

## 玄米品質に及ぼす登熟中期の寡照，登熟初期の高温 及び成熟期の高温乾燥の影響

大嶋保夫

### Influence of Poor Sunshine at the Middle Stage, High Temperature at the Initial Stage and High Temperature with Dryness at the Maturity Stage of Grain Growth on the Quality of Brown Rice

Yasuo OSHIMA

#### 摘 要

神奈川県において発生した水稻の気象災害の発生状況を調査し，その発生要因を解析した。

1991年は当時の主要品種である中生品種‘アキシキ’に乳白米が多発した。発生程度は出穂期に左右され，8月5半旬の出穂ではリング状乳白米，8月6半旬の出穂ではリング内も不透明な大型乳白米が多かった。日照時間は9月8日以降不足気味であり，特に13～21日の9日間は1.3時間で，このために乳白米が発生したものと推察された。

2002年は，主要品種である早生品種‘キノヒカリ’に心白米及び乳白米を主とした白未熟粒が多発した。発生程度は出穂期に左右され，8月1半旬に出穂したイネに多かった。8月5～16日の11日間の日平均気温は29.2℃であり，白未熟粒の発生は出穂期から10日間の日平均気温と相関が高く，28℃以上になると白未熟粒の発生が増加する傾向が認められた。

2003年は，早生品種‘キノヒカリ’に胴割れ米が多発した。胴割れ米の発生は成熟期及び収穫期に左右され，9月29日以前に成熟期を迎えた水稻を10月1日以降に収穫した場合に多発した。9月27～30日は高温・多照であり，特に9月30日の最低相対湿度は17%と極めて乾燥しており，胴割れ米はその時の異常乾燥・高温により生じたものと推察された。

キーワード：神奈川県，水稻，気象災害，乳白米，心白米，胴割れ米，白未熟粒，登熟不良，高温障害，寡照

#### Summary

The appearance and factors of meteorological disaster in paddy rice cultivated in Kanagawa Prefecture were examined. In 1991, milky-white rice kernels appeared in abundance to the medium-maturing 'Akinishiki', which was the leading variety at that time, due to poor sunshine at the middle stage of ripening in mid-September. In 2002, white immature kernels appeared frequently in the early-maturing, main variety 'Kinuhicari'. Their appearance was highly correlated with the mean-temperature ten days after heading and therefore, it was ascribed to the high temperature at the initial stage of grain growth. In 2003, many cracked rice kernels appeared in the early-maturing variety 'Kinuhicari'. Their appearance was frequent when rice matured before September 29 and was harvested after October 1. It seemed that high temperatures with unusual dryness during the period September 27 to 30 induced injury.

**Key words:** Cracked rice kernel, Kanagawa Prefecture, Heat damage, Meteorological disaster, Milky white rice kernel, Paddy rice, Poor ripening, Poor sunshine, White immature kernel

## 緒言

近年，神奈川県産米の品質低下が指摘されている。その要因としては，品種，栽培法，病害虫などがあげられるが，気象災害も重要な要因の一つとなっている。筆者は，先に潮風害（大嶋 1987）について報告したが，本県ではその後も 1991 年には当時の主要品種‘アキニシキ’に乳白米が多発した。さらに県内の水稲うち作付比率の 70 %以上を占めている‘キヌヒカリ’において，2002 年には心白米・乳白米，2003 年には胴割れ米が多発し，著しい品質低下がもたらされた。そこで障害の発生状況を把握するため，所内の各種試験を利用して障害発生の実態調査をすると共に，その発生要因について解析したところ，幾つかの知見が得られたので報告する。

### 試験 1. 登熟期の寡照による乳白米の発生

登熟期の寡照が乳白米の発生に及ぼす影響を明らかにするため，平塚市寺田縄の所内水田において，1991 年に水稲奨励品種決定調査予備・生産力検定ほ場を利用し，生育・収量，玄米の品質及び乳白米などの障害発生程度を調査した。

#### (1) 試験方法

供試品種は奨励品種などの‘キヌヒカリ’，‘アキニシキ’，‘コシヒカリ’及び‘ひとめぼれ’で，移植は 5 月 8 日～6 月 27 日まで約 10 日間隔で行った。さらに 6 月 7 日に移植した予備検定ほ場の 21 品種・系統も供試した。いずれも所内慣行で育苗した稚苗を移植し，栽培管理は奨励品種決定調査基準に準じて行った。

玄米品質は奨励品種決定調査基準に準じ，上の上～下の下の 9 段階評価，乳白米の発生程度は無 0～甚 5 の 6 段階評価とした。乳白米，心白米，腹白米の白未熟粒は粒のほぼ中央部を切断して横断面を観察調査した。穂部位は上から第 1～第 3 一次枝梗を上位，第 4～第 6 一次枝梗を中位，第 7 一次枝梗以下を下位に分けて，調査した。なお，気象データは隣接する所内（寺田縄）の観測値を用いた。

#### (2) 結果及び考察

1991 年の水稲栽培期間の気象を図 1 に示した。6 月

～7 月がやや高温・平年並の日照，8 月が平年並の気温・やや寡照，9 月が平年並の気温，寡照，特に 9 月 4 半旬は日照時間が 0 時間であった。水稲の生育は，早植でやや旺盛，籾数は平年並に確保され，遅植で生育はやや抑制され，籾数は少なかった（表 1）。一方，玄米重は 5 月下旬植の‘キヌヒカリ’を除くと，いずれの作期の‘キヌヒカリ’及び‘アキニシキ’で平年より低収であった（表 1）。

全供試品種・系統の出穂期と玄米重の関係をみると，出穂期が遅いほど玄米重は低下する傾向が認められた（図 2）。玄米千粒重は平年より軽く（表 1），9 月の寡照による登熟不良も収量低下の一因と考えられた。

玄米品質は，‘キヌヒカリ’ではほぼ全ての移植時期で平年並ないしやや優っていたが，‘アキニシキ’では移植時期が遅くなるに従って低下する傾向がみられた（表 1）。

全供試品種・系統について出穂期と玄米品質の関係をみると，8 月 19 日以降の出穂で玄米品質が低下する傾向がみられた（図 3）。乳白米は，出穂が遅くなるほど多発する傾向がみられた（図 4）。玄米の外観品質の低下が著しく認められる乳白米発生程度‘中：3’は，8 月 19 日以降に出穂した‘アキニシキ’でみられた。

