

幼穂形成期を基準とした異なる期間の降雨と気温がイネ稲こうじ病発生に及ぼす影響

石川 浩司^{1,2}・黒田 智久^{1,2}

Kouji ISHIKAWA, Tomohisa KURODA :

Effect of rainfall and temperature at different times on occurrence of rice false smut

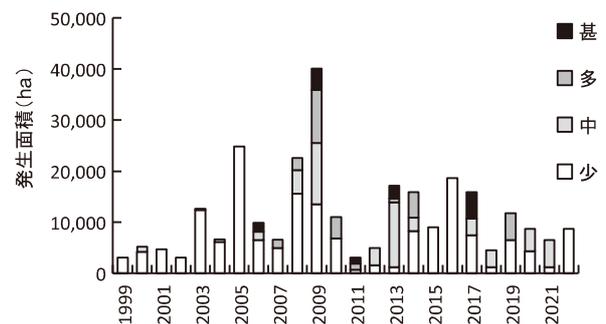
稲こうじ病の発生量は出穂期前の降雨日数と気温に影響されることが知られている。しかし、発生量を予測するためには幼穂形成期を基準として、どの期間の降雨と気温が影響するか考慮すべきである。そこで、新潟県病害虫防除所による24年間の調査データを用い、「コシヒカリ」の幼穂形成期以降の降雨日数と日平均気温の計算期間および計算開始日を変え、稲こうじ病の発病株率との単回帰分析を行った。その結果、降雨日数と発病株率との間の相関は、幼穂形成期後8日間まででは認められず、幼穂形成期後9~12日間を含む期間で他の期間より高い傾向が認められた。日平均気温と発病株率との間の相関は、幼穂形成期後11~14日間と19~21日間を含む期間で高い傾向が認められた。

Key words : rice, false smut, rainfall, temperature, correlation

稲こうじ病（病原菌 *Villosiclava virens* E. Tanaka & C. Tanaka）はイネ（*Oryza sativa* L.）の籾に暗緑色の病粒を形成する病害である。農産物検査で病粒の混入や玄米の着色などの稲こうじ病による損傷が認められると規格外となる。本病に対し、水面施用剤や茎葉散布剤等の複数の薬剤が登録されており、これらによる薬剤防除が被害の軽減に有効である（津田ら、2003；辻ら、1996）。本病の発生量は、品種による差異があり（芦澤、2018）、年次変動も極めて大きく（第1図）、2009年の新潟県では、例年発生がほとんど認められない圃場でも多〜甚発生するなど全県的に多発生し、農産物検査で約580tが稲こうじ病によって規格外となったと推定されている。このように、通常の発生量の年は常発圃場以外では薬剤防除の必要はないが、多発生年には多くの圃場で薬剤防除を行い、品質の低下を防ぐ必要がある。発生量の年次変動には気象条件が影響し、出穂1月前位から穂ばらみ期にかけての多雨と低温（横須賀、1994）、出穂前20日間の降雨日数・降水量が多い、平均気温が低い（辻ら、1997）、穂ばらみ期の低温と低全天日射量（田中ら、2012）、出穂期前30日間の降雨日数が多い（西宮ら、2020）条件が発病を助長するとされている。また、

芦澤（2014）は降雨頻度が影響するが、出穂前30日間、あるいは20日間で降雨のない期間が連続する場合は発生量が少ないと報告している。

このように、本病の発生量には、出穂期20~30日前から出穂期までの降雨や気温が影響するとされている。芦澤（2014）は、出穂期前20~30日間の降雨日数、伝染源となる稲こうじ病菌の土壌菌量、品種の圃場抵抗性によって病粒数を予測する式を作成した。さらに、芦澤



第1図 稲こうじ病の発生程度別発生面積の年次推移
新潟県病害虫防除所調査（1999~2022年、75圃場）
少：発病株率1~5%、中：6~15%、多：16~30%、甚：31%以上

¹新潟県農業総合研究所作物研究センター Niigata Agricultural Research Institute, Crop Research Center, 857 Nagakura-cho, Nagaoka, Niigata 940-0826

²現：新潟県農業総合研究所 Niigata Agricultural Research Institute, 857 Nagakura-cho, Nagaoka, Niigata 940-0826
E-Mail : ishikawa.koji2@pref.niigata.lg.jp

(2017)は、イネの生育予測と組み合わせて防除適期を判断するモデルを作成した。このモデルでは、出穂期前30日間の降雨について、10日間以上の連続した無降雨日があると発病が少なくなる条件を設けているが、どの期間の降雨が病粒数へ影響するのかは考慮されていない。

