

벼키다리 病原菌인 *Fusarium moniliforme*의 菌株特性에 依한 Strain 分類

成載模 · 梁成錫 · 李銀鍾 · *朴鍾聲

農村振興廳 農業技術研究所 · *忠南大學校 農科大學

Classification of *Fusarium moniliforme* Isolates into Four Strains Based on Mycological Characteristics

Jae Mo Sung, Sung Suk Yang, Eun Jong Lee and Jong Seong Park*

Department of Plant Pathology, Institute of Agricultural Sciences, O.R.D.

Suweon 170, and *College of Agriculture, Chungnam National

University, Daejeon, 300-01, Korea

Abstract: For the classification of 531 isolates of *Fusarium moniliforme* from infected rice plants, five criteria were employed for clarifying the mycological difference from I to IV based on host symptoms, conidial formation, septate of macroconidia, color of mycelium on the culture, and fungicide response. Four strains I, II, III, and IV were detected and Strain IV was the most prevalent one. Based on mycological characteristics, macroconidia with 6 or 7 septate were mostly produced by Strains I and II. Four septate macroconidia were mostly formed by Strain III while Strain IV mostly formed 3 septate macroconidia. Strain I was reddish purple (5RP 5/4) on both the bottom and the surface of the media. Strain II produced reddish purple (5RP 3/2) on both the bottom and the surface of the media. Strain I produced mostly macroconidia in pionnotes on the media surface while Strain II produced mostly microconidia in pionnotes on the media surface. Both of Strain III and IV produced mostly macroconidia in sporodochia on the surface of the mycelium. Strain IV was less reduction of germination and caused abnormal elongation of all parts of the plants, but did not kill the plants in nursery boxes. Strain III killed fewer plants than Strain IV. As above results, isolates of *F. moniliforme* were classified into four strains I, II, III, and IV, on the basis of five criteria.

Keywords: *Fusarium moniliforme*, Classification, Rice plants, Conidia, Macroconidia, Septation, Mycelium.

*Fusarium moniliforme*은 벼키다리病과 옥수수 이삭
색음病을 일으키는 외에 사탕수수를 포함한 여러가지
作物에 病을 일으키는 重要한 病原菌으로 알려졌다
(Booth, 1971; Christensen and Wilcoxson, 1966;
Hoetal, 1981. Matuo and Yoshii, 1976; Matuo and
Matsuda, 1980. Voorhers 1933). 이 病原菌은 Wollen-
weber and Reinking (1936)에 의하여 亞屬 *Liseola*로
3種 3變種으로 하였든 것을 Snyder and Hansen(1945)
에 의하여 *Fusarium moniliforme*種으로 統合되었다가

Booth(1971)에 의하여 이 病原菌과 *F. moniliforme*
var. *subglutinans*로 區分하였다. *F. moniliforme*는
Heterothallism이므로 自然狀態에서는 完全世代가 잘
形成되지 않은 것으로 알려져 왔으나(Chang and Sun,
1975; Sun and Snyder, 1981; Wineland, 1923) Saw-
ada(1917)에 의하여 처음으로 發見하여 報告된 이래
Taiwan (Kurosawa 1929; Sun and Snyder, 1981) 한국
(Sung and Snyder, 1977), 日本(Mutsuo, 1976; Wat-
anabe and Umehara, 1977)에서 報告된 바 있다. 이

病原菌에 의한 病原性的 分化에 對하였서는 Matuo *et al* (1976)이 寄主를 달리하여 分離된 各 菌株를 가지고 形態的 特性과 Gibberellin 과 Fusarin의 生成에 依한 벼 幼苗가 菌株別로 反應을 달리하는 菌株를 報告하였다 (Wineland, 1924).

1981년부터 1983년까지 벼키다리病에 罹病된 벼에서 分離된 菌株를 가지고 各菌株에 나타난 形態 및 生理的 特性에 따라 4가지 Strain으로 나누어 病原성을 檢定한 結果 서로 다른 反應을 나타내는 結果를 얻었기에 報告하는 바이다.

