

水稻「彩のかがやき」の高温障害軽減技術の開発

岡田雄二*・石井博和*

Development of High-temperature Injury Mitigation Technique for "Sainokagayaki"

Yuji OKADA, Hirokazu ISHII

要約 水稻「彩のかがやき」の高温障害軽減技術について検討した。夏期高温であった 2012 年に県内各地の玄米サンプルと栽培履歴について分析を行った。その結果、移植期が遅いほど玄米外観品質は向上したが、施肥や水管理方法等と玄米品質との間に一定の傾向は見られなかった。次いで高温耐性を高める技術について検討した。その結果、出穂前 23 日頃の葉色が薄くなると玄米外観品質が著しく低下することが明らかになった。この時の葉色は葉色板で 4 程度を境としており中干し終了時に葉色診断に基づく追肥を行い葉色を維持することで、玄米外観品質の低下を軽減できる。高温が継続し、穂肥施用後も葉色の上昇が緩慢な場合は、出穂前 15～10 日頃に追加追肥を行う。また、出穂期前後の水管理を間断かん水とすること、栽植密度を 50 株/坪、1 株植付本数をやや多くすることで、玄米外観品質低下軽減効果が期待できる。

本県は関東平野の内陸に位置し、夏期は著しい高温に見舞われる。近年は年間の猛暑日が 40 日を越える年があるなど、高温化が著しい。

中でも 2010 年はこれまでにない高温に見舞われ、8 月中旬以降に出穂した水稻を中心に高温登熟障害が発生した。特に県育成品種「彩のかがやき」は白未熟粒が多発し、77.3%が農産物検査で規格外になる甚大な被害が生じた。以降、程度に差はあるものの毎年のように被害が発生している。

このため県では 2011 年より水稻高温対策特別事業を開始し、この中で「彩のかがやき」の高温年における県内の高温登熟障害の発生状況を分析するとともに、高温登熟障害を軽減するための栽培技術について検討した。

I 2012 年の高温登熟障害発生状況分析

2012 年の夏期は著しい高温に見舞われ、2010 年のような壊滅的被害には至らなかったものの、例年に比べ農産物検査等級は著しく低下した(彩のかがやき 1 等比率：19.7%)。そこで現地の被害状況について分析を行った。

材料および方法

被害状況を把握するため、県内各地域ごとに平均的な栽培が行われている「彩のかがやき」の玄米サンプル、栽培履歴を収集した。これらのサンプルについて玄米の外観品質分析を行うとともに、栽培履歴との関係について検討を行った。

* 高度利用・生産性向上研究担当 水田高度利用研究

結 果

1 サンプルの概要

サンプル数は59点であった(表1).

移植期は5月10日～6月5日頃までが多く、6月10日以降のサンプルは少なかった.

総施肥量は窒素成分で10kg/10a前後が多かった.

農産物検査等級は1等から規格外まで分布していたが、不明も19点あった. 穀粒判別器による白未熟粒粒比は20～70%に分布していた(図1).

2 移植期と出穂期

移植期と出穂期との間に相関は見られるものの、ばらつきが大きかった. 「彩のかがやき」は感光性が強く、比較的、出穂期の変動が少ないことから、データによっては観察ミス等の可能性も考えられた(図2).

3 農産物検査等級と外観品質

整粒、白未熟粒粒比と農産物検査等級には相関が見られるが、同じ等級内においても分布幅は広がった. また、外れ値がいくつか見られたが、多くは青未熟等の多発により等級が下がったものと思われた(表1, 図3). 外れ値を除くと、概ね整粒粒比40%以上で1等となった(図3).

4 移植期と玄米外観品質

外れ値がいくつか見られるが、それらを除くと移植期と整粒粒比、白未熟粒粒比には高い相関が見られた.

外れ値のうち、玄米外観品質の良好なものは収量の高いものが多く、穂肥の多量施用、地力が高い等により栄養状態が改善され、玄米外観品質が向上したものと考えられた.

また、図3から検査等級1等を得るための整粒粒比を40%以上とすると、これを確保するための移植期は近似式から6月以降と考えられた(図4).

5 気温・湿度と玄米外観品質

サンプルの出穂期に当たる8月1～20日の出穂後20日間の平均気温は、28.4～29.2℃で、8月12日頃が最も高かった.

白未熟粒発生のピークであった5月上旬移植の出穂期は8月5日頃であり、出穂後20日間平均気温のピークとは一致しなかった.

玄米外観品質の高かった6月移植の出穂期である8月17日以降の、出穂後20日間平均気温は若干低下する傾向であったが、同様の温度であった8月上旬出穂の等級は低く、気温と玄米外観品質との明らかな関係は見られなかった(図4, 5, 6).

最低湿度は出穂後20日間の平均で見ると8月19日をピークに低下し、その後上昇した. このピーク前後に出穂したものは、蒸散の活発化による葉温の低下が品質向上に寄与した可能性もあるが、サンプル数が少なく、判然としなかった(図7, 8).

6 施肥量と玄米外観品質

基肥、穂肥、総施肥量とも整粒、白未熟粒粒比との明らかな関係は見られなかった.

また、移植期別(5月移植, 6月移植)、基肥種類別(速効性, 一発)にみても施肥量と整粒、白未熟粒粒比との明らかな関係は見られなかった(図9, 10).

7 中干しと玄米外観品質

6月移植の中干し不良のデータが少ないため判然としないが、中干し不良で整粒粒比が高いサンプルは見られなかった(図11).

8 出穂後水管理と玄米外観品質

出穂後水管理を常時湛水としたサンプルと間断かん水としたサンプルで整粒、白未熟粒粒比に明らかな違いは見られなかった(図12).

9 玄米粗蛋白含量と玄米外観品質

相関係数は低いが、玄米粗蛋白含量が高いほど整粒粒比が向上し、白未熟粒粒比が減少する傾向がうかがえた(図13).

