

コムギ赤カビ病の第二次伝染について* 第2報

西門義一・井上忠男・岡本康博

I. 緒 言

- 前報ではコムギ赤カビ病の第二次伝染に関連し罹病穂に標徴が形成される条件について実験観察し、コムギ植物体上の雨滴と分生胞子の発芽との関係をしらべ、更に病穂に形成された分生胞子の動向と風殊に水湿を伴った風による分生胞子飛散の有無を調べて、本病の第二次伝染の様式について示唆した。前報に報告した結果から、コムギ罹病穂に形成された分生胞子が第二次伝染源としての役割を果たすためには降雨が必要であることが明かなので、罹病小穂の標徴部から分生胞子を懸濁し植物体表を伝つて降下する水滴を中心に二三の実験を行つた。本報告はその実験結果である。

II. 降雨による分生胞子の離脱

(i) 降雨によりコムギ穂上に生じた水滴中に標徴部の分生胞子が懸濁して行く様子

赤カビ病罹病穂に形成された分生胞子が水中に極めて容易にしかも迅速に離脱し懸濁して行くことは既に知られているが^{1, 2)}、水中に懸濁する胞子の数量及び離脱状況の時間的な変化の様相については明かでなく、降雨量、降雨時間等との関係についても具体的な知見は得られて

第1表 降水時間と胞子離脱の関係

噴霧時間 秒	0—30	30—60	90—120	180—210	300—330	600—630
A	14858	5030	1722	838	643	574
B	2971.6	1006.0	344.4	167.6	128.6	114.8
C	594.32	201.20	68.88	33.52	25.72	22.96

麦穂への噴霧は降水量に換算して20—25mm/hr, 0.17—0.21mm/0.5min

備考 A: 5回の実験で測定した胞子数の合計
B: 平均(0.05ml中の胞子数)
C: 1小穂当り100mlの水に懸濁した胞子数, 単位は $\times 10^4$
Bについての LSD(0.05)=184.482, LSD(0.01)=229.710

第1表の分散分析表

項 目	平 方 和	自 由 度	分 散	分 散 比	確 率
全 体	36175240.167	29			
處 理	31426563.567	5	6285312.5134	32.2464	0.001以下
反 覆	850402.000	4	212596.25	1.0907	0.20 以上
誤 差	3898275.600	20	194913.78		

*農林省應用試験研究費による業績

いない。第二次伝染源が病穂に形成された分生孢子であり更に第二次伝染が降雨に関連して起るとすれば、標徴部の分生孢子が穂の上に溜つた雨滴中にどの様に懸濁して行くかを、量的及び時間的に観察することが必要と思われるので以下の実験を行った。

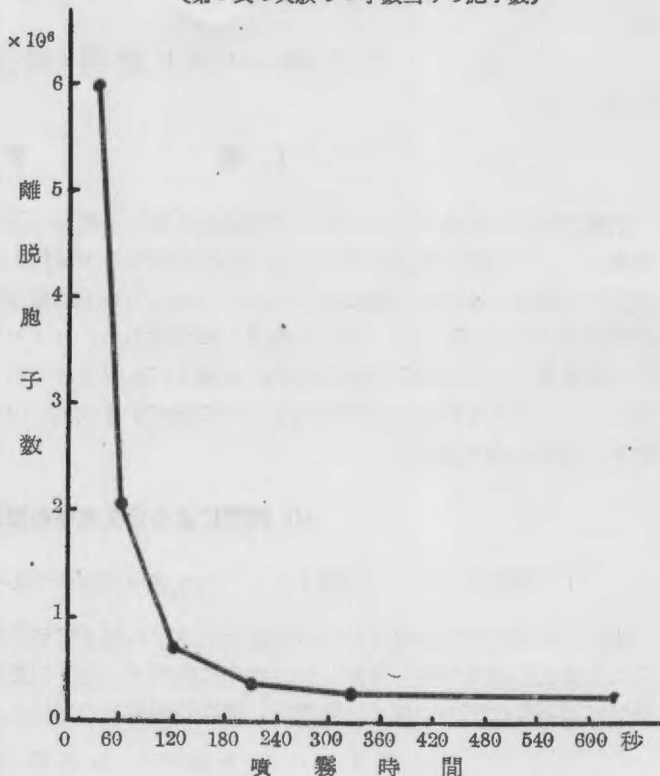
赤カビ病にかかつたコムギ農林4号品種の穂を集め、標徴の明瞭な小穂を1穂当り1—2小穂残して他の小穂は全部除去し、これを4—5穂づつ束ねて小穂束を作つた(1束に5小穂となるように)。この小穂束に二連球で水を噴霧し、小穂束から滴下して来る水滴—分生孢子を懸濁している—を色々の時間に集めて孢子数を数えた。集めた懸濁液滴(30秒間に約9—11滴、2—3ml)は水を加えて

