ジャガイモ疫病菌による粉状そうか病類似の病状発現*

桂 琦 一・千 速 明

Occurrence of powdery scab like disease of potato tuber caused by *Phytophthora infestans* f. sp. *infestans* WATERHOUSE

Kiichi KATSURA and Akira CHIHAYA

摘要: 収穫時のジャガイモ塊茎に、粉状そうか病に類似した病状を呈するものが発生している。病患部に粉状そうか病菌 (*Spongospora*) が見られないし、しばしばジャガイモ疫病菌が見られることから追求した結果、次のような結論に達することができた。

すなわち降雨中に雨滴とともに地面に落下したジャガイモ疫病菌 (*Phytophthora infestans* f. sp. *infestans* Waterhouse) の遊走子は、土壌中を滲透し塊茎に侵入するが、そののち晴天になり地温が上昇したために、疫病菌が死滅した結果、菌の侵入部付近に癒傷組織の形成がおこり、組織の増生による隆起のため表皮が破れて、粉状そうか病類似の病状を呈するに至ったものである。

ジャガイモ疫病菌は、32°C で36時間あるいは34°C で短時間で死滅するし、感染塊茎は28°C 以上におくと全然腐敗がおこらない。また本菌遊走子は、土壌中の水が流下している場合でも、また湛水状態にある場

合でも、よく土壌中を下降滲透することができる。また塊茎のクチクラは20°C の場合8時間で貫入することができる。

20°C で遊走子を接種し8, 12, 24時間保った塊茎を、34°, 36°, 40°Cに置きかえた場合や、塊茎を埋めた土壌に本菌遊走子けんだく液を注入し、20°C に2日および4日保ったのちに34°C の高温に置きかえた場合、いずれも14日後には畑で発生したものと同様の粉状そうか病類似の病状を発現した。次に遊走子で接種したのち、高温に置きかえた塊茎の接種患部の細胞組織におこる木栓質化と木質化は、1定日数後に呈色反応で調べた結果、ほぼ7日後からはじまり、14日後には顕著になる。なお細胞増生による癒傷組織形成も、ほぼ7日後から顕著になる。

以上の実験結果から、ジャガイモ疫病菌によっておこる粉状そうか病類似の病状が発現する機作を明らかにすることができた。

緒 言

ジャガイモ塊茎に粉状そうか病類似の病状を呈するものが、最近関西で目立って多くなっている^{7,8,9)}。筆者らが調査したかぎり病患部に *Spongospora* 菌が認められないから、明らかに粉状そうか病ではないようである。病徴は粉状そうか病と区別しにくい、初め表皮の部分に隆起を生じ、間もなくその部分で表皮が破れて、内部の灰白色粉状の観がある隆起状組織を裸出し、その裸出患部は掘り上げた後、間もなく褐変する。わが国で粉状そうか病が初めて発見されたのは北海道

^{2,3,11)}で、東北地方北部を含めた寒冷地で発生するとされており、またアメリカ¹⁰⁾では14°C 以下の地温の地方で発生するとされているから、関西地方の6~7月の高温季に粉状そうか病が発生することについては、疑問が持たれる。

筆者らは、本病々患部にしばしばジャガイモ疫病菌 *Phytophthora infestans* f. sp. *infestans* WATERHOUSE¹⁴⁾ の遊走子のうが認められたことから、本病菌による感染と発病の過程を追求した結果、本病害はジャガイモ疫病菌によって発現されたものであることを明らかにすることができた。すなわち、ジャガイモ疫病菌の遊

* 京都府立大学農学部植物病理学研究室業績第76号
Bull. No. 76 of Laboratory of Phytopathology, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Kyoto, Japan.

走子が降雨の際に土壌内深く滲透し、塊茎に侵入したのち晴天になり地温が上昇し、侵入菌が死滅したため、病菌侵入部付近に癒傷組織形成がおこり、外観上粉状そうか病に類似する病状を呈したものである。

なお本研究は文部省科学研究費の一部をもって行なったが、同研究費は北大教授宇井格生氏にお世話になった。また京都府経済連の小草勝正氏には研究材料を多数頂戴したが、併せ記して感謝の意を表したい。

1. ジャガイモ疫病菌の死滅温度

ジャガイモ疫病菌の菌糸は、4°C から26°C の間で発育し、19°C～20°C が発育適温であるとされている¹¹⁾。筆者らが供試した本菌O系統では、発育最高限界温度は28°C 付近であったが、やや低温を好む傾向を有する。