岡田ら：水稲「彩のかがやき」の高温障害軽減技術の開発

表1 玄米サンプル一覧

No.	検査等級	収量 (kg/10a)	移植期	出穂期	収穫期	施肥量(kgN/10a)			中干し	出穂後の 水管理	外観品質(粒比 %)					
						基肥	穂肥	総施肥量			整粒	白未熟	胴割粒	その他未熟	その他	
						施用量	一発	施用			肥量					
1	1		6月2日	8月18日	9月28日	4.0	○	1.0	5.0	○	間断	—	—	—	—	—
2	規格外	420	5月28日	8月16日	10月2日	4.0	○	1.0	5.0	×	湛水	—	—	—	—	—
3	3	450	5月25日	8月15日	9月29日	6.8	○	0.0	6.8	×	間断	26	60	0	11	0
4	—	480	6月30日	9月10日	10月5日	8.5	○	0.0	8.5	○	間断	41	25	0	32	0
5	—	510	6月5日	8月20日	10月9日	2.4	×	0.0	2.4	○	間断	48	34	6	11	1
6	3	500	5月18日	8月14日	9月26日	5.6	×	0.0	5.6	×	間断	24	57	0	14	2
7	—	399	5月13日	8月9日	9月15日	5.4	×	1.2	6.6	—	—	6	65	1	11	2
8	—	551	6月3日	—	10月6日	7.8	×	1.7	9.5	—	—	49	36	0	13	1
9	—	—	5月26日	8月15日	9月25日	7.0	—	0.0	7.0	—	—	21	59	0	16	1
10	1	523	5月30日	8月20日	10月6日	7.2	×	1.7	8.9	○	間断	53	31	1	12	2
11	2	500	6月3日	8月18日	10月6日	8.4	×	0.0	8.4	○	湛水	41	41	0	15	2
12	1	510	6月1日	8月18日	10月5日	6.0	×	0.0	6.0	○	間断	—	—	—	—	—
13	2	500	5月29日	8月8日	9月28日	10.8	○	0.0	10.8	○	湛水	—	—	—	—	—
14	—	360	6月4日	8月13日	9月26日	5.6	×	1.7	7.3	○	間断	33	44	0	19	2
15	—	450	6月2日	8月14日	9月26日	7.0	×	2.6	9.6	×	湛水	16	57	0	20	2
16	規格外	540	5月21日	8月7日	9月26日	6.4	×	2.6	9.0	○	湛水	21	49	0	21	3
17	1	540	5/20~31	8/17~20	9月26日	8.0	○	2.2	10.2	○	間断	39	37	0	21	1
18	2~3	540	5/15~25	8/14~17	9月23日	8.0	○	2.2	10.2	○	間断	41	37	0	19	1
19	規格外	540	5/5~15	8/10~13	9月20日	8.0	○	2.2	10.2	○	間断	28	53	0	14	2
20	—	540	5月5日	8月10日	—	7.0	×	1.6	8.6	○	—	18	63	0	9	2
21	規格外	600	5/12~13	—	9/18~30	7.0	×	3.5~4.2	4.0	○	湛水	14	67	0	8	1
22	—	450	5月11日	7月30日	9/18~20	7.0	×	2.6	9.6	×	間断	9	70	0	8	1
23	規格外	536	5月8日	8月10日	9月18日	8.4	×	1.5	9.9	○	かけ流し	14	65	0	12	1
24	3	660	5月13日	8月12日	9月21日	9.0	×	5.1	14.1	○	—	49	34	0	13	1
25	2	600	5月4日	8月5日	9月12日	9.0	○	5.1	14.1	○	—	38	45	0	12	1
26	—	528	5月13日	—	9月24日	9.6	○	0.0	9.6	○	湛水	18	64	0	11	1
27	—	420	5月15日	8月6日	9月18日	7.0	○	0.0	7.0	○	湛水	13	71	0	10	1
28	—	480	5月26日	8月15日	10月9日	0.0	×	0.0	0.0	○	湛水	49	34	0	16	1
29	1	540	6月7日	—	10月5日	8.4	×	2.6	11.0	○	湛水	63	24	0	11	1
30	規格外	570	5月7日	—	9月16日	7.0	×	2.9	9.9	—	—	17	64	0	12	1
31	—	570	5月23日	8月15日	9月26日	7.0	×	2.2	9.2	○	間断	23	58	0	12	2
32	1	570	5/25~6/15	—	9/15~	7.7	○	0.0	7.7	—	湛水	43	32	0	21	2
33	規格外	630	5月14日	—	9月20日	9.5	○	0.0	9.5	○	間断	24	58	0	13	2
34	—	540	5月15日	8月8日	9月20日	7.0	×	3.4	10.4	○	—	22	59	0	15	0
35	規格外	583	5月15日	8月11日	9月20日	7.0	×	3.4	10.4	×	湛水	15	68	0	9	1
36	3	527	5月16日	8月9日	9月20日	7.0	×	2.9	9.9	○	湛水	18	55	1	10	12
37	—	655	5月18日	8月13日	9月20日	7.0	×	2.9	9.9	○	間断	35	45	0	16	1
38	規格外	500	5月20日	8月14日	10月5日	7.0	×	3.4	10.4	○	湛水	7	57	1	7	22
39	3	420	5月20日	8月13日	9月20日	8.4	×	0.0	8.4	○	—	23	56	1	17	2
40	3	588	5月24日	8月15日	9月28日	8.4	×	3.3	11.7	○	間断	38	44	2	12	2
41	—	588	5月25日	8月17日	9月28日	7.0	×	3.4	10.4	○	—	36	41	5	10	7
42	規格外	560	5月30日	8/16~17	10月5日	7.1	×	2.2	9.3	○	間断	53	28	0	16	3
43	—	540	5月30日	—	9月28日	8.4	×	3.1	11.5	○	湛水	62	25	0	11	0
44	—	543	6月1日	—	9月28日	6.7	×	3.1	9.8	○	湛水	53	27	3	11	5
45	2	580	6月3日	8月19日	10月5日	6.0	×	3.1	9.1	○	—	41	36	3	11	9
46	2~1	480	6月4日	8月20日	9月26日	5.6	×	1.2	6.8	○	間断	54	26	0	18	0
47	2	480	5月25日	1月0日	9月27日	5.6	×	4.5	10.1	○	間断	32	50	0	14	1
48	2~1	480	6月1日	8月20日	9月22日	5.6	×	1.2	6.8	○	間断	46	31	0	20	1
49	3	500	5月12日	8月11日	9月25日	2.4	×	1.5	3.9	○	—	21	65	0	10	0
50	3	588	5月25日	—	10月9日	6.3	×	3.0	9.3	—	—	23	58	0	13	3
51	1	560	6月15日	—	9月30日	3.6	×	0.0	3.6	—	—	68	17	0	13	0
52	3	500	5月21日	8月16日	9月30日	7.7	○	0.0	7.7	○	湛水	38	43	0	17	0
53	規格外	500	5月12日	8月15日	9月20日	4.2	×	0.0	4.2	×	湛水	17	64	0	11	1
54	3~規格外	531	5月26日	8月16日	9月24日	7.5	○	0.0	7.5	○	湛水	26	52	2	16	3
55	規格外	480	5月10日	8月11日	9月18日	5.4	○	0.0	5.4	×	—	8	70	0	9	1
56	2	440	5月27日	8月15日	10月6日	9.0	○	1.2	10.2	○	間断	69	20	0	9	1
57	規格外	549	5月6日	8月8日	9月12日	8.0	○	0.0	8.0	○	間断	10	71	0	12	1
58	—	513	5月24日	8月15日	9月24日	8.0	○	0.0	8.0	○	間断	42	38	0	18	0
59	2	600	5月27日	8月17日	9月24日	8.0	○	0.0	8.0	○	間断	63	18	0	18	1