材料 및 方法

벼키다리病에 罹病된 벼를 採集하여 實驗室에서 물로 깨끗이 씻은 후에 1% sodium hypochloride로 表面 殺菌한 줄기와 뿌리를 5 mm길이로 잘라 2% Water agar나 P.C.N.B agar위에 놓고 罹病된 줄기나 뿌리에서 菌絲가 자라게 20°C 항온기에 두고 자란 菌絲의 가장자리를 떼어 PDA에 移植시켜 20°C 항온기에 一週日 둔 다음 形成된 病原菌의 propagule을 다시 單孢子 分離하여 各 Strain의 分離比率를 나타내었다. 培養性 質과 孢子形態에 對하여서는 單孢子分離된 菌株를PDA에 놓은 다음 菌絲의 자람 氣中菌絲의 色을 調查하고 孢子的 크기를 調查하였다. 小型分生孢子의 形態는 Water agar에서 24시간후부터 孢子形成關係를 調查하였다. Strain별 살균제에 對한 저지效果를 보기 위하여 PDA에 Strain별로 孢子를 희석한 다음 紗리에 붓고 P₂₄₂ 등 3개 藥劑의 液에 8mm cork borer로 자른 여과 지를 잘라 PDA위에 놓고 一週日後 저지效果를 調查하였다. 病原性檢定은 秋青벼와 密陽 23號를 供試하여 부산 30(2-(thio cyano methyl thio) benzothiazole)을 使用하여 消毒한 後 20°C 항온기에서 5일간 침종하여 28°C에서 2日間 發芽시킨 種子를 使用하였다. 接種源은 Strain별로 Cornmeal Sand Mixture(Cornmeal 15g Sand 485g 물 120ml) (Sung *et al.* 1982)에 移植하여 자라게 한 다음 乾熱殺菌된 흙과 1 : 30로 섞어 床土를 만든 다음 種子를 播種하여 30°C 濕室床에서 發芽가 均 一하게 하기 위하여 2日間 둔 다음 녹화시키기 위하여 日射光線이 쪼이지 않는 그늘에서 2日間 경화시킨후 苗床에서 20일후에 苗立枯率을 調查하였다.

結 果

Fusarium moniliforme Strain별 分離比率

各 地方에서 採集된 罹病株에서 分離된 531菌株를

가지고 4 Strain으로 分類한 結果 Table I에서와 같이 모든 Strain이 다 分類되었으며 총분리된 531菌株중 Strain IV가 420菌株가 分類되어 우리나라에 가장 많 이 存在하는 Strain으로 알려졌다.

分生孢子時代의 培養性質과 形態

1. 培養性質

各 Strain을 1.8%설탕가용 PDA培地에 移植하고 20°C 恒溫期의 光狀態에서 培養하여 생기는 色素와 發育型에 關하여 調查하였다.

各 Strain의 色素形成을 Table II에서 보면 Strain I 은 圓型的 자주빛을 띤 帶를 이루고 培地表面에 pionnotes type의 孢子堆를 形成한다. Strain II는 진한 보라 빛으로 變하고 I 번과 마찬가지로 pionnotes type의 孢子堆를 形成하는데 大部分이 小型分生孢자를 形成하는 것이 特徵이다. Strain III은 紗리의 밑이 보라빛을 띤 나 氣中菌絲는 노란색을 띤 붉은색으로 sporodochia type의 孢子堆를 形成한다. IV번 Strain은 紗리의 表面과 異面에 關係없이 노란색을 띤 붉은색으로 氣中菌絲에 sporodochia type의 孢子堆를 形成한다.

2. 小型分生孢子

PDA와 Water agar에서 전 Strain이 小型分生孢자를 形成한다. 그 形態는 계란형 또는 곧봉형이나 간혹 서

Table I. Strain classification of *F. moniliforme* isolates based on mycological characteristic.

Strains	No. of isolates identified	Isolate identified(%)
I	35	7
II	55	10
III	21	4
IV	420	79
	531	100

Table II. Comparison of colors of *Fusarium moniliforme* strains by single spore culture incubated for two weeks under the florescent light conditions.

Strain	Surface	Bottom
I	5RP5/4*	5RP5/4
II	5RP3/2	5RP9/2
III	7.5YR8/4	5RP7/4
IV	7.5YR8/4	7.5YR8/4

*Mycelial color was quoted for Munsell color charts for plant tissues (Munsell, 1977).

Table III. Classification of strains by microconidia formation type on PDA and water agar.