乳白米以外の障害粒では，8 月中旬に出穂した‘キヌヒカリ’に心白米の発生がやや多い傾向がみられたが，腹白米，背白米，基白米，胴割れ米，死米，茶米及び発芽米はいずれも無～少程度の発生であった（図 5）。したがって，1991 年の玄米品質の著しい低下は乳白米の多発に起因し，特に‘アキニシキ’は出穂期が同一の他品種より乳白米の発生が多く，登熟中期の寡照により乳白米が発生しやすい品種と考えられる。

米粒の白色不透明部が白く濁って見えるのは，胚乳内のデンプン蓄積が不完全で，デンプン粒間にできた空隙で光が乱反射するためである（田代・江幡 1975）。また，デンプンは，玄米の中心部から周辺部の細胞へと順次蓄積され，一般に中心部では開花後 15 日頃，周辺部では 30 日から 35 日頃にデンプン粒形成が終了する（星川 1975）。そこで，デンプン蓄積の状況を知るために乳白米の横断面を観察した。その結果，白色

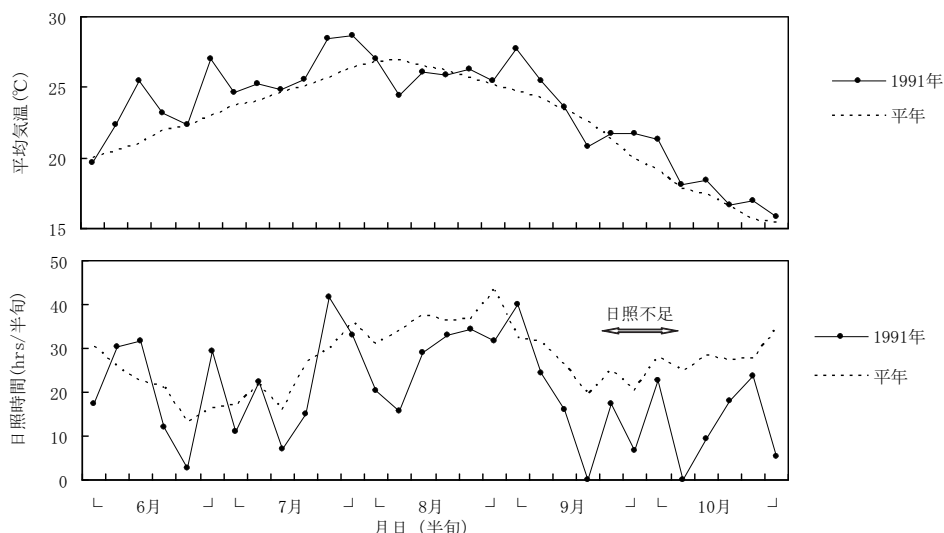


図1 1991年の平均気温・日照時間の推移 (平塚市寺田縄)

平均気温の平年値 1954～1980年, 日照時間の平年値 1984～1989年

表1 キヌヒカリ及びアキニシキの生育・収量 (1991年)

移植期 (月/日)	出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	玄米重 (kg/a)	玄米千粒 重(g)	登熟歩合 (%)	1穂粒数 (粒/穂)	総粒数 (粒/m <sup>2</sup> )	玄米 <sup>Z</sup> 品質
[キヌヒカリ]									
5/28	8/7 (-2)	9/17 (±0)	333 (96)	52.1 (103)	20.9 (96)	87	86	28600	3.8 (-0.9)
6/7	8/13 (-1)	9/23 (-1)	323 (97)	44.4 (86)	21.5 (96)	87	73	23700	2.7 (-1.6)
6/18	8/21 (+1)	10/4 (+1)	309 (96)	37.2 (82)	20.7 (95)	76	76	23600	4.8 (-0.1)
6/27	8/25	10/13	301	35.9	20.4	82	71	21400	5.3
[アキニシキ]									
5/28	8/16 (-1)	9/27 (±0)	349 (101)	50.1 (92)	20.8 (96)	86	81	28100	2.7 (-1.0)
6/7	8/21 (-2)	10/4 (-4)	349 (95)	46.5 (88)	20.6 (97)	82	79	27500	5.5 (+1.4)
6/18	8/25 (-2)	10/13 (-1)	341 (96)	39.7 (80)	20.1 (97)	83	70	23800	7.0 (+2.3)
6/27	8/29 (-2)	10/20 (-3)	329 (86)	40.5 (85)	19.7 (96)	83	75	24700	7.7 (+3.2)

試験ほ場：所内水田 (平塚市寺田縄), 栽培法：稚苗機械移植, Z：上の上 1～下の下 9の9段階評価  
( )内の数値は平年差, 平年比. キヌヒカリは1989年～2006年の平年.

アキニシキは5/28植 1989年～1999年, 6/7植・6/18植 1981年～1999年, 6/27植 1981年～1994年の平年.

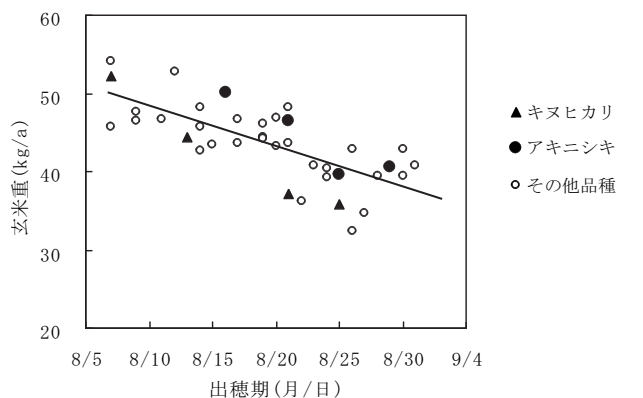


図2 出穂期と玄米重の関係  
(n=38, R<sup>2</sup> = 0.528)

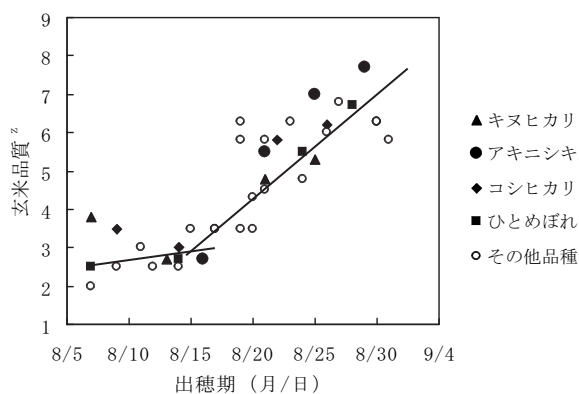


図3 出穂期と玄米品質の関係  
出穂期 8/17以前：n=15, R<sup>2</sup>=0.071,  
出穂期 8/14以後：n=30, R<sup>2</sup>=0.693  
z：上の上 1～下の下 9の9段階評価