注1 検査等級は農産物検査等級。

注2 施肥量 一発の欄は、一発肥料使用は○、速効性肥料使用は×とした。

注3 中干し欄は、中干し実施は○、中干し未実施は×とした。

注4 整粒、白未熟粒は穀粒判別器(サタケ RGQI-20A)による測定値。以下同様。

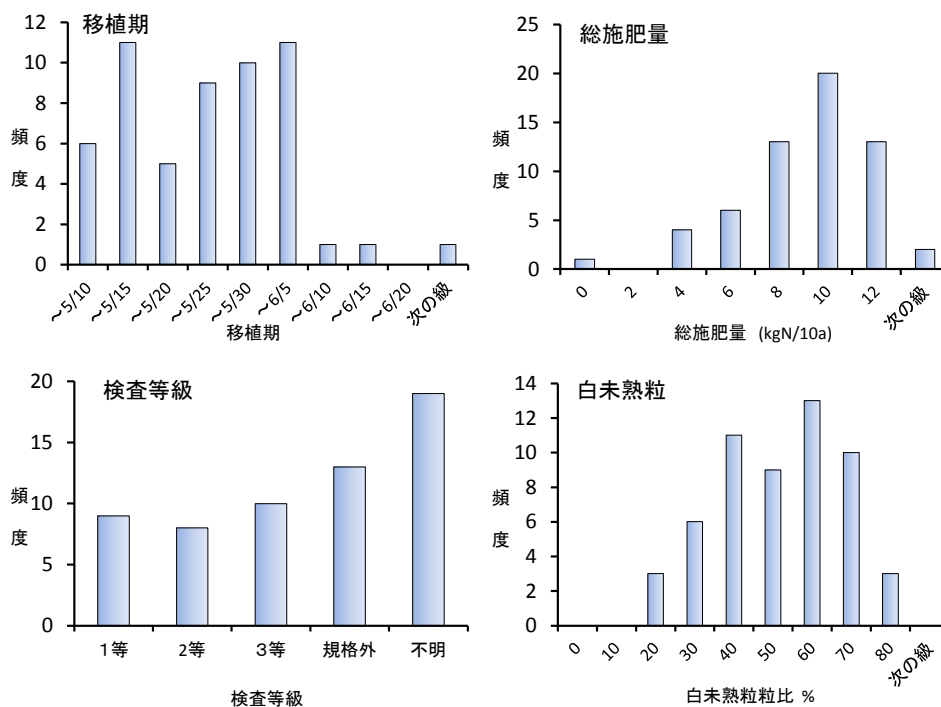


図1 現地サンプルの項目別頻度

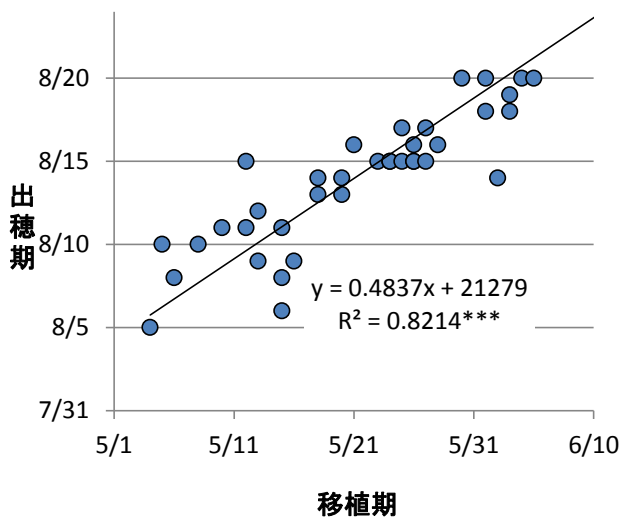


図2 移植期と出穂期

注 ***は0.1%水準で有意.

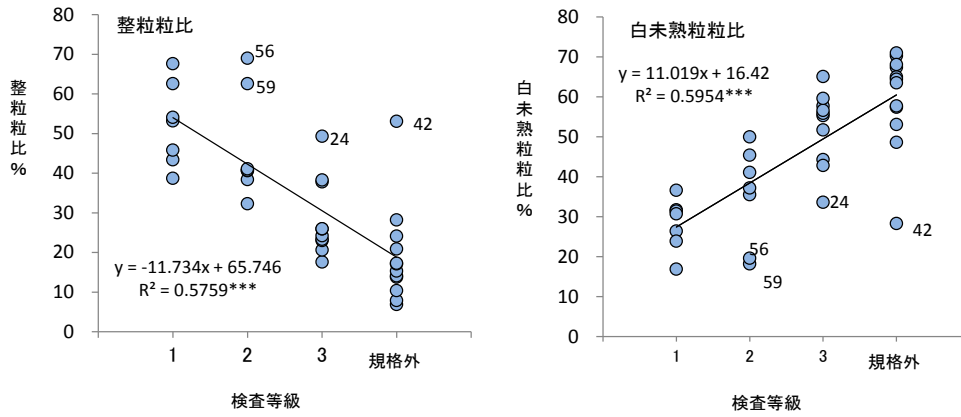


図3 検査等級と玄米外観品質

注1 横にNo.がある要素は外れ値と思われるもの。No.は表1のリストNo.

注2 ***は0.1%水準で有意.

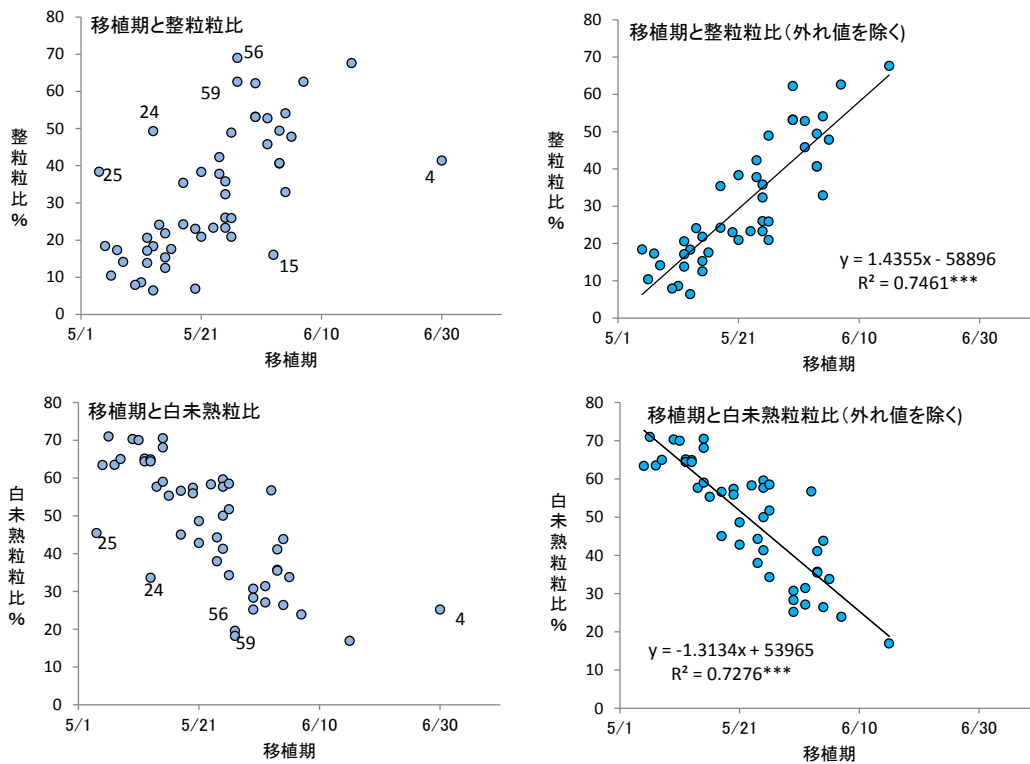


図4 移植期と玄米外観品質

注1 横にNo.がある要素は外れ値と思われるもの。No.は表1のリストNo.

注2 ***は0.1%水準で有意.

