

イネもみ枯細菌病の発生生態と防除

財団法人岩手生物工学研究センター ひき
曳 ち
地 やす
康 ふみ
史

1955年に福岡県で発生が確認されたイネもみ枯細菌病は、当初、九州地域を中心とした西南暖地で変動の激しい発生を繰り返していた(栗田・田部井, 1967; 茂木, 1984)。本病の発生は、1970年代になると全国的に確認されるようになった。病徴は、主に出穂後の穂に認められ、小穂基部で淡黄色～褐色の病変として現れ、急速に小穂上部へ拡大する。着生小穂の多くが不稔もしくは稔実が不完全になるため、穂は傾穂せず直立する(口絵写真①)。

1974年に福島県で発生が確認されたイネ苗腐敗症は、東北地方や北陸地方などで発生が認められていたが、機械移植の普及とともに各地に広がり、現在では日本全国で発生が確認されている(植松ら, 1976 a, b)。病徴はまず、催芽時の幼芽や出芽時の鞘葉に認められ、罹病した幼芽はあめ色に変色し腐敗する(口絵写真②)。腐敗せずに残った幼苗の鞘葉や新葉は褐色となったり白く退色する。腐敗苗が発生した育苗土壌は悪臭を発する。

両病害は、イネもみ枯細菌病菌 (*Pseudomonas glumae*) によって引き起こされる種子伝染性の難防除病害である。両病害の発生生態や *P. glumae* の発病機構に不明な点が多く、卓効を示す薬剤が数少ないことから、十分な防除に至っておらず、防除対策の確立が早急な課題となっている。

キノロン系合成化合物オキシソリニック酸 (Oxolinic acid) は、植物病原細菌の中でもグラム陰性細菌、特に *Erwinia* 属菌や *P. avenae*, *P. glumae*, *P. plantarii* 及び *P. solanacearum* など一部の *Pseudomonas* 属菌に高い抗菌活性を示す(HIKICHI et al., 1989; HIKICHI, 1993 a)。オキシソリニック酸は *in vitro* において誘導期の *P. glumae* に殺菌作用を、対数増殖初期に増殖抑制効果を示すが、対数増殖中期以降に対する抗菌活性は低い。オキシソリニック酸による種もみ浸漬処理はイネ苗腐敗症に、出穂期の噴霧処理はイネもみ枯細菌病に高い防除効果を示す。

本報において、イネ体に生存する *P. glumae* 菌数の推移と発病との関係を中心としたイネ苗腐敗症とイネもみ枯細菌病の発生生態と、オキシソリニック酸を用いた防除体系の確立について筆者が行った検討結果を報告する。

なお、イネ組織の名称は星川(星川, 1975)の記載に準拠した。また、乳鉢と乳棒を用いて磨砕した組織懸濁液中の *P. glumae* 菌数を S-PG 培地(對馬ら, 1986)を用いて平板希釈法にて求め、その値からイネ各組織に生存する *P. glumae* 菌数を算出した。

I イネ苗腐敗症の発生生態

イネ苗腐敗症の発生生態、特に *P. glumae* 感染に対するイネ幼苗の感受性や発生環境に関して数多くの研究が行われている(諏訪ら, 1982; 遠藤, 1987)。しかし、*P. glumae* 自然感染種もみを用いた画一化した試験方法が確立されていなかったために、不明な点が数多く残されている。そこで、*P. glumae* 自然感染種もみを用いて安定して高い発病率を示す試験系をまず確立し、*P. glumae* 増殖量と発病との関係について、対照区としてオキシソリニック酸による浸漬処理を行った種もみを用いて検討した。また、フルオレセインイソチオシアネート (FITC) で標識した *P. glumae* に対する蛍光抗体を用いて *P. glumae* の感染部位に関する検討も行った。

P. glumae 自然感染種もみを用いて、育苗温度とイネ苗腐敗症の発病との関係について検討した(曳地, 1993 b)。浸種、催芽及び出芽を 20°C で行うと発病率は 4 と低く、種もみ、幼芽、鞘葉及び根に生存する *P. glumae* 菌数は $1 \times 10^6 \sim 6 \times 10^7$ colony forming unit/g fresh

