

水田内における褐色米発生状況と病原菌密度との関係

本多範行¹・古賀博則²

Correlation Between the Occurrence of Discolored rice grains and the Pathogenic fungal spore Density in the Paddy field

Noriyuki HONDA¹ , Hironori KOGA²

福井県で褐色米を引き起こす糸状菌は主に4種で、水田内での分布が異なった。一つは *Alternaria padwickii* で、着色程度は低い、褐色米からの菌分離率は高かった。圃場の中央部で発生が多く、出穂後イネ成葉で増殖し、胞子を飛散させた。*Curvularia* 属菌によるものは着色程度が高いが、褐色米からの分離率は低く、畦畔沿いで発生が多かった。*Alternaria alternata* によるものは着色程度が低かった。褐色米からの分離率は年次変動が大きく、畦畔沿い、中央部両方で発生が見られた。出穂期には枯死葉で菌密度が高く、その後成葉でも高くなった。*Phoma* 属菌によるものは着色程度が低く、褐色米からの分離率は年次変動が大きかった。成葉で分離率が高かった。

キーワード：褐色米，飛散胞子，植物体菌密度，すすかび，カーブラリア属菌，

Key words : discolored rice grains , air spore , fungus density , *alternaria* , *curvularia*

緒言

褐色米は玄米表面が茶褐色に変色する病害で、時には黒褐色の微細な斑点が生じることがある。褐色米の混入は品質低下の原因となる。特に着色程度の濃い重症米は精米にしても、茶褐色が残ることから、重症米が0.1%以上混入すると2等米以下となる。1978年に北陸地方を中心に夏期の異常高温によって褐色米が発生したことから、精力的に研究されたが、以降発生の多い地域はあるものの広範囲に多発生することが無く、大きな問題となっていない¹³⁾。褐色米が問題となった1978年の福井市の気象は、7・8月の月最高気温が33℃を越える猛暑で、降水量は2か月併せても150mmにも満たない高温・乾燥の夏であった⁵⁾。このような気象はその後観測されていないが、近年の夏期は高温で経過することが多い傾向にある。また、褐色米はいもち病とは異なり施肥量の減少によって発生しやすい⁸⁾。本県の窒素施肥量は1978年に比

べ約6割に減少しており、これら二つの要因は今後褐色米の多発を招くおそれがある⁴⁾。褐色米には、*Curvularia* 属菌4種、*Alternaria alternata*、葉しょう腐敗病菌、*Phoma* 菌1種、内穎褐変病細菌、ごま葉枯病菌、斑点病菌、腹黒米菌、紅変米菌の12種が関与し、病原菌は地域や発生年次によって異なる^{3,13)}。また、安全・安心に加え、外観のよい米は消費者の求めるところである。病害の効率的な防除を行うには、的確な診断および発生生態に基づいた適切な防除が重要である。

そこで、本県における褐色米の発生状況、圃場内の褐色米と病原菌の分布状況について調査したので、その結果を報告する。

材料および方法

1. 接種菌と褐色米の病徴

供試したイネは水稻育苗用床土(イセキ・ラブリー床土)を詰めた1/5000aワグネルポットに10粒(品種:コ

¹ 福井県農業試験場

² 石川県立大学

シヒカリ) 播種し、分けつ茎を除去した主茎の穂を用いた。

供試した接種菌は第2表に示すように *A. padwickii* 2 菌株, *A. alternata* 1 菌株, *Curvularia* 属菌 4 菌株, *Phoma* 属菌 2 菌株である。*A. padwickii* は玄米培地⁹⁾で, *A. alternata*, *Curvularia* 属菌, *Phoma* 属菌は 2/3 オートミール寒天培地(組成: Difco 社製 OMA 48.3g, 蒸留水 1l, 寒天 4.2g)で 25℃, 14 日間培養後, 滅菌水に懸濁した。*A. padwickii* は 100 倍視野当たり 1 胞子に *A. alternata*, *Curvularia* 属菌, *Phoma* 属菌は 100 胞子に調整した液を穂が出揃った時期(2006 年 7 月 31 日)にポット当たり 40ml を穂に噴霧接種した。対照には滅菌水を散布した区と無接種区を設けた。1 菌株当たり 1 ポットを用いた。接種後は交配用パラフィン紙袋(撥水純白 8K20, 小林製袋産業株式会社)で 2 日間湿室を保持し, その後ガラス室で管理した。10 月 2 日に穂を採取し, 脱穀後, 玄米を従来法⁵⁾である黒カルトンと白カルトンによる分類および穀粒判別器(ES-1000, 静岡製機株式会社)によって分類した。また, 着色粒については表面殺菌後, 常法により接種菌の再分離を行った。

2. 褐色米の発生状況

福井県内の褐色米発生状況調査には坂井地区, 南越地区および二州地区で収穫された 2006~2008 年産「コシヒカリ」の精玄米を用いた。精玄米(1.85mm 篩選別)100g を品質判定機(RS-2000, 静岡製機株式会社)によって着色粒, 被害粒に類別し, さらに目視により白カルトン, 黒カルトンで濃着色粒, 淡着色粒にわけ, 各地点の発生粒率を算出した。菌の分離は着色粒を常法により表面殺菌後, 素寒天培地に置床し, 25℃・10 日間培養した。出現してきた菌叢を鏡し, 分離菌を同定した。着色粒発生粒率に分離菌出現率を乗じて糸状菌ごとの褐色米発生粒率を算出した。また, *Fusarium* 菌は SNA 培地(組成: KH_2PO_4 1g, デキストロース 0.2g, サッカロース 0.2g, KNO_3 1g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5g, KCl 0.5g, 蒸留水 1l, 寒天 23g)で 20℃, 14 日間, 暗黒条件で培養し, 胞子の形態から同定した。

