J. DOHERTY : 1974. Seed displacement after impact on a soil surface. Jour. Agric. Eng. Res. (GBR) 19 (4) : 327-338.
- 8) BURGESSER, F. W. : 1950. The use of coated seed in modern agriculture. Amer Soc. Sugar Beet. Tech : 79-84.
- 9) COPEMAN, G. J. F. and H. W. ROBERTS : 1960. The development of surface seeding. Jour. Brit. Grassland Soc. 15 : 163-168
- 10) DURING, C., N. A. CULLEN and N. S. MONTIER : 1962. The establishment of pasture on Yellow-Brown loams near the Anau. 11 factors influencing the establishment of white clover on uncultivated ground. N. Z. Jour. Agric. Res. 6 : 416-431
- 11) 道場三喜雄・村井信仁・高橋義明・小島由光・近石 武・阿部和好・福田 実 : 1973. 自走武間引機の開発改良について・てん菜技連研論文集第13回 : 79-84.
- 12) ELIOT, C. S. ROBERT and P. DAVID, LAGE : 1962. Effect of an evaporation retardant surfactant, and an osmotic agent on foliar and root development of Kentucky Bluegrass. Agron. Jour. 57 : 7174
- 13) FERGUSON, W. : 1967. Some investigations into the pneumatic broadcasting of seed. Jour. Agric. Eng. 12 (3) : 199-204.
- 14) 藤田茂隆・岡 英人 : 1969. タバコ種子の造粒化について・磐田たばこ試報 2 : 29-38.
- 15) 後藤和夫 : 1937. 大豆紫斑病の一性質, 軽度羅病の生長促進・盛岡高農彙報 13 : 1-4
- 16) GHOSH, B. N. and M. N. ELAWADY : 1973. The effect of starch coating cotton seed on manual planter operation Jour. Agric. Eng. Res. 18 : 393-395
- 17) GREIG, I. : 1976. Precise pneumatics. Power Farming (GBR) 55 (4) : 33-35.
- 18) 橋本尚人 : 1952. 化学工学文献・化学機械16 (9) : 325-327
- 19) 広田秀憲 : 1972. 草地造成における表面播種法の改善 (第1報) 種子の wet coating の効果と実用性・日草誌 18 (4) : 299-309.
- 20) 広田秀憲 : 1972. 草地造成における表面播種法の改善 (第2報) 種子の Dry coating の可能性・日草誌 18 (4) : 310-319.
- 21) 平山重勝・湯浅 明 : 1936. 煙草モザイク病の細胞学的研究・日本植物病理学会報 6 : 119-128.
- 22) 堀 裕・杉山直儀 : 1953. 蔬菜類種子の発芽に及ぼす酸素及び炭酸ガス濃度の影響・園学雑 22 (2) : 72-80.
- 23) 穂波信雄 : 1975. 定置式精密点播に関する基礎研究-種子のコーティングと点播方式について-・農機誌関西支部報 37 : 25-28.
- 24) 原 徹 : 1972. 造粒・化学工業社 : 1-50.
- 25) HARRINGTON, J. F. : 1959. Drying, storing, and packaging seed to maintain germination vigour. Proc. Short Course Seedmen, State Coll, Miss. 89-108.
- 26) HARRINGTON, J. F. : 1960. Drying, storing, and Packaging seeds to maintain germination. Proc. Short Course Seedmen, Digest : 30-39.
- 27) HARRINGTON, J. F. : 1960. Germination of seeds from carrot, lettuce, and pepper plants grown under severe nutrient deficiency