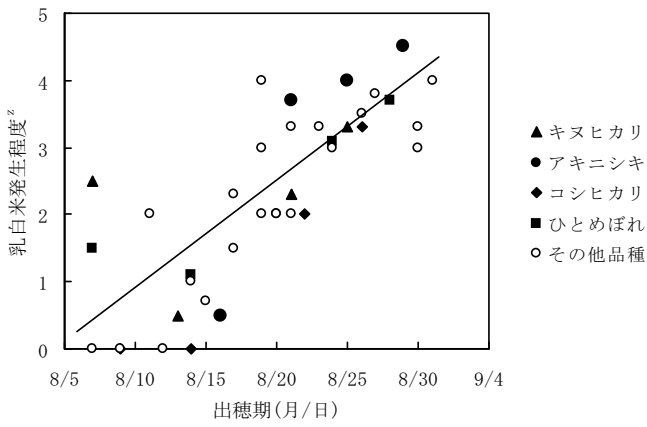


図4 出穂期と乳白米発生程度の関係  
 z : 無0～甚5の6段階評価, n=38, R<sup>2</sup>=0.6395

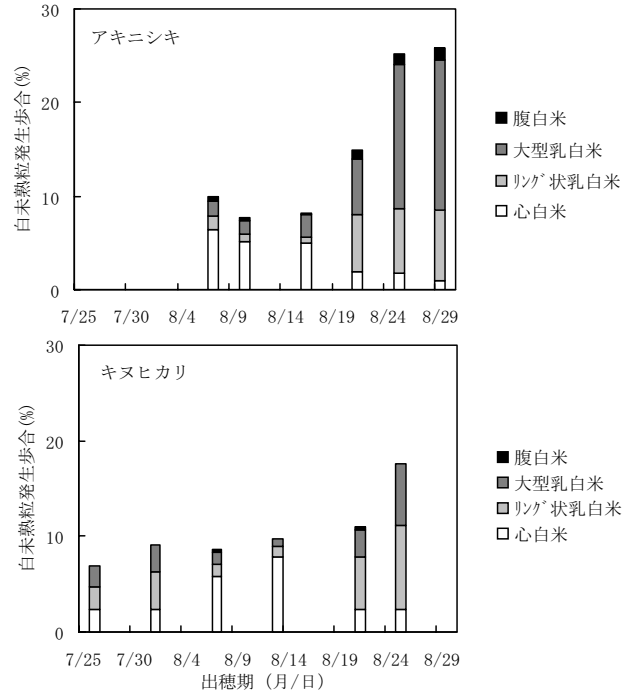


図5 出穂期別の白未熟粒の種類別発生歩合

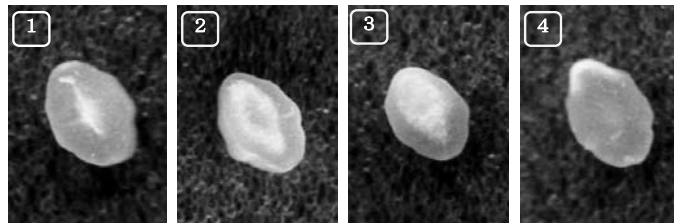


図6 白未熟粒の種類  
 1 : 心白米, 2 : リング状乳白米, 3 : 大型乳白米, 4 : 腹白米

表2 穂の部位別における不透明粒の発生状況 (6月18日移植)

品 種	穂の部位	玄米分布 (%)	登熟歩合 (%)	白未熟粒 発生率 (%)	白未熟粒の種類別発生程度 (%)			
					心白米	リング状乳白米	大型乳白米	腹白米
キノヒカリ	上部	25	82	6	60	31	6	3
	中部	34	74	11	17	60	17	6
	下部	41	59	17	8	46	46	0
アキシキ	上部	31	74	21	2	39	54	5
	中部	40	81	29	5	32	63	0
	下部	29	69	34	0	23	77	0

試験ほ場：所内水田 (平塚市寺田縄)，栽培法：6月18日稚苗機械移植

穂の上位：上から第1～第3一次枝梗，中位：第4～第6一次枝梗，下位：第7一次枝梗以下

不透明部の形状から、リング状に不透明部分があるリング状乳白米とリング内も不透明な大型乳白米に大きく類別することができた(図6)。

次に、‘キヌヒカリ’と‘アキニシキ’について、作期別の白未熟粒発生調査結果を図5に示した。‘アキニシキ’では乳白米の発生は8月16日までの出穂では少なかったが、8月21日以降の出穂では多発した。形状的には8月21日の出穂ではリング状、8月25日以降の出穂では大型が多く発生する傾向がみられた。一方、‘キヌヒカリ’では、8月14日までの出穂では乳白米の発生は少なく、8月21日以降の出穂で発生が多くなる傾向があった。形状的にはリング状及び大型であった。

乳白米が多発した8月21日以降に出穂した‘アキニシキ’及び‘キヌヒカリ’において、穂の部位別の発生状況をみたところ、両品種とも下位の枝梗に多く発生する傾向がみられた。乳白米の種類別にみると、出穂の遅い‘アキニシキ’では、いずれの部位でも大型が大半を占め、下位の枝梗ほど多くなる傾向がみられた。一方、出穂の早い‘キヌヒカリ’では、上位枝梗は心白米、中位枝梗ではリング状乳白米、下位枝梗では大型乳白米が多い傾向がみられた(表2)。

乳白米は登熟初～中期にデンプン粒の蓄積が阻害された結果、中心部が白色不透明になったものであり、米粒への養分需給の不均衡が原因となっている。発生要因には、登熟期の日照不足、高温、水分不足(萎凋)及び倒伏などがある(農林水産省2004)。また、開花後7～10日の中心線が透明化する時に障害があれば中心部が不透明になり、開花後10日～13日頃に障害のあった場合の乳白部は輪状に現れると報告されている(長戸・小林1959)。そこで、今回発生した乳白米について出穂期と乳白米発生程度の関係をもたところ、8月21日に出穂した‘アキニシキ’及び‘キヌヒカリ’ではいずれもリング状が多く、8月25日以降の出穂では乳白米が急増するとリング状の割合が低下し、大型が増加した。また、日照時間は、8月21日以降出穂したイネの登熟中・後期に当たる9月8日以降10月上旬まで少なく、特に9月13～21日の9日間の日照時間は1.3時間であった。そのため、この時期の日照不足により胚乳内へのデンプン蓄積が不完