褐色米からの細菌は PPGA 培地(組成: ジャガイモ 200g 煎汁, ペプトン 5g, グルコース 5g, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 3g, KH_2PO_4 0.5g, NaCl 3g, 蒸留水 1l, 寒天 15g)を用いて分離した。分離菌の同定には細菌簡易同定キット

「api20NE」(BIO MÉRIEUX S.A.)を用いた。

3. 圃場における病原菌胞子の飛散と褐色米発生との関係

試験 1

農業試験場内の無防除圃場の畦畔に固定式回転胞子採集器(地上高 1.5m)を設置し, 2005 年は午前 11 時~正午まで, 2006~2008 年は午前 11 時~午後 1 時に採取したスライドガラス上の 18 mm×18 mm, 2 枚分に採集した胞子数を調査した。

試験 2

圃場内の褐色米病原菌の飛散胞子量は農業試験場内とあわら市東山のコシヒカリ圃場で 2006 年 7 月 5 日から 8 月 29 日まで 7 日ごとに 9 回, 調査した。午前 11 時~午後 1 時にエアースンプラ(BIO SAMP MBS-1000, (株)フナコシ)で 500l 吸引し, 直径 9 cm の素寒天プレートに付着した胞子数を光学顕微鏡下で計測した。調査地点は農業試験場圃場(5a, 20m×25m)では圃場の中央部, 畦畔から 1m 沿い, 畦畔の 3 地点, 東山圃場(21a, 30m×70m)では対角線上を 4 等分した 3 地点と畦畔から 1m 沿いおよび畦畔の 7 地点で調査した。採取高は地上 15 cm 高, イネ草冠部, 地上 2m 高で採取した。

イネ体上の胞子密度を調査するために, 上記の 2 圃場内の 7 地点で, イネ 10 株から株当たり 1 茎を採取し, 10 茎の穂, 最上位葉, 最下位葉に分解した。部位ごとにまとめて, Tween20 を 0.05% 加用した 200ml 滅菌水中で 15 分間振とう後, 0.05 ml 中の胞子数を光学顕微鏡で調査した。

出穂期は農業試験場内が 8 月 4 日, あわら市東山が 8 月 1 日であった。収穫期(9 月 7 日)に 10 株刈り取り, 品質判定器とカルトンを用いて, 濃着色粒, 淡着色粒および健全粒を分け, 表面殺菌後, 常法によって出現してくる糸状菌の頻度を調査し菌別褐色米発生率を算出した。

試験 3

2005 年には 7 月 19 日から 10 日ごとに 5 回, 農業試験場内のハナエチゼン, コシヒカリ 10 茎を採取し, 葉位別に葉身先端部と小穂 50 粒を常法により表面殺菌し, SNA 培地を用いて菌の出現率を調査した。出穂期はハナエチゼンで 7 月 22 日, コシヒカリで 8 月 1 日であった。

結果および考察

1. 接種菌と褐色米の病徴

褐色米病原菌をイネ穂に接種して発生した褐色米を、黒カルトンで健全粒と識別できるものを濃着色粒、白カルトンで健全粒と識別できるものを淡着色粒とした。*C.lunata* を接種して採取した玄米 2752 粒のうち、濃着色粒は 277 粒 (粒率 10%)、淡着色粒 717 粒 (粒率 26%) であった。*A.alternata* を接種して採取した玄米 5033 粒は濃着色粒が 87 粒 (粒率 2%)、淡着色粒 1388 粒 (粒率 27%) で、*C.lunata* 接種区では黒褐色の微細な斑点が生じる濃着色粒の割合が高かった。

カルトンで識別した *C.lunata* と *A.alternata* の濃着色粒、淡着色粒および健全粒を穀粒判別器によって分類すると、全体的に濃着色粒は健全粒に比べ茶米、全面着色粒、部分着色粒になることが多かった。淡着色粒は健全粒に比べねじれ、薄茶、茶米、斑点粒、部分着色粒に分類されることが多かった。このうち特に *C.lunata* の接種では濃着色粒は全面着色粒、茶米に分類されることが多く、*A.alternata* の場合は、茶米および部分着色粒に分類されることが多かった(第1表)。

褐色米を調査する場合、調査する時間帯や天候、褐色米の混入割合、また、調査する人によって、微妙に判別基準が異なるので、できるだけ機器を使用した類別が必要である⁵⁾。穀粒判別器 ES-1000 は粒の面積、長さ、幅、赤色/緑色の反射率、透過率、色相などから玄米状態を 23 種類に分類できる。本調査においてカルトンで識別した健全粒が穀粒判別器で混入しない分類に、また無接種区の玄米の混入の少ない分類である薄茶粒、茶米粒、全面着色粒、部分着色粒が褐色米に該当すると考えられる。その内、茶米および全面着色粒が着色程度の濃い重症米に該当すると考えられた。

褐色米から分離した 9 菌株を接種した結果を第 2 表に示した。病原菌接種による褐色米発生率は *C.clavata*、*C.inaequalis* および *C.lunata* は *C.intermedia*、*A.alternata* および *Phoma* 属菌 2 菌株に比べ高かった。*C.clavata*、*C.inaequalis* および *C.lunata* は特に全面着色粒率に大きな違いが見られ、褐色米のうち濃褐色米の占める割合が高かった。それに対して、*C.intermedia*、*A.alternata* および *Phoma* 菌 2 菌株は褐色米に占める薄茶粒率が高かった。