100 ml にし、よく攪拌してその中から 0.05 ml をとり、スライドガラスに置いた寒天薄片上に1滴 0.01 ml づつ5滴置いて全孢子数を数えた。小穂束への噴霧量は降雨量に換算して20—25 mm/hr である。第1表に実験の結果を示す。第1図表は5回の実験値を平均し100 ml 中の水に懸濁した孢子数を1小穂当りに換算した値を図示したものである。5回の実験を通じて最初の30秒の間に大多数の孢子は噴霧により出来た水滴中に離脱している。最初の2分間ぐらいまでは時間の経過に従つて単位時間に離脱して行く孢子の数は急速に減少し、3—5分以後になると30秒ごとの離脱孢子数の減少程度は次第に少なくなつて行く。図表から明かなように、降雨量20—25 mm/hr に相当する噴霧で最初の1分間に1小穂当り 7.96×10^6 の孢子が雨滴に懸濁して滴下し、以後次第に減少し孢子数と噴霧時間の関係は双曲線をあらわす函数関係のようである。

(ii) 多量の水中に標徴部の分生孢子が離脱する様子

分生孢子離脱の様子の時間的な変化を更に確めるために次の実験を行った。50 ml づつ水を入れたビーカーを並べて置き、前述小穂束(標徴の著しい5小穂を1束にしたもの)を0—305秒の間各5秒毎に次々とビーカー中の水に浸して行き、前の実験に準じて孢子数を数えた。但し15—30秒、35—60秒、65—120秒及び125—300秒の各期間は5秒ごとに小穂束を移して行かず、同一ビーカー中の水 50 ml にそれぞれの時間内に懸濁した孢子数を数えた。第2表及び第2図表に実験結果を示す。第2図表は或時間までに水中に離脱懸濁した孢子数を1小穂当りの

第1図 降水時間による孢子離脱量の変化
(第1表の実験の1小穂当りの孢子数)



第 2 表 浸水時間と孢子離脱の関係

	浸 水 時 間 (秒)										
	0-5	5-10	10-15	15-30	30-35	35-60	60-65	65-120	120-125	125-300	300-395
A	11234	8032	5166	5298	1504	2570	799	2068	271	2639	272
B	2246.8	1106.4	1033.2	1057.6	300.8	514.0	155.8	413.6	54.2	527.8	54.4
C	449.36	321.28	206.64	211.52	60.16	102.80	31.16	82.72	10.84	105.56	10.88

備考 A: 5 回の実験で測定して孢子数の合計

B: 平均 (0.05ml 中の孢子数)