Strains	Type of microconidial formation
I	Mostly chain
II	Mostly chain
III	Mostly chain
IV	Mostly subcapitate mass

양배모양의 것도 있다. 小型分生胞子は 全部 phialide로부터 形成된 phialospore로 연쇄상으로 形成되는 것이 大部分이고 그중에는 凝頭狀을 나타나는 것도 觀察되

었다. 各 Strain의 小型分生胞子形成方法으로 分類하면 Table III에서와 같이 연쇄상으로 形成하는 것이 Strain I, II, III.의 특징이나 Strain IV는 大部分 subcapitate mass로 形成되며 크기는 $8-15 \times 15-3.5 \mu\text{m}$ 이었다.

3. 大型分生胞子

各 Strain별 大型分生胞子の 격막수에 따른 胞子比率을 Table IV에서 보면 I번과 II번 Strain은 6個의 隔膜을 가진 것이 많은 反面 III번 Strain은 4개 IV번 Strain은 3個의 隔膜을 가진 大型分生胞子를 많이 形成하였다. 大型分生胞子の 크기를 Table V에서 보면 3~7개의 격막을 가진 無色 초생달형으로 I과 II Strain에서의 포자의 크기는 6개의 격막을 가진 것이 $65.2 \mu\text{m}$ 이

Table IV. Percentage of macroconidia of *F. moniliforme* with different number of septum in each strain.

Strain	Percentage of each group in the total number				
	3-Septate	4-Septate	5-Septate	6-Septate	7-Septate
I			13	45	42
II			22	45	33
III	13	44	22	21	
IV	56	28	16		

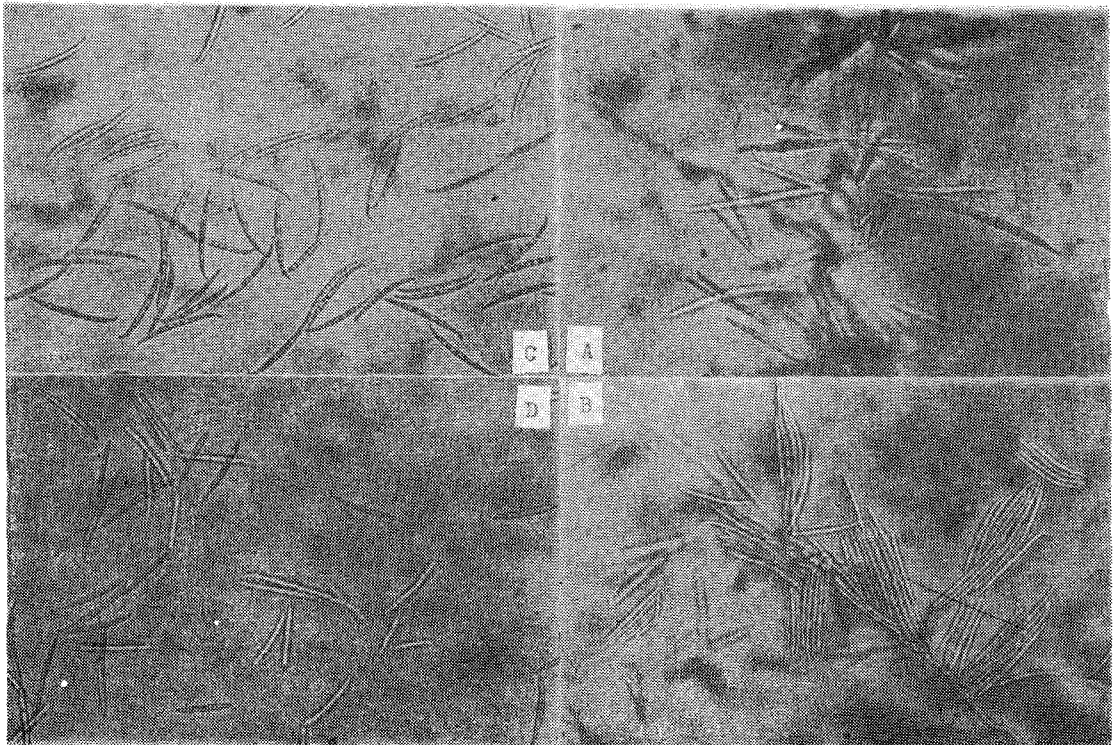


Fig. 1. Difference of morphological characteristic among strains of *F. moniliforme*. Note the the macroconidia on each strain. (A) Strain I, (B) Strain II, (C) Strain III, and (D) Strain IV.