第1表 目視で類別した褐色米の穀粒判別器¹⁾による分類

接 種 菌	<i>Curvularia lunata</i>				<i>Alternaria alternata</i>					
	健全粒	淡着色粒	濃着色粒	合 計	健全粒	淡着色粒	濃着色粒	合 計		
目視による粗玄米 の分類 ²⁾	当該粒数	1758	717	277	2752	3563	1383	87	5033	
	粒率 (%)	64	26	10	100	71	27	2	100	
穀粒判別 器により 分類され た粒率 (%)	整粒	活青粒	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		他整粒	20.7	0.7	0.0	7.1	16.0	0.2	0.0	5.4
	未熟粒	乳白粒	8.8	2.4	0.0	3.7	11.0	6.1	1.1	6.1
		青未熟	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
		基部	1.5	0.1	0.0	0.6	3.0	3.0	1.1	2.4
	他未熟	腹白	0.7	0.0	0.0	0.2	1.7	1.4	0.0	1.0
		やせ	0.4	0.4	0.0	0.3	0.4	0.5	0.0	0.3
		ねじれ	10.9	35.6	7.6	18.0	10.0	29.3	2.3	13.8
		粒揃い	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		薄茶	0.2	1.4	0.0	0.5	0.4	6.0	1.1	2.5
	被害粒	その他	20.9	1.4	0.4	7.6	25.1	5.6	0.0	10.2
		発芽粒	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		胴割粒	32.3	17.4	3.2	17.7	25.7	12.9	6.9	15.2
死米	奇形粒	0.2	1.1	0.4	0.5	0.1	0.5	0.0	0.2	
	茶米	0.0	13.1	57.0	23.4	0.1	13.1	31.0	14.7	
	砕粒	0.9	1.1	1.4	1.1	0.9	1.9	17.2	6.7	
	斑点粒	0.7	4.5	0.0	1.7	2.9	13.3	2.3	6.2	
着色粒	青死米	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	
	白死米	0.7	0.3	0.4	0.4	2.0	1.0	3.4	2.2	
合計	全面着色粒	0.0	0.1	17.3	5.8	0.0	0.0	5.7	1.9	
	部分着色粒	1.0	20.4	12.3	11.2	0.7	5.4	27.6	11.2	
合計		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	

1) 穀粒判別器：ES-1000を用いた

2) 黒カルトン、白カルトンを用いて分類した

接種菌の分離結果を第3表に示した *Curvularia* 属菌, *A.alternata* および *Phoma* 属菌の接種によって発生した着色粒からの接種菌の分離率は高かった. *A. padwickii* 2菌株では分離率は低かった. *A. padwickii* は接種後,乾燥状態より湿潤状態に保たれると発生が少なくなる⁹⁾ことから,本試験では接種後パラフィン紙袋で被覆したことが感染に影響したと考えられる. 滅菌水を噴霧した区では *A.alternata* が分離されたが,その分離率は低かったことから, *Curvularia* 属菌 4菌株, *A.alternata* および *Phoma* 属菌 2菌株による玄米の着色は接種菌によるものと考えられた. 以上のことから *C. clavata*, *C. inaequalis*, *C. lunata* は *C.intermedia*, *A.alternata*, *Phoma* 属菌に比べ,褐色米の病原性が強いと考えられた.

2. 褐色米の発生と糸状菌の分離

県内の褐色米の発生状況を第4表に,またそれらの褐色米から分離された病原菌の出現菌を第5表に示した. 2006年の濃着色粒率は坂井地区で高く,2007年は坂井地区,南越地区,二州地区ともに濃着色粒率は高かった. 坂井,南越地区では *A.padwickii* による褐色米が多く,二州では *Phoma* 属菌によるものが多かった. 2008年の濃着色粒率は低かった. 糸状菌の種類別では坂井地区では *A.padwickii* および *A.alternata* による褐色米が多く,南越地区では *A.padwickii* および *Curvularia* 属菌によるものが,二州地区では *Phoma* 属菌による褐色米が他の地区に比べ多い傾向にあった(第5表). 2008年の坂井,南越地区での淡着色粒の多発生は *A.padwickii* によるものと考えられる.

地域で見ると坂井地区で高く,年次で見ると2007年は2006年,2008年に比べて着色粒率は高い傾向にあった. 着色粒の約5割から *A.padwickii*, *A.alternata*, *Curvularia* 属菌, *Phoma* 属菌が分離された. 菌の種類別にみると *A.padwickii* によるものが多く,2006年から2008年にかけて増加傾向にあった. また,年によって *Phoma* 属菌, *A.alternata* による褐色米が多い地域が見られた.

着色粒からごくまれに *Fusarium* 属菌が分離された. 着色粒からの分離率は, *Gibberella fujikuroi* 種複合体が0.36%, 赤色系 *Fusarium* 菌は0.22%, これ以外の *Fusarium* 菌は1.21%と *A.padwickii* など褐色米病原菌の分離率に比べ低かった. 分離した赤色系 *Fusarium* 菌31菌株のうち,1菌株が *F.avenaceum* で,30菌株は *F.graminearum* 種複合体であった. *F.graminearum* 種複合体はマイコトキシンを産生する. 着色粒は一般に粒厚が小さい⁴⁾ことから,粒厚選別によって除外されやすい. また,精米することによってマイコトキシンが検出されなくなる¹⁰⁾ことからマイコトキシンの汚染は問題とならないと考えられる. *Gibberella fujikuroi* 種複合体にはイネばか苗病菌が含まれる. 本県では薬剤による種子消毒が定着していることから,近年ほとんど発生が見られない. しかし,県内の玄米から本菌が分離されることから今後注意が必要になる.