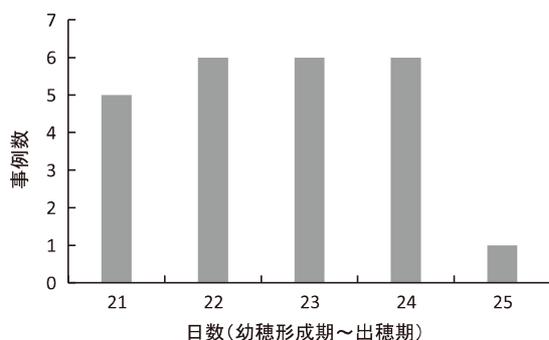
本病に対する茎葉散布剤による防除適期は短く、その晩限は出穂期前10日頃とされている(辻ら, 1996)。したがって、出穂期になって出穂期20~30日前の気象条件を解析し発生量を予測しても、防除対応に反映することはできない。また、幼穂形成期から出穂期までの日数は年によって異なる(第2図)。そのため、稲こうじ病の実際の発生予測のためには、幼穂形成期を基準として、どの期間の降雨や気温が発生に影響するかを知ることが重要である。

そこで、本研究では幼穂形成期を基準としてどの期間の降雨日数と日平均気温が稲こうじ病の発生に影響するかを検討した。

材料および方法

解析は1999~2022年の24年間を対象とした。稲こうじ病の発病程度は、新潟県病害虫防除所が県内の75圃場で調査した、発病株率の最多発生値の県平均を用いた。気象データは、新潟県内のアメダス27地点の降雨日数および日平均気温を用いた。イネの生育時期は、新潟県内の農業普及指導センターが15地点に設置した気象感応調査圃場における「コシヒカリ」の幼穂形成期、出穂期の平均値を用いた。

各年次の稲こうじ病の発病株率と、アメダス1地点あたりの平均降雨日数および27地点の日平均気温との単回



第2図 気象感応調査圃場における「コシヒカリ」の幼穂伸長期間

(1999~2022年, 新潟県内15地点の平均値)

帰分析を行い、決定係数を求めた。その際、降雨日数を合計する期間、日平均気温を算出する期間を、幼穂形成期~出穂期とした場合と、計算期間を1, 2, 3, 5, 7, 10, 14, 21日間とし、その計算開始日を幼穂形成期から幼穂形成期30日後まで1日ずつ異ならせ組み合わせた条件とした。稲こうじ病の発病株率は角変換して解析した。

結果および考察

幼穂形成期後の降雨日数および日平均気温の計算期間を変えて、稲こうじ病の発病株率との単回帰分析を行った結果を、第1, 2表に示した。幼穂形成期~出穂期までの延べ降雨日数との間には決定係数0.35の有意な正の相関が(第1表)、日平均気温との間には決定係数0.31の有意な負の相関関係が(第2表)認められ、出穂期20日前または30日前から出穂期までの多雨や低温が影響するとの報告(芦澤, 2014; 西宮ら, 2020; 田中ら, 2012; 辻ら, 1997; 梅原ら, 1981; 横須賀, 1994)と同じ傾向であった。第3図に最も決定係数が高かった計算期間における降雨日数および日平均気温と稲こうじ病の発病株率との関係を示した。最も決定係数が高かった期間は、降雨日数では幼穂形成期後9日から21日間、日平均気温では幼穂形成期後11日から14日間であり、それぞれの決定係数は幼穂形成期~出穂期の場合より高かった。降雨日数の計算期間を1日とした場合、幼穂形成期後8日間までは有意な相関はなく、幼穂形成期後9~12日間、16~19日間および23~24日間に連続して決定係数0.19~0.36の有意な相関が認められた。計算期間を長くしていくと、計算期間に幼穂形成期後9~12日間が含まれている期間の決定係数が他の期間より高い傾向が認められ、特に幼穂形成期後9~12日間頃の降雨が他の期間の降雨に比べ発病への影響が大きいと考えられた。計算期間が3日以下では、幼穂形成期後8日間までに有意な相関が認められなかった。計算期間が5日以上になると、幼穂形成期後8日間より早い期間から有意な相関が認められたが、計算期間が長くなったために発病への影響が大きいと推定された幼穂形成期後9~12日間などが計算期間に含まれたためと考えられる。これらから、幼穂形成期後8日間の降雨は、発病への影響が小さいと推定された。検討を行った24年間の気象感応調査圃場における「コシヒカリ」の幼穂伸長期間(幼穂形成期~出穂期までの日数)は22.7日(21~25日)であった(第2図)。本研究