C: 1 小穗当り 100ml の水に離脱懸濁した孢子数 単位は $\times 10^4$

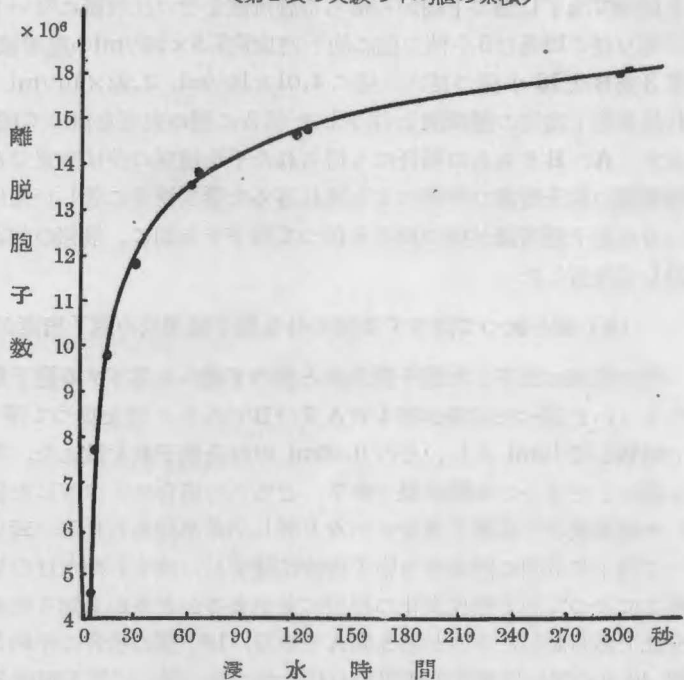
B についての $LSD (0.05) = 242.93$, $LSD (0.01) = 824.71$

第 2 表の分散分析表

項 目	平 方 和	自 由 度	分 散	分 散 比	確 率
全 体	26134365.96	54			
處 理	24418346.33	10	2441834.633	67.5285	0.001 以下
反 覆	269618.48	4	67404.62	1.8640	0.20 以上
誤 差	1446401.15	40	36160.0288		

孢子数に換算して、浸水時間に伴う孢子の離脱状況変化の模様を図示したものである。前の実験の場合と同じような傾向が見られ浸水開始後15秒で既に 9.8×10^6 の孢子が離脱し、30秒後には 11.8×10^6 、1分後には 13.4×10^6 、2分後には 14.7×10^6 、5分後には水中に離脱懸濁した孢子総数は 15.7×10^6 になった。従つて自然状態で感染発病し明瞭な標徴をあらわしていた供試農林4号コムギの小穗では、少なくとも 16×10^6 の離脱可能な成熟分生孢子が形成されていて、孢子を懸濁する水が充分に存在すれば大多数の孢子は極めて短時間の間に離脱して (約84.4%の分生孢子は最初の1分間の浸水で) 水中に懸濁した。

第 2 図 浸水時間と孢子離脱の関係
(第 2 表の実験の平均値の累積)



III. 穂を伝つて流れる分生孢子懸濁液について

標徴のあらわれた罹病小穂上に落ちた雨滴は分生孢子を懸濁し穂を伝つて降下するが、分生孢子を懸濁した雨滴が流れ落ちる場合にどの程度の量の水滴が穂に附着して残り、又どのくらいの分生孢子が穂の表面に残留附着して二次伝染を起す可能性をもつかを知るために実験した。実験に用いた材料及び方法は各項目とも同様である。

第 3 表 小麦穂を伝つて降下する孢子懸濁液量の変化¹⁾

小穂数	A*		B*		
	ml ²⁾	% ³⁾	孢子密度 ($\times 10^4$ /ml)	ml ²⁾	% ³⁾
19	1.59	79.3	4.01	1.82	81.0
5	1.77	88.7	2.92	1.68	84.0
			0.73	1.62	81.1

備考 1): 注下した懸濁液量は2ml * : 懸濁液の孢子密度は約 5.5×10^4 /ml

2): 穂の下端から滴下した液量 * : 小麦穂の長さは16小穂

3): 2) の値の2ml に対する百分比

AB 共に 5 回反覆測定の平均値で何れも平均値間に有意差は認められない。

(i) コムギの穂に残留する孢子懸濁液の量

農林4号コムギの無病穂をえらび、赤カビ病菌の分生孢子懸濁液（自然発病のコムギ穂の標徴部をとり水道水に懸濁させたもの）2ml を注射器で最頂小穂の両側面に除々に注下した。穂を伝つて降下し穂の下端から落ちる懸濁液を受け注射器に吸い上げて液量を測つた。第3表Aは穂の長さ19及び5小穂の穂に孢子密度約 5.5×10^4 /mlの懸濁液を注下した場合の結果であり、第3表Bは16小穂の長さの穂に 4.01×10^4 /ml、 2.92×10^4 /ml 及び 0.73×10^4 /ml とそれぞれ異なる孢子密度の懸濁液を注下した場合に穂の表面を伝つて穂の下端から流れ落ちた液量を示す。A、Bどちらの場合にも得られた平均値間の差は有意でなく、小穂数あるいは注下する懸濁液の孢子密度の疎密により流れ落ちた懸濁液量に著しい差は認められない。従つて2mlの分生孢子懸濁液が穂の表面を伝つて降下する間に、最初の約20%内外の液量が穂の表面に附着して残留した。