健全粒からは糸状菌や細菌はほとんど分離されてこなかった. また,着色粒のうちの約3割からは糸状菌が分

第2表 病原菌接種による褐色米の発生

接種菌(菌株番号)	調査粒数	穀粒判別器により分類された粒率(%)				褐色米粒 ¹⁾ (%)	濃褐色米粒 ²⁾ (%)	無着色粒 ³⁾ (%)
		薄茶粒率	茶米粒	全面着色粒	部分着色粒			
<i>Curvularia clavata</i>	846	0.9	10.4	4.8	12.4	28.6	15.2	71.4
<i>Curvularia intermedia</i>	1019	3.4	3.1	0.2	2.6	9.4	3.3	90.6
<i>Curvularia inaequalis</i>	1140	0.4	8.4	9.6	7.7	26.1	18.0	73.9
<i>Curvularia lunata</i>	839	2.9	6.8	3.8	9.1	22.5	10.6	77.5
<i>Alternaria alternata</i>	963	5.1	7.4	0.1	5.2	17.8	7.5	82.2
<i>Alternaria padwickii</i> (6)	862	0.8	0.8	0.0	2.6	4.2	0.8	95.8
<i>Alternaria padwickii</i> (92)	1075	1.4	0.3	0.0	2.0	3.7	0.3	96.3
<i>Phoma</i> sp. (37)	1175	3.4	4.3	0.5	3.1	11.2	4.8	88.8
<i>Phoma</i> sp. (67)	875	4.8	5.3	0.3	2.5	12.9	5.6	87.1
滅菌水	809	0.7	0.2	0.0	1.1	2.1	0.2	97.9
無接種	839	0.0	0.1	0.0	0.6	0.7	0.1	99.3

1) 穀粒判別器によって薄茶粒、茶米粒、全面着色粒、部分着色粒に分類された粒率の合計

2) 穀粒判別器によって茶米粒、全面着色粒に分類された粒率の合計

3) 穀粒判別器によって整粒、未熟粒、他未熟(やせ、ねじれ、粒揃い)、被害粒(発芽粒、胴割粒、奇形粒、碎粒、斑点粒)、死米に分類された粒率の合計

第3表 病原菌接種した褐色米からの菌分離

接種菌 (菌株番号)	褐色米 ¹⁾ からの接種菌 分離率 (%)					
	<i>Curvularia</i> spp.	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Alternaria padwickii</i>	<i>Phoma</i> spp.	その他の菌類	非分離
<i>Curvularia clavata</i>	90	0	0	0	0	10
<i>Curvularia intermedia</i>	80	0	0	0	10	10
<i>Curvularia inaequalis</i>	85	0	0	0	5	10
<i>Curvularia lunata</i>	90	0	0	0	10	0
<i>Alternaria alternata</i>	0	80	0	0	10	10
<i>Alternaria padwickii</i> (6)	0	5	0	0	25	70
<i>Alternaria padwickii</i> (92)	10	10	0	0	20	60
<i>Phoma</i> sp. (37)	0	5	0	70	0	25
<i>Phoma</i> sp. (67)	0	0	0	100	0	0
滅菌水	0	10	0	5	80	5
無接種	- ²⁾	-	-	-	-	-

1) 第2表の褐色米粒を表面殺菌後、菌の分離を行った

2) 未調査

第4表 福井県における褐色米¹⁾の発生状況

地区名	年次	調査地点数	着色粒率 (%)		
			濃着色粒 ²⁾	淡着色粒	計
坂井	2006	7	0.68	2.65	3.34
	2007	4	0.64	2.84	3.48
	2008	2	0.40	19.02	19.42
南越	2006	12	0.22	2.06	2.28
	2007	22	0.75	2.64	3.39
	2008	10	0.11	13.96	14.08
二州	2007	15	0.67	3.45	4.12
	2008	3	0.04	7.44	7.47

1) 品種：コシヒカリ, 精玄米

2) 褐色米のうち黒カルトンで識別できる重症米

第5表 福井県における菌別の褐色米¹⁾粒率

地区名	年次	菌別褐色米粒率 (%) ²⁾							合計
		<i>Curvularia</i> spp.	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Alternaria padwickii</i>	<i>Phoma</i> spp.	その他糸状菌	細菌	非分離	
坂井	2006	0.05	0.10	1.61	0.09	0.24	0.35	0.90	3.34
	2007	0.08	0.12	2.07	0.74	0.24	- ³⁾	0.22	3.48
	2008	0.00	0.75	7.23	0.00	0.99	-	10.46	19.42
南越	2006	0.04	0.08	0.71	0.12	0.29	0.32	0.72	2.28
	2007	0.09	0.05	2.06	0.29	0.30	-	0.60	3.39
	2008	0.29	0.17	4.92	0.96	2.32	-	5.43	14.08
二州	2007	0.18	0.10	0.48	2.92	0.05	-	0.39	4.12
	2008	0.28	0.00	1.63	0.00	0.87	-	4.69	7.47