第1表 稲こうじ病の発病株率と幼穂形成期後の延べ降雨日数との決定係数

計算開始	計算期間								
	出穂期まで	1日間	2日間	3日間	5日間	7日間	10日間	14日間	21日間
幼穂形成期	0.35**	0.01	0.00	0.03	0.04	0.05	0.04	0.19*	0.36**
1日後		0.02	0.08	0.04	0.06	0.05	0.10	0.27**	0.37**
2日後		0.09	0.03	0.06	0.06	0.02	0.15	0.32**	0.38**
3日後		0.00	0.03	0.03	0.02	0.03	0.20*	0.35**	0.39**
4日後		0.09	0.06	0.07	0.01	0.12	0.29**	0.42***	0.45***
5日後		0.01	0.04	0.01	0.03	0.17*	0.34**	0.41***	0.45***
6日後		0.04	0.01	0.00	0.10	0.26**	0.37**	0.42***	0.48***
7日後		0.00	0.03	0.01	0.16	0.27**	0.35**	0.41***	0.47***
8日後		0.06	0.02	0.15	0.33**	0.39**	0.40***	0.43***	0.49***
9日後		0.23*	0.36**	0.39**	0.49***	0.48***	0.49***	0.47***	0.53***
10日後		0.36**	0.36**	0.46***	0.45***	0.42***	0.46***	0.44***	0.45***
11日後		0.29**	0.37**	0.33**	0.36**	0.37**	0.41***	0.42***	0.36**
12日後		0.27**	0.19*	0.26*	0.30**	0.36**	0.37**	0.43***	0.29**
13日後		0.04	0.16	0.22*	0.29**	0.36**	0.33**	0.45***	0.27*
14日後		0.20*	0.25*	0.26*	0.36**	0.40***	0.37**	0.45***	0.23*
15日後		0.16	0.20*	0.28**	0.36**	0.34**	0.37**	0.42***	0.17*
16日後		0.19*	0.28**	0.33**	0.34**	0.26*	0.38**	0.37**	0.12
17日後		0.27**	0.29**	0.34**	0.26*	0.24*	0.39**	0.26*	0.08
18日後		0.19*	0.30**	0.26*	0.15	0.24*	0.32**	0.13	0.05
19日後		0.33**	0.19*	0.13	0.13	0.25*	0.25*	0.07	0.03
20日後		0.04	0.03	0.01	0.13	0.26*	0.19*	0.03	0.03
21日後		0.01	0.00	0.04	0.18*	0.21*	0.11	0.01	0.04
22日後		0.01	0.04	0.13	0.23*	0.17*	0.05	0.01	0.03
23日後		0.19*	0.29**	0.30**	0.27**	0.19*	0.03	0.00	0.03
24日後		0.26*	0.23*	0.25*	0.16	0.08	0.01	0.00	0.02
25日後		0.10	0.16*	0.15	0.09	0.01	0.00	0.00	0.01
26日後		0.17*	0.12	0.07	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01
27日後		0.04	0.01	0.02	0.01	0.03	0.05	0.00	0.00
28日後		0.00	0.00	0.00	0.05	0.06	0.06	0.00	0.06
29日後		0.01	0.01	0.04	0.09	0.09	0.05	0.00	0.14
30日後		0.07	0.10	0.16	0.13	0.11	0.03	0.00	0.30**