表-1 育苗期において催芽と出芽の温度が異なった場合のイネ幼苗に生存するイネもみ枯細菌病菌の菌数

時期	部位	cfu/g fresh weight	
		30°C ^{a)}	20°C ^{b)}
浸種前	種もみ	2×10^6	2×10^6
浸種後	種もみ	1×10^7	1×10^6
催芽後	種もみ	2×10^8	6×10^6
	幼芽	1×10^{10}	1×10^8
出芽後	種もみ	5×10^7	1×10^7
	鞘葉	2×10^9	6×10^7
	根	7×10^8	8×10^6
播種7日後	種もみ	1×10^7	8×10^6
	葉身と葉鞘	5×10^8	2×10^7
	根	1×10^8	2×10^6

a) 浸種を 20°C、催芽と出芽を 30°C、緑化以降は温室内で育苗

b) 浸種から出芽まで 20°C、緑化以降は温室内で育苗

表-2 イネ幼苗に生存するイネもみ枯細菌病菌の菌数に及ぼすオキシソリニック酸による種もみ浸漬処理の影響

時 期	部 位	cfu/g fresh weight			
		無処理	浸種前処理	催芽前処理	播種前処理
浸種前	種もみ	3×10^6	3×10^6	3×10^6	3×10^6
処理後	種もみ		9×10^5		
浸種後	種もみ	1×10^8	3×10^6	1×10^8	1×10^8
処理後	種もみ			2×10^7	
催芽後	種もみ	1×10^8	2×10^6	2×10^6	1×10^8
	幼芽	2×10^{10}	2×10^6	2×10^6	2×10^{10}
処理後	種もみ				8×10^7
	幼芽				1×10^{10}
出芽後	種もみ	4×10^8	2×10^6	2×10^6	9×10^6
	鞘葉	9×10^9	5×10^6	5×10^5	8×10^9
	根	3×10^8	4×10^4	3×10^4	4×10^8
播種7日後	種もみ	1×10^8	8×10^5	1×10^6	2×10^6
	葉身と葉鞘	6×10^8	9×10^5	2×10^5	4×10^8
	根	3×10^7	5×10^4	1×10^4	5×10^7

weight (cfu/g) となった (表-1)。一方、催芽と出芽を 30°Cで行うと発病度は 38 と高く、催芽後の幼芽と出芽後の鞘葉に生存する *P. glumae* 菌数はおのおの 1×10^{10} と 2×10^9 cfu/g と著しく増加した。浸種前と催芽前の種もみをオキシソリニック酸液に浸漬処理 (10,000 ppm, 10 分間) したところ、発病度はおのおの 3 と 1 となり、*P. glumae* 菌数の推移に大きな変化は認められなかった (表-2)。播種前の種もみをオキシソリニック酸液で浸種処理したところ、発病度は無処理区の 25 と同等の 19 となった。*P. glumae* 菌数は無処理区と同様の推移を示し、出芽後の鞘葉に生存する *P. glumae* 菌数は 8×10^9 cfu/g となった。

FITC で標識した *P. glumae* に対する抗体で穎と幼芽の切片を染色し、蛍光顕微鏡下で観察した (HIKICHI et al., 1995 a)。*P. glumae* は、浸種前の内穎・外穎の表皮や柔組織と、催芽後の幼芽の表皮に認められた (口絵写真 ③a)。浸種前の種もみをオキシソリニック酸に浸漬処理したところ、催芽後の幼芽には *P. glumae* は認められなかった (口絵写真 ③b)。

P. glumae の感染に対する幼苗の感受性は、浸種前後がとくに高く、感染する *P. glumae* 菌濃度が高いほど高い発病度を示した (曳地, 1993 c)。播種後日数を経るにしたがって、幼苗の感受性は低下した。育苗箱の中央に *P. glumae* 接種種もみを、その周囲に健全種もみを播種したところ、接種種もみを中心としてイネ苗腐敗症の発病が坪状に拡大した。接種種もみの周囲にオキシソリニック酸処理種もみを播種したところ、発病は接種種もみ部分に限られた。

以上の結果から、イネ苗腐敗症の発病は催芽と出芽を高温で行うことに依存しており、催芽時の幼芽表皮に生存する *P. glumae* 菌数の著しい増加と出芽時の鞘葉における高い菌数の推移が、イネ苗腐敗症の発病の重要な要因であることが明らかとなった。また、出芽までの育苗過程において、感染種もみから周囲の健全種もみに *P. glumae* が二次感染し、発病が拡大することが明らかとなった。