1) 品種：コシヒカリ, 精玄米

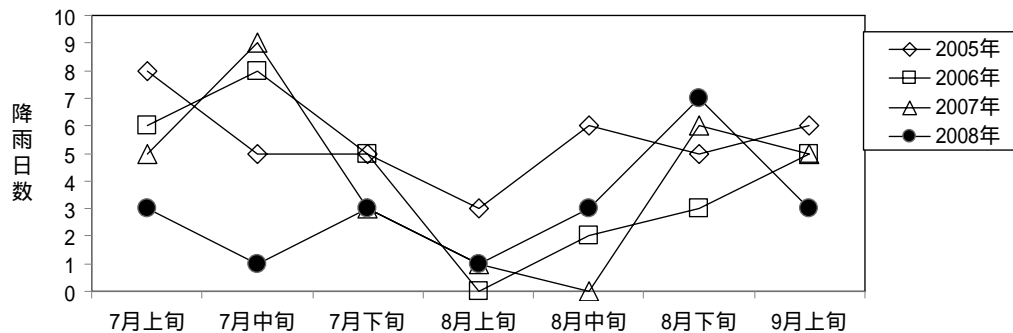
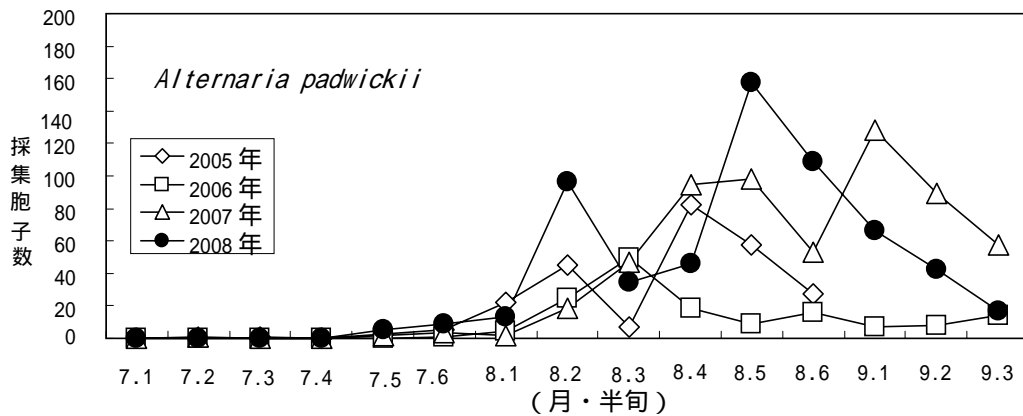
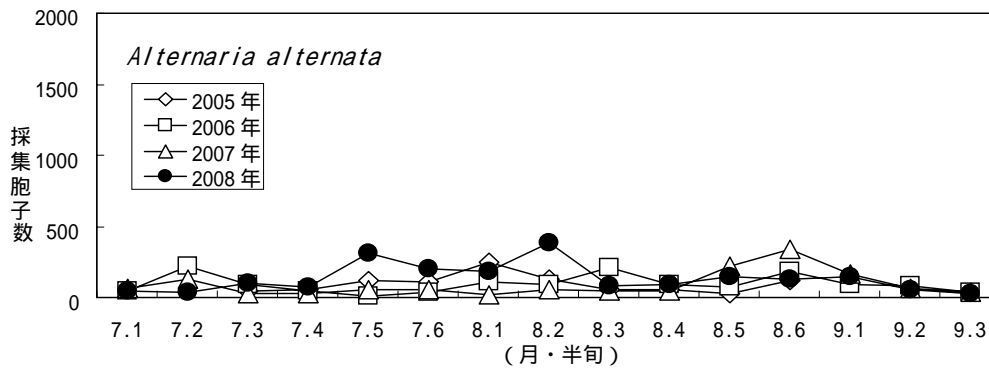
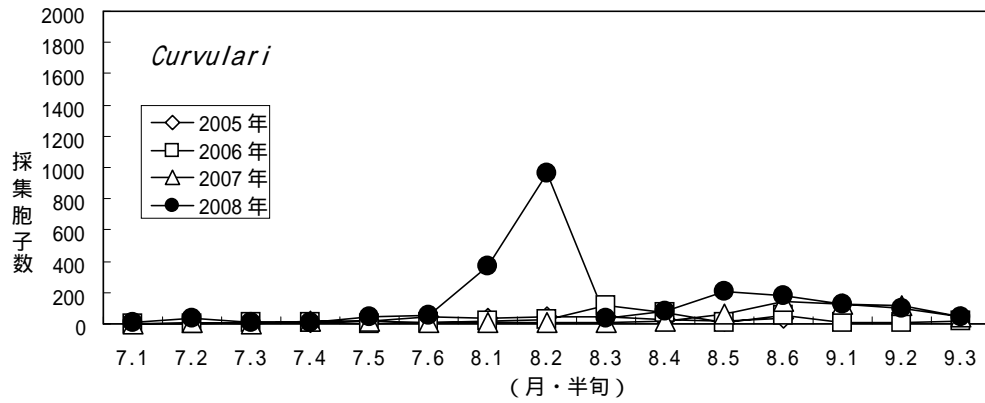
2) 菌別褐色米粒率は第4表の濃着色粒発生率と淡着色粒発生率の合計値

3) 未調査

離されなかった。2006年に着色粒から分離した細菌61菌株のうち *Erwinia ananas* が47菌株と多かった。*E. ananas* は出穂期に籾を侵し内穎褐変病を引き起こす。本菌に罹病すると玄米は茶色になり、不完全米になる¹⁴⁾ことから、本県でも内穎褐変病菌による褐色米が発生していると考えられる。

1978年に褐色米が北陸地域で多発生したが、その時の

原因となる糸状菌は、福井県では *A.padwickii*⁵⁾、石川県では *Curvularia* 属菌¹¹⁾、富山県では *A.alternata*¹²⁾と異なった。また、福井県において2000年には出穂の早い圃場で *A.alternata* による褐色米が多く、出穂の遅い圃場では *A.padwickii* によるものが多かった¹⁾。2003年の冷夏年や、2004年の福井豪雨の年には *Phoma* 属菌による褐色米が多かった^{3, 4)}。今回の調査で、2006年の南越地区では出



第1図 褐色米原因菌胞子の飛散状況¹⁾と降雨日数

1)2005年は午前11時～正午に、2006～2008年は午前11時～午後1時に固定式回転胞子採集器のスライドグラス(18mm×18mm)、2枚に採集した胞子の合計

穂の早い圃場で濃着色粒率が高く、2008年の坂井地区では出穂の遅かった直播栽培で褐色米率がやや高かった（私信）。地域によって褐色米の原因となる病原菌の種類が異なり、また、同じ地域においても年次によって褐色米病原菌の種類が異なった。褐色米の発生量、病原菌の種類が異なるのは、気象条件がそれぞれの病原菌の増殖に及ぼす影響が大きいと考えられる。