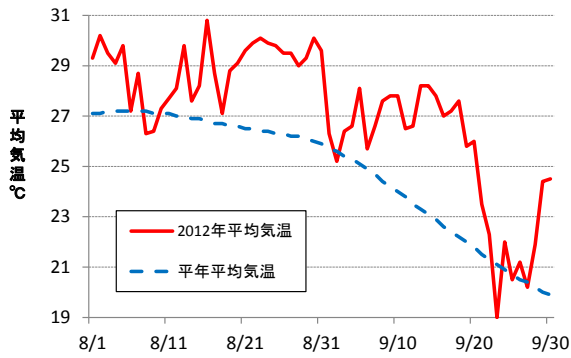


図5 夏期日平均気温の推移(熊谷地方気象台観測値)

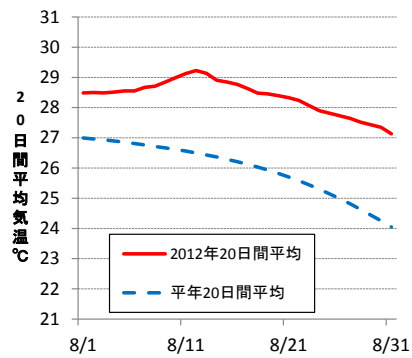


図6 日平均気温の出穂後20日間平均の推移(熊谷地方気象台観測値から作成)

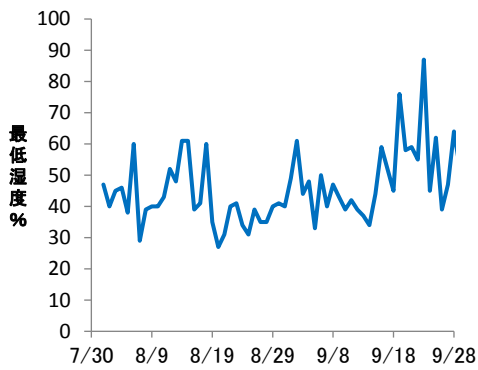


図7 夏期日最低湿度の推移(熊谷地方気象台観測値)

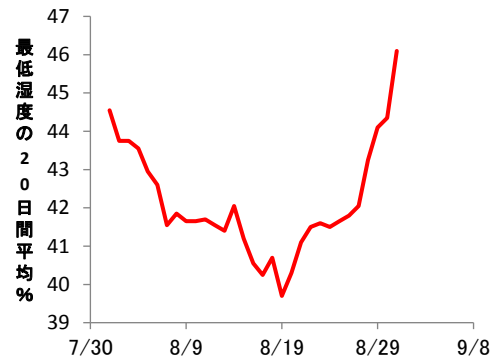


図8 日最低湿度の出穂後20日間平均の推移(熊谷地方気象台観測値から作成)

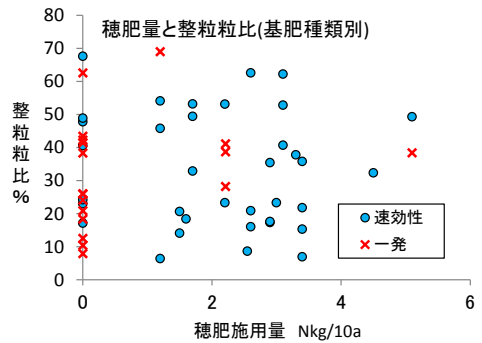
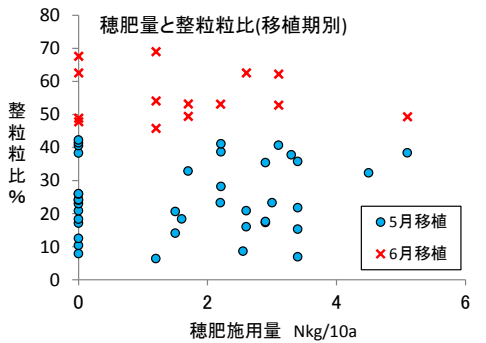
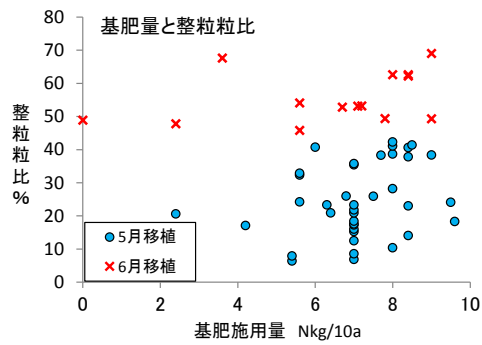
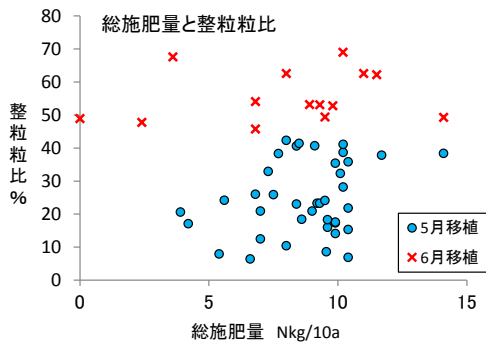