オートミル寒天培地で20°C 6日間発育せしめた菌そうを、第1表に示すような高い温度に移し、所定時

第1表 高温に保ったジャガイモ疫病菌々系の生存率(%)

処 理 時 間 (時)	処 理 温 度 (°C)			
	28	30	32	34
12	100	100	100	0
24	100	100	50	0
36	100	100	0	0
48	100	83	0	0
72	100	0	0	0

間保ったのち、ふたたび20°C に移してその生死を検定したが、生存率は第1表に示すように32°C、24時間にて50%であり、同36時間区では全部死滅した。なお本菌々系は32°C～34°C の温湯中で短時間後に死滅する。

2. ジャガイモ疫病菌を接種した塊茎の腐敗と温度

塊茎に疫病菌を接種したのち、腐敗が温度によって如何に影響されるかについて実験した。

塊茎は傷のないものを選び供試したが、毛筆の墨で塊茎表面に径約7mmの輪を描き、その中に本菌の遊走子のうけん濁液を滴下し、デシケーター湿室内に納め、20°C、24°C、28°C の3階級の定温器内に、それぞれ一定時間納めたのち調査した(第2表)。

その結果、20°C 区は病状がもっとも早くすみ、8日後には100%発病したが、24°C 区はやや遅く、8日後に70%、10日後に90%に達したのに対して、28°C 区は発病するものが1個もなかった。第1表の結果に

第2表 ジャガイモ疫病菌の遊走子による接種塊茎の腐敗に及ぼす温度の影響

温度 (°C)	経 過 日 数							
	1	2	3	4	5	6	8	10
20	5	10	17	48	78	97	100	100
24	0	0	5	30	40	64	70	90
28	0	0	0	0	0	0	0	0

(注) 表中の数字は接種個所30中の腐敗発生個所百分率(%)を示す

比べて、28°C における不発病は、接種した菌が発育抑制をうけたものと推定せられる。

次に塊茎の腐敗深度を測定した結果、20°C 区では1週間後に深さ1.5cm以上に達し、24°C では接種3日目から腐敗がはじまり、28°C では全く塊茎内部への病勢進行が認められなかった。

3. 疫病菌遊走子の土壌滲透

疫病に罹病した葉上の遊走子のうは、降雨中遊走子を生じ、これが雨水とともに落下した地中を滲透し塊茎に達する。赤井・田中¹²⁾は土壌の深さ0～5cmを滲透し、新生塊茎の罹病を原因するとした。なお桂・酒井⁵⁾は *Phytophthora capsici* の遊走子の土壌滲透について実験し、下方より上方へ2cmを滲透したとし、菌の純粋分離に応用した。

筆者らは、疫病菌遊走子の土壌内の流下状態と湛水状態との下降について実験したが、供試土壌は本学農場の壤土である。

i) 流下状態における場合

内径3.5cmのガラス管底に金網を固定し、その外側をティッシュペーパー4枚で覆い、所定量の土壌を入れて管底より水を補給し、土壌を飽和状態に保った。管底の水を取去り、時計皿で次の流下水を受けるようにした。投入する遊走子けんなく液の濃度は1視野(10×10)平均60個とし、管の上から10mlを注入した。時計皿に滴下した水中の遊走子の測定は、血球計算板によったし、土壌の深さは5、7.5、10cmの3区とし、実験はすべて20°Cの恒温室内で行なった。

その結果は、第3表に示すように、5cmの土壌の深さを23%、7.5cmを21%、10cmを10%が滲透し、流

第3表 ジャガイモ疫病菌遊走子の壤土中の流下滲透率(%)

土 壤 の 深 さ (cm)	5	7.5	10
遊走子の滲透率(%)	23	21	10

(注) 遊走子の滲透率 = 1視野平均 $\frac{\text{滲透数}}{60\text{個}} \times 100$

下状態ではかなり深いところまで遊走子が下降していくことが判った。

ii) 湛水状態における場合

前項の実験のガラス管底を、常に時計皿の水面に接するように保ち、管口上部より前項同様の遊走子濃度のけんだく液 3 ml を極めて静かに注ぎ、この状態では一応流水のないものとして、その後時間別に時計皿へ下降した遊走子を測定した (第4表)。すなわち、

第4表 土壌の飽和水液中における遊走子の下降滲透率 (%)

