

## 稲こうじ病の発生に及ぼす圃場要因と気象条件

田中 栄爾・熊川 剛\*・鈴木 恵理・皆巳 幸也・上田 哲行

Eiji TANAKA, Tsuyoshi KUMAGAWA\*, Eri SUZUKI, Yukiya MINAMI, Tetsuyuki UEDA:

Field factors and meteorological conditions influencing rice false smut disease outbreak

### Abstract

The number of rice false smut balls in 21 paddy fields in Nonoiichi, Ishikawa Prefecture, Japan was surveyed. The causal fungus is *Villosiclava virens* (*Ustilagoidea virens*). In these fields, the disease occurred in 2009 and 2011; however, it scarcely appeared in 2012 and did not occur in 2008 or 2010. The number of false smut balls in each paddy field in 2009 correlated with the number found in 2011, suggesting that the thick-walled conidia remained in the soil for at least two years and retained its ability to infect rice plants. The disease outbreaks in 2009 and 2011 were explained by low temperatures and low solar radiation at the booting stage of rice.

Key words: 稲こうじ病, イネ, 圃場調査, 土壌伝染, 気象条件, rice false smut disease, rice, soil-borne, field survey, meteorological conditions

### 緒言

稲こうじ病とは、収穫期のイネ籾に暗緑色の厚膜胞子の塊である病粒が形成される病害である。病原菌は、バツカクキン科の稲こうじ病菌 [*Villosiclava virens* (Nakata) Tanaka & Tanaka] であり<sup>1)</sup>、以前はアナモルフ名の *Ustilagoidea virens* が学名に使われていた。本病は世界各国の稲作地帯で発生が報告されており、北陸地方でも毎年発生している。病粒にはマイコトキシン(かび毒)の一種であるウスチロキシンが含まれる<sup>8)</sup>。また、収穫調製後の玄米に病粒が混入すると規格外となる[農産物規格規程(平成13年2月28日農林水産省告示第244号)によって定められた国内産農産物の被害粒等の取扱要領(平成16年3月12日制定, 15総食第719号)]ことから、経済的な被害が大きい病害である。

2009年は全国的に稲こうじ病の発生が報告され、石川県でも多発生した。本病の発生量は、年次変動が大きく、気象が大きく影響する。低温、日照不足、多雨年に

多発生し、特に穂ばらみ期に低温・多雨の年は稲こうじ病の発生が多くなると言われている<sup>13,14,19)</sup>。人工接種では、穂ばらみ期初期のイネ葉鞘内に分生胞子懸濁液を注射接種してから2日間の15℃の低温条件、5日間26℃の多湿条件におくと発病することが報告されている<sup>2,4)</sup>。

我々は、地上に落下した病粒中に含まれる厚膜胞子が伝染源であり、移植後の栄養成長期のイネに本菌が感染すると考えている。これは、成熟した厚膜胞子を長期保存した後も発芽能力があること<sup>5)</sup>、病粒を前年の秋に圃場に散布すると翌年発病が増加すること<sup>4)</sup>、土壌中に残存すること<sup>1)</sup>等の疫学的証拠からその可能性が強く示唆されている。一方、厚膜胞子の風・水媒伝染の可能性も指摘されている。しかし、圃場内のイネ株を含む土壌をガラス筒で囲い、周りとは隔離して管理した場合も発病することから、風で飛散した厚膜胞子がイネ葉に付着して雨滴とともに出穂前後の葉鞘内に侵入する可能性は少ない<sup>20)</sup>。さらに、陸稲も発病する<sup>6,7)</sup>ことから、水中に浮遊した厚膜胞子がイネ表面に付着して穂ばらみ期のイネ

の葉鞘内に侵入する水媒伝染の可能性は少ない。他に、越冬した菌核上に形成した子実体中に生じる子のう胞子による感染のように、異なる感染経路の可能性も考えられている。しかし、自然条件下での子実体の形成が確認されていないことから、子のう胞子は伝染源としては考えにくい<sup>10)</sup>。また感染時期については、nested-PCR法を用いて穂ばらみ期以前の栄養成長期のイネ葉上での本菌の存在も確認されていることから<sup>21)</sup>、穂ばらみ期以前の栄養成長期に感染している可能性が高い。穂ばらみ期以降の病粒形成過程については、マーカー遺伝子による形質転換株を用いて調べられているものの<sup>3,12)</sup>、圃場中の穂ばらみ期までの本菌の感染行動はまだ明らかになっていない。さらに、種子伝染<sup>16)</sup>や、幼芽期感染<sup>7)</sup>の可能性も指摘されている。これらが主要な感染経路であるならば、同じ幼苗を用いた圃場は同様に発病するはずである。しかし、そのような事例は報告されていない。