- iciencies. *Hilgardia* 30 (7):219-235.
- 28) HARRINGTON, J. F.: 1963. The value of moisture-resistant containers in vegetable seed Packaging. *Calif. Agric. Exp. Sta. Bull.* 729:1-23.
- 29) HARRINGTON, J. F.: 1972. Seed storage and longevity. *Seed Biology* 3:145-240.
- 30) 池田利良・柴崎照治: 1935. 乾燥温度が小麦種子の発芽力に及ぼす影響. *農及園* 10(6):113-117.
- 31) LEMAN, J. F.: 1968. Precision planting, a reality for vegetables. *Agric. Eng.* 49(6):344-345.
- 32) 猪山純一郎: 1974. 水稻のコーティング種子による栽培法. *農及園* 49(6):656.
- 33) 伊佐 務: 1971. トラクタ走行下の土中圧力に関する研究. *三重大農報* 41:61-202.
- 34) 井之上 準・伊藤健次: 1969. 作物の出芽に関する研究—イネ科数種作物における幼芽の抽出力と出芽力および出芽能力の関係について— . *日作記* 38:38-42.
- 35) 井之上 準・穴山 預: 1971. 水稻直播栽培における出芽に関する研究 (第4報) 水稻幼芽の抽出力. *日作記* 40:415-419.
- 36) 井口厚信: 1965. Coating 処理をした種粒の発芽について. *日作記* 34:375-379.
- 37) 入子善助・塩野 勇: 1968. シーダー農法の実験. *農及園* 43(1):29-33.
- 38) JAFARI, J. V. and K. J. FORKSTOM: 1970. A precision punch-planter for sugar beets papers *Americ. Agric. Eng.* 17:70-109.
- 39) JORDAN, G. L.: 1967. An evaluation of pelleted seeds for seeding Arizona rangelands. *Technical Bulletin* 183:1-32.
- 40) 神保元二: 1956. 粉粒体の結合と造粒. *化学工学* 20(4):73-76.
- 41) 木本 浩・松尾正人: 1976. 種子内包球状物. *公開特許公報* 昭51-145712:97-99.
- 42) 小原房雄・小野公二・高橋慶一: 1973. 野菜のシードテープ利用による播種間引作業の省力化. *農及園* 48(1):69-72.
- 43) KOOPMAN, M. J. F.: 1963. Result of a number of storage experiments conducted under controlled conditions (other than agricultural seeds). *Proc. Inst. Seed Test Ass.* 28(4):853-860.
- 44) 今友 親・上野實司: 1976. 道央地帯におけるてん菜の栽培法に関する研究(1) 栽植密度と栽植様式に関する考察. *てん研報* 18:221-229.
- 45) 鎌田嘉孝: 1969. 火山灰畑における大型機械化栽培—土壌管理と施肥技術—*農業技術* 24:464-467.
- 46) 堅木育雄・泉山陽一: 1976. てん菜の栽培法に関する研究 (第2報) 収量・糖分におよぼす畦幅および株間の影響. *てん研報* 18:203-212.
- 47) 加藤照孝・岡迫義孝・広瀬史郎: 1958. タマネギ種子の貯蔵と寿命に関する研究 (第1報) タマネギ種子の熟命. *農及園* 33(7):1095.
- 48) 加藤富造・川廷謹造: 1966. 播種作業の機械化と栽植様式(1). *農及園* 41(6):853-859.
- 49) 加藤富造・川廷謹造: 1966. 播種作業の機械化と栽植様式(2). *農及園* 41(7):999-1005.
- 50) 吉良龍夫・穂積和夫・小川房人・上野善和: 1952. 栽植密度問題の生態学的考察. *園学研究集録* 6:69-81.
- 51) 川廷謹造・布瀬猛文・森田 勇: 1963. トラクター車輪による踏圧が作物の生育に及ぼす影響—特に根菜類について (予報)— . *農及園* 38(11):1791-1720.
- 52) 黒沢 健・木村勝一・東 誠司・能戸昭作: 1976. 機械化灌水直播栽培の苗立安定化対策—過酸化石灰の種子粉衣処理効果と実際— . *農及園* 51(4):41-45.
- 53) LAVIN, F. and F. B. GOAM: 1968. Stabilizing small seed dilution mixtures. *Jour. Range Magmt.* 21:328-330.
- 54) MCCOY, O. D., F. E. ROBINSON, I. R. JOHNSON, R. G. CURLEY, C. BROOKS, G. GIANNIN, and F. LEBARON: 1969. Precision planting of lettuce. *Jour. Americ. Soc. Hort.* 94:344-345.
- 55) MILLER, W. F.: 1971. Progress report on seed pellets. *New York Food and Life Science* 4(2 and 3):13-15.
- 56) 宮城耕治: 1967. 市販種子の防湿包装に関する試験 (第1報). *農及園* 42(10):1561-1562.
- 57) 宮城耕治: 1977. は種密度について(小松菜). *種苗検査年報* 28:62-63.
- 58) 宮城耕治・永吉秀夫・婦木清司・峯 利夫:

1977. 加工種子の発芽と貯蔵・種苗検査年報 28 : 52 - 53.
- 59) 三好一夫・国井輝男・関口 明・尾田将作・久保田善三 : 1977. てん菜 Coating 種子に関する研究・てん研報 19 : 123 - 129.
- 60) MCGLEAN, K. A. : 1971. Selective thinning of root crops. NAAS Quarterly Review. 89 : 23 - 32.
- 61) 三谷宣允・松川 久 : 1975. 畦幅と株間がてん菜の収量に及ぼす影響・てん研報 17 : 193 - 199.
- 62) MURGIA, J. L. and R. A. DATE : 1964. The use of pellets in the oversowing of Pasture segmes. Proc, 9th Intern. Grassl. Congr. : 279 - 282.
- 63) MIYAMOTO, T. and S. T. DEXTURE : 1960. Accelation of early growth of sugar beet seedings by coating of seed-balls with hydrophilic colloids and nutrients. Agronomy Jour. 52 : 269 - 271.
- 64) 村井信二・高橋義明・道場三善雄・小島由光・佐々木篤太・大原 隆・青山達仁 : 1973. てん菜の小規模育苗センターの運営 (第1報) 播種プラント50型の性能・てん研 13 回論文集 : 99 - 105.
- 65) 村田 敏 : 1964. てん菜の機械間引に関する理論的研究・農機誌 26 (2) : 105 - 110.
- 66) 内藤俊男 : 1963. 種子 coating に関する研究 (第1報)・農機誌 25 (1) : 35 - 38.
- 67) 長尾栄一・高木 繁・大原 隆 : 1973. 紙筒用真空播種器 (北糖式) に関する研究 (第3報) 改良型播種器の性能について・てん研第 13 回論文集 : 107 - 112.
- 68) 中村俊一郎 : 1958. そ菜種子の貯蔵・園学雑 27 (1) : 32 - 44.
- 69) 中村 宏 : 1971. そ菜間引き作業の省力化対策・農及園 46 (0) : 22 - 25.
- 70) 中村喜彰 : 1976. 灌水直播用コーティング種子の基礎的研究・農機誌 38 (1) : 75 - 78.
- 71) 中野正敏・中村大四郎・河内埜一之 : 1959. 菜種直播栽培に関する研究・佐賀農試報 2 : 11 - 16.
- 72) 中田寛五郎・日野 巖 : 1941. 植物病理学大系 2 養賢堂 : 59 - 60.
- 73) 中山 包 : 1969. 発芽生理学・内田老鶴園社 : 66 - 93. 259 - 276, 278 - 309.
- 74) 西入恵二 : 1971. 間引作業における機械利用 II 機械化栽培における栽植密度と間引きについて・農作業研究 12 : 72 - 76.
- 75) 西谷国宏・三好 坦 : 1965. 大型機械によるそ菜栽培に関する研究 (第2報) 心土破砕耕と車輪踏圧が根菜類の生育に及ぼす影響・農及園 40 (8) : 1265 - 1266.
- 76) 日本農業研究所編 : 1970. 戦後農業技術発達史 4 野菜・花+作編 : 168 - 169.
- 77) 日本粉体工業協会 : 1975. 造粒便覧 オーム社 : 249 - 270.
- 78) NORTH, C. : 1968. Artificial drying of vegetable and herbage seeds. T. Minist. Agric. 54 : 462 - 466.
- 79) 農林経済 : 1977. 第7126号12月5日 : 16.
- 80) 農林水産技術会議 : 1974. 実用化技術レポート 6 : 1 - 43.
- 81) 農林水産技術会議 : 1978. 実用化技術レポート 58 : 1 - 36.
- 82) 尾田彰作 : 1971. てん菜遺伝単胚種子「ソローベ」による直播栽培の実用性について・てん研報補巻 13 : 121 - 126.
- 83) 岡村俊民・伊藤道秋・端 俊一・太田 享 : 1966. ビート育苗プラント用吸引式播種装置の性能・農機誌北海道支部報 13 : 39 - 43.
- 84) 大原 隆・田中善治・高畑英彦・千場秀雄 : 1971. 紙筒用一粒まき播種器に関する研究・てん研報補巻 13 : 127 - 135.
- 85) 大阪農試業務功程 : 1962. 玉葱栽培における播種機別直播方式比較試験 : 67 - 68.
- 86) ROHRBACH, R. P. and R. G. HOLMES : 1970. A new concept in seed metering. Papers Amer. Soc. Agric. Eng. 16 : 70 - 108.
- 87) 齊藤 亘・藤田昭三 : 1965. てん菜単胚種子用播種機の研究 (第1報) 播種機構・てん研第 5 回論文集 : 96 - 98.
- 88) 佐藤忠弘 : 1968. 野菜種子の粉衣消毒・農及園 43 (7) : 1125 - 1128.
- 89) 酒井泰文・河野富香 : 1976. ダイコンモザイク病の発生予察に関する研究 (第3報) 栽植密度がアブラムシの飛来密度および発病におよぼす影響・広島農試報 37 : 45 - 50.
- 90) 崎山亮三・川廷謹造 : 1972. 球形小粒種子の機械条播における増量剤の意義について・農作業研究 14 : 12 - 14.
- 91) 佐々木邦男 : 1968. 機械の利用拡大と増量播