(ii) 穂を伝つて降下する間に分生孢子懸濁液の孢子密度が変る様子

穂の頂部に注下した孢子懸濁液と穂の下端から落下する孢子懸濁液とで孢子密度に差があるかどうかを調べた結果が第4表A及びBである。穂を伝つて落下した孢子懸濁液の1ml を水で稀釈して10ml にし、その0.05ml 中の全孢子数を数えた。第4表Aは穂の長さを19及び5小穂にした場合の実験結果である。どちらの場合にも注下した孢子懸濁液と穂の下端から落下した懸濁液とでは孢子密度にかなり著しい差が認められる。云いかえれば孢子懸濁液が穂を伝つて降下する間に懸濁液の孢子密度は減少し、減少しただけの孢子は穂に残留している。穂の長さによつて孢子密度変化の程度に差があるかどうかを知るために、実験前後の孢子密度を百分比であらわしたものが第5表Aである。19小穂の場合の平均59.77%と5小穂の場合の平均62.46%の間には有意差は認められなかつた。従つて孢子密度 5.5×10^4 /mlの孢子懸濁液2mlを穂の頂部から注下すれば穂を伝つて懸濁液が降下する間に、孢子密度は低下して最初の65%

以下になり、孢子密度低下の程度は穂の長さ 19 小穂と 5 小穂とではさほど相違は認められなかつた。このような数値から計算すると、穂に残留した孢子数は 1 穂平均 19 小穂の穂で約 5.82×10^4 、5 小穂の穂で 4.74×10^4 であり、それぞれ注下した孢子懸濁液中の全孢子数の 53% 及び 43% に相当する。

第 4 表 A 穂の表面を降下¹⁾する懸濁液の孢子密度の変化と穂の長さの関係*

I ¹⁾		II ²⁾	
a	b	a	b
2764 ³⁾	552.8 ³⁾	2761 ³⁾	552.2 ³⁾
1706	341.2	1538	317.6
1725	337.8	1876	375.2
1557	311.4	1814	362.8
1621	324.2	1670	334.0

備考 ¹⁾ 穂の長さ 19 小穂 ²⁾ 穂の長さ 5 小穂

3) 注下した孢子懸濁液についての数値

a : 落下した孢子懸濁液 0.01ml 中の孢子数を 5 回反覆して数えた合計

b : 落下した懸濁液の孢子密度 $\times 10^2/\text{ml}$

b についての

I : LSD (0.05) = 99.24

II : LSD (0.05) = 122.57

LSD (0.01) = 152.63

LSD (0.01) = 202.81

* 実験 I, II の間で孢子密度変化の程度の間には有意差を認めない

第 4 表 B 種々の密度の分生孢子懸濁液が穂を伝つて流れ落ちる間に起る孢子密度の変化 *

I		II		III	
a	b	a	b	a	b
2004 ¹⁾	400.8 ¹⁾	1460 ¹⁾	292.0 ¹⁾	364 ¹⁾	72.8 ¹⁾
940	188.0	887	177.4	263	52.4
1144	228.0	632	126.4	296	59.2
1043	208.6	743	148.6	297	59.4
1272	254.4	672	134.4	257	51.4
791	158.2	797	159.4	234	46.8