全となり、出穂の早いイネにリング状、遅いイネには大型の乳白米が発生したと考えられた。開花後10～19日、特に14～15日に開始した4日間の暗黒処理及び開花後7～14日における3日間の萎凋処理により、乳白米が多発することが報告されており(長戸1951)、今回の結果と一致している。

一方、玄米充実期以前の養分消耗による稲体内の炭水化物濃度の低下、籾数過剰及び出穂前における茎などへのデンプン蓄積量も乳白米の発生に関与しており、籾当たり茎重が重いほど乳白米の発生が少ないと報告されている(斉藤・深山1988)。このことからすると、8月上旬から下旬の日照がやや不足で推移し、籾数は平年並に確保されたので、稲体は乳白米が発生しやすい状態にあったと考えられる。また、8月31日～9月7日までの高温はデンプンの消費が大きく、乳白米の発生を助長したと推察される。なお、出穂後20日間の高温により乳白米が発生することが知られている(森田2008, 近藤・森田ら2006)、今回の試験では8月中～下旬の日平均気温は25.9℃で、ほぼ平年並で経過した。したがって、今回の乳白米の多発は、登熟中期の寡照が主因であると考えられる。

## 試験2. 登熟初期の高温による心白米・乳白米の発生

登熟初期の高温が心白米・乳白米の発生に及ぼす影響を明らかにするため、平塚市寺田縄の所内水田で2002年に実施した水稻奨励品種決定調査において生育・収量、玄米品質及び玄米形質を調査した。

### (1) 調査方法

供試したのは‘キヌヒカリ’、‘はえぬき’、‘ゆめひたち’、‘いただき’、‘さとじまん’及び‘祭り晴’の6品種、移植時期は5月17, 27日, 6月7, 17日植(4作期)で、いずれも稚苗移植し、栽培管理は奨励品種決定調査基準に準じた。

玄米の品質は1.8mmの縦目篩で調製した玄米試料について、穀粒判別器(ケット社製RN-500)を用い、整粒、胴割れ米、未熟粒、着色米及び死米に分類した。なお、未熟粒は心白米、乳白米、腹白米、基白米、背白米及び青未熟米、着色粒は茶米、着色米及び被害粒とした。また、観察調査により外観品質は上の上1

～下の下 9 の 9 段階で評価した。なお，気象データは平塚市上吉沢の当センター代表地点の観測値を用いた。

## (2) 結果及び考察

2002 年産米の品種別，作期別調査結果を表 3 に示した。5 月中・下旬植「キヌヒカリ」に心白米などの

未熟粒が多発し，玄米品質が著しく低下した。出穂期と未熟粒発生程度の間をみると，各品種とも 8 月上旬に出穂したものに未熟粒の発生が多く，8 月 14 日以降に出穂したものには少ない傾向が認められた（図 7）。

表 3 各種品種における作期別の玄米品質（2002 年）

品 種	移植期 (月/日)	出穂期 (月/日)	外観品質	玄米品質 (%)				
				整粒	胴割粒	未熟粒	着色粒	死米
キヌヒカリ	5/17	8/2	7.0	57.2	2.2	38.6	1.5	0.5
	5/27	8/4	6.5	62.8	1.6	34.5	0.9	0.3
	6/7	8/12	5.0	75.2	1.2	22.1	0.8	0.7
	6/17	8/18	4.5	84.5	1.2	14.0	0.4	0.0
いただき	5/17	8/5	5.0	80.5	1.7	17.0	0.4	0.4
	5/27	8/8	4.5	79.7	1.5	15.6	2.6	0.7
	6/7	8/17	5.0	83.1	0.6	14.5	0.7	1.1
	6/17	8/24	3.5	84.7	6.9	7.5	0.2	0.7
ゆめひたち	5/17	8/3	6.5	73.4	1.7	24.0	0.8	0.2
	5/27	8/5	6.0	81.5	1.8	16.3	0.4	0.1
	6/7	8/14	4.5	87.6	1.0	10.2	0.8	0.6
	6/17	8/20	3.0	88.0	2.5	8.6	0.3	0.8
はえぬき	5/17	8/2	6.0	80.6	5.8	13.1	0.5	0.1
	5/27	8/5	5.0	78.0	2.8	17.1	1.4	0.8
	6/7	8/12	4.0	92.8	2.3	4.1	0.8	0.2
	6/17	8/20	2.5	84.6	10.6	4.1	0.5	0.2
祭り晴	5/17	8/11	4.0	85.5	1.1	12.3	0.3	0.9
	5/27	8/14	3.0	85.9	1.7	11.2	0.9	0.5
	6/7	8/24	3.5	87.6	1.1	10.1	0.5	0.8
	6/17	8/27	3.0	89.8	1.0	8.6	0.3	0.4
さとじまん	5/17	8/7	6.5	69.6	0.9	24.8	2.5	2.2
	5/27	8/11	5.5	76.9	1.4	17.5	2.6	1.8
	6/7	8/19	3.0	86.5	1.9	10.2	0.5	1.0
	6/17	8/25	4.0	81.1	1.7	14.7	0.6	2.0