種法の検討・農作業研究 6 : 35-39.

92) 佐々木泰弘・神崎庸太郎・入江道男 : 1979. 吸引式精密密播機・新しい技術 17 : 265-269.

93) 白井和栄・三谷宣允 : 1976. 畦幅と株間がてん菜の収量に及ぼす影響 (第2報) 畦幅, 株間と個体根重の分布・てん研報 18 : 213-219.

94) SAIBRING, P. H. : 1963. Results of some experiments on the moisture relationship of seeds. Proc. Inst. Seed Test Ass. 28 (4) : 837-843.

95) 白木 聡 : 1965. タマネギの省力栽培と新生産機構(1)・農及園 40 (7) : 1224-1228.

96) 末沢一男・山本 保・安部秀雄 : 1964. てん菜種子のポリッシュについて・農及園 39 (11) : 1719-1720.

97) 末沢一男・山本 保・安部秀雄・村井 修・多田正敏・野田弘之 : 1962. てん菜の coated seed に関する研究 (第1報) 被覆材料の種類がてん菜の発芽・生育ならびに収量に及ぼす影響について・香川農試報 13 : 9-12.

98) 鈴木一平・菅原祐幸・戸高重信 : 1953. 蔬菜の種子消毒に関する研究 (第1報) ニンジン種子の粉衣処理の効果・園学雑 28 (4) : 257-266.

99) 関口 明・高木昭一郎 : 1972. てん菜の紙筒間引法について・てん研第12回論文集 : 167-172.

100) 関口 明 : 1975. てん菜種子の coating に関する研究 (第1報) 播種精度, 発芽及び初期生育について・てん研第15回論文集 : 187-191.

101) 関口 明 : 1976. てん菜種子の coating に関する研究 (第2報) ドロッピングテストおよびほ場発芽率・てん研報 18 : 91-96.