網掛けは、幼穂形成期～出穂期における決定係数より高い期間。太字は、決定係数0.4以上。

*, **, ***は、それぞれ5, 1, 0.1%水準で有意なことを示す。

第2表 稲こうじ病の発病株率と幼穂形成期後の日平均気温との決定係数

計算開始	計算期間								
	出穂期まで	1日間	2日間	3日間	5日間	7日間	10日間	14日間	21日間
幼穂形成期	0.31*	0.03	0.01	0.00	0.01	0.06	0.09	0.15	0.29**
1日後		0.00	0.01	0.03	0.08	0.11	0.13	0.21*	0.34**
2日後		0.05	0.03	0.04	0.12	0.14	0.17*	0.25*	0.37**
3日後		0.03	0.02	0.10	0.15	0.14	0.19*	0.29**	0.38**
4日後		0.03	0.10	0.16	0.17*	0.16*	0.22*	0.30**	0.40***
5日後		0.24*	0.18*	0.22*	0.18*	0.21*	0.26*	0.33**	0.39**
6日後		0.19*	0.15	0.17*	0.15	0.20*	0.27**	0.33**	0.36**
7日後		0.14	0.09	0.09	0.14	0.19*	0.29**	0.34**	0.35**
8日後		0.06	0.03	0.08	0.16	0.22*	0.28**	0.37**	0.35**
9日後		0.03	0.07	0.14	0.20*	0.28**	0.30**	0.40***	0.37**
10日後		0.14	0.20*	0.22*	0.28**	0.36**	0.35**	0.43***	0.39**
11日後		0.21*	0.21*	0.24*	0.33**	0.35**	0.39**	0.44***	0.38**
12日後		0.19*	0.19*	0.28**	0.38**	0.33**	0.43***	0.42***	0.35**
13日後		0.19*	0.23*	0.29**	0.30**	0.33**	0.43***	0.38**	0.30**
14日後		0.19*	0.17*	0.22*	0.23*	0.33**	0.41***	0.34**	0.27**
15日後		0.16	0.13	0.19*	0.26*	0.38**	0.41***	0.32**	0.23*
16日後		0.19*	0.08	0.19*	0.33**	0.40***	0.37**	0.32**	0.18*
17日後		0.12	0.06	0.25*	0.39**	0.39**	0.32**	0.29**	0.12
18日後		0.17*	0.13	0.34**	0.39**	0.38**	0.28**	0.25*	0.09
19日後		0.33**	0.21*	0.42***	0.39**	0.32**	0.26*	0.22*	0.07
20日後		0.38**	0.23*	0.38**	0.34**	0.25*	0.21*	0.16*	0.06
21日後		0.39**	0.16	0.26*	0.19*	0.17*	0.14	0.11	0.05
22日後		0.16	0.10	0.16	0.11	0.09	0.10	0.06	0.04
23日後		0.13	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.03	0.03
24日後		0.14	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05	0.01	0.03
25日後		0.02	0.02	0.04	0.03	0.04	0.03	0.00	0.03
26日後		0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	0.04
27日後		0.04	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00	0.04
28日後		0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.05
29日後		0.00	0.01	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.05
30日後		0.04	0.03	0.03	0.03	0.00	0.00	0.01	0.05

網掛けは、幼穂形成期～出穂期における決定係数より高い期間。太字は、決定係数0.4以上。

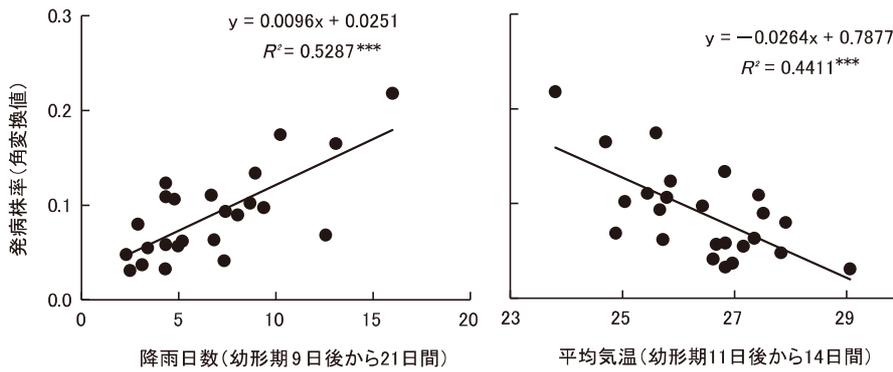
*, **, ***は、それぞれ5, 1, 0.1%水準で有意なことを示す。

で明らかとなった発病に影響しない期間の晩限である幼穂形成期後8日は、出穂期を基準にすると出穂期13~17日前となる。園田ら(1997)は圃場から時期別に株を抜き上げ、その発病状況から稲こうじ病の感染は出穂期前10日前後に起き、出穂前6日頃から急速に増加すると報告している。このため、感染時期と離れた出穂期前13~17日(幼穂形成期後8日)以前の降雨の影響が小さかった可能性がある。本研究の解析により、幼穂形成期後8日間の降雨は稲こうじ病の発生量への影響が小さく、発病に影響する降雨の期間は既報の出穂期前20~30日間より短い可能性が示された。