そこで本報告では、圃場での稲こうじ病の発生量の年次比較を行うことで、圃場の土壌中の厚壁胞子が伝染源である可能性をより強く示唆するかどうかを検討した。稲こうじ病は銅剤の穂ばらみ期散布によって防除が可能とされる<sup>13)</sup>。しかし、発病を確認してから薬剤を散布しても効果はない<sup>10)</sup>。また、防除適期が短い上に、発生予測が難しく、年ごとに異なる発生量に合わせて防除要否を判断し、銅剤を散布することは困難である。そのため、どのような圃場や気象の時に本病が多発するのかを明らかにできれば、防除適期の対象圃場にのみ適切な薬剤散布によって稲こうじ病防除が可能になると考えられる<sup>17,18)</sup>。そこで、石川県野々市市内の圃場を対象に、稲こうじ病が多発する圃場条件や気象条件を比較・解析し、発生予測が可能となるような基礎資料を得ることも目的とした。

### 材料および方法

2009年～2012年に石川県野々市市の石川県立大学周辺圃場で稲こうじ病の病粒数を調査した。調査圃場は手取川扇状地の平坦部に位置し、周辺は水田や住宅街で占められることから、山間部のように低温の流入水や樹木から被陰されるなど、立地条件による周囲からの影響は少ないものと考えられる。生産者への聞き取り調査によると、これらの圃場では2008年の稲こうじ病の発生はなかった。著者らが調査していないため実態はわからないものの、極少発生年として扱った。さらに、圃場の栽培

履歴、圃場周辺の用排水路の配置、農薬の使用履歴、施肥実態を調査した。

病粒数の調査は2009年～2012年の各年9月において病粒が成熟したのを確認できた日に行った。21筆の圃場(第1図)について、1筆あたり10ヶ所に1㎡の区画を任意に設置し、区内で見られた病粒を数えた(第1表)。

気象条件の影響は、気温、降水量、相対湿度、全日日射量について、調査圃場から600～1000m真北に設置された石川県立大学内の気象観測ロボット(IPU-1号機)の観測データを用い解析した(第3図)。

### 結果

調査圃場で栽培されていたイネの品種は、すべて「コシヒカリ」であった。出穂期は4ヶ年とも7月30日～8月1日であった。農薬の使用履歴は、ネライストキシン系の殺虫剤あるいは殺虫・殺菌剤であるフィプロニル・プロベナゾール粒剤を使用した圃場、無使用の圃場の3種類であった。これら殺虫・殺菌剤は稲こうじ病に対する防除効果が認められていないため、データを省略した。肥料については、施用量、時期ともに同一生産者は一律に同じであった。

流入する用水と稲こうじ病発生との関連を調べるため、調査圃場の用排水路の模式図を第1図に示した。この地区では、手取川七ヶ用水の郷用水と富樫用水に由来し、大半は素掘りの土水路であった。現在は用排分離が進んでいるが、一部に用水路への排水が見られた。調査圃場の中では、圃場16と17の排水は圃場11の用水として流入する配置となっていた。病粒数は同じ用水を用いている圃場間にも大きな差があった。

調査した21筆の圃場における稲こうじ病の病粒数等のデータを第1表にまとめた。1㎡当たりの病粒数の全圃場平均は、2009年は14.1個、2010年は0個、2011年は9.4個、2012年は0.1個であった。発生が多かった年でも、圃場ごとの病粒数は大きく異なった(第1表、第1図)。同じ苗を用いた同一生産者が管理する圃場の間でも2009年は0～66.9個、2011年は0～54.3個と病粒数に差が認められた。一方、稲こうじ病が発生した圃場の病粒数には、2009年と2011年の間で相関が認められた( $r=0.89$ )(第2図)。