102) 関口 明 : 1977. てん菜種子のコーティングの試み・農業技術 32 (1) : 30-31.

103) STOUT, B. A. : 1961. Effect of soil compaction on seedling emergence under simulated field condition. Agric. Eng. 42 (2) : 68-71.

104) そ菜種子生産研究会編 : 1978. 野菜の採種技術 試文堂新光社 : 153-171.

105) SOOTER, C. A. and W. F. MILLER : 1978. The effect of pellet coating on the seedling emergence from lettuce seed. Transaction of the ASAE 21 : 1034-1039.

106) SUNDERMAN, D. W. : 1964. Seedling emergence of winter wheat and its association with depth of sowing coleoptile length under various conditions and plant height. Agron. Jour. 56 : 23-25.

107) 竹内妙子・長井雄治 : 1975. 種子粉衣によるそさい苗立枯病の防除・関東東山病研年報 22 集 : 34.

108) 田中九重美・井之上 準 : 1976. 作物の出芽に関する研究—二条大麦の出芽と播種後覆土の鎮圧—・日作記 45 (1) : 57-62.

109) 田中 勲 : 1978. プルラン結合物を用いる植物発芽時期調査法・公開特許公報 昭53-92211 : 41-42.

100) 手島寅雄 : 1950. 栽培学 耕種編 養賢堂 : 169-170.

111) 常松 栄・高畑英彦 : 1961. プラネットジュニャ 300-A型によるビート種子の播種について, 農機誌北海道支部報 7 : 4-5.

112) 常松 栄・南部 悟 : 1961. 手押し播種機におけるビート種子の形状と播種精度について・農機誌 23 (4) : 156-160.

113) 津田恭介・野上 寿 : 1974. 薬剤製造法(上) 地人書館 : 179-263.

114) 津田恭介・野上 寿 : 1974. 製剤工学 地人書館 : 247-289.

115) 富樫浩吾 : 1950. アメリカにおけるそ菜種子の粉剤処理・農及園 25 (2) : 11-14.

116) 梅原 寧 : 1968. シーダー農法によるそさいの省力栽培・農業技術 23 (7) : 306-310.

117) 渡辺文吉郎・松田 明 : 1966. 畑作物に寄生する *Rhizoctonia Solani Kühn* の類別に関する研究・農林水産技術会議指定試験 (病害虫) 7 : 90-95.

118) 矢木 榮 : 1954. 流動化層反応装置・科学 24 (9) : 461-465.

119) 山本 実・中村 宏 : 1968. 機械によるそさい間引き作業の省力化に関する研究・農作業研究 6 : 45-50.

120) 山田豊一・川口俊春 : 1971. 家畜の排糞による牧草播種 (第1報) 山羊糞による牧草種子の排出と出芽・日草誌 17 (1) : 36-47.

121) 山田豊一・川口俊春 : 1971. 家畜の排糞による牧草播種 (第2報), 乳牛に給与された収草種子

の糞中排出と排出種子の発芽および出芽・日草誌 18 (1) : 8-15.

122) 山口辰一郎・松崎康範 : 1972. てん菜単胚種子の無間引栽培について (予報)・てん研第 12 回論文集 : 245-252.

123) 山口富夫 : 1975. 種子伝染の重要性と問題点・植物防疫 29 00 : 1-3.

124) 矢田貞美 : 1972. 野菜種子のコーティング整形方法について (第 1 報)・農機誌 32 回講演要旨 : 60

125) 矢田貞美・加藤雄久 : 1974. 野菜種子のコーティング整形方法について (第 2 報) — 整形収率について (その 1)・農機誌第 33 回講演要旨 : 65.

126) 矢田貞美・米花一司 : 1975. 野菜種子のコーティング整形方法・特許第 798687 : 17-20.

127) 矢田貞美 : 1979. コーティング種子の製法・公開特許公報 昭 54-85908.