Table V. Mean length of macroconidia of *F. moniliforme* with different number of septum in each strain.

Strain	Mean length of macroconidia of each strain.				
	3-Septate	4-Septate	5-Septate	6-Septate	7-Septate
I			65.3 μ m	65.2 μ m	79.4 μ m
II			62.5	65.6	76.3
III	39.2	39.3	45.0	50	
IV	39.1	44.3	46.9		

있고 III번과 IV번 Strain에서는 3개의 격막을 가진 것이 약 39 μ m이었다. 각 Strain별 대형 분생 포자의 격막 수에 의한 比率이 다르고 크기에서도 약간 차이가 있는 것으로 나타났으며 형태적으로도 차이를 나타내었다(Fig.1)

Strain별 藥劑에 依한 저지효과

P₂₄₂ 등 3개의 약제를 가지고 Strain별 균사의 저지 효과를 Table VI에서 보면 Strain II에서 菌絲伸長이 잘 저지 되었으며 IV번 Strain 이 잘 저지되지 않은 것으로 나타났으며 각 Strain모두 P₂₄₂가 다른 약제에 비하여 저지 효과가 認定되었다(Fig. 2).

Table VI. Inhibition of mycelial growth of *F. moniliforme* by p.242.

Strain	Inhibition zone (mm)
I	20.8 b ^{a)}
II	26.3 a
III	21.8 b
IV	18.3 c

^{a)} Values followed by the same letter do not significantly differ at p=0.05 according to Duncan's multiple range test.

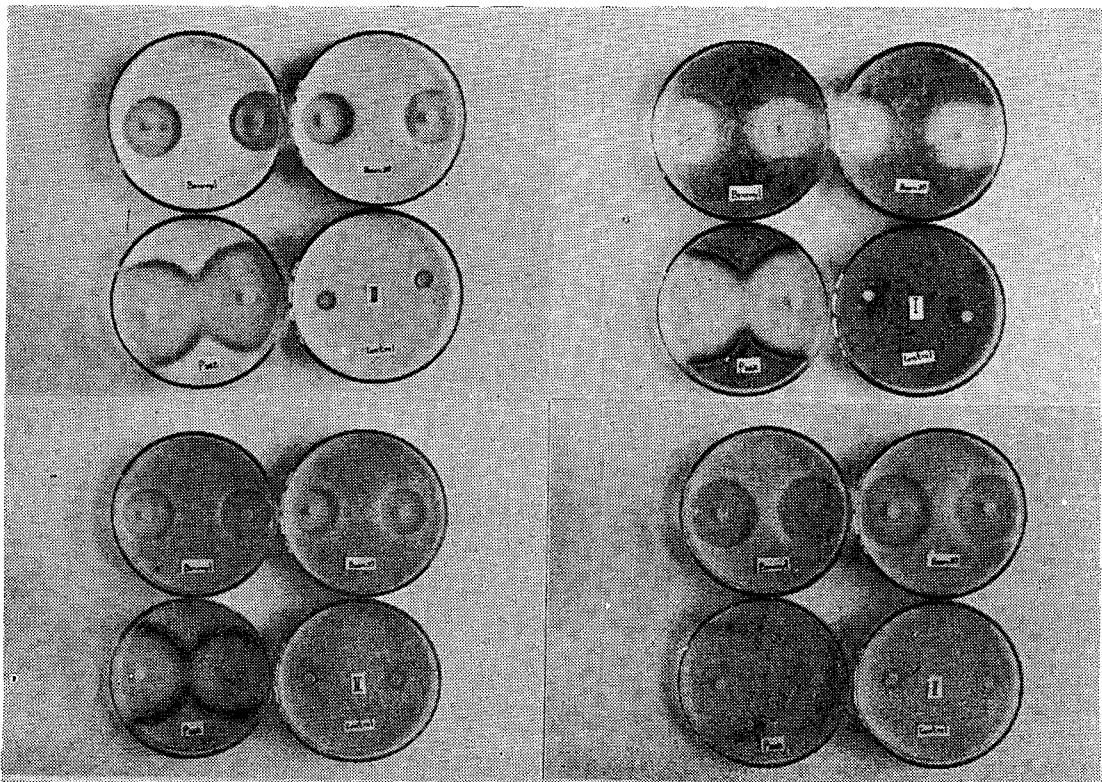


Fig. 2. Mycelial inhibition of each strain of *F. moniliforme* against three seed disinfectants.