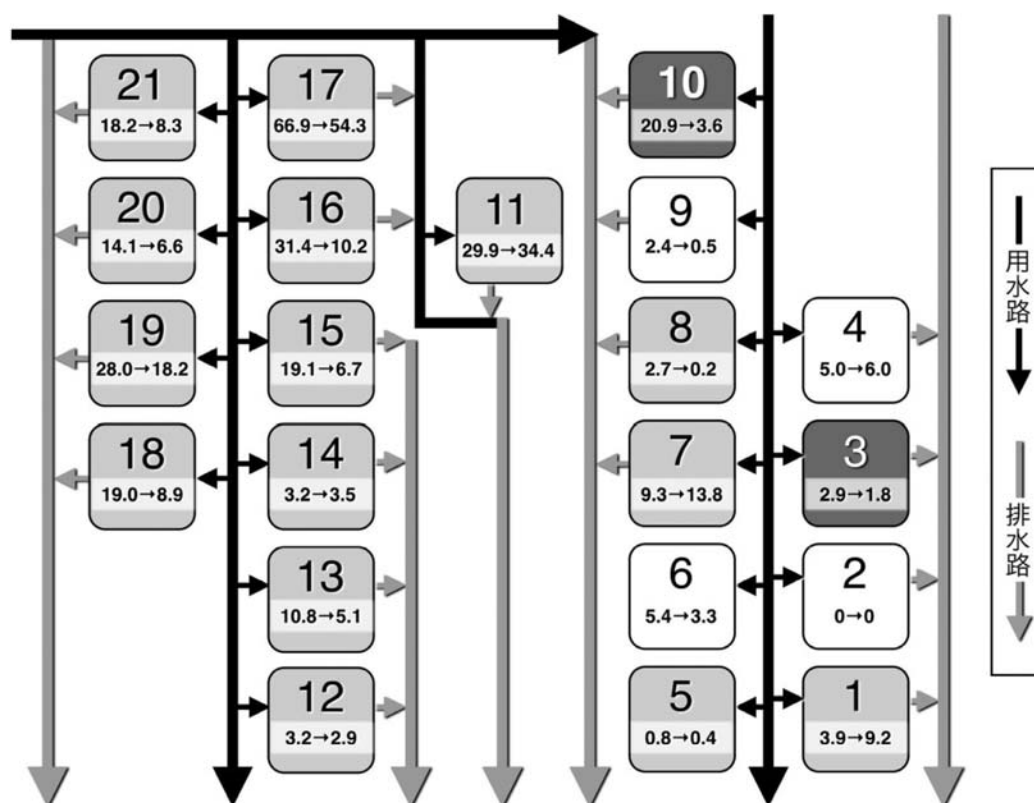
各年の気象の傾向を明らかにするため、7月1日から5日間ごとに区切って第3図に示した。病粒発生に最も

第1表 調査圃場における稲こうじ病の病粒数<sup>a)</sup>と年次間差

圃場	生産者 <sup>b)</sup>	水源	稲こうじ病病粒数			
			2009年	2010年	2011年	2012年
1	A	郷用水	3.9 ±3.0	0	9.2 ±5.4	0
2	B	郷用水	0	0	0	0
3	C	郷用水	2.9 ±4.2	0	1.8 ±2.4	0
4	B	郷用水	5.0 ±5.1	0	6.0 ±3.2	0
5	A	郷用水	0.8 ±1.9	0	0.4 ±0.8	0
6	B	郷用水	5.4 ±6.4	0	3.3 ±1.9	0
7	A	郷用水	9.3 ±7.6	0	13.8 ±7.1	0
8	A	郷用水	2.7 ±3.5	0	0.2 ±0.6	0
9	B	郷用水	2.4 ±7.6	0	0.5 ±1.1	0
10	C	郷用水	20.9 ±11.9	0	3.6 ±2.1	0
11	A	富樫用水	29.9 ±12.5	0	34.4 ±14.1	0
12	A	富樫用水	3.2 ±4.6	0	2.9 ±1.7	0.1 ±0.3
13	A	富樫用水	10.8 ±5.5	0	5.1 ±2.6	0.1 ±0.3
14	A	富樫用水	3.2 ±2.7	0	3.5 ±1.6	0
15	A	富樫用水	19.1 ±10.3	0	6.7 ±2.6	0.1 ±0.3
16	A	富樫用水	31.4 ±17.4	0	10.2 ±4.9	0.3 ±0.9
17	A	富樫用水	66.9 ±19.3	0	54.3 ±14.8	1.2 ±2.8
18	A	富樫用水	19.0 ±9.7	0	8.9 ±5.2	0
19	A	富樫用水	28.0 ±17.7	0	18.2 ±7.2	0.4 ±0.8
20	A	富樫用水	14.1 ±11.3	0	6.6 ±3.9	0
21	A	富樫用水	18.2 ±7.6	0	8.3 ±4.7	0
21筆の平均病粒数			14.1	0	9.4	0.1