注) 玄米外観品質の項：観察調査による上の上 1～下の下 9 の 9 段階評価

玄米品質の項：穀粒判別器(ケット RN-500)の測定値

未熟粒：心白米，乳白米，腹白米，基白米，背白米，青未熟米

着色粒：茶米，着色粒，被害粒

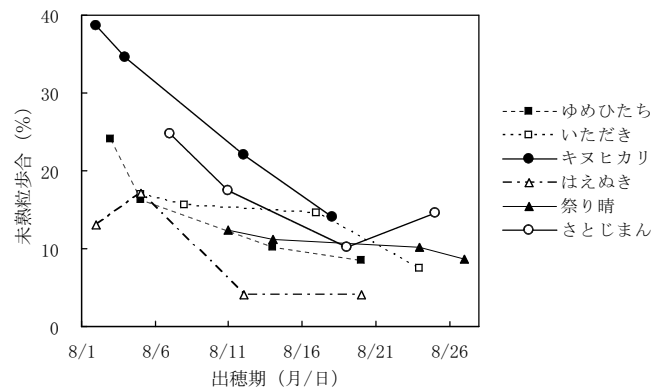


図 7 出穂期と未熟粒発生程度

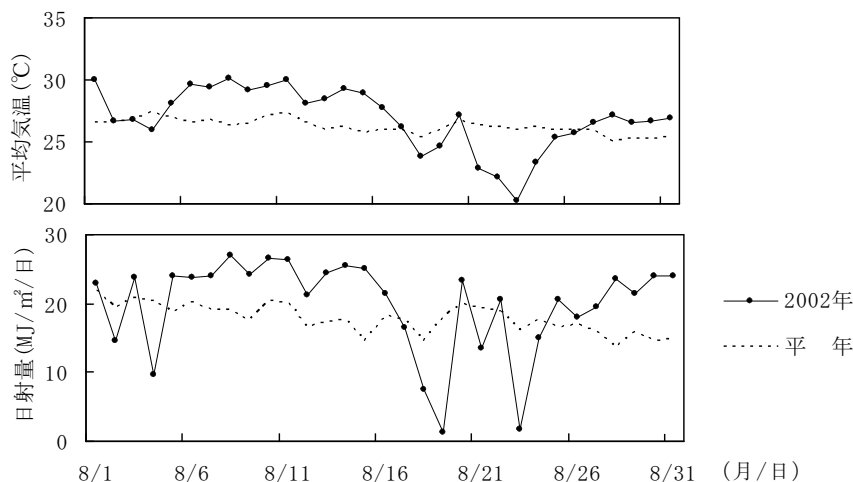


図8 出穂期前後の気温及び日射量の推移 (2002年, 測定地: 平塚市上吉沢)  
 平年値は1995年から2007年までの平均

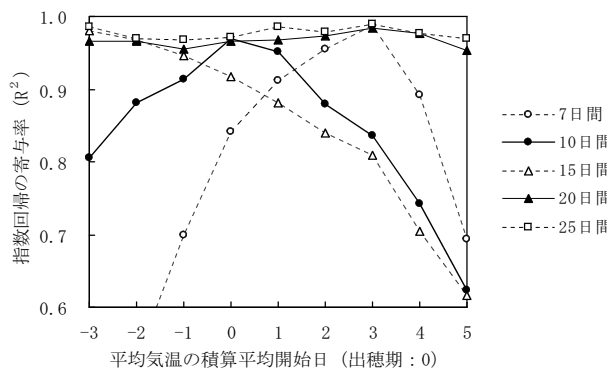


図9 未熟粒発生程度と積算平均気温の時期に関する回帰分析  
 供試品種: キヌヒカリ

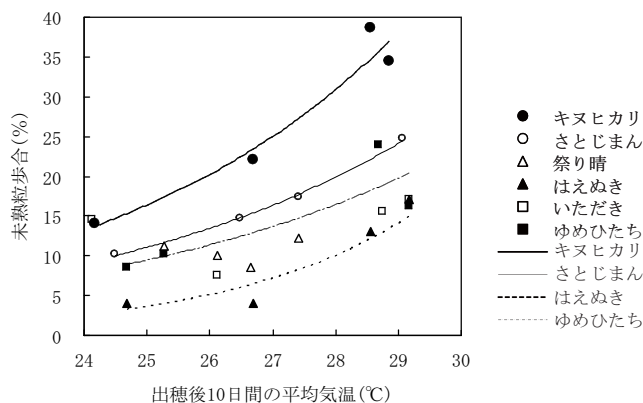


図10 出穂後10日間の平均気温と未熟粒歩合の関係  
 キヌヒカリ  $y = 0.0834 e^{0.211x}$ ,  $R^2 : 0.969$   
 さとじまん  $y = 0.0853 e^{0.195x}$ ,  $R^2 : 0.998$   
 はえぬき  $y = 0.0007 e^{0.341x}$ ,  $R^2 : 0.829$   
 ゆめひたち  $y = 0.095e^{0.184x}$ ,  $R^2 : 0.823$   
 祭り晴  $R^2 : 0.018$ , いただき  $R^2 : 0.164$

出穂期前後の気温の推移をみると、8月5～16日は高温多照、8月18～24日は低温寡照であった(図8)。近年、出穂期頃の高温により乳白米などの白未熟粒が発生し、玄米品質の低下が問題になっている(森田2008)。そこで、‘キヌヒカリ’について未熟粒発生程度と積算平均気温の関係を検討するため、日平均気温の積算期間を7日間～25日間、積算開始日を出穂前3日から出穂後5日後とし、積算平均気温と未熟粒発生程度の指数相関関係の寄与率を算出した。その結果、出穂期前後3日を積算開始日とした20日間あ

るいは25日間の積算平均気温及び出穂期から10日間の積算平均気温との相関の寄与率が高く、その時期の高温が心白米及び乳白米の発生に影響していると推察された(図9)。

検査等級を下げるほど白未熟粒が増加する出穂後20日間の日平均気温の閾値は、概ね26～27℃程度と言われている(森田2008)。試験において、8月2日に出穂し、未熟粒歩合が38.6%であった‘キヌヒカリ’の出穂後20日間の日平均気温(27.6℃)はその範囲にある。しかし、出穂後20日間には8月18日

以降の低温期間が含まれる。したがって、高温障害を引き起した平均気温としては、出穂後 10 日間の平均気温がより強く影響しているものと考えられた。そこで、各品種について未熟粒発生程度と出穂後 10 日間の平均気温について指数回帰式を適用したところ、

‘いただき’及び‘祭り晴’以外の品種では高い相関が認められた。このことから、出穂後 10 日間の日平均気温が 28 °C 以上になると乳白米などの未熟粒の発生が急増し、玄米品質の著しい低下をもたらすものと考えられた。また、未熟粒発生には品種間差があり、‘キヌヒカリ’は発生しやすく、‘さとじまん’も比較的発生しやすい品種であった。しかし‘さとじまん’は、出穂時期が‘キヌヒカリ’より 7 日間程度遅いため、高温障害が発生しにくいと考えられる(図 10)。なお、8 月 18 ~ 24 日まで低温・著しい寡照であったが(図 8)、この時期が 8 月上旬に出穂したイネでは粒中心部にデンプンが蓄積される時期(星川 1975)に当たるので、この気象条件が乳白米などの発生に影響を与えたと推察される。このため、本試験での早植‘キヌヒカリ’における心白米及び乳白米の多発は、出穂後 10 日間の高温により生じ、その後の日照不足により助長されたものと考えられる。

### 試験 3. 成熟期の高温・乾燥による胴割れ米の発生

成熟期における高温・乾燥が胴割れ米の発生に及ぼす影響を明らかにするため、平塚市寺田縄の所内水田で 2003 年に実施した水稻奨励品種決定調査での供試品種について、生育・収量調査を行うと共に、時期を異にして収穫したものの胴割れ米の発生程度などを調査した。