II イネもみ枯細菌病の発生生態

イネ体に生存する *P. glumae* 菌数の推移について、松田ら (1987) と乙藤ら (1988) によって検討が行われているが、イネもみ枯細菌病の発病との関係について明らかにされていない。*P. glumae* の小穂での増殖と発病と、小穂の開穎と登熟との関係及び圃場における発生生態については、筆者の報告とともに對馬ら (1987, 1991 a, b, 1995) の報告がある。

オキシソリニック酸による浸漬処理した *P. glumae* 接種種もみを育苗し、見掛け健全苗を圃場に移植した。最高分けつ期までは、下位葉鞘と根に $5 \times 10^3 \sim 3 \times 10^4$ cfu/g の *P. glumae* の生存が認められた (HIKICHI, 1993 d)。穂ばらみ期には次葉葉鞘で、出穂期には止葉葉鞘や小穂において *P. glumae* の生存が確認された (表-3)。小穂に生存する *P. glumae* 菌数は穂ぞろい期には 8×10^6 cfu/g と増加し、出穂期 23 日後のイネもみ枯細菌病の発病度は 12 となった。最高分けつ期に *P. glumae* 菌液 (10^8 cfu/ml) を 2 回噴霧接種したところ、穂ばらみ期から止葉葉鞘や小穂において *P. glumae* の生存が確認され、穂ばら

表-3 穂ばらみ期以降のイネ体に生存するイネもみ枯細菌病菌の菌数の推移

生育時期	部位	cfu/g fresh weight			
		無接種		接種 ^{a)}	
		処理 ^{b)}	無処理	処理	無処理
穂ばらみ期 (出穂期 8 日前)	小穂	<1×10 ²		4×10 ³	
	止葉葉鞘	1×10 ²		4×10 ⁴	
	次葉葉鞘	3×10 ²		2×10 ³	
	下位葉鞘	1×10 ³		1×10 ⁴	
	根	3×10 ⁵		4×10 ⁴	
出穂期 2 日前	小穂	1×10 ³		4×10 ⁵	
	止葉葉鞘	2×10 ³		5×10 ⁴	
	次葉葉鞘	1×10 ³		6×10 ³	
	下位葉鞘	1×10 ⁴		8×10 ⁴	
	根	7×10 ⁴		1×10 ⁴	
穂ぞろい期 (出穂期 6 日後)	小穂	4×10 ³	8×10 ⁶	1×10 ⁵	2×10 ⁹
	止葉葉鞘	1×10 ³	8×10 ⁴	5×10 ³	3×10 ⁵
	次葉葉鞘	1×10 ²	1×10 ³	6×10 ²	5×10 ⁴
	下位葉鞘	2×10 ³	1×10 ³	2×10 ⁴	1×10 ⁴
	根	4×10 ³	3×10 ⁴	3×10 ⁴	6×10 ⁴
収穫期	もみ	8×10 ²	5×10 ⁶	2×10 ⁵	6×10 ⁸

a) 最高分げつ期にイネもみ枯細菌病菌の菌液 (10⁶ cfu/ml) を噴霧接種した。

b) 出穂期 2 日前にオキシリニック酸 200 ppm 液を噴霧処理した。

み期から出穂期にかけて上位葉鞘に生存する *P. glumae* 菌数が増加した (表-3)。出穂期以降, 小穂に生存する *P. glumae* 菌数が著しく増加し, 穂ぞろい期には 2×10⁹ cfu/g となり, 発病度は 38 となった。

オキシリニック酸液 (200 ppm) を出穂期に噴霧処理したところ, 最高分げつ期における *P. glumae* 接種の有無にかかわらず, 出穂期から穂ぞろい期にかけての小穂における *P. glumae* 菌数の増加が抑制され, 無接種区と接種区の発病度はそれぞれ 0 と 3 となった (表-3)。

以上の結果から, 出穂期から穂ぞろい期にかけての小穂に生存する *P. glumae* 菌数の増加が, イネもみ枯細菌病の発病に重要な要因であることが明らかとなった。小穂に生存する *P. glumae* 菌数の増加は, 穂ばらみ期から出穂期にかけての上位葉鞘に生存する *P. glumae* 菌数に相関が認められ, 上位葉鞘に生存する *P. glumae* 菌数は最高分げつ期に *P. glumae* を接種することによって増加した。