a) 各圃場における 1 m<sup>2</sup>あたりの稲こうじ病の病粒数 (10ヶ所の平均値と標準偏差)

b) 生産者Aは農業法人, BとCは個人農家

第1図 調査圃場と用排水路の模式図<sup>a)</sup>

a) 圃場の位置関係と用排水の流れを示した。図中の各四角が圃場を表し、四角内の上部番号は第1表で示した圃場番号に対応する。圃場番号の下に2009年(左)と2011年(右)の1 m<sup>2</sup>あたりの平均発生病粒数を示す。生産者が異なる圃場は塗り分けしてある。

影響を与える気象条件を考察するため、2009年と2011年を多発生年、2008年と2010年、さらに2012年を極少発生年として2つのグループに分け、このグループ間で差がある部分をグラフ中に灰色で塗りつぶして示した。極少発生の2010年は穂ばらみ期間が高温少雨であり、多発生の2009年は穂ばらみ期間が低温多雨だった(第3図AとB)。ただし、2011年は穂ばらみ期から出穂期にかけて降雨量が少なかったにも関わらず、稲こうじ病は多発生だった(第3図B)。また、辻<sup>14,15)</sup>によって稲こうじ病発生量との相関が示唆されていた出穂期前20日間の1mm以上の降雨日数については、今回の調査では2008年3回、2009年13回、2010年8回、2011年5回、2012年7回であり、発生量との関連は少なかった。相対湿度については(第3図C)、7月下旬の穂ばらみ期をみると、多発生の2009年は低温多雨のため高かったものの、2011年は低かった。むしろ、7月上旬の幼穂形成期では、多発生だった2009年と2011年の相対湿度は低かった。全天日射量については(第3図D)、7月中～下旬にかけて2010年が顕著に多く、2008年、2012年も多かった。さらに、出穂期以降の気象条件と病粒数には特に関係がみられなかった。

## 考 察

調査期間中における稲こうじ病の発生は、年次間で大きく異なった。この原因は、従前知られていた通り、気象条件が病粒発生に大きく影響した可能性が高いと考えられた。一方、同一年の気象条件においても圃場ごとに病粒数が大きく異なった。この差は、用水の影響、使用農薬や肥料では説明できなかった。また、調査圃場は複数の所有者が稲作の生産・管理をしているものの、同じ所有者は同じ苗を使用していた。それにも関わらず、病粒数が圃場ごとに異なっていたことから、種子伝染や育苗時における感染は影響していないと考えられた。しかし、2009年と2011年における1㎡あたりの病粒発生数には相関がみられた(第2図)。すなわち、2009年に病粒が多かった圃場では2011年にも発生が多い傾向が明らかになった。このことから、土壤中に残存する厚膜胞子量が、病粒数の圃場ごとの差の主な原因であることが強く示唆された。つまり、土壤中に残存する稲こうじ病菌の厚膜胞子が本病の伝染源であるという仮説を支持する結果であった。また、2010年は発病が全くなかったことから、2009年に発生した病粒から供給された厚膜胞子が少