3. 圃場における病原菌胞子の飛散と褐色米発生

2005～2008年に畦畔に設置した固定式回転胞子採集器で採取した *A.padwickii*、*A.alternata*、*Curvularia* 属菌の胞子数を第1図に示した。年次別にみると総胞子採取数は2008年が最も多く、次いで2007年、2005年で、2006年は少なかった。菌の種類別には *A.padwickii* が最も多く、次いで *A.alternata* で、*Curvularia* 属菌は少なかった。

A.alternata 胞子の時期別飛散量の推移を見てみると、7月上旬から9月下旬まで常に胞子の飛散が見られるが、飛散の盛期は年によって異なった。*Curvularia* 属菌は2008年には8月2半旬に盛期が見られたが、他の年は胞子飛散の推移に大きな変動は見られなかった。*A.padwickii* の飛散量は「コシヒカリ」の出穂期にあたる8月1半旬から増加しはじめ、その後、年によって変動するが8月4、5半旬ごろに盛期となっている。

A.padwickii、*A.alternata*、*Curvularia* 属菌の胞子は正午ごろに多く飛散する⁶⁾。雨や曇天の日より晴天で気温が高い日に飛散量が多く、特に降雨のあった2、3日後の晴天日に多くなることが報告されている⁹⁾。2005年から2008年の7月上旬から9月上旬の降雨日数を示した。2008年のように胞子飛散量の多い年は7月上、中旬の降雨日数が少なく、7月下旬に降雨があるとその直後に飛散量の増加が見られた。

農業試験場内圃場と東山圃場2圃場の畦畔沿いと中央

部での褐色米の発生状況を第6表に、分離された褐色米の病原菌を第7表に示した。東山圃場の着色粒率は農業試験場内圃場よりやや低かった。しかし、玄米からの褐色米病原菌分離率は農業試験場内圃場に比べ高かった。東山圃場では着色粒は畦畔近くより中央部が多かった。菌別褐色米率は *A.padwickii* が多く、*Curvularia* 属菌、*A.alternata* は少なかった。農業試験場内圃場の *Curvularia* 属菌、*A.alternata* による褐色米は東山圃場に比べてやや多かったが、*A.padwickii* の褐色米は少なく、褐色米発生率も低かった。

東山圃場の採取胞子数を第8表に示した。東山圃場の採取胞子数は *A.padwickii* が多く、次いで *Curvularia* 属菌、*A.alternata* の順に少なくなり、菌別褐色米率とほぼ同じ傾向であった。採取高別病原菌胞子の採集数は地上15cm高の位置が多く、草冠部、地上2mの順に少なくなった。圃場内の畦畔沿いと中央部の胞子数は、*A.padwickii* と *A.alternata* が中央部で、*Curvularia* 属菌は畦畔沿いで多い傾向にあった。時期別採取胞子数は *A.padwickii* が出穂期頃(8月2日)に増加し収穫期まで続いた。*A.alternata* は出穂期とその1週間が最盛期であった。*Curvularia* 属菌は出穂1週間後頃から増加し、収穫期が最盛期であった。

イネ体上の胞子数の推移を第9表に示した。採取胞子数は出穂1週間後から増加しはじめた。菌別には *A.padwickii* が多く、畦畔沿いより中央部が多かった。また、上位葉、穂に比べ下位葉において採取胞子数が多かった。

農業試験場内圃場における小穂、葉身からの褐色米病原菌の分離率を第10表に示した。葉身先端部から分離される菌は *A.alternata* が多く、*A.padwickii* は少なかった。出穂前のイネでは *A.alternata* は下位葉で分離率が高く、上位葉では低かったが、出穂後は全体に分離率が高くなり、収穫期前には下位葉より上位葉、小穂からの分離率が高くなった。*A.padwickii*、*Curvularia* 属菌は収穫直前に上位葉から分離された。

第6表 圃場の畦畔部と中央部での褐色米発生の比較
着色粒率(%)

圃場	採取地点	調査粒数	着色粒率(%)		計
			濃着色粒	淡着色粒	
試験場内圃場	畦畔沿い	5012	0.9	4.8	5.7
	中央部	4721	1.1	1.9	3.0
東山圃場	畦畔沿い	4987	1.0	1.1	2.1
	中央部	4826	1.7	2.3	4.0

第7表 圃場の畦畔部と中央部での褐色米病原菌の比較

圃場	採取地点	分離された褐色米の病原菌率(%)		
		<i>Curvularia</i> spp.	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Alternaria padwickii</i>
試験場内圃場	畦畔沿い	2.6	4.3	2.4
	中央部	2.1	0.1	2.5
東山圃場	畦畔沿い	2.1	1.1	10.4
	中央部	0.8	0.1	20.3