図9 施肥と整粒

岡田ら：水稲「彩のかがやき」の高温障害軽減技術の開発

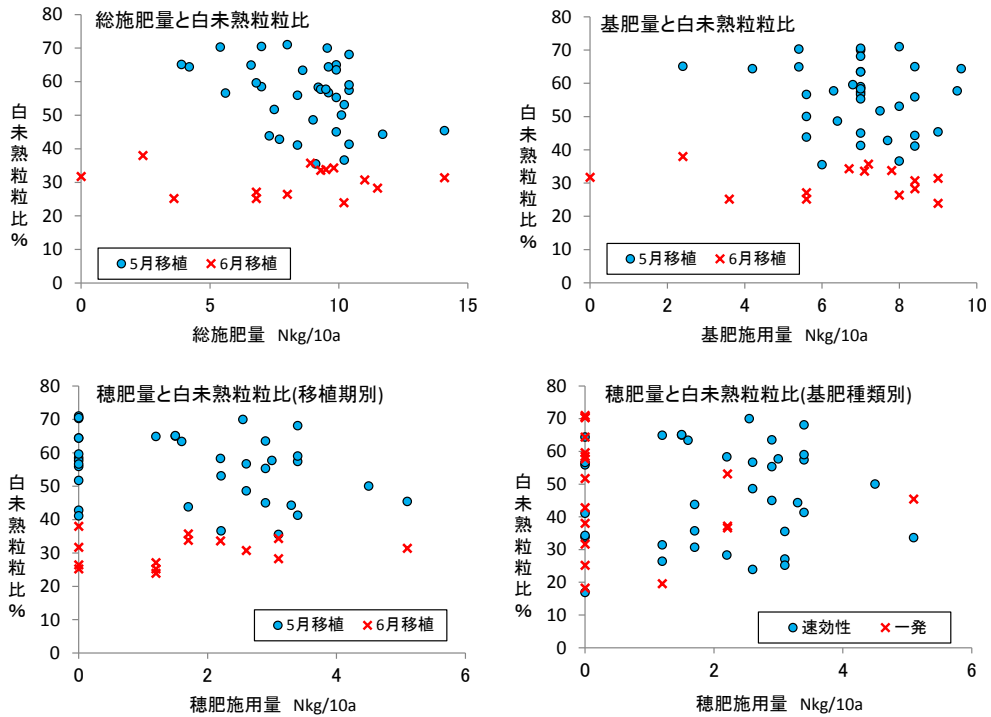


図10 施肥と白未熟粒

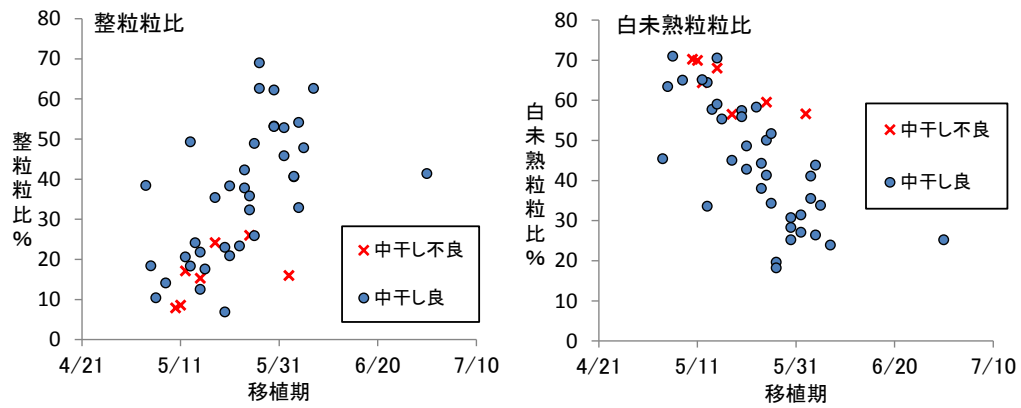


図11 中干しの良否と玄米外観品質

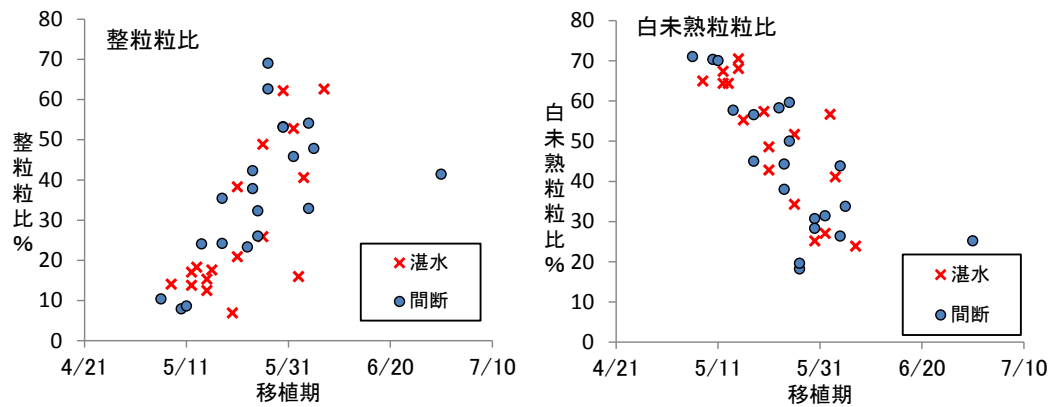


図12 出穂後水管理と玄米外観品質

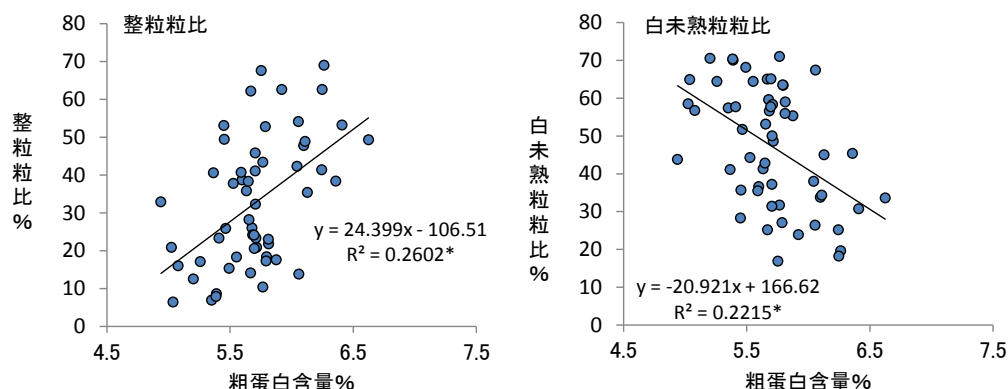


図 13 玄米粗蛋白含量と玄米外観品質

注 *は 5%水準で有意.

表 2 各項目間の相関係数

	整粒	白未熟	等級	収量	移植期	出穂期	基肥量	穂肥量	総施肥量	中干し	出穂後水管理	蛋白含量
整粒	1.00											
白未熟	-0.96 ***	1.00										
等級	-0.73 ***	0.75 ***	1.00									
収量	0.19	-0.17	0.15	1.00								
移植期	0.64 ***	-0.74 ***	-0.69 ***	-0.15	1.00							
出穂期	0.52 **	-0.63 **	-0.56 **	-0.03	0.85 ***	1.00						
基肥量	0.02	-0.02	0.00	0.18	-0.13	-0.02	1.00					
穂肥量	-0.01	0.00	0.12	0.37	-0.19	-0.32	0.18	1.00				
総施肥量	0.06	-0.08	-0.01	0.30	-0.15	-0.20	0.79 ***	0.65 ***	1.00			
中干し	0.41	-0.44 *	-0.32	0.25	0.17	0.20	0.19	0.14	0.19	1.00		
出穂後水管理	0.25	-0.23	-0.30	-0.01	0.17	0.25	0.03	-0.06	0.06	0.06	1.00	
蛋白含量	0.51 *	-0.47 *	-0.39	0.47 *	0.06	0.26	0.11	0.16	0.12	0.38	0.29	1.00

注 1 整粒, 白未熟は粒比, 等級は農産物検査等級, 蛋白含量は玄米粗蛋白含量.

注 2 検査等級の規格外は 4 とした.

注 3 中干し, 出穂後水管理はそれぞれ, 中干し良, 間断かん水を 1, 中干し不良, 湛水管理を 0 とした.

注 4 ***, **, *はそれぞれ 0.1%, 1%, 5%水準で有意.

考 察

今回のサンプルでは, 玄米外観品質に最も影響を与えているのは移植期であった(表 2).

基肥, 穂肥, 総施肥量とも玄米外観品質との関係は判然としなかったが, 移植が早く, 他が規格外となる中, 多量の穂肥施用により, 2~3 等となる事例があった.

玄米粗蛋白含量と整粒粒比, 白未熟粒粒比は弱いものの相関が見られ, 上記と合わせの稲体窒素濃度を高めることが, 高温障害軽減に有効なこと

がうかがえた.

寺島ら(2001), 若松ら(2007)は出穂後 20 日間の平均気温が 27℃以上で背白米, 基白米が多発することを報告しているが, 今回のサンプルの出穂後 20 日間の平均気温は, いずれも 28~29℃に達しており, 比較的品质の良かった 8 月 17 日以降に出穂したものにおいても 28℃以上の高温であった. ほとんどが規格外となった 8 月 10 日以前に出穂したものについても同等の温度であることから, 気温と検査等級について明らかな関係は認められなかった.

移植期が遅いほど玄米外観品質が向上した理由については、移植が遅いほど稲体窒素濃度が高く維持されていることが影響していると考えられたが、移植期と玄米粗蛋白含量には明らかな関係は認められなかった。

水管理の良否については、サンプル数が少なく玄米外観品質への明らかな影響は判然としなかったが、中干し未実施ほ場では品質が良いものは見られなかった。

以上、2012年も2010年に匹敵する異常な高温であったため、各作期の肥培管理が異なる多くのサンプルで玄米品質が低下しており、気温との明瞭な関係は判然としなかった。このような状況下で移植期を6月以降のもの、早い移植期でも穂肥施用が多いものや適正な中干しを行ったサンプルで玄米品質の低下が抑制的であり、対策技術として有効となることが示唆された。