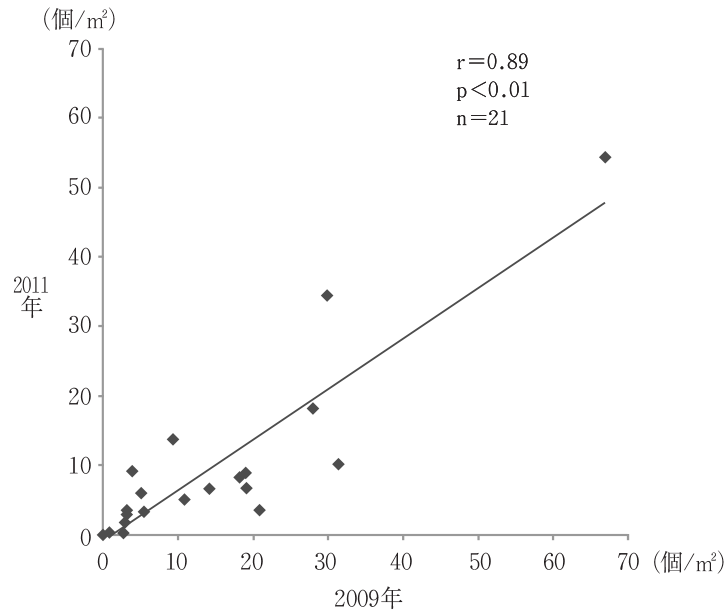
なくとも2年間は土壤中に存在し、2011年に移植されたイネに感染して発病に至ったと考えられる。

2009年と2011年を比較して、病粒数に増減がみられる圃場があった。しかし、農薬や肥料の違いの影響はみられなかった。2009年と比較して2011年の病粒数は全般に減少した中で、圃場11は増加していた。圃場11の用水には、病粒数が特に多い圃場16と17の排水が流入している。このことから、代かき時などに土壤中の厚膜胞子が排水とともに流れ、圃場11に流入した可能性がある。すなわち、用排水が媒介する可能性について今後、検証が必要であると考えられた。

気象条件についてみると、気温については(第3図A)、稲こうじ病の発生が多かった2009年と2011年は、極少発生の2008年、2010年、2012年に比べ、7月下旬の穂ばらみ期の平均気温が低かった。7月上～中旬の幼穂形成期の気温はむしろ、2010年は低く、2011年は高かった。これは、出穂期前1～10日間(穂ばらみ期)の低温が発病を助長するという従来の知見<sup>13)</sup>を支持する結果である。降雨量については(第3図B)、7月中～下旬について、多発生の2009年は降雨量が多かったものの、多発生の2011年は極少発生の2010年と2012年並みに少雨であった。すなわち、穂ばらみ期の多雨条件が発病を増加させるという従来の報告<sup>13,15)</sup>とは異なっていた。このことから、穂ばらみ期の降雨量が多発生となる気象条件の目安にはならないと考えられる。幼穂形成期の湿度が発病に及ぼす影響は今後検討が必要である。全天日射量は気温にも影響することから、結果として出穂期1～10日前の低日射量にともなう低温が発病を促進したと考えられた。