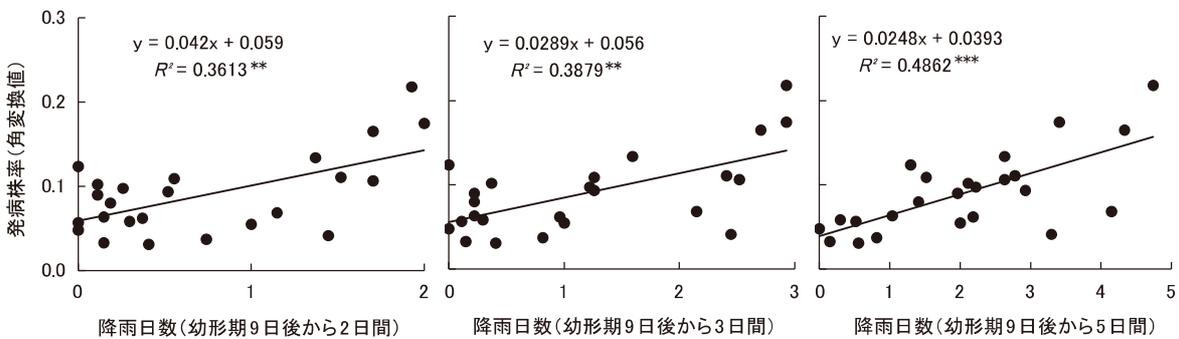
発病株率と日平均気温との関係を表す決定係数は、降雨日数との関係に比べやや低い傾向であった。日平均気温の計算期間を1日とした場合、幼穂形成期後4日間までは有意な相関はなく、幼穂形成期後5~6日間、11~14日間および19~21日間に連続して決定係数0.17~0.39

の有意な相関が認められた。計算期間を長くした場合、計算期間7日までは幼穂形成期後11~14日間または19~21日間を含む期間、それ以上長い計算期間では、幼穂形成期後11~14日間と19~21日間を含む期間の相関が高い傾向が認められた。

茎葉散布剤による稲こうじ病の薬剤防除の晩限は出穂期10日前頃(辻ら, 1996)であり、それまでに防除実施の意思決定をする必要がある。出穂期10日前は、最も幼穂伸長期間が短い21日の年では幼穂形成期後11日となる。発病株率と最も相関が高かった期間(第3図)は、薬剤防除の晩限を過ぎてしまい、防除の意思決定には使用できない。第1表において、幼穂形成期後11日以前に短い計算期間で有意な相関が認められるのは、幼穂形成期9日後からであった。このため、幼穂形成期9日後から2, 3, 5日間の降雨日数と発病株率との関係を第4図に示した。決定係数0.36~0.49の有意な相関が認められ、計



第3図 稲こうじ病の発病株率と幼穂形成期後の降雨日数および日平均気温との関係
第1, 2表で最も決定係数が高い期間の関係を示した。
降雨日数は、幼穂形成期後9日から21日間のアメダス1地点あたり(日)。
平均気温は、幼穂形成期後11日から14日間の日平均気温の平均(℃)。
***は、0.1%水準で有意なことを示す。

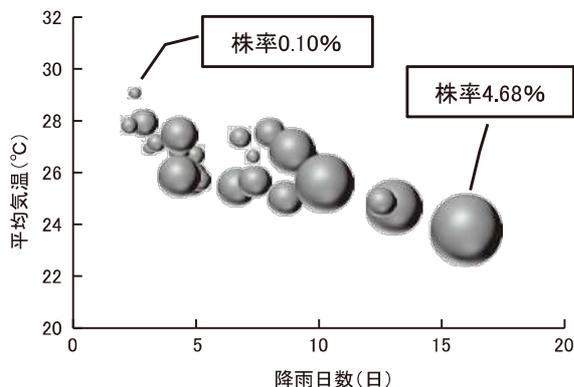


第4図 稲こうじ病の発病株率と降雨日数との関係
降雨日数はアメダス1地点あたり(日)。
, *は、それぞれ1%, 0.1%水準で有意なことを示す。

算日数が長くなるほど相関は高くなるが、防除適期の晩限までゆとりがないか、晩限を過ぎてしまう。このため、この期間の降雨日数を防除実施の判断基準として使うには、週間天気予報などと組み合わせる必要があると考えられる。日平均気温では、出穂期10日前頃までに算出できる計算期間の決定係数は0.3以下であり、防除の判断基準には使えないと考えられた。