第8表 東山園場における時期別の飛散孢子採取数¹⁾の推移

病原菌の種類	採取高	採取地点 ²⁾	調査月日(月・日)									合計
			7.5	7.12	7.19	7.26	8.2	8.9	8.15	8.23	8.29	
<i>Curvularia</i> spp.	15cm 高	畦畔	0	0	2	0	5	1	9	6	1	23
		畦畔沿い	0	0	4	1	1	23	22	45	44	138
		中央部	0	0	3	0	4	4	1	3	2	17
	草冠部	畦畔沿い	0	0	1	3	0	2	1	3	1	10
		中央	0	0	1	0	0	2	1	2	3	10
	2m 高	畦畔沿い	0	0	0	3	0	2	2	0	5	12
中央		0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	
<i>Alternaria alternata</i>	15cm 高	畦畔	0	0	3	0	8	0	0	0	2	12
		畦畔沿い	0	0	6	1	2	11	6	4	2	30
		中央部	0	0	1	0	14	8	1	2	1	27
	草冠部	畦畔沿い	0	0	0	0	1	1	1	0	0	2
		中央	0	0	0	0	4	1	1	1	2	9
	2m 高	畦畔沿い	0	0	0	1	0	1	0	0	3	4
中央		0	0	0	0	1	1	0	0	0	4	
<i>Alternaria padwickii</i>	15cm 高	畦畔	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
		畦畔沿い	0	0	0	0	1	9	55	12	14	90
		中央部	0	0	1	0	6	59	8	46	36	157
	草冠部	畦畔沿い	0	0	0	0	0	0	3	1	1	5
		中央	0	0	0	0	0	3	3	6	20	31
	2m 高	畦畔沿い	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3
中央		0	0	0	0	0	0	2	3	0	5	

1) エアーサンブラで吸引した500 l 当たり孢子数

2) 畦畔は2か所、畦畔沿いは2か所、中央部は3か所の平均

第9表 東山園場における時期別のイネ体上孢子数¹⁾の推移

病原菌の種類	採取部位	採取地点 ²⁾	調査月日(月・日)									合計
			7.5	7.12	7.19	7.26	8.2	8.9	8.15	8.23	8.29	
<i>Curvularia</i> spp.	最上位葉	畦畔沿い	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
		中央部	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
	下位葉	畦畔沿い	0	0	0	0	0	1	0	1	1	3
		中央部	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	穂	畦畔沿い	- ³⁾	-	-	-	0	1	0	0	1	2
		中央部	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0
<i>Alternaria alternata</i>	最上位葉	畦畔沿い	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
		中央部	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	下位葉	畦畔沿い	0	0	0	0	0	2	1	3	1	5
		中央部	0	0	0	0	0	3	1	2	1	7
	穂	畦畔沿い	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0
		中央部	-	-	-	-	0	0	1	0	0	1
<i>Alternaria padwickii</i>	最上位葉	畦畔沿い	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2
		中央部	0	0	0	0	0	1	1	1	0	4
	下位葉	畦畔沿い	0	0	0	0	0	1	2	12	1	15
		中央部	0	0	0	0	0	15	23	9	3	51
	穂	畦畔沿い	-	-	-	-	0	0	0	1	1	2
		中央部	-	-	-	-	0	0	0	1	2	3

1) 200ml 水中で振とう後、0.05ml 中の孢子数

2) 畦畔沿いは10茎2か所の平均、中央部は10茎3か所の平均

3) 未調査

第10表 試験場内園場における小穂、葉身からの褐色米病原菌の分離率¹⁾

品種	採取部位	時期別菌分離率(%)														
		<i>Curvularia</i> spp.					<i>Alternaria alternata</i>				<i>Alternaria padwickii</i>					
		7.19	7.29	8.8	8.19	8.29	7.19	7.29	8.8	8.19	8.29	7.19	7.29	8.8	8.19	8.29
八ナエチゼン	小穂	- ²⁾	0	8	20	20	-	0	0	27	23	-	0	0	13	47
	1葉	0	0	0	30	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	20
	2葉	0	0	0	0	0	0	10	10	60	0	0	0	0	0	0
	3葉	0	0	0	10	0	10	0	30	40	0	0	0	0	0	0
	4葉	0	0	0	0	0	10	20	30	50	0	0	0	0	0	0
	5葉	0	0	0	0	0	60	10	70	40	10	0	0	0	0	0
	6葉	0	0	0	-	-	100	0	67	-	-	0	0	0	-	-
コシヒカリ	小穂	-	-	0	7	3	-	-	4	17	13	-	-	0	23	53
	1葉	0	0	10	30	20	0	0	0	30	20	0	0	0	0	10
	2葉	0	0	0	40	30	10	0	20	10	20	0	0	0	0	10
	3葉	0	10	10	0	20	20	20	0	0	10	0	10	0	0	20
	4葉	0	0	0	10	10	20	30	30	40	30	0	10	0	0	0
	5葉	0	0	0	0	0	50	0	0	80	10	0	0	0	0	0
	6葉	0	0	0	0	0	100	63	0	20	0	0	0	0	0	0
7葉	-	-	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-	-	

1) 10茎を葉別別に葉身先端部を表面殺菌し、菌の出現率を調査

2) 未調査

4. 総合考察

本調査で圃場内における病原菌の分布は病原菌の種類によって異なっていた。*A.padwickii* は出穂期から圃場中央部で飛散孢子数が多く、褐色米発生率も高く、畦畔沿いより圃場中央部の菌密度が高い。また、*A.padwickii* は出穂期の抽出直後の新出葉、成葉で分離率は低いが、収穫期には成葉で高くなることから、イネ植物体に常在している病原菌と考えられる。*Curvularia* 属菌はスズメノカタビラなどの雑草の枯死葉上で大量に孢子を形成する¹²⁾。本調査でも *Curvularia* 属菌は畦畔沿いで、飛散孢子数も多く、褐色米率も高く、菌密度が高いことから、本菌は畦畔雑草に常在している病原菌と考えられる。本菌は病原性も強いが、福井県における発生量は多くない。

A.alternata は畦畔沿い、圃場中央部で菌密度に差がないことからイネ植物体と雑草両方に生息していると推察される。*A.alternata* は出穂期までは老衰葉、枯死葉など下位葉で分離率が高く、収穫期には上位葉の成葉でも分離率が高くなる。また、葉身においても先端部に近いところほど分離率が高いことから²⁾、わら重が多い圃場は *A.alternata* による褐色米の発生が多くなる傾向が見られた¹⁾。*A.alternata* は成葉より枯死葉、葉身基部より風で枯死した先端部のような老化した部位で増殖しやすく、枯死葉が伝染源量に影響すると考えられる。水田地帯では畦畔よりイネが栽培されている面積が圧倒的に大きい。栽培条件などによってイネ植物体が老化し、*A.alternata* が増殖し開花期の穎内に侵入することから、気象条件、栽培条件によって多発する菌と考えられる。