備考 * : 穂の長さ 16 小穂の穂 5 穂宛についての測定値

a : 落下した孢子懸濁液 0.01ml 中の孢子数を 5 回反覆して数えた合計

b : 落下した孢子懸濁液の孢子密度 $\times 10^2/\text{ml}$

1) : 落下した孢子懸濁液についての数値

b についての

I : LSD (0.05) = 84.21

II : LSD (0.05) = 60.02

III : LSD (0.05) = 18.91

LSD (0.01) = 139.33

LSD (0.01) = 99.31

LSD (0.01) = 29.59

次に孢子密度の異なる懸濁液が穂を伝つて流れる場合の孢子密度変化の様子を知るために実験した。穂は長さ16小穂のものをを用いた、1 ml 当り 40.08×10^4 、 2.92×10^4 及び 0.72×10^4 の各密度の孢子懸濁液 2 ml づつを注射器で頂部から注下して穂の下端から落下した懸濁液について孢子数を数えたところ、第4表Bに示すような結果を得た。どの孢子密度の懸濁液の場合にも、穂を通過した後では孢子密度が著しく減少している。穂の長さを変えて行つた実験の場合と同じ様に、孢子密度低下の程度を知るために、注下した懸濁液の孢子密度を 100 として穂を伝つて落下した懸濁液の孢子密度を百分比で示したのが第5表Bである。Ⅰ及びⅡの実験ではそれぞれ平均 51.80 % 及び 51.11 % で差は認められないが、Ⅲでは 74.01 % で前二者に比べ孢子密度の減少程度が少かつた。この結果から、穂に注下する孢子懸濁液の孢子密度が低いほど、穂に孢子が附着残留する割合が少いようである。穂に残留した孢子の数を概算すると、実験Ⅰ、Ⅱ及びⅢそれぞれ 4.65×10^4 、 3.30×10^4 及び 0.58×10^4 となり、注下した孢子総数のそれぞれ約 58.0 %、56.4 % 及び 40.0 % に当り極めて多量の孢子が穂に附着して残ることがわかる。

第 5 表 小麦穂を伝つて流れ落ちる前後に於ける
孢子懸濁液の孢子密度の変化¹⁾

A*			B**			
小穂数	% ²⁾	$\theta^3)$	孢子密度 ($\times 10^4/\text{ml}$)	% ²⁾	$\theta^3)$	
19	59.77	50.7	I	4.01	51.80	46.0
5	62.46	52.3	II	2.92	51.11	45.6
			III	0.73	74.01	59.5

備考 1): 注下した孢子懸濁液量は 2 ml

2): 穂の下端から滴下した液の孢子密度の注下した穂の孢子密度の注下した穂の孢子密度に対する百分比

3): ²⁾の値を Bliss の $P = \sin^2 \theta$ の式で変換した値

*懸濁液の孢子密度は約 $5.5 \times 10^4/\text{ml}$, **小麦穂の長さは 16 小穂

AB共に 5 回反覆測定の平均値 間の有意差を A では認められず

B の θ についての LSD (0.05) = 5.96, LSD (0.01) = 9.26

IV. 孢子懸濁液からの孢子飛散

コムギ赤カビ病の標徴部に出来た分生孢子懸濁液はコムギの穂の表面を流れて二次伝染経路になり得る外、穂あるいは葉が動揺する場合に植物体表から離れて飛散することが考えられ、更に孢子懸濁液滴表面からの風による飛散も考えられる。

孢子懸濁液滴表面からの孢子飛散の有無を知るために北島 (1951) が用いたものと同じ構造の風洞を作つて実験した。孢子密度 $2.5 \times 10^4/\text{ml}$ の懸濁液を 0.05 ml づつ 3 滴スライドガラスに並べ、風洞の中に設置してこれに約 7 m/sec の風を 5 分間送風した。前報で報告したのと同じく、水を噴霧しながら送風した区と噴霧しないで送風した区を比較した。実験はどちらも 8 回反覆し、各回とも孢子採集スライドガラス面 18 mm^2 内に附着した孢子数をしらべた。噴霧しながら送風した区では 8 回の中 1 回だけ 5 個の孢子が採集された。この 5 個の孢子は顕微鏡視野の中で極めて接近して分布していた。噴霧しないで送風した区では全く孢子を採集することが出来なかつた。従つて静止している孢子懸濁液滴からの風による孢子飛散は 7 m/sec 程度の風では僅少であり、殊に乾燥状態では殆ど起らないのではないかと思われる。