Table VII. Seedling survival of two rice cultivars grown in soils infected with the different strains of *F. moniliforme* in nursery boxes for machine transplanting.

Strain	Seedling survival(%)	
	Milyang 23	Samnambyeon
IV	50 a ^{a)}	25 a
III	82 b	33 a
I	84 bc	86 d
II	90 c	74 c
Con	100 d	100 e

^{a)}Means followed by the same letter within a column are not significantly different ($p=0.05$) according to DMRT.

Strain별 病原性 差異

密陽 23號와 三南벼를 供試하여 病原菌을 箱子育苗 床土에 섞은 다음 種子를 播種하여 病原性差異를 本 結果 Strain IV가 密陽 23號와 三南벼에서 苗生存率이 낮아 다른 Strain에 比하여 病原性이 強한 것으로 나타났으며 그 다음이 Strain III이었으며 I과 II번 Strain도 Control에 比하여 病原性이 認定되었다(Table VII).

考 察

'81년부터 83년까지 3個年에 걸쳐 벼幼苗와 本畝에서 키다리病罹病株를 採集하여 分離된 菌株을 利用하여 5가지 基準인 寄主의 病徵, 胞子の 形成, 大型分生胞子の 隔膜數, 배지위에 形成된 색깔과 藥劑의 反應에 따라 4가지 Strain인 I, II, III, IV로 分類한 것을 總 合하여 Table VIII에서 나타내었다.

寄主病徵을 보면 Strain I, II는 약간 키다리증상을 보이는 반면 Strain III, IV는 모가 많이 도장되기도 하

고 枯死되는 것으로 나타났으며, 分生胞子形成關係를 보면 Strain I는 pionnotes안에 大型分生胞子の 격막이 6~7개인 胞子를 가지며 Strain II는 pionnotes안에 소 형분생포자를 형성한다. Strain III과 IV는 Sporodochia 안에 3~4개의 격막을 가진 大型分生胞子를 形成한다. 균총의 색깔을 보면 Strain I과 II는 색의 강도는 다 르지만 reddish purple을 表面과 裏面에 가지나 Strain III은 表面에는 yellowish red 裏面에는 reddish purple 을 가졌으며 Strain IV는 표면과 이면에 yellowish red 을 가진 것으로 나타나 各分類基準에 依하여 Strain I, II, III, IV로 分類하였다.

*F. moniliforme*에 對한 Strain分類研究는 Wineland (1934)가 처음으로 이 病原菌을 糞에서 分離하여 Y₁₅ 과 Y₂₉ 두가지 Strain으로 分類하였는데 胞子形態와 色素形成 등으로 보아 Y₁₅는 Strain IV Y₂₉는 Strain I 과 같은 것으로 생각되어 지며 한국에서도 成(1977)에 依하여 벼줄기에 생긴 자낭각에서 分離된 子囊胞子를 單胞子分離한 結果 vinacious은 Strain I, II에 whitish yellow는 Strain IV에 屬한다고 生覺되어진다 watanabe(1977)는 PDA에서 菌株別 色素形成을 가지 고 菌株를 나누었으며 堀内·石井(1975)등도 사면배지 상에 生育形成過程으로 보아 13개의 代表菌株를 나누 어 生物檢定한 結果 다른 反應을 報告한바 있다.

*Fusarium*은 환경요인에 따라 군사 자람이라든지 배 지위에 생기는 色素등이 다르다는 報告가 있으나(Snyder and Hansen, 1941)이 시험에서는 꼭 같은 환경하 에서 여러번 單胞子分離培養하여도 各 Strain별로 같은 色素을 形成하였다. Sun and Snyder(1981)는 배지상에서 pionnotes나 sporodochia를 나타내는 것은 病原菌을 처음에 分類하면 sporodochia를 나타내다가 차츰 계대 배양하면 pionnotes로 변한다는 것과 sporodochia를 형 성하는 菌株가 pionnotes를 形成하는 菌株보다 病原性 이 強한 것으로 報告하였다. 이 試驗에서는 sporodoc-

Table VIII. Criteria for classification of the isolates collected from 1981 to 1983.