一方、*Phoma* 属菌はイネ葉身、雑草からの分離率が高く⁷⁾、イネの枯死葉に比べ成葉での分離率が高く、出穂期に雨が多い年に分離率が高かった³⁾ ことから、イネ植物体に常在している菌と考えられるが、発生量は多くない。

褐色米は出穂後開花中に穎内に病原菌が落下し、感染することから、出穂直後の孢子飛散量を調査することは褐色米の発生をある程度予察できる⁶⁾。1978 年は *A.padwickii* によるものが多く、その後は *A.alternata* によるものが主となっていた。*A.alternata* によるものの発生は圃場による差が大きく、*A.alternata* の多い地域でも *A.padwickii* が高率に分離される地区はあった。*Curvularia* 属菌、*Phoma* 属菌によるものは年次、圃場による差は比較的

少ない³⁾。しかし、褐色米の原因菌は地域、年次によって異なる。褐色米を引き起こすそれぞれの病原菌がどのような環境条件、栽培条件で増殖し、穎内に侵入するのか今後検討すると、褐色米の発生を予測でき、防除対策が確立できると考えられる。

謝辞

本研究は科学技術振興費補助金「褐色米の発生防止技術の確立」で実施したものである。また、褐色米試料を提供いただいた菅江哲氏（前坂井農林総合事務所）、酒井究氏（前南越農林総合事務所）、田中勲氏（前嶺南振興局二州技術支援課）、坂井農林総合事務所上野直哉氏、有益なご助言をいただいた川久保幸雄氏（前福井県農業試験場長）には深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 本多範行・福田明美・岡本博(2001). 福井県において発生した褐色米から分離される糸状菌(講要). 日植病報 67: 194~195.
- 2) 本多範行・岡本博(2002). イネ植物体における褐色米病原菌の推移(講要). 北病研報 51:34~35.
- 3) 本多範行(2004). イネ褐色米から分離される糸状菌の年次および圃場による違い(講要). 北病研報 53:52.
- 4) 本多範行(2009). 水稻の穂枯れ症状について—糸状菌—. 植物防疫 63(4): 248~252.
- 5) 川久保幸雄・杉本義則・高松進・古河衛・奈須田和彦(1980). 病原菌からみた茶米の発生生態に関する研究. 第1報 1978年の福井県における茶米, 暗色米の発生状況ならびに糸状菌の分離結果について. 福井農試報 17:13~30.
- 6) 川久保幸雄(1982). 病原菌からみた茶米の発生生態に関する研究. 第3報病原菌孢子の飛散と茶米発生との関係. 北病研報 30:21~24.
- 7) 那須英夫・岡本康博・藤井新太郎(1982). 近年、岡山県で発生した変色米(茶米)とその病原. 日植病報 48:100~101.
- 8) 大畑貫一(2000). 平成の稲病害防除技術の動向(2). 農業技術 55(11): 31~38.

- 9) 田村實(1982). *Alternaria padwickii* による腹黒米発現に関する生理生態的研究. 石川農試特別報告第 2 号 : 1 ~ 72.
- 10) 田邊謙二・藤晋一・中川聡・須賀晴久・古屋廣光・内藤秀樹(2005). 北日本のイネから分離された赤かび病菌の PCR による同定とイネへの病原性・毒素産生能(講要). 日植病報 71(3) : 225.
- 11) 竹谷宏二・八木敏江・笹野市蔵・石崎久次(1981). 暗色米に関する研究. 石川県における発生生態について. 石川農試研報 11 : 29 ~ 48.
- 12) 梅原吉廣(1992). 褐色米の発生生態ならびに防除に関する研究. 富山県農技セ研報第 12 号 : 1 ~ 114.
- 13) 山口富夫(1982). 最近発生した変色米の病原菌とその問題点. 植物防疫 36(3) : 99 ~ 104.
- 14) 吉田浩之・尾崎克己・畔上耕治(1982). イネの内穎褐変症. 植物防疫 36(3) : 24 ~ 28.

Correlation Between the Occurrence of Discolored rice grains and the Pathogenic fungal spore Density in the Paddy field

Noriyuki HONDA , Hironori KOGA

Summary

The four pathogens of the discolored rice grains showed different distribution in the paddy fields in Fukui prefecture.

In the case of *A. padwickii* fungi, a slightly injured grains were promoted, isolation ratio from the discolored rice grains were high. The discolored rice grains have been found abundantly at the center of paddy field. Conidia formation of *A. padwickii* were found abundantly on the mature leaves of rice plants and conidia dispersed in the air could be trapped after heading.

In the case of *Curvularia* spp. fungi, the seriously injured grains were promoted, isolation ratio from the discolored rice grains were low. The discolored rice grains have been found abundantly at the place along the balk of paddy field.

In the case of *A. alternate* fungi, a slightly injured grains were promoted, isolation ratio from the discolored rice grains were large annual fluctuations. The discolored rice grains have been found in both the place along the balk and the center of paddy field. Conidia formation of *A. alternate* was found abundantly on the withered leaves of rice plants in the heading stage, then conidia increases in the mature leaves of rice plants.

In the case of *Phoma* spp. fungi, a slightly injured grains were promoted, isolation ratio from the discolored rice grains were large annual fluctuations. The discolored rice grains have been found abundantly at the center of paddy field. Conidia formation of *Phoma* spp. were found abundantly on the mature leaves of rice plants.