128) 矢田貞美・八谷 巧 : 1977. 種子コーティング用の回転噴射造粒装置・公開特許公報 昭 52-127812 : 55-58.

129) 矢田貞美 : 1977. 種子被覆装置におけるコーティング用混合筒・特許第 895962 号 : 17-19

130) 矢田貞美 : 1979. 精密播種機構・特許第 1227572 号

131) 矢田貞美 : 1982. 野菜種子を利用した直播及び育苗の省力効果について・農作業研究 45 : 1-8.

132) 矢田貞美・井本征史 : 1983. 被覆野菜種子の被覆層への殺菌剤混入が苗立枯れの防除に及ぼす効果・園学雑 52 (1) : 27-34.

133) 矢田貞美 : 1983. 野菜種子の被覆整形に関する研究 (第 1 報) — 被覆整形の方法及び素材について・農機誌 45 (2) : 191-198.

134) 矢田貞美 : 1983. 野菜種子の被覆整形に関する研究 (第 2 報) — 被覆整形機構の解明 —・農機誌 45 (3) : 319-326.

135) 涌井 学・藤尾福蔵 : 1959. 播種機の改良に関する研究。(第 2 報) 汲出し型繰り出し機構の解析・農機誌 21 (3) : 87-90.

136) ZINK, F. W. : 1967. Coated celery seed aids mechanization efforts. California Agriculture 21 (8) : 4-5.

Studies on the Coating and Single Seeding of Vegetable Seeds

Sadami YADA

Summary

The technick of cultivation management has been progressed. But the development of labour-saving technick on the seeding, and the seedling in connection with the seeding has been delayed. These main reasons were the difficulty of the single seeding in case of the seeds with various phisical characteres, even they are the same kinds. So far, trichoma removing and polishing of the seeds, mixing with another seeds, and the static electricity were tested as counter-measures to improve the accuracy of the mechanical seeding, but it was difficult for the mechanical single seeding to apply these methods. As the means of acheaving higher accuracy in the mechanical seeding, it was thought that the seeding accuracy will be improved when the seeds obtain the adaptability to the seeder machine by unifying their physical characteres of the seeds with coating.

Two methods of rotating and compressing has been reported, so far, as coating methods of the seeds. In the rotating method, the percentage of granules containing a single seed decreased in the case of small seeds. In the compressing method, the coating efficiency was low, and this method could be utilized only for the seeds of pressure-resistance. Only limited research has been carried out on the germinability, the coating efficiency, and on the economy of the coated seeds. The existing coated seeds were known for the lower germination rate as compared with the non-coated seeds, and for the low accuracy in the mechanical seeding as the powder of the broken coated layer due to the shortage of the hardness in the coated layer stuffed in the pull out roll-holl of the seeder machine.

Cosequently, labour-saving effects of thinning work by precise seeding with the coated seeds were not satsfactory. This report describes the results of the research on the coating methods of seeds, utilizing them for the direct sowing and the raising, as well as investigating of those labour - saving effects with the coated seeds.

First chapter; The background and idea of this research was described.

Second chapter ; In the rotating methods, skillfulness was needed and the percentage of the granules containing a single seed decreased gradually as the size of the granules increased. It took about 60-90 minutes to coat the seeds with this method. In the fluidizing method developed by the auther, as the seeds were circulated by blowing air into the coating cylinder, mutual separation of the seeds was much better than in the rotating methods, so there were almost no granules which contained more than single seed, even in the case of non-uniform and small seeds

(less than 2 %). As it needed only less than 15 minutes to make compared granules, there exists the merit of less water absorbed by the seed. The hardness of the coated layer was reduced as compared with that formed by the rotating methods. The hardness of the granules was, however, increased to the same level when the coated layer was formed by rotating the middle case at low speed and by using the control cylinder with the tapered top in the coating cylinder. The coating efficiency of the seeds by the fluidizing method was the best when supplying ratio of powder (P) to binder solution (B) was kept about 2.6. The percentage of the granules containing a single seed was decreased when ratio of P/B was less than 2.6. when ratio of P/B was more than 2.6, scattering of the coating powder out of the coating cylinder increased, and the coating efficiency of the seeds decreased.