Strain	Host symptom	Conidial formation	Macroconidia septate	Mycelial color*		Fungicide response**
				Surface	Bottom	
I	Slightly elongation	Mostly macroconidia in pionnotes	Mostly 6-7	5RP5/4	5RP5/4	++
II	Slightly elongation	Mostly microconidia in pionnotes	Mostly 6-7	5RP3/2	5RP9/2	##
III	Highly elongation	Mostly macroconidia in sporodochia	Mostly 4	7.5YR8/4	5RP7/4	++
IV	Elongation and dead	Mostly macroconidia in sporodochia	Mostly 3	7.5YR8/4	7.5YR8/4	+

*Mycelial color was quoted for Munsell color charts for plant tissues(Munsell, 1977).

**Fungicide response was rated with P242 1000X dilution; ## highly inhibited, ++ moderately inhibited and + slightly inhibited.

hia인 Strain III과 IV는 여러번 單孢子分離로 제대배양 하여도 pionnotes로 변하지 않는 것으로 보아 다른 結果를 얻었으나 病原성에 대하여는 幼苗에서의 各Strain 별 키다리증상을 보면 pionnotes를 形成하는 Strain I과 II은 키다리증상을 나타나는 하나 病原성이 약하게 나타내는 反面 sporodochia를 形成하는 Strain III과 IV는 키다리증상과 아울러 枯死現象도 나타나는 것으로 보아 Sun and Snyder의 結果와 같은 傾向을 나타내었다.

Matuo(1976)는 *F. moniliforme*菌은 Gibberellin과 Fusarin을 生成하여 徒長現象과 萎縮현상을 나타낸다고 하였으나 菌株에 對한 Strain은 定한바 없으며 菅原(1973)는 供試菌의 培養液을 만들어 接種한 結果 密度가 높으면 萎縮하여 枯死하고 적으면 키다리 症狀을 일으키나 나중에 圃場에서 健全化되는 것도 있는 것으로 報告되었다. Aoki(1975)는 벼가 이 病原菌에 罹病되었을 때 寄主體의 反應에 依하여 外見健全株 등 5個型으로 나누어 報告한바 있다.

요사이 이 病原菌의 被害는 유기수은제의 種子消毒劑使用禁止와 기계이앙을 위한 箱子育苗의 增加로 問題視되고 있다. 이 研究를 通하여 이 病原을 分類基準에 依하여 Strain을 나누어 본 結果 Strain IV가 病原성이 強하고 가장 分布가 많은 것으로 나타남에 따라 약 제선발이나 저항성품종 선발에 利用될 수 있으리라 믿으며 이에 대한 生化學的 研究와 分類學的 研究가 더 되어야 하리라 믿는다.

要 約

벼키다리病에 罹病된 벼에서 531균주를 分離하여 5가지 基準을 두고 分類한 結果 Strain I, II, III과 IV로 分類한 수 있었다. 그중에서 Strain IV가 가장 많이 우리나라 分布되었으며 병원정도 強한 것으로 나타났다. 5가지 基準은 寄主의 病徵, 孢子形成, 大型分生孢子 隔膜數, 균총의 색깔과 藥劑의 反應이었다. Strain I은 病原성이 약하게 나타났으며 pionnotes안에 6~7個의 隔膜을 가진 大型分生孢자를 形成하며 균총의 색깔은 表面과 裏面に 全部 reddish purple을 보인다. Strain II는 病原성은 弱하나 pionnotes안에 소형분생 포자를 形成하며 균총의 색깔은 表面과 裏면에 全部 reddish purple을 보인다. Strain III는 病原성이 強하여 심하게 徒長 시키며 sporodochia안에 4개의 隔膜을 가진 大型分生孢자를 形成하며 균총의 색깔은 表面에는 yellowish red 裏면에는 reddish purple를 보인다.