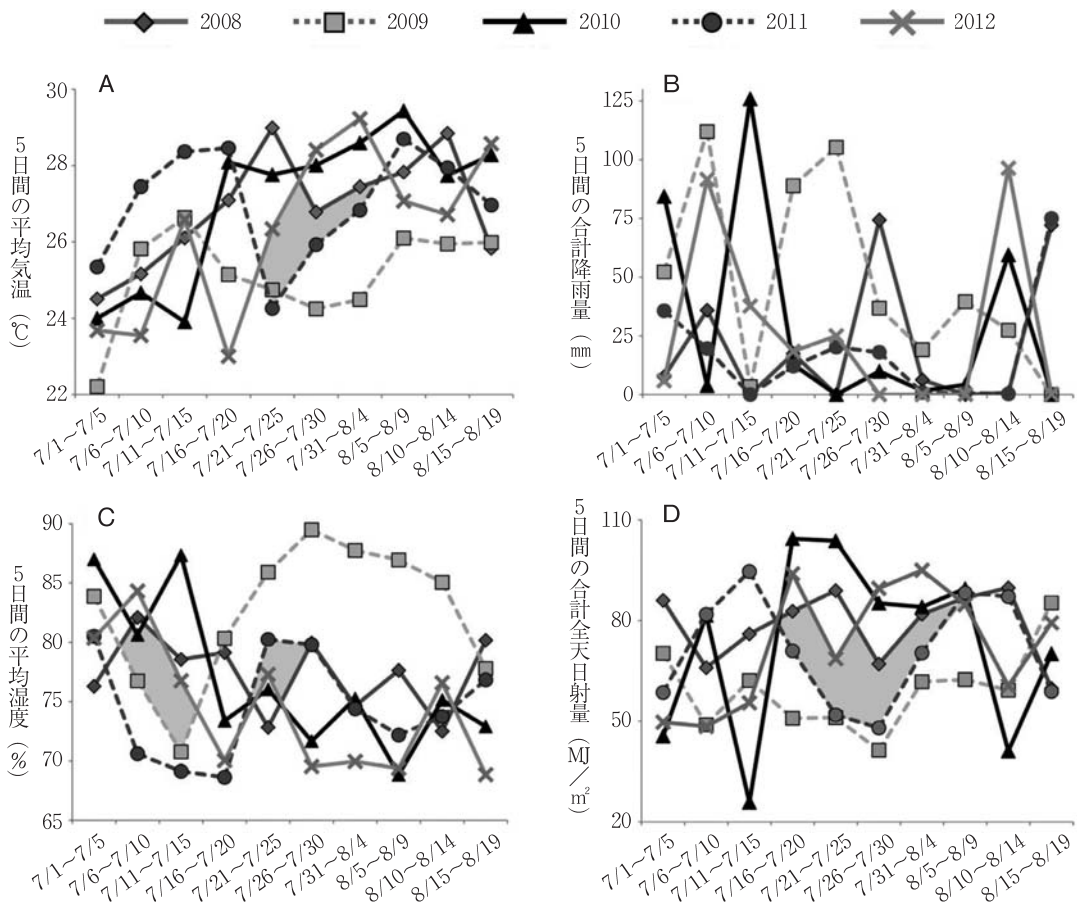
稲こうじ病の発病が穂ばらみ期の低温によって助長された原因として、本菌の生育と幼穂の伸長の速さの関係が考えられる。病粒は、菌糸が穂ばらみ期の開花直前のイネ小穂に侵入することによって形成される<sup>3)</sup>。すなわち、稲こうじ病菌が開花直前にイネ小穂に侵入するためには、幼穂の急速な生育に菌糸の伸長が追いつく必要がある。このことから、穂ばらみ期の低温条件によってイネの生長が緩慢となる<sup>9)</sup>結果として、稲こうじ病菌菌糸が小穂に到達しやすい状況となる可能性がある。

今回の圃場調査によって、土壤中の厚膜胞子が伝染源であり、土壤中に残存する厚膜胞子量が少なくとも2年間は病粒発生数に大きく影響することが示唆された。つまり、種子や苗からの感染源の持込みはあったとしても稲こうじ病発生量への影響は軽微であると考えられた。



第2図 調査圃場における2009年と2011年の稲こうじ病発生量の関係<sup>a)</sup>

a) 各圃場における1 m<sup>2</sup>あたりの稲こうじ病の病粒数 (10ヶ所の平均値)



第3図 2008年から2012年の調査圃場の気象データ<sup>a)</sup>

a) 各年7月1日から5日間ごとに区切って、8月19日まで示した。A：平均気温，B：合計降雨量，C：平均相対湿度，D：合計全日射量。出穂期は7月30日から8月1日であった。稲こうじ病の多発生年(2009年と2011年)と極少発生年(2008年，2010年，2012年)の気象条件の差を示すため，この2グループ間の気象データに差がある部分を塗りつぶした。



また、気象条件については、従来の知見通り穂ばらみ期における低日射量にともなう低温によって発生が促進されたと考えられた。一方で、穂ばらみ期の降雨量や湿度は病粒発生数に直接影響していなかった。ただし、今後の本病発生予察に活用するためには、さらに全国の気象と稲こうじ病の発生量との関連を検証する必要がある。