開花 8 日前から 5 日後の小穂に *P. glumae* 菌液を噴霧接種したところ, 開花直前に接種を行った場合に高い発病小穂率を示した (HIKICHI, 1994)。開花日にオキシリニック酸を噴霧処理したところ, 発病小穂率の著しい低下が認められた。FITC で標識した *P. glumae* に対する抗体で小穂の切片を染色したところ, *P. glumae* が, 無処

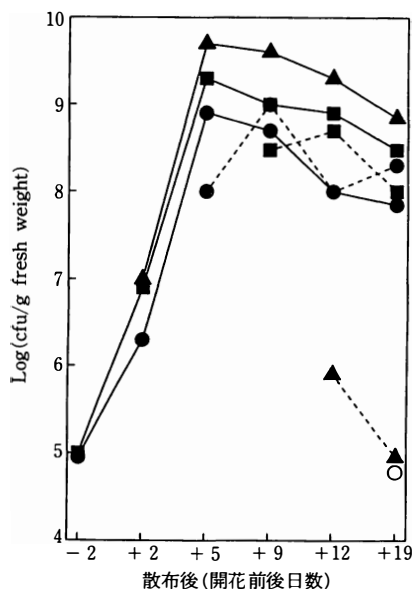


図-1 注入接種したイネもみ枯細菌病菌の小穂内での増殖

注入日 ●: 開花 8 日前, ■: 4 日前, ▲: 2 日前, ○: 開花 2 日後, ●: 5 日後, ▲: 9 日後, ○: 12 日後

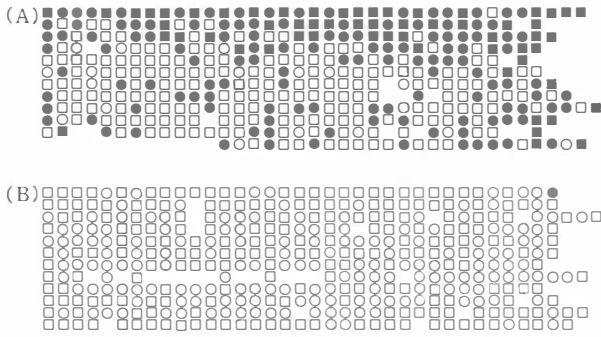


図-2 圃場におけるイネもみ枯細菌病の発生の拡大
 (A)無処理, (B)出穂期2日後にオキシリニック酸
 200 ppm 液を噴霧処理
 株当たりの発病度 ○: 0, ●: 0~10, □: 10~20,
 ■: 20~

理小穂の穎の表皮に多数認められたが、オキシリニック酸処理した小穂では認められなかった(口絵写真④a, b)。開花前後の小穂内に *P. glumae* 菌液 1×10^3 cfu/ml を 1μ l 注入したところ、小穂内における *P. glumae* 菌数は開花日から9日後にかけて著しく増加した(図-1)。*P. glumae* を小穂内に注入接種した場合、オキシリニック酸処理による防除効果は認められなかった。小穂内におけるデンプン生合成は開花直後から約10日間行われており(NAKAMURA et al., 1989), *P. glumae* はシュクロース、トリオースリン酸及びデンプン以外の遊離糖含有培地内で増殖した。

すなわち、*P. glumae* の小穂内への侵入は、主に小穂の開花(開穎)時に行われており、小穂内への侵入に穎の表皮に生存する *P. glumae* 菌数が大きな影響を与えていた。小穂内における *P. glumae* の増殖には、デンプン生合成系の中間代謝物質である遊離糖の集積が関与しており、*P. glumae* は開花直後から約10日間小穂内で著しく増殖し、イネもみ枯細菌病が発病すると考察された。

圃場におけるイネもみ枯細菌病の発生は、発病小穂率が高い重症穂を多く持つ株を中心に坪状に拡大する。圃場全体の穂の40%が出穂した出穂期に *P. glumae* を接種すると、高い発病小穂率が認められること、及び圃場全体の穂が出穂するには約2週間を有することから、イネもみ枯細菌病の圃場における発生の拡大と出穂とに密接な関係があることが示唆されている。そこで、最高分けつ期に *P. glumae* 菌液 (10^8 cfu/ml) を接種した圃場のイネの全穂の発病小穂率と出穂日及び全小穂の開花日を調査した(HIKICHI, 1995 b)。