II 高温耐性を高める施肥技術の開発

ここでは「彩のかがやき」の高温耐性を高める施肥方法について検討した。

材料および方法

試験は2013～2015年に玉井試験場内ほ場において実施した。移植期は5月9～11日で、稚苗を用い、栽植密度18.5株/m²の機械移植を行った。

基肥は小林(2012)の報告から高温により葉色が低下した状態を擬似的に再現するため2Nkg/10aとした。移植後50日頃に0, 1.5, 3Nkg/10aの追肥を行い、穂肥施用時期の目標葉色を富士平工業葉色カラースケールの群落値で3～3.5の薄区、4の標準区、4.5～5の濃区の3水準に設定した。薄区、標準区は穂肥を出穂前23日に3Nkg/10a施用し、その後、追加穂肥を3水準(無, 出穂前15日, 出穂前10日 各2Nkg/10a)で施用した。濃区は穂肥を出穂前20日に3Nkg/10a施用し、追加穂肥は行わなかった。

水管理は埼玉県水稲栽培基準に準じた。調査は葉色、外観品質について実施した。

結果

1 試験期間の気象経過

2013年は生育期間を通し高温に推移し、特に8月中旬は猛暑日が連続する著しい高温となった。このため、全般に白未熟粒の発生も多く、農水省公表の「彩のかがやき」の1等比率は71.1%とやや低かった。

2014年は8月上旬までは比較的高温に推移したが、8月中旬以降、平年並から低温に推移し、高温障害の発生しにくい条件であった。農水省公表の「彩のかがやき」の1等比率は92.6%であった。

2015年は7月上旬を除き、平年並から高く推移し、特に7月下旬～8月上旬は猛暑日が連続する著しい高温となった。しかしその後一転して低温となり、高温障害の発生は少なかった。農水省公表の「彩のかがやき」の1等比率は89.7%であった(図14)。

2 葉色と玄米外観品質

各年次とも8月上旬までは高温に推移したため、出穂前23日の葉色は目標値よりも薄くなった。出穂前23日の葉色は年次間差が大きく、有意差はなかったが、色が薄いほど白未熟粒が多く整粒粒比が低下する傾向であった(表3)。

出穂前10日頃の葉色と玄米外観品質との関係について、2013年は葉色の濃い区で白未熟粒の発生が少なくなったが、試験期間を通じては判然としなかった。一方2013, 2014年とも出穂前12～9日の葉色が同等でも、出穂前23日の葉色が薄い区ほど白未熟粒が増加して、整粒粒比が低下した(表4)。夏期高温であった2013年の出穂前23日、出穂前9日の葉色と玄米外観品質の関係を重回帰分析した結果においても、外観品質に大きな影響を与えているのは出穂前23日の葉色であった(表5)。

3 追肥と玄米外観品質

薄区、標準区では、出穂前15日、出穂前10日の追加追肥で白未熟粒が減少し、整粒粒比が増加した。また2013年は出穂前15日施用で出穂前10日施用に比べ、より白未熟粒が減少する傾向が

見られた。遅い追加追肥ほど玄米粗蛋白含量は増加したが、いずれも良食味確保の目安である 6.5%

は大幅に下回っており、食味への影響はないと考えられた(表 5)。

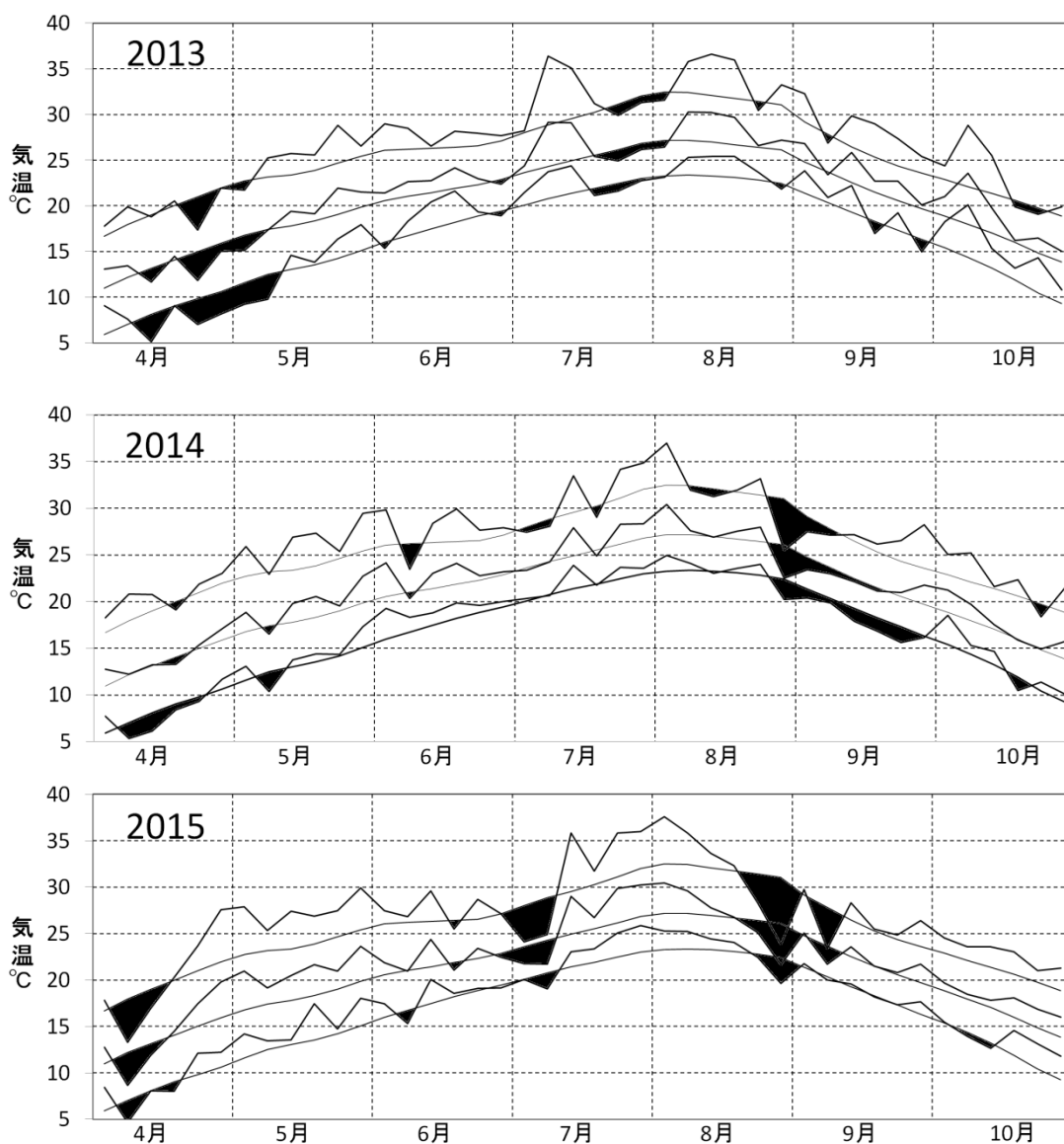


図 14 気温の推移(熊谷地方気象台観測値から作成)

表 3 出穂前 23 日の葉色と玄米外観品質(2013~2015)

出穂前23 日葉色	外観品質(粒比 %)			
	整粒	白未熟	その他 未熟	その他
薄(3.1)	37.7	37.4	22.6	2.3
標準(3.5)	44.6	29.2	24.3	1.8
濃(4.1)	50.0	21.4	27.5	1.3
分散分析	ns	ns	ns	ns