経過時間 (分)	土壌の深さ (cm)		
	5	7.5	10
10	6	0	0
20	10	3	0
40	15	10	7
60	25	15	8

遊走子の下降滲透は時間の経過とともに多くなるが、1時間後には土壌の深さ 5 cm を25%, 10cm を8%が滲透することができた。桂・宮田⁴⁾が遊走子の遊泳速度を測定した結果 $130\mu/\text{sec}$. としたが、その運動量はかなり大きい。したがって雨水とともに地上に落下した遊走子は、土壌中を深く滲透し比較的容易に塊茎に達するようである。

4. ジャガイモ疫病菌の接種による塊茎の粉状そうか病類似の病状発現

(1) 塊茎に対する遊走子接種の時間とそれの高温転換

疫病菌の遊走子が、被のう後発芽管により塊茎に侵入し、病変をおこしはじめてから一定時間経過したのち、それぞれ高温下に移した場合、粉状そうか病類似の病状が発現するかどうかについて、次の実験を行なった。

接種は 20°C に8, 12, 24時間保ち、高温下への転換は 34° , 36° , 40°C とした。接種に用うる遊走子の密

第5表 疫病菌遊走子を接種し一定時間後高温に移した塊茎の粉状そうか病類似の病状発現率 (%)

高温転換温度 ($^{\circ}\text{C}$)	20 $^{\circ}\text{C}$ における接種時間 (時)			標準
	8	12	24	
34	5	22	62	0
36	15	33	78	0
40	17	57	80	0

(注) 発現率 = $\frac{\text{カルス形成患部数}}{\text{接種個所総数}} \times 100$

第1図 ジャガイモ疫病菌遊走子を 20°C にて接種し一定時間後高温に移して発現せしめた粉状そうか病類似病状実験結果

A…… 36°C , 14日間を経過した病状

B…… 36°C , 7日目における塊茎表皮の隆起 (矢印)

C…… 36°C , 10日目における塊茎表皮の破裂初期 (矢印)

D……A図の部分拡大による病患部

度は、殺菌蒸留水 1 ml 中に 7~8 万個のけんだく液とし、塊茎に毛筆で墨の輪を記した中に、それぞれ 1 ml ずつ点滴接種し、20°C に保った。その後一定時間毎に高温に移し、14 日後に調査を行なった(第 5 表)。

なお供試塊茎は、無病畑の新しいものである。実験結果疫病菌によって粉状そうか病類似の病状を発現させることができた(第 1 図)。また本実験の範囲では接種後の時間が長いほど、また移した後の温度が高いほど、粉状そうか病類似の病状発現が多くかつ顕著になっている。

接種部位は、24 時間後においてはまだ肉眼的な病変が認められないが、侵入部付近の細胞には病変がはじまっている。その後高温下へ移したのち次第に接種部位に隆起が見られ、ついで表皮が破れて中から木栓質化ないし木質化したと見られる組織が露出し、いわゆる癒傷組織形成が観察されるが、この経過は粉状そうか病のそのの記載³⁾と同様のようである。

(2) 塊茎を埋めた土壌に対する遊走子接種と高温転換

塊茎を埋めた植木鉢土壌に、疫病菌遊走子けんだく液を注入接種し、土壌水分を飽和状態にして 20°C に保ち、2 日および 4 日後に 34±4°C の高温硝子室に移し、14 日後塊茎を掘起して調査した。供試土壌は、i) 無殺菌土壌(本学農場内ジャガイモ疫病発生跡地)、ii) 殺菌土壌(上記土壌を用う)、iii) 殺菌土壌+遊走子(殺菌水 1 ml に遊走子 3~4 万個けんだくした液を 10ml/1 植木鉢灌注)の 3 区とした。塊茎の位置は深さ 5~7cm ぐらいで、1 実験区 5 個を供試して実験した(第 6 表)。

第 6 表 疫病菌遊走子の接種土壌における粉状そうか病類似の病状発現

実験区別	20°C における接種期間	
	2日	4日
殺菌土壌	—	—
無殺菌土壌	+	+
殺菌土壌+遊走子	++	++

(注) +, ++ は粉状そうか病類似病状の発現程度。— は発現なし。

本実験の場合も疫病菌による粉状そうか病類似の病状を発現させることができた。病状の発現は遊走子を注入した区の方がはげしかったが、畑の無殺菌土壌によっても感染したことを示している。なお遊走子を注入した区で、塊茎の上面半分に類似病状が多く現われたのは、注入した遊走子が上から塊茎に達することをよく示しているようである。