発病株率と最も相関の高かった期間の降雨日数、日平均気温と発病株率の関係を第5図に示した。降雨日数が多いほど日平均気温が低くなる傾向が認められた。降雨日数が少なく日平均気温が高い場合に発病株率が低い事例が多く、最も降雨日数が多く日平均気温が低い事例（多発生した2009年）で発病株率が4.68%となり最も高かった。しかし、降雨日数が少なく日平均気温が高くて発病株率が比較的高い事例やその逆の事例も認められた。これは、出穂期前の降雨や気温以外に、稲こうじ病菌の発生量の年次変動に影響を与える要因があることを示唆している。穂ばらみ期の降雨は、穎花への稲こうじ病菌の感染確率を高めると考えられ（芦澤，2018）、低温は幼穂の伸長を緩慢にして、稲こうじ病菌菌糸が小穂に到達できやすくなる可能性があると考え（田中ら，2012）、この期間の気象条件は穎花への感染確率に影響する要因である。稲こうじ病の発生量は、止葉葉鞘内に侵入した菌量と穎花への感染確率の積値により決定されると考えられる。したがって、年次によって止葉葉鞘内に侵入した菌量が異なれば、発生量に影響すると推定される。

稲こうじ病菌は圃場に落下した厚壁胞子を伝染源にし



第5図 稲こうじ病の発病株率と降雨日数および日平均気温との関係

プロットの大きさが発病株率を示す。
降雨日数は、アメダス1地点あたり。幼穂形成期後9日から21日間の合計値。
平均気温は、幼穂形成期後11日から14日間の平均値。

て本田に移植されたイネの根に感染し、穂ばらみ期の葉鞘内でイネ小穂に侵入して病粒を形成する（芦澤，2018, Tanaka et al. 2016）。芦澤（2014）は、同一の気象条件では稲こうじ病菌の土壌菌量が多いほど発病が多くなるとしている。しかし、異なる気象条件（年次）によって、イネの根への感染がどの程度変動するかは明らかとなっていない。また、イネの根に侵入した稲こうじ病菌が止葉葉鞘内に至るまでには未解明な過程が残っており（芦澤，2018）、止葉葉鞘内に到達する菌の量的な変動も明らかとなっていない。

既報では出穂期20~30日前から出穂期までの降雨や低温が発生量に影響するとされていたが、本研究では幼穂形成期後の降雨や低温の期間によって発生量への影響が異なることを明らかとした。ただし、本研究は1つのデータセットの解析結果であり、新潟県以外のデータを用いた同様の解析や、人工降雨や雨よけなどで降雨期間を制御する介入試験を行うことで、発病に影響する降雨の期間をより明確にできると考えられる。これに加え、止葉葉鞘内の菌量の年次変動とその要因を明らかにすることで、より高い精度で稲こうじ病の発生量予測が可能になると期待される。

引用文献

- 芦澤武人（2014）土壌菌量と気象条件がイネ稲こうじ病の発生に及ぼす影響の検討と発生量を予測するためのモデルの作成。関東東山病虫研報61：18-22。
- 芦澤武人（2017）イネ稲こうじ病の薬剤散布適期判定システムの開発。農研機構研報中央農研1：1-12。
- 芦澤武人（2018）イネ稲こうじ病の発生生態と防除。植物防疫72：465-468。
- 西宮智美・岡本和之・島田 峻（2020）イネ稲こうじ病の発生と水稻出穂期前の降雨との関係。茨城県病虫研報59：33-38。
- 園田亮一・芦澤武人・古賀博則・齊藤初雄（1997）イネ稲こうじ病の圃場における自然感染時期の推定。北日本病虫研報48：39-42。
- 田中栄爾・熊川 剛・鈴木恵理（2012）稲こうじ病の発生に及ぼす圃場要因と気象条件。北陸病虫研報61：5-10。
- Tanaka, E., Kumagawa, T., Ito, N., Nakanishi, A., Ohta, Y., Suzuki, E., Adachi, N., Hamada, A., Ashizawa, T., Ohara, T. and Tsuda, M. (2016) Colonization of

- the vegetative stage of rice plants by the false smut fungus *Villosiclava virens*, as revealed by a combination of species-specific detection methods. *Plant Pathology* 66 : 56-66.
- 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.
- 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 : 9-13.
- 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. 宮城農七報63 : 12-21.
- 梅原吉広・寺西敏子・山元尹男 (1981) 昭和55年に富山県で激発した稲こうじ病について. 北陸病虫研報 29 : 11-13.
- 横須賀知之 (1994) 茨城県における稲こうじ病の発生状況. 茨城県病虫研報33 : 34-37.
- (2023年 8月 7日 受理)
-