注 ns は有意差がないことを示す。

表 4 追加追肥と外観品質

	出穂前 23日葉色	追加追 肥時期	出穂前 12~9日 葉色	出穂期 葉色	外観品質(粒比 %)				蛋白 含量(%)
					整粒	白未熟	その他 未熟	その他	
2013		無	3.0	—	26.5	48.6	20.2	4.8	5.2
	薄(3.0)	-15日	4.0	—	38.3	37.9	19.4	4.5	5.5
		-10日	3.0	—	30.2	44.6	21.6	3.6	5.7
	標準(3.5)	無	3.5	—	43.7	33.3	19.6	3.4	5.3
		-15日	4.3	—	52.8	27.6	17.7	1.9	5.8
		-10日	3.5	—	47.0	33.6	17.4	2.1	6.1
2014		無	4.2	2.9	38.6	35.9	24.6	0.9	5.6
	薄(3.8)	-15日	4.2	3.5	44.2	28.7	26.5	0.6	6.0
		-10日	4.1	4.0	44.4	28.5	26.5	0.6	6.0
	標準(4.2)	無	4.4	3.3	43.3	25.6	30.4	0.8	5.7
		-15日	4.3	3.7	48.7	19.7	30.9	0.7	5.9
		-10日	4.2	4.0	53.1	14.8	31.1	0.9	6.2
2015		無	3.2	3.0	47.9	27.8	22.9	1.4	5.2
	薄(2.5)	-15日	4.0	3.3	49.4	28.0	21.2	1.4	5.6
		-10日	3.0	3.7	50.5	24.1	24.2	1.2	5.8
	標準(3.3)	無	3.0	2.7	46.9	28.8	23.0	1.3	5.4
		-15日	4.0	3.3	50.3	23.4	25.0	1.3	5.7
		-10日	3.3	3.7	53.1	21.6	24.2	1.0	5.9
分散 分析		無	3.5 ab	—	37.7	37.4 a	22.6	2.4	5.3 c
	薄(3.1)	-15日	4.1 ab	—	44.0	31.5 ab	22.4	2.2	5.7 b
		-10日	3.4 b	—	41.7	32.4 ab	24.1	1.8	5.8 b
	標準(3.5)	無	3.6 ab	—	44.6	29.2 ab	24.3	1.8	5.5 c
		-15日	4.2 a	—	50.1	23.6 b	24.5	1.3	5.8 b
		-10日	3.7 ab	—	51.1	23.3 b	24.2	1.3	6.1 a
			*	ns	*	ns	ns	*	

注 1 追加追肥時期の-15日, -10日はそれぞれ出穂前15日, 出穂前10日.

注 2 英小文字は tukey の多重比較により同一文字間に有意差がないことを示す(5%水準).

注 3 *は5%水準で有意, nsは有意差がないことを示す.

表 5 葉色と外観品質の重回帰モデル(2013)

	回帰係数	推定値	係数のp値	R2値
切片		-53.3	0.0045	
整粒	-23葉色	17.4	0.0006	0.92
	-9葉色	10.1	0.0048	
白未 熟粒	切片	111.9	<0.0001	0.94
	-23葉色	-13.3	0.0004	
	-9葉色	-8.7	0.0016	

注 -23葉色, -9葉色はそれぞれ出穂前23日葉色, 出穂前9日葉色.

考 察

これまで、葉色と外観品質については、多くの研究がなされており、生育後半の窒素不足が白未熟粒の発生を助長していること、また、出穂期の葉色が低下すると白未熟粒の発生が増加することが報告されている(水稲高温対策連絡会議対策推進チーム(2006), 森田(2009), 高田ら(2010)). 本

研究においても、出穂期の葉色が白未熟粒の発生に強く関与していると仮定し、穂肥施用時期の葉色から、適正な追肥時期・量を明らかにすることを主目的として実施したものである。しかし、各時期の葉色と白未熟粒の発生を検討した結果、最も影響しているのは穂肥施用時期(出穂前23日頃)の葉色であった。穂肥施用時期の葉色が著しく低下すると、その後の追肥により出穂期の葉色を

高めても、効果的に白未熟粒の発生を減らすことはできなかった。

葉色の推移と玄米品質について、井上ら(2007)は幼穂形成期頃の極端な葉色の低下は登熟期の稲体活力を低下させると示唆しており、葉色が低下したイネは穂肥を施用しても登熟期間中の葉色低下が早くなるとしている。また、森田(2009)は出穂前の非構造性炭水化物(NSC)の蓄積が白未熟粒の軽減に有効なことを報告しており、NSCの蓄積が進まないことも大きな原因となっている可能性が考えられた。

白未熟粒を軽減するための葉色の目安であるが、試験期間の白未熟粒の発生が比較的少なかったことから明確な判断はできないが、やや発生の多かった2013年の事例から、出穂前23日で葉色4程度と考えられた。これは本県策定の「彩のかがやき栽培指針」における穂肥施用の有無を判断するときの葉色指標値と同じである。また、出穂前23日の葉色を4程度とするために最適な施用時期、量について、今回は検討していないが、作業性から考えて、中干し終了時に葉色診断および中間追肥を行うのが効率的と考えられた。「彩のかがやき」の2000~2014年までの累年調査によるこの時期の葉色は4~4.5程度であることから、これを下回った場合、窒素成分で2Nkg/10a程度の追肥を行うことで、葉色の維持が可能と考えられた。

また、出穂前23日穂肥施用による葉色の発現が概ね安定してくると思われる7~14日後に改めて葉色診断を行い、その状況から追加追肥を行った場合の外観品質への影響について検討した。出穂前23日の葉色が4を下回り、穂肥を施用しても葉色が薄い場合は、出穂前15~10日に追加追肥を行うことで、白未熟粒の発生が減少した。また、玄米粗蛋白含量の著しい上昇も見られなかった。

通常は出穂前23日穂肥を施用することで、葉色4以上になると考えられるが、穂肥施用時に著しく葉色が低下していた場合、あるいは異常高温が継続し葉色が上昇しない場合は、追加追肥が有効であると考えられた。追肥を実施する葉色の目安については、「彩のかがやき」の2000~2014年までの累年調査によるこの時期の葉色は4程度であることから、これを下回った場合、窒素成分

で2Nkg/10a程度の追肥を行うことで、白未熟粒の発生が減少すると考えられた。

Ⅲ 出穂後水管理の玄米外観品質への影響

ここでは出穂後の水管理が玄米の外観品質に与える影響について検討した。

材料および方法

試験は2011年および2013~2015年に玉井試験場内ほ場において実施した。

2011年は、移植期は5月9日で、稚苗を用い、栽植密度18.5株/m²の機械移植を行った。基肥は5Nkg/10a、穂肥は出穂前25日に3Nkg/10a施用した。水管理は開花終了時までには県水稻栽培基準に準じた通常管理とし、以降、収穫10日前頃まで、かけ流し区、常時湛水区の2区を設定した。かけ流しは8時~18時までの間、10a当たり約133L/分で行った。湛水深3~5cmとし、余分な用水は入水口とは反対側から排水した。常時湛水区は8時30分からの概ね2時間程度入水し、湛水深5cm程度で止水した。なお、翌日まで田面に用水は残っており、常時湛水状態であった。調査は水温、収量、品質について実施した。

2013~2015年は、移植期は5月11~15日で、稚苗を用い、栽植密度18.5株/m²の機械移植を行った。基肥は小林(2012)の報告から高温により葉色が低下した状態を擬似的に再現するため2013、2014年は2Nkg/10aとした。2015年は、前年までの結果から葉色が著しく低くなり、供試ほ場の地力が低いと思われたことから3Nkg/10aとした。穂肥は出穂前23日頃に3Nkg/10a施用した。水管理は開花終了時までには県水稻栽培基準に準じた通常管理とし、以降、収穫10日前頃まで、常時湛水、かけ流し、間断かん水(1週間を1サイクルとし3~4日ごとに切り替え)の3種類の管理を実施した。調査は収量、品質について実施した。