#### (1) 調査方法

供試品種は‘キヌヒカリ’、‘祭り晴’及び‘さとじまん’の 3 品種、移植は 5 月 16, 26 日, 6 月 6 日の 3 作期で、いずれも稚苗移植し、栽培管理は奨励品種決定調査基準に準じた。収穫は各品種の成熟期と 10 月 1, 3, 9, 16 日に行い、成熟期には坪刈り調査を行った。

玄米の品質は、1.8 mm 縦目篩で調製した玄米試料について、穀粒判別器(ケット社製 RN-500)を用い、

整粒、胴割れ米、未熟粒、着色米及び死米に分類した。未熟粒は心白米、乳白米、腹白米、基白米、背白米及び青未熟米、着色粒は茶米、着色米及び被害粒とした。また、観察調査により外観品質は上の上 1 ~ 下の下の 9 段階評価、その他は無 0 ~ 甚 6 の 6 段階評価とした。なお、気象データは平塚市上吉沢の当センター代表地点の観測値を用いた。

#### (2) 結果及び考察

品種及び収穫期別の玄米品質を表 4 に示した。10 月 1 日以降に収穫した‘キヌヒカリ’に胴割れ米が多発し、玄米品質が著しく低下した。また、5 月 16 日に移植した‘祭り晴’の 10 月 9 日以降の収穫で、胴割れ米がやや多い傾向が認められた(図 11)。

出穂期から収穫期までの日平均気温積算温度と胴割れ米発生歩合の関係をみると、出穂期から収穫期までの積算温度が約 1000 °C の成熟適期に収穫したのものにはいずれの品種とも胴割れ米の発生が少なかったが、1100 °C 以上となり成熟期を過ぎた‘キヌヒカリ’及び 5 月 16 日移植の‘祭り晴’においては胴割れ米が多発した(図 12)。品種及び作期別に成熟期と 10 月 1 日以降の収穫での胴割れ米発生程度の関係をみると、成熟期が 9 月 24 日以前の場合に胴割れ米が多発し、9 月 29 日もやや多かった(表 5)。

次に、胴割れ米の発生要因を、成熟期前後の気象データと関連させて解析した(図 13, 14)。9 月 27 ~ 30 日の最高気温は 26 ~ 28 °C、日射量は 17 ~ 21 MJ/m<sup>2</sup>/日、最低相対湿度は連日 41 % 以下、平均風速は 1.9 ~ 3.6 m/秒であった。特に、9 月 30 日は最低相対湿度は 17 % であり、11:00 ~ 13:00 は日射量 2.8 MJ/m<sup>2</sup>/時、相対湿度約 25 % で微風という、極めて乾燥しやすい気象であった。

胴割れ米は、登熟が進み籾含水率が低下して硬度の増した米粒が、気象条件等による吸水や放水のために内部水分分布の不均衡を生じ、米粒内での部位別膨縮差が大きくなることによって発生すると考えられている(長戸 1964, 長田・滝田ら 2004)。本試験では、胴割れ米は 9 月 30 日時点で成熟期に達していた‘キヌヒカリ’に 9 月 30 日以降多発した。このことから‘キヌヒカリ’における胴割れ米の多発は、9 月 27 ~ 30 日の異常乾燥により生じたものと考えられた。



表4 作期別水稻における収穫期別の玄米品質 (2003年)

品種	移植期 (月/日)	出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)	収穫期 (月/日)	外観観察調査			玄米品質別発生歩合 (%)							
					外観品質	胴割米	茶米	整粒	胴割米	未熟粒	着色粒	死米			
キヌヒカリ	5/26	8/9	9/18	9/18	4	0	1	87.6	2.9	7.5	0.7	1.5			
				10/1	6	3.5	2	66.6	23.1	7.8	1.4	1.1			
				10/9	7	4	3	70.1	21.7	6.9	0.9	0.4			
				10/16	7	3.5	3.5	58.6	27.0	12.6	1.2	0.6			
	6/6	8/14	9/24	9/22	5	0	0.5	89.8	3.6	5.8	0.3	0.5			
				10/1	6	3.5	0.5	59.2	31.0	8.2	0.7	0.9			
				10/9	7	4	1	60.5	29.7	8.0	0.7	1.1			
				10/16	7	4	1	60.2	26.2	12.8	0.1	0.7			
	祭り晴	5/16	8/18	9/29	9/26	4	0	0.5	94.0	0.9	3.1	0.3	0.7		
					10/9	4	2	0.5	84.8	11.3	3.2	0.2	0.7		
10/16					4	1.5	0.5	84.3	9.9	6.1	0.2	0.5			
5/26					8/20	10/1	9/29	3.5	0	0.5	94.6	1.0	3.9	0.1	0.4
10/9		10/9	10/9	10/9	3	0.5	0.5	85.1	7.1	6.5	0.2	1.1			
				10/16	3	0.5	0.5	89.2	3.4	6.0	0.2	1.2			
				6/6	8/25	10/8	10/3	2.5	0	0.5	96.6	1.5	1.4	0.2	0.3
				10/9	2	0.5	0.5	95.1	2.1	2.4	0.0	0.4			
10/16		3	0.5	0.5	92.4	2.5	4.6	0.2	0.3						
さとじまん		5/26	8/19	9/30	9/29	3.5	0	1	91.1	0.9	5.9	0.3	1.8		
	10/9				5	0	2.5	89.9	3.4	4.6	0.8	1.3			
	10/16				5	0	1.5	87.7	3.1	6.9	1.1	1.2			
	6/6	8/24	10/7	10/3	4	0	1	93.4	1.3	4.1	0.3	0.9			
				10/9	4	0	1.5	90.7	3.0	4.9	0.5	0.9			
				10/16	4	0	1.5	89.1	3.2	6.1	0.5	1.1			

注) 玄米品質の評価: 1 (上の上) ~ 9 (下の下), 品質項目の評価: 0 (無) ~ 5 (甚)

玄米品質の項: 穀粒判別器 (ケット RN-500) の測定値

未熟粒: 心白米, 乳白米, 腹白米, 基白米, 背白米, 青未熟米

着色粒: 茶米, 着色粒, 被害粒

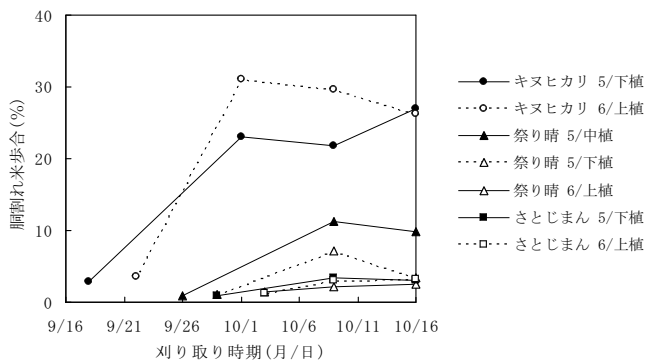


図11 収穫時期と胴割れ米発生歩合 (2003年)