コムギの赤カビ病罹病穂に形成される分生胞子は乾燥状態では標徴部から極めて離脱し難いが、水中に病穂を浸すと極めて容易に離脱する事は既に石井及び小山 (1952), 筆者等 (1954) が認めた事実である。又筆者等が前報で示唆した赤カビ病第二次伝染源の成立及び伝染様式からも、分生胞子を多量に形成している罹病小穂上に溜り、穂の表面を伝つて流れる雨水が赤カビ病の二次伝染の経路として重要な役割をもつことが予想される。

コムギの穂に溜つて流れ落ちる雨水の中に標徴部の分生胞子が懸濁して行く様子は、本報告の実験結果から大体推察出来る。即ち、標徴部に多量に形成されている分生胞子は水滴に触れた直後に大多数の胞子が離脱し、その後も引き続いて胞子は游離して行く、第 I 図に見られるように、単位時間ごとの離脱胞子数と噴霧時間(降雨時間—標徴部を雨水が流れている時間)とは双曲線をあらわす函数関係をなすように見える。罹病小穂を水に浸した第 2 図の場合にも同様な関係が認められ、標徴の明瞭な罹病小穂では水中に懸濁して二次伝染に関与し得る成熟した分生胞子は、少くとも約 16×10^4 前後形成されていたことがわかる。この様に極めて多量に存在し且極めて短時間で水中に離脱し得る分生胞子は第 3—5 表の結果からわかるように、非常に高い割合で穂の表面に残留するので、胞子の数だけから考えると、前報で報告した風による降雨湿潤時の伝染経路に比べ、二次伝染経路としての可能性ははるかに大きいのではないかと思われる。もちろん、穂に残留した胞子が植物体表に沈着して発芽侵入するまでに降つて来る雨によつて、穂への胞子の残留率及び残留する胞子の数がどの様に変化するかについては実験していないので、必ずしもこの実験結果がそのまま自然状態の降雨時の様子に一致するとは云えない。又一方、実験では穂の最頂小穂両側面から胞子懸濁液を注下したため、懸濁液は主に小穂の内側及び小穂梗、穂軸を伝つて流れ、穂に残留した胞子懸濁液もこれ等の部分に多いが小穂の外側には残留する機会が少かつた点からも、自然状態の様子とは異なるのではないかと考えられる。しかし穂の表面を上から下へ流れ落ちる間に胞子懸濁液の胞子密度は著しく低下し、約 $5.5 \times 10^4/\text{ml}$ の胞子懸濁液を用いた第 4 表 A の実験では 19 小穂の穂で約 53%, 5 小穂の穂で約 43% の胞子が穂に残つたことになり、第 4 表 B の実験では 16 小穂の穂に $4.0 \times 10^4/\text{ml}$, $2.9 \times 10^4/\text{ml}$ 及び $0.7 \times 10^4/\text{ml}$ の胞子密度の懸濁液 2ml を注下してそれぞれ 58%, 56% 及び 40% の胞子が穂に残留したことになっている。このような事実から考えると、標徴部の分生胞子を懸濁した雨滴が、それ以後に降つて来る雨によりかなりの程度に稀釈され洗い流されない限り、穂に残留した多量の胞子は二次伝染に大きく関与するものと思われる。更に、小穂の内側と小穂梗、穂軸の間には水滴が溜り易く、雨の後も最もおそくまで水滴が存在し得るので、赤カビ病菌の侵入部位となる可能性が高いことも一応考えられる。

以上の様に得られた実験結果から見ると、標徴のあらわれた罹病小穂より下位の小穂に赤カビ病の二次伝染が多く起るだろうと推察されるが、実際自然状態での発病の模様を観察すると、大発生の年以外では必ずしもこのような二次伝染経路を確認するような発病状況は見られない。少くとも 1954 年度の当研究所附近の自然発病を見ると、標徴の明瞭な罹病小穂の分布は散点的で一様な発病分布をしているようであり、罹病小穂より下位の小穂が明かに発病しているとは一般的には認められないようであつた。赤カビ病罹病小穂に標徴が明かになるのは多くは乳熟期以後に観察される。筆者等の前報によると、コムギの小穂が赤カビ病に感染してから標徴をあらわすまでには或程度時間がかかり、標徴形成の有無は感染後の気象条件にかなり左右されることが考えられ、更にコムギの側から云つてもコムギが赤カビ病に最も感染発病し易