5. 疫病菌の塊茎侵入と侵入菌死滅後の経時的細胞組織の変化

(1) 塊茎に対する疫病菌の侵入

PRISTOU ら¹²⁾は、ジャガイモ葉身で疫病菌の侵入が 20°C で 2~5 時間ではじまり、24~48 時間後には侵入菌糸付近の細胞が死ぬと報告している。筆者らは塊茎侵入について観察した結果、20°C で接種後 8~12 時間でクチクラ層を通過し、24 時間後に表皮下の細胞内ないし細胞間隙に伸展する。侵入はクチクラ貫入で、とくに細胞縫合部から細胞間隙にはいるものが多い。しかし内層の柔組織まで達した菌糸は、細胞膜を貫通し細胞内に侵入し得る。

第 7 表 疫病菌遊走子の塊茎侵入に要する時間

接種後の時間(時)	2	4	8	12	24
クチクラ侵入程度	—	—	±	+	++*

* 侵入菌糸周辺の細胞に病変が認められる。

(2) 疫病菌侵入部付近の細胞組織の癒傷組織形成

接種後侵入した菌糸は、高温転換後ほとんど死滅したが、高温転換後の細胞の変質について、色素による呈色反応をもって観察した。

墨で記した塊茎を 20°C の湿室に 24 時間保ち、その後 36°C に移し、室内の机上で 4, 7, 10, 14 日それぞれ放置し、菌侵入部位の細胞組織の色素による染色を調べた。染色は第 8 表に掲げる方法によったが、スタウトン法は細胞組織の変化と組織中の菌糸を同時に染色できるので選んだ。

第 8 表 疫病菌侵入後の塊茎細胞の変性呈色反応

調査事項	染色方法	36°C 処理期間				反応色
		4日	7日	10日	14日	
木栓質化	スダンⅢ	—	±	+	+	赤
	ミュンカ—ミン	—	+	+	+	青 紫
	塩化亜鉛ヨード液	—	±	+	+	董
	硫酸アニリン	—	+	+	+	黄
木質化	ヨードヨードカリ	+	+	+	+	黄 褐
	モイレ反応	—	+	+	+	赤
セルロース細胞膜木質化細胞膜	スタウトン法	—	—	±	+	黄 緑
		—	+	+	+	青

第 8 表の結果によると、木栓質に対する呈色反応は高温に移して 7 日目ごろから認められ、木質化は 4 ないし 7 日の間で認められた。解剖的には疫病菌の侵入

部位付近に細胞の異常分裂がはじまり、癒傷組織形成が認められるのはほぼ7日目ごろからであり、また細胞組織の増生による表皮クチクラの隆起(第2図, B)もこのころから認められる。さらに10目になると隆起部の表皮が破れ(第2図, C), さらに続いて増生がいちじるしくなり、14日目になるとほぼ充分な粉状そうか病類似の病状を発現するに至る。

6. 考 察

最近、近畿、中国、中部地方で、ジャガイモの粉状そうか病が問題になっているが^{7,8)}、筆者らの調査したかぎりでは病患部に *Spongospora subterranea* 菌の存在が認められないで、むしろ *Phytophthora infestans* f. sp. *infestans* の特長ある子実体がしばしば認められることから、本病がジャガイモ疫病菌によっておこるのではないとの疑問を生じた。すなわち種々の実験結果から次の結論を得るに至った。疫病罹病葉上の遊走子のうが、雨中で間接発芽して生じた遊走子は、雨滴とともに土壌面に落ちさらに土壌中を流下渗透し塊茎に達し侵入したのち、晴天になり地温が上昇したために、疫病菌の死滅ないし抑制がおり、その後侵入部位付近に癒傷組織の形成がおこったものである。

侵入菌糸は24時間後に侵入部位付近細胞の病変をおこしはじめ、やがて高温に転ずると菌の死滅ないし発育抑制がおり、侵入部位付近の病変が停止し、収穫時なお活力の大きい塊茎は癒傷組織形成に転じ、組織の増生がおり隆起して表皮が破れるから、外観上粉状そうか病と同様な病状を呈するに至ったものである。

ジャガイモ疫病菌遊走子は、赤井¹⁾、桂⁴⁾が実験したように土壌中をよく渗透するが、筆者らが本実験で行なった結果から、土壌の10cmの深さを渗透することは比較的容易である。また塊茎侵入は8時間後にはじまっている。

疫病菌遊走子は KNOTSON⁹⁾によれば、葉で接種後4時間ぐらいで侵入するとし、富山¹⁰⁾は2時間でおきるとしたが、筆者らが行なった塊茎に対するクチクラ侵入は、20°C で8時間余を要した。侵入菌が細胞の病変をおこすのは24時間ぐらいののちと観察したが、PRISTOU¹²⁾は葉において48~72時間で細胞が死ぬことを報じたのは少しく時間的に長すぎる。