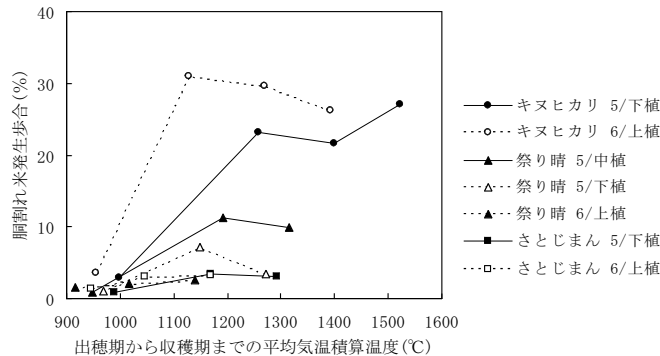


図12 出穂期から収穫期までの日平均気温積算温度と胴割れ米発生歩合 (2003年)

表 5 成熟期と胴割れ米発生歩合との関係 (2003年)

品 種	成熟期 (月/日)	胴割粒発生率 (%)
キヌヒカリ	9/18	23.9
	9/24	29.0
さとじまん	9/30	3.3
	10/7	2.5
祭り晴	9/29	10.6
	10/1	5.3
	10/8	2.0

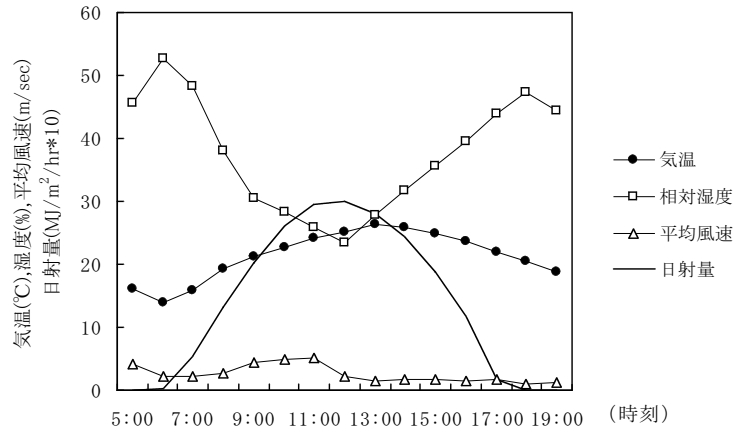


図 13 胴割れ米が多発した 2003 年 9 月下旬の代表的な気象の日変化事例 (2003.9.30 平塚市寺田縄)

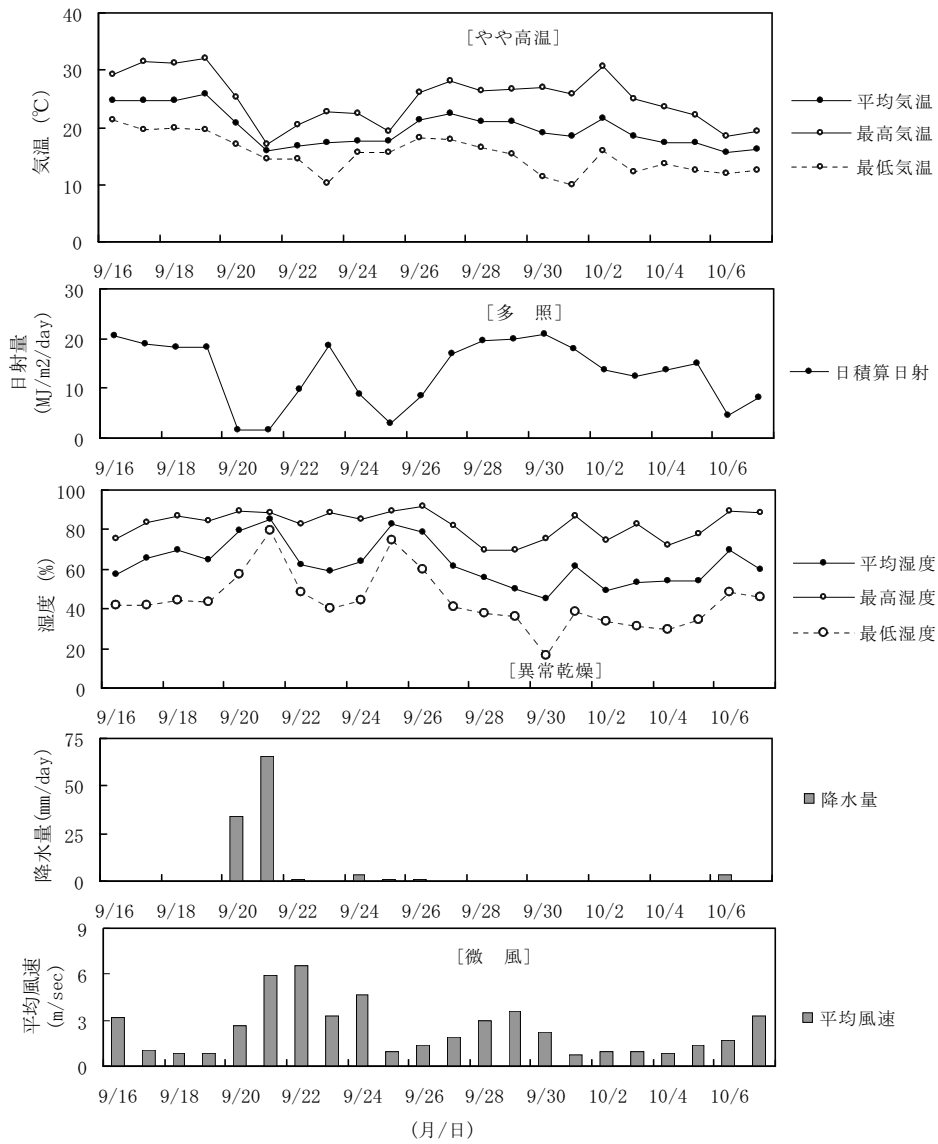


図 14 登熟期間の気象の推移 (2003.9.16 ~ 10.7 平塚市寺田縄)