いのは出穂開花期であり、以後次第に感染発病し難くなる。このことから二次伝染の可能性がかなり大きくなる時期にはコムギは或程度赤カビ病にかかり難くなつていて、感染したものも必ずしも明かに罹病したと認められる程に外觀上の病徴が進展しないと云うことも考えられる。唯二次伝染源が早期に形成された場合には、その後の二次伝染による発病が著しく認められる可能性は非常に大きい。以上の実験結果の考察は赤カビ病の発生が比較的少い年の二次伝染様式についてのものであり、大発生の場合の伝染様式は更に気象条件その他の要因を詳しくしらべて別途の実験考察を加えねばならないと思われる。

分生孢子懸濁液滴からの孢子飛散の有無についての実験結果は前報の第4表A（農学研究41（4）：p 142）の結果と必ずしも一致しないが、前報の実験は風により動揺している穂の表面を流れ落ちる孢子懸濁液からの孢子飛散と解釈され、本報の実験即ち静止した孢子懸濁液からの孢子飛散とは少々異なるものと思われる。本報の実験だけから決定的な結論を導くのは困難なので、更に詳しく実験する必要があると思われる。

VI. 摘 要

本報告はコムギ赤カビ病の第二次伝染に関連し、罹病小穂の標徴部から分生孢子を懸濁した水滴を中心にして行つた二三の実験結果の報告である。

（1）標徴の明瞭な罹病小穂に水を噴霧して標徴からの孢子離脱の様子と噴霧時間との関係をしらべた。又孢子離脱の時間的及び量的な変化を詳しく知るために、罹病小穂を色々な時間水に浸して懸濁した孢子数をしらべた。どの実験でも標徴部が水に接触すると極めて短時間の間に多量の孢子が離脱した。病穂を水に浸して30秒後には1小穂当り約 11.3×10^6 、1分後には 13.0×10^6 、2分後には 14.5×10^6 、5分後には 15.5×10^6 の孢子が100mlの水中に離脱して懸濁した。尙この結果から、用いた罹病小穂に少くとも 16×10^6 前後の離脱可能な成熟分生孢子が形成されていたことがわかつた。

（2）孢子懸濁液が穂を伝つて降下する際にどの位の液量が穂に残留し、又降下する間に孢子懸濁液の孢子密度がどんなに変るかをしらべて、どの程度の孢子が穂に残留するかを知つた。実験した範囲内では懸濁液の孢子密度の多少及び穂の長短にかかわらず、残留する孢子懸濁液量はほぼ同程度で、2mlの孢子懸濁液を穂の表面に沿つて流下させると0.3—0.5mlが穂の上に残留する。穂を伝つて降下する間に孢子懸濁液の孢子密度は変化する。 5.5×10^4 /mlの孢子密度の懸濁液の場合19小穂の穂には約 58.2×10^4 、5小穂の穂に 47.4×10^4 の孢子が残留した。孢子懸濁液の孢子密度を色々変えて行つた実験の結果、孢子密度の大きい程穂に残留する孢子数の割合も大きいようである。

（3）静止している孢子懸濁液滴から風によつて孢子が飛散するかどうかをしらべた。風洞中に設置したスライドガラスに孢子懸濁液を置き約7m/secの風を5分間送風したところ、水を噴霧しながら送風した場合に8回の実験中1回だけ孢子を採集できた。噴霧しない場合には孢子の飛散は認められなかつた。

文 献

- （1）石井博，小山弘（1952）麦類赤黴病菌の分生孢子飛散と第二次伝染。農業及園芸 27：397—398。
- （2）北島博（1951）桃の炭疽病の傳染経路に関する研究。第2報。日本植物病理学会報 15：67—71。
- （3）西門義一，井上忠男（1954）小麦赤黴病の第二次伝染について。第1報。農学研究 41：140—144。