このように塊茎侵入後間もなく晴天になり土壌温度

が上昇すると、高温に弱い疫病菌はあるものは死滅し、またあるものは発育抑制がおきるようである。本菌の発育最高限界温度は26°C 付近であり、28°C に置かれた接種塊茎は全く腐敗しない。地温が34°C 以上に達すると、本菌は短時間で死滅するが、6~8月の高温期に地温が太陽輻射熱によって34°C あるいはそれ以上に上昇することは容易である。ゆえに侵入後死滅した本菌の侵入部位に、なお収穫前後の活性大なる塊茎は、旺盛に癒傷組織を形成するから、その結果、菌侵入部位付近の組織の隆起がおり、表皮が破れるために、あたかも粉状そうか病と類似の病状を呈するに至ったものである。

したがって本病状の発生については、病患部を充分に調査し *Spongospora* の有無を確かめて、防除の誤りがないようにしなければならない。

(1967.11. 8受理)

引 用 文 献

- 1) 赤井 純・田中一郎(1959): 日植病報, **24**, p. 22.
- 3) 浅野茂義・伊藤茂郎(1955): 同上, **19**, p. 174.
- 3) 明日山秀文(1954): 同上, **19**, p. 28.
- 4) 桂 琦一・宮田善雄(1966): 京都府大学報・農, **18**, p. 51-56.
- 5) 桂 琦一・酒井泰文(1967): 関西病研報, **9**, p. 102-103.
- 6) KNOTSON, K. and C. J. EIDE(1957): *Phytopath.*, **47**, p. 21.
- 7) 神戸植物防疫所(1960): 神戸植防報, **223**, 60-113.
- 8) —————(1964): 同上, **372**, 64-109.
- 9) 京都府植物防疫推進協議会(1966): 病虫害防除技術展示ほ場成績書, 昭和41年.
- 10) MELHUS, I. E.(1916): *Jour. Agr. Res.*, **7**, p. 213-254.
- 11) 成田武士・宇井格生・竹内昭士郎・舟山肇(1956): 日植病報, **21**, p. 34.
- 12) PRISTOU, R. and M. E. GALLEGLY(1954): *Phytopath.*, **44**, p. 81-86.
- 13) 酒井隆太郎(1955): 日植病報, **19**, p. 178.
- 14) WATERHOUSE, G. M.(1963): *Myc. Papers*, **92**, pp. 12, *Commonw. Mycol. Inst.*

Summary

Powdery scab like disease of potato tuber has been known recently in the field of potato during the harvest season.

Instead of the fungus *Spongospora*, the sporangia and sporangiophores of late blight fungus, *Phytophthora infestans* f. sp. *infestans* WATERHOUSE were sometimes observed on the affected part of potato tuber.

Our investigations come to the following conclusion. The zoospores of the fungus drop to the ground from the diseased leaves in the rain and after passing through the soil they arrive soon at the surface of tuber. As the climate changed to fine and soil temperature in the field became higher than 34°C after the zoospores penetration into tuber epidermis the organisms in the tuber might probably die and consequently the callus formation would be induced in the infected tissues. The epidermis on the tissues of callus will then be burst. As the result of this curing phenomenon appearances of the lesion bear a close resemblance to the powdery scab of potato tuber.

The fungus of late blight of potato dies within 36 hrs of incubation at 32°C or at once at 34°C. No rotting of the infected tuber has so far been observed by the incubation at 28°C. The zoospores can pass through the soil, regardless of whether water in the field is kept running down or stationary. Cuticular penetration of the tuber by the zoospore takes about 8 hours at 20°C. All these observations seems to substantiate the above conclusion.

To further testify the above conclusion, the following experiments were carried out: potato tubers directly inoculated with zoospore suspension at 20°C for 8, 12, 24 hrs were incubated respectively at 34°, 36°, 40°C. Another batch of potato tubers was buried in soil, inoculated with zoospore suspension, kept at 20°C for 2 and 4 days; and then incubated at 34°. All the tubers thus incubated showed the powdery scab like symptom bearing lessions as had been found in potato field.

Histochemical analysis of the symptom development suggested that lignification and suberisation of the infected tissue of potato were initiated by about 7 days after inoculation and reached to the maximum by 14 days inoculation. Callus formation seems to become remarkable by 7 days after inoculation.