高い発病小穂率を示す重症穂を多く有する株の周囲に、坪状に発病度が低い株が存在した(図-2)。1/3以上

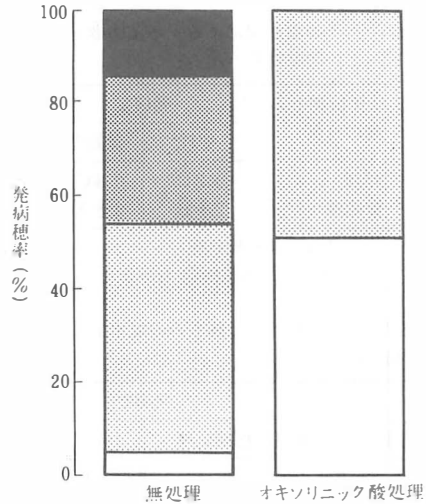


図-3 圃場におけるイネもみ枯細菌病の穂当たりの発病小穂率
 茎当たりの発病小穂率 □: 0%, □: 0~10%,
 ■: 10~33%, ■: 33%~

の小穂が発病している穂が約20%、1/10~1/3の小穂が発病している穂が25%あり、圃場の発病度は12.3となった(図-3)。穂当たりの出穂日と発病の拡大に明確な傾向は認められなかった。

約70%の小穂が未開花もしくは開花中の出穂期2日後に、オキシリニック酸液を噴霧処理したところ、約50%の穂に発病が認められず、残りの穂の発病小穂率も10%未満と、発病小穂率が著しく低下し、圃場の発病度は1.1となった。小穂内への *P. glumae* の侵入は主に開花時に行われている。オキシリニック酸液の出穂期処理によって、小穂の穎表皮に生存する *P. glumae* 菌数が著しく減少し、小穂内への *P. glumae* の侵入頻度を著しく低下させるためにイネもみ枯細菌病に対して高い防除効果が認められる。すなわち、圃場におけるオキシリニック酸の防除効果は、処理前に開花した小穂内に感染した *P. glumae* の周囲の小穂への二次感染の抑制によることが示唆された。以上の結果から、開花の早い小穂に感染した *P. glumae* が、周囲の開花の遅いもみへ二次感染することによって、圃場におけるイネもみ枯細菌病の発生は坪状に拡大すると考察された。

III 防除体系の確立

種子伝染性の病害であるイネもみ枯細菌病に対する総合的な防除体系を考えるうえで、健全種もみの確保は必須である。薬剤による化学的防除は、*P. glumae* 菌数の増加を抑制することによってイネ苗腐敗症やイネもみ枯細

表-4 オキシリニック酸処理と種もみの塩水選によるイネ苗腐敗症の防除効果

2年目種もみ処理の有無	発病度	
	処理 ^{a)}	無処理
処理	0.2 C ^{b)}	0.3 C
無処理	2.9 B	9.8 A

a) 1年目出穂期処理

b) ダンカン多重検定 (p=0.05)

表-5 オキシリニック酸処理と種もみの塩水選によるイネもみ枯細菌病の防除

2年目出穂期処理の有無	発病度			
	1年目出穂期処理		1年目出穂期無処理	
	2年目種もみ処理	無処理	2年目種もみ処理	無処理
処理	0.1 D ^{a)}	0.9 CD	1.0 CD	1.2 CD
無処理	2.4 BC	3.7 B	4.1 AB	5.8 A

a) ダンカン多重検定 (p=0.05)

菌病に対して高い防除効果を示す。また、種もみの塩水選によって稔性の低い、感染菌数の高い種もみは除去できる。しかし、いずれの防除も単独では *P. glumae* の伝染環を遮断できない。そこで、健全種もみの確保を目的として、オキシリニック酸による出穂期処理と種もみ浸漬処理、及び種もみの塩水選を組み合わせた防除体系を2か年にわたって行った(曳地・江上, 1995c)。

最高分けつ期に *P. glumae* を噴霧接種し、出穂期にオキシリニック酸液(200 ppm)を噴霧処理し、収穫もみを低温保存した。翌年、種もみを比重1.13の硫酸アンモニウム溶液で塩水選後、オキシリニック酸液(1,000 ppm)に24時間浸漬処理した。育苗・移植後、出穂期にオキシリニック酸液を噴霧処理した。