As for methods of adding the binding materials, the best effective method was to add the whole amount to the solution, from the view point of the strength of the coated layer. It was not effective to add all into coating powder. Method of adding the equivalent amount into the both solution and coating powder was between the foregoing two in the effectiveness.

When the seeds were coated, the germination of the seeds became either better or worse. The germination became better when the seeds required less oxygen in the germination, or they increased in the volume more by absorbing water of the seeds than the muddy swelling coated layer, which caused cracks in the coated layer. In the case of bad germination, these tendencies were reversed. The germination of almost all kinds of vegetable seeds became better when the several percent of hydrophobic material was added to the coated layer for the purpose of preventing muddy swelling of the coated layer and causing the cracks by absorbing water.

The suitable conditions for coating powder were the followings ; Kibi soil, burnt soil etc of which pH value was from light acidity to natural, electric conductivity value was less than 0.8 mS/cm, hindering materials of the germination were not concluded, and the coating efficiency was high.

The time for coating was longer in fine powder size than in large powder size. But the strength of the coated layer was stronger with fine powder size than with large powder size. It was considered suitable that the coating powder which contained more than 70 % of fine particles less than 200 mesh from the view of the strength of the coated layer, despite decreasing more or less the coating efficiency.

The seed was coated in three layers with the inner coated layer (white powder), the middle layer (red powder) and the outer layer (white powder) by using powder of two colours for the purpose of investigating on the coating mechanism of the seeds by the fluidizing method.

Cutting section of a coated seed was classified into the following four shapes. 1) The seed was located in the center of the each coated layer. 2) The seed was biased. 3) The inner coated layer was of an uneven appearance, but the outer coated layer was of a circular shape. 4) The inner and middle coated layers were an ellipse, but the outer coated layer was a circle in shape. The shape of cutting section of a coated seed was differed by circulating conditions of the seeds

in the coating cylinder. At the best circulating conditions, the seed was located in the center, and three coated layers were a circular shape with equal thickness. When this circulating conditions were bad or the coating quantities of the seeds at the first stage were little, the coated layer was biased or the inner and middle coated layers were an ellipse. Mixing of the white powder into the red middle coated layer and mixing of the red powder into the white outer coated layer were not recognized when the seed was located in the center of the each coated layer. Mixing of the white powder into the red middle coated layer and mixing of the red powder into the white outer coated layer were recognized when the coating quantities of the seeds at the first stage were little, or the circulating conditions of the seeds were bad.

Consequently, particles of adhered powder to a fixed thickness were scarcely separated. But it was considered that adhered powder on the seeds was removed, and then adhered to another seeds or flied out when the seeds were not circulated smoothly.

Adhered quantities Qt of coating powder on a seed could be described by the following equations, and they approximated the experimental values.

$$\text{Globular seed; } Qt = \frac{1}{48} \rho_c \pi \{ 8 (D^3 - D_0^3) + 0.945 (D^4 - D_0^4) \}$$

$$\text{Elliptical seed; } Qt = \frac{1}{12} \rho_c \pi (D^3 - D_0^3) \left\{ \lambda^2 + \frac{1}{\epsilon} \log \lambda (1 + \epsilon) \right\} + 0.0239 \pi \lambda \rho_c (D^4 - D_0^4)$$

Where, D_0 ; diameter of a non-coated seed, D ; diameter of a coated seed,

ρ_c ; density of coating powder, $\epsilon^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = \frac{\lambda^2 - 1}{\lambda^2}$; eccentric ratio, $\frac{a}{b} = \lambda$,

$2b = D$. As the seeds were well circulated when air was blown up through the blastpipe and the center hole which was made in the center of the low portion of the perforated plate of the V-shape of this experimental equipment, the seeds started circulating at the air velocity of less than that of Yagi's formulas.