一方、米粒の胴割れについては、出穂後1～10日の平均日最高気温と胴割れ率との間に正の相関が認められ、高温に対する感受性が顕著に高まるのは開花後6～10日頃、籾乾物重が最終乾物重の約14～40%を示す穎果発育ステージであり、登熟初期の高温条件が玄米形態特性や胚乳デンプン蓄積過程に作用して胴割れ発生に影響を与えている可能性が指摘されている(長田・滝田ら2004, 高橋・尾島ら2002)。そこで、胴割れ米が多発した‘キヌヒカリ’の出穂期後に当たる8月中旬の気象をみると、平均気温は4℃、最高気温は5℃ほど平年より低く、日射量は平年比約50%、日照時間は平年比約30%であった。このことから、胴割れ米の多発には日照不足による初期の登熟不良との関係も関与していると考えられる。また、胴割れ米発生に品種間差があるとする報告があるが(長田2006, 高松・香村ら1983)、本試験は単年度の試験であり、‘キヌヒカリ’に特有な現象なのかどうか、今後、引き続き検討する必要がある。

### 総合考察

神奈川県では、5月下旬～6月上旬に稚苗移植し、早生品種は9月下旬～10月上旬、中生品種は10月上旬～中旬に収穫する作型(普通期栽培)が大半を占めている。本県における水稻品種の変遷をみると、1990年までは中生品種の‘アキニシキ’の作付比率が約80%であったが、現在は良食味で早生品種の‘キヌヒカリ’が約70%作付けられている。また最近の温暖化や作期の分散化を受け、2006年から中生品種‘さとじまん’の作付けが推進されている。一方、本県の気象をみると、9月中～下旬に曇・雨天が多い(秋の長雨)。したがって、日照不足のために登熟不良になり、乳白米が発生した1994年の事例は、中生品種‘アキニシキ’の作付けが多かった1980年代には、しばしば発生した事例である。

一方、早生品種‘キヌヒカリ’の出穂期は8月上～中旬、成熟期は高温時期の9月中～下旬である。そのため、登熟後期～成熟期には秋の長雨に遭いやすいため、適期収穫作業ができず刈り遅れになることが多い。また、本県では9月中～下旬に高温・乾燥の残暑日が続いた2003年には、胴割れ米が多発した。胴割れ米

による品質低下は1900年代後半から問題になることが多く、これは早生品種の作付けが増加したことも関連しているものと考えられる。

近年、地球温暖化が指摘され、各地で高温障害による白未熟粒の発生が認められている(松村2005)。本県も例外ではなく、2003年には早生品種‘キヌヒカリ’において心白米・乳白米が多発した。最近の15年間では、同じ移植期でも‘キヌヒカリ’の出穂期は4～5日早まっている(大嶋2009)。一方で、移植期も早まっていることから、‘キヌヒカリ’の出穂期は1990年代の8月中旬から、2000年代は8月上・中旬に前進してきており、そのため登熟初・中期に高温に遭遇しやすくなっている。さらに、高温化により登熟期間が短縮され、粒の肥大が劣り、充実不足になりやすく、それが近年の玄米検査等級の低下を招いていると考えられる。したがって、良質米生産には気象変動を考慮した、早植を避ける等の適切な水稻の栽培管理について、再検討する必要がある。また、高温障害などには品種間差異が認められるので、気象災害を受けにくい品種の導入が望まれる。

### 謝辞

本報告を作成するにあたり、明治大学農学部教授今井勝博士にご校閲の労をとっていただいた。ここに記して感謝の意を表する。

### 引用文献

- 星川清親. 1975. X登熟. 農業技術体系. 作物編. 第1巻. イネ. p.145-160. 農文協. 東京
- 近藤始彦・森田敏・長田健二・小山豊・上野直也・細井淳・石田義樹・山川智大・中山幸則・吉岡ゆう・大橋善之・岩井正志・大平陽一・中津紗弥香・勝場善之助・羽嶋正恭・森芳史・木村浩・坂田雅正. 2006. 水稻の乳白粒・基白粒発生と登熟気温および玄米タンパク含有率との関係—全国連絡試験による解析, 日本作物学会紀事, 75(別2): 14-15
- 松村修. 2005. 高温登熟による米の品質被害—その背景と対策—, 農業技術. 60(10): 437-441
- 森田敏. 2004. 高温障害の実態とメカニズム. 農業技

- 術体系. 作物編. 第 2-2 巻(2). 522-29-51. p.2-15. 農文協. 東京
- 森田敏. 2008. イネの高温登熟障害の克服にむけて. 日本作物学会紀事. 77(1) : 1-12
- 長田健二・滝田正・吉永悟志・寺島一男・福田あかり. 2004. 登熟初期の気温が米粒の胴割れ発生におよぼす影響. 日本作物学会紀事. 73(3) : 336-342
- 長田健二. 2006. 高温登熟と米の胴割れ. 農業及び園芸. 81 : 797-801
- 長戸一雄. 1951. 心白・乳白米及び腹白の発生に関する研究. 日本作物学会紀事. 21. (1) : 26-27
- 長戸一雄・小林喜男. 1959. 米の澱粉細胞組織の発育について. 日本作物学会紀事. 27 : 204-206
- 長戸一雄・江幡守衛・石川雅士. 1964. 胴割れ米の発生に関する研究. 日本作物学会紀事. 33 : 82-89
- 農林水産省. 2004. 高温による米の品質などへの影響と技術対策. 農業技術体系. 作物編. 第 2-2 巻(2). 522-29-51. p.28-36. 農文協. 東京
- 大嶋保夫. 1987. 神奈川県における水稻の生育特性に関する研究. 第 2 報. 生育・収量におよぼす潮風害の影響. 神奈川県農業総合研究所研究報告. 129 : 1-14
- 大嶋保夫. 2009. 神奈川県における水稻出穂期の地域差とその変動要因. 神奈川県農業技術センター研究報告. 151 : 29-38
- 斉藤幸一・深山政治. 1988. 千葉県における稚苗移植による早期栽培水稻の安定多収に関する研究. 第 2 報. 乳白米発生程度の品種間差異について. 千葉県農業試験場研究報告. 29 : 1-8
- 高橋渉・尾島輝佳・野村幹雄・鍋島学. 2002. コシヒカリにおける胴割れ発生予測法の開発. 北陸作物学会報. 37 : 48-51
- 高松美智則・香村敏郎・釈一郎・谷口学・伊藤和久. 1983. 水稻品種の特性解析に関する研究. 第 5 報. 県内主要品種の刈遅れによる米質変動と刈取り許容幅. 愛知県農業総合試験場研究報告. 15 : 35-46
- 田代亨・江幡守衛. 1975. 腹白米に関する研究. 第 4 報. 白色不透明部の胚乳細胞の形態的特徴. 日本作物学会紀事. 44(2) : 205-214