Strain IV은 病原성이 強하여 심하게 徒長시키기도 하고 枯死시킨다. sporodochia안에 주로 3個의 隔膜을 가진 大型分生孢자를 形成하며 균총의 색깔은 表面과 裏面 全部 yellowish red를 보이는 것이 특징이다.

References

- Aoki, M. and M. Isaka (1975): Studies on "Bakanae" disease of rice plant. Some observations on the growing process and symptoms of elongated seedlings in the paddy field. *Proceedings of the Association for Plant Protection of Hokuriku* 23: 24~27.
- Booth, C. (1971): *The genus Fusarium*. Commonwealth Mycol. Inst., Kew, Surrey. 237p.
- Bourne, B. (1961): *Sugar-cane diseases of the world*. I: 187-207. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, London, New York, Princeton. 542p.
- Chang, I.C. and Sun, S.K. (1975): The perfect stage of *Fusarium moniliforme*. *J. Agric. Res. China*. 24: 11~20
- Christensen, J.J. and Wilcoxson, R.D. (1966): *Stalk rot of corn*. Monograph No. 3 published for APS: 5-57.
- Heo, N.Y., Chung, B.K. and Kim, K.S. (1981). Studies on incidence and control of corn ear rot. *Res. Rep. ORD (S MPU)* 23: 80~85.
- 堀内誠三・石井正義, 1975. 苗代期の病徴と本田期における病徴の回復. 近畿中國地域共同研究成果集録 6: 18~24.
- Kurosawa, E. (1929). On the cultural characters of the bakanae disease fungi on various nutrient media and the temperature of their development. *Rep. Not. Hist Soc. Formoso*. 19: 150~179.
- Matuo, T., Endo, T. and Yoshii, Y. (1976). Morphological and Physiological Characters of Japanese isolates of *Fusarium moniliforme* Sheldon. *Trans. Mycol. Soc. Japan* 17: 295~305.
- Matuo, T., Komada, H. and Matsuda, A. (1980). *Fusarium disease of cultivated crop*. Zenkoku Noson Kyoiku Kyokai Publishing Co., LTD. 502p.
- Munsell color charts for plant tissues* (1977). 2441. North Calvert Street Baltimore, Maryland. Sugahara, M., Aoki, M. and Isaka, M. (1973): Relati-

- onship between Bakanae disease and elongation of rice seedling at nursery box for machine transplanting. *Proceedings of the Association for Plant Protection of Hokuriku*. 21: 18~22.
- Sawada, K. (1919). *Descriptive catalogue of Formosan fungi*. Part I. Special Rep. No. 19, Agric. Exp. Stn. Formosa. 695p.
- Snyder, W.C. and Hanesn, H.N. (1941): The effect of light on taxonomic characters in *Fusarium*. *Mycologia*. 33: 582~591.
- Snyder, W.C. and Hansen, H.N. (1945): The species concept in *Fusarium* with reference to discolor and other sections. *Am. J. Bot.* 32: 657~666.
- Sun, S.K. and Snyder, W.C. (1981). The bakanae disease of the rice plant. 104-113. In P.E. Nelson, T.A. Toussun, and R.J. Cook in *Fusarium*. Penn. State Univ. Press, Pennsylvania. 457p.
- Sung, J.M., Jin, K.S. and Lee, S.C. (1982): Identification and pathogenicity of soil borne pathogens associated with rice seedling blight. *Res. Rept. ORD 24* (SPMU): 40~45.
- Sung, J.M. and Snyder, W.C. (1977): Before harvest occurrence to *Gibberella* perithecia of *Fusarium moniliforme* on infected rice stems in field. *Kor. J. Mycol.* 5:33~37.
- Voorhees, R.K. (1933). *Gibberella moniliformis* on corn. *Phytopathology* 23: 368~378.
- Watanabe, T. and Umehara, (1977): The perfect stage of the causal fungus of bakanae diseases rice plants recollected at Joyama. *Trans. Mycol. Soc. Japan* 18: 136~142.
- Wineland, G.O. (1924): An ascigerous stage and synonymy for *Fusarium moniliforme*. *J. of Agric. Res.* 28: 909~922.
- Wollenweber, H.W. and ReinKing, O.A. (1935): *Die Fusarien*, ihre beschreibung, schadwirkung und bekämpfung. Paul. Parey. Berlin. 355p.

⟨Received November 8, 1983⟩