オキシリニック酸処理と種もみの塩水選による体系防除を行った区の2年目のイネ苗腐敗症とイネもみ枯細菌病の発病度は、無処理区のみならずオキシリニック酸の単一処理区と比べて有意に抑制された(表-4, 5)。体系防除区の2年目の収穫もみに生存する *P. glumae* 菌数は 3×10^2 cfu/g となった(表-6, 検出限界値 10^2 cfu/g)。オキシリニック酸処理による *P. glumae* の増殖抑制と、種もみの塩水選による汚染程度の激しい種もみの除去によって、2年目の収穫もみに生存する *P. glumae* 菌数が激減したと考えられた。本防除体系によって、イネもみ枯細菌病とイネ苗腐敗症に対して高い防除効果が得られたばかりでなく、収穫もみや種もみに生存する *P. glumae* 菌数を著しく減少させることができ、次世代へ

表-6 オキシリニック酸処理と種もみの塩水選による収穫もみに生存するイネもみ枯細菌病の菌数への影響

2年目出穂期処理の有無	cfu/g fresh weight			
	1年目出穂期処理		1年目出穂期無処理	
	2年目種もみ処理	無処理	2年目種もみ処理	無処理
処理	3×10^2	5×10^4	5×10^4	7×10^4
無処理	1×10^5	6×10^6	9×10^6	1×10^7

の *P. glumae* の伝搬を最小限にとどめることができた。

近年、稲作体系の変化、種もみの流通および地域独自の品種の導入時の感染の有無の未確認などによって、種もみにおける *P. glumae* 感染が多く認められるようになり(口絵写真⑤)、イネもみ枯細菌病とイネ苗腐敗症の発生は全国各地で確認されるようになった。両病害のような種子伝染性の難防除病害に対する防除対策として重要なのは、伝染環の遮断とそれに伴う健全種子の確保である。本報で報告した防除体系を基本として、両病害に対する総合的な防除法が構築されることを望みたい。

研究遂行に当たり、貴重なご助言をいただいた加藤 肇博士と對馬誠也博士、共同研究を行っていただいた古澤巖博士と奥野哲郎博士、及び本報をご校閲いただいた鈴木一実博士にお礼申し上げる。

引用文献

- 1) 遠藤頼嗣(1987): 第14回植物細菌病談話会講演要旨集 pp. 1~6.
- 2) HIKICHI, Y. et al. (1989): Jpn. Pesticide Inf. 55: 21~23.
- 3) ——— (1993 a): Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 59: 369~374.
- 4) 曳地康史(1993 b): 日植病報 59: 441~446.
- 5) ——— (1993 c): 同上 59: 447~451.
- 6) HIKICHI, Y. (1993 d): J. Pesticide Sci. 18: 319~324.
- 7) ——— et al. (1994): ibid. 19: 11~17.
- 8) ——— et al. (1995 a): Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 61: 134~136.
- 9) ——— (1995 b): J. Pesticide Sci. 20: 329~331.
- 10) 曳地康史・江上 浩(1995 c): 日植病報 61: 405~409.
- 11) 星川清親(1975): イネの生長, 農山漁村文化協会, 東京, 317 pp.
- 12) 栗田年代・田部井英夫(1967): 日植病報 33: 111.
- 13) 松田 泉・佐藤善司(1987): 同上 53: 122.
- 14) 茂木静夫(1984): 農及園 59: 679~682, 782~788, 899~903.
- 15) NAKAMURA, Y. et al. (1989): Plant Cell Physiol. 30: 833~839.
- 16) 乙藤まりら(1988): 九州病虫研報 34: 1~4.
- 17) 諏訪正義ら(1982): 岩手農試研報 23: 1~16.
- 18) 對馬誠也ら(1986): 日植病報 52: 253~259.
- 19) ———ら(1987): 同上 53: 663~667.
- 20) TSUSHIMA, S. et al. (1991 a): Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 57: 145~152.
- 21) ——— et al. (1991 b): ibid. 57: 180~187.
- 22) ——— et al. (1995): ibid. 61: 109~113.
- 23) 植松 勉ら(1976): 日植病報 42: 310~312.
- 24) ———ら(1976): 同上 42: 464~471.