## 謝 辞

圃場中の稲こうじ病粒数を調査させていただいた農業法人、生産者の方、および気象データを提供いただいた石川県立大学附属農場に感謝いたします。

## 引用文献

- 1) Ashizawa, T., Takahashi, M., Moriwaki, J. and Hirayae, K. (2010) Quantification of the rice false smut pathogen *Ustilaginoidea virens* from soil in Japan using real-time PCR. *Eur. J. Plant Pathol.* 128 : 221~232.
- 2) Ashizawa, T., Takahashi, M., Moriwaki, J., Hirayae, K. (2011) A refined inoculation method to evaluate false smut resistance in rice. *J. Gen. Plant Pathol.* 77 : 10~16.
- 3) Ashizawa, T., Takahashi, M., Arai, M. and Arie, T. (2012) Rice false smut pathogen, *Ustilaginoidea virens*, invades through a small gap at the apex of a rice spikelet before heading. *J. Gen. Plant Pathol.* 78 : 255~259.
- 4) 藤田佳克・園田亮一・八重樫博志 (1989) 稲こうじ病菌分生胞子のイネ穂ばらみ期接種. *日植病報*55 : 629~634.
- 5) 池上八郎 (1955) 稲麴病に関する研究 I. 厚膜胞子の発芽について. *岐大農研報* 6 : 67~72.
- 6) 池上八郎 (1961) 稲麴病に関する研究 VI. 圃場における稲麴病の発生生態. *岐大農研報*14 : 17~26.
- 7) 池上八郎 (1962) 稲こうじ病に関する研究 V. 稲こうじ病菌厚膜胞子のイネ幼芽期接種. *日植病報*27 : 16~23.
- 8) Miyazaki, S., Matsumoto, Y., Uchihara, T. and Morimoto, K. (2009) High-performance liquid chromatographic determination of ustiloxin A in forage rice silage. *J. Veter. Med. Sci.* 71 : 239~241.
- 9) Shimono, H., Hasegawa, T., Moriyama, M., Fujimura, S. and Nagata, T. (2005) Modeling spikelet sterility induced by low temperature in rice. *Agron. J.* 97 : 1524~1536.
- 10) 園田亮一 (1996) 稲こうじ病の発生生態と防除法. *植物防疫*50 : 351~354.
- 11) Tanaka, E., Ashizawa, T., Sonoda, R. and Tanaka, C. (2008) *Villosiclava virens* gen. nov., comb. nov., teleomorph of *Ustilaginoidea virens*, the causal agent of rice false smut. *Mycotaxon* 106 : 491~501.
- 12) Tanaka, E., Kumagawa, T., Tanaka, C. and Koga, H. (2011) Simple transformation of the rice false smut fungus *Villosiclava virens* by electroporation of intact conidia. *Mycoscience* 52 : 344~348.
- 13) 辻 英明・横須賀知之・天野昭子・中野理子・松本幸子 (1996) 稲こうじ病の発生生態と防除. *植物防疫*50 : 359~363.
- 14) 辻 英明・須藤真紀子・本藏良三 (1996) 稲こうじ病菌分生胞子の圃場接種による発病. *北日本病虫研報*47 : 23~26.
- 15) 辻 英明・長田茂・須藤真紀子 (1997) 稲こうじ病の発生と気象要因との関係. *宮城県農業センター研究報告*63 : 12~21.
- 16) 辻 英明 (2001) 稲こうじ病の種子伝染について. *北日本病虫研報*52 : 24~26.
- 17) 津田幹雄・太田 昊・加藤重博 (2003) シメコナゾール剤による稲こうじ病の防除適期. *北日本病虫研報*54 : 29~31.
- 18) Tsuda, M., Sasahara, M., Ohara, T., and Kato, S. (2006) Optimal application timing of simeconazole granules for control of rice kernel smut and false smut. *J. Gen. Plant. Pathol.* 72 : 301~304.
- 19) 八重樫博志・藤田佳克・園田亮一 (1989) 昭和63年に多発した稲こうじ病. *植物防疫*43 : 311~314.
- 20) 山仲 巖・孫工彌壽雄 (1950) 稲麴病に関する研究 第一報 侵入様式に関する考察. *滋賀縣農業試験場研究報告* 2 : 1~18.
- 21) Zhou, Y.L., Izumitsu, K., Sonoda, R., Nakazaki, T., Tanaka, E., Tsuda, M. and Tanaka, C. (2003) PCR-based specific detection of *Ustilaginoidea virens* and *Ephelis japonica*. *J. Phytopathol.* 151 : 513~518.

(2012年12月21日受理)