Globular, flat and squarish non-coated seeds took the shape of globular granules. Slender (non-coated) seeds took the shape of an elliptical granules. Consequently, When a seed was coated in the same form and diameter, it was difficult to discriminate the kind of vegetable seeds, as the physical properties of the coated seeds were completely equalized. But the weak point of the coated seeds was the increase of volume. New problems of packing, transplanting, and storing were posed.

In the concussion test, no breakage of the coated layer occurred when the hardness of the granules was more than 5N. Moreover, the treatment of the granules with shellack solution of 2% was decreased the weight loss of the coated layer because of the defacement, so the treatment was thought to be suitable for transportation in the long distance.

In the drying of newly coated seeds (Bermudalygrass) which were also processed by fluidized drying equipment, the relation between the moisture content of newly coated seeds (Y) and drying hour (X) could be described by $Y = aebx$. where Y ; moisture content in %, X ; drying hour in min, a ; initial moisture content in %' b ; drying efficiency in %. The relation between drying efficiency (Y_1) and temperature of blowing air (X_1) could be approximated by $2Y_1 = aX_1^b$, and could be written in the form of $Y_1 = 1.876 X_1^{1.045}$

The storing period of the coated and non-coated seeds was not significantly different under the same stored conditions in view of the reduction of the germinability. Five percent-reducing period of the germination of storing coated welsh onion seeds was less than 6 months under less than 60 % relative humidity at 15 °C, less than 5 months under less than 54 % relative humidity at 25 °C, and less than 4 months under less than 60 % relative humidity at room temperature.

Third chapter ; The seeding accuracy with various coated seeds was tested by four seeder machines with various seeding mechanism. The seeding accuracy by the each seeder machine with the coated seeds was satisfactory. Single seeding of more than 96 % was possible when the shape of the coated seeds was spherical and well formalized.

Fourth chapter ; Investigations were made on the influence of the seeding mode and the seeding density with several coated vegetable seeds upon the appearances of their emergence. The strength of plumule-elongation was 1.3 g per plant for carrot, 3.9 g for onion, 7.2 g for Chinese cabbage, 8.2 g for cabbage and 17.7 - 35.5 g for radish. The strength of plumule-elongation for cabbage and Chinese cabbage increased linearly in proportion to the number of the plumule per hill. As the increasing rate was the largest for carrot of which the strength of plumule elongation was small, the percentage of the emergence was more in the hill seeding than in the single seeding.

The emergence-hindrance by the soil compaction at just after the seeding was more in the deep seeding than in the shallow seeding, at the strong compaction of the soil. when the number of the seeds was the same per unit area, the percentage of non-emergence was more in hill seeding than in the single seeding. Accelerating of the early growth due to the effect of "competition" was recognized in the hill seeding than in the single seeding, but delaying of early growth was not recognized to influence on the quantity and quality of the final yields.

Fifth chapter ; Investigations were made on the labour-saving effect of the thinning work by the precise seeding with the coated seeds, and the labour-saving effects of the raising seedling in the soil block with the coated seeds in the comparison with that of the traditional raising seedling in the paper pot with the non-coated seeds.

The required hour of the thinning work for various the seeding modes was the smallest for the single seeding, and then for the hill seeding and the stripe seeding in this order. As for the seed expenses and labour expenses of the thinning work, both the hill seeding and single seeding with the coated seeds were 1.1-2.5 thousand yen per are less than in the stripe seeding.

The required labour of the raising seedlings in the soil block decreased to one half for the leafy vegetables, one sixth for the fruit vegetables as compared with the traditional way of raising seedlings. When the expenses of raising seedlings were calculated by using the soil block with the redemption period of 5 years, the required labour of the raising seedling in the soil block was less inexpensive than the traditional way of the raising seedling, if more than 130 thousand seedlings (used seedling in 1.9 hectare's field) were raised. Similar results were obtained for other leafy vegetables.