結 果

1 2011年

8月中旬、9月中旬は著しい高温となったが、

他は平年並から平年を下回った。このため、全般に白未熟粒の発生は少なく、農水省公表の「彩のかがやき」の1等比率は95.9%と高かった。水温は、高温の時間帯では水管理法による大きな差はみられなかった。一方、気温が下がり始めてからの水温の低下は、かけ流し区の方が早く、夜間～早朝にかけて最大で約2℃低温となった(図15)。このことから、最高気温を過ぎたころから夕方までの入水は水温低下効果が高いと考えられた。

収量はかけ流し区でやや多収となったが、外観品質は、白未熟粒の発生しにくい条件でもあり、全般に良好で概ね同等であった。

2 2013～2015年

生育は、かけ流し区でやや長稈化し、有意差はないが穂数も多く確保された。収量はかけ流し区で有効穂数が多くなり、やや多収となった。玄米外観品質は、有意差はなかったが、かけ流し区で白未熟粒が減少し、整粒が増加する傾向であった(表6)。

比較的品质が良好であった2014、2015年は間断かん水と常時湛水に明らかな違いは見られなかったが、白未熟粒の発生が多かった2013年は間断かん水によりやや白未熟粒が減少し、掛け流し区と同等の整粒が確保された。玄米粗蛋白含量、粒厚分布に明らかな差はなかった(表7)。

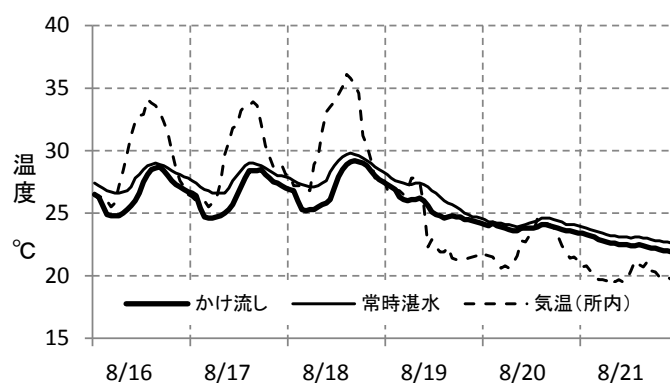


図15 水管理と水温の推移(2011)

表6 出穂後水管理と生育・収量

年次	水管理	出穂期	成熟期	成熟期			収量 (kg/10a)	千粒重 (g)	登熟歩合 (%)	有効穂数 (本/m ²)	1穂 粒数 (粒)	m ² 当 粒数 (千粒)
				稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)						
2011	かけ流し	—	—	—	—	—	608	22.6	88.9	—	69.4	25.7
	常時湛水	—	—	—	—	—	556	22.5	84.7	—	68	23.5
2013	かけ流し	8月10日	9月20日	68.6	19.4	375	472	21.6	85.4	358	71.8	25.7
	間断かん水	8月10日	9月20日	65.7	19.2	340	449	21.5	85.8	328	74.1	24.4
2014	かけ流し	8月11日	9月24日	66.8	20.1	310	443	21.7	86.5	298	74.7	22.3
	間断かん水	8月11日	9月24日	64.7	19.7	294	401	21.4	90.2	305	69.9	21.4
2015	かけ流し	8月8日	9月29日	73.2	22.1	305	539	22.5	87.6	305	86.3	26.3
	間断かん水	8月8日	9月29日	70.5	21.5	305	499	22.2	87.5	299	80.4	24.0
分散分析	かけ流し	8月10日	9月24日	69.5 a	20.5 a	330	484 a	21.9	86.5	320	77.6	24.8 a
	間断かん水	8月10日	9月24日	67.0 b	20.4 ab	313	450 b	21.7	87.8	310	74.8	23.3 b
	常時湛水	8月10日	6月24日	66.5 b	20.1 b	312	438 b	21.7	85.5	306	77.6	23.1 b
				*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	*

注1 英小文字は tukey の多重比較により同一文字間に有意差がないことを示す(5%水準)。

注2 *は5%水準で有意、nsは有意差が無いことを示す。

表 7 出穂後水管理と品質

年次	水管理	蛋白 含量 (%)	2mm 以上 (%)	外観品質(粒比)				
				整粒 (%)	胴割 (%)	白未熟 (%)	その他 未熟 (%)	その他 (%)
2011	かけ流し	5.8	—	72.5	0.0	12.0	14.7	0.8
	常時湛水	5.6	—	70.7	0.1	15.0	12.8	1.4
2013	かけ流し	4.9	87.7	33.1	0.1	46.0	18.7	2.2
	間断かん水	5.0	87.7	33.9	0.1	47.6	17.1	1.4
2014	常時湛水	4.9	86.6	25.6	0.1	54.3	17.4	2.7
	かけ流し	5.0	71.4	68.1	0.1	6.9	24.5	0.4
2014	間断かん水	5.0	68.4	61.3	0.1	14.0	24.4	0.3
	常時湛水	4.8	62.7	57.6	0.1	15.6	26.0	0.7
2015	かけ流し	5.6	75.5	52.4	0.0	23.7	22.9	1.0
	間断かん水	5.3	77.5	50.7	0.0	29.3	19.4	0.5
分散分析	常時湛水	5.3	76.6	53.1	0.0	26.1	20.0	0.8
	かけ流し	5.2	78.2	51.2	0.1	25.5	22.0	1.2
分散分析	間断かん水	5.1	77.9	48.6	0.1	30.3	20.3	0.7
	常時湛水	5.0	75.3	45.4	0.1	32.0	21.1	1.4
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

注 1 蛋白含量は玄米粗蛋白含量, 2mm 以上は粒厚 2mm 以上の玄米粒比.

注 2 ns は有意差がないことを示す.

考 察

高温登熟障害の発生に登熟期間の水管理が大きく関与していることは数多く報告されている. 今野ら(1991)は, 早期落水が登熟歩合, 玄米外観品質に強い影響を与えること, 出穂後 20 日間は適切な間断かん水が必要であることを報告している. 荒井ら(2001)は使用した用水が比較的低い水温条件では, かけ流しは常時湛水に比べ水温を低下させ, 白未熟粒が減少すること, 間断かん水はかけ流しのような水温低下効果はないことを報告している. また, 藤原ら(2013)は, 飽水管理(土壌を湿润状態に保つ管理)は湛水管理比べ土壌の酸化還元電位が上昇し, 玄米品質が向上することを報告している.

本試験においても, かけ流しは常時湛水に比べ, 特に夜間の水温低下効果が高いことが認められた. また, 有意に増収し, 有意差はないが品質向上効果がうかがえた. これはかけ流しにより水温が低下したこと, また, 水の移動に伴う酸素供給により土壌還元が進みにくかったことにより, 根の活性が保たれたことが要因と考えられた. しかし, かけ流し管理は, 多くの用水を必要とし, 水利権の制限から実際には実施できないほ場が多いと考えられる.

間断かん水は, 白未熟粒の発生が少ない年次で

は常時湛水と同程度で効果は認められなかったが, 2013 年の高温条件下で見ると, かけ流しと同等の品質向上効果が認められた. 間断かん水は, 水温の低下効果は期待できないものの, 土壌を酸化状態にする効果が高く, 根の活力が高まり, 玄米品質が向上したものと考えられた. また, 間断かん水はかけ流しに比べ用水の必要量も少なく, より実効性が高いと考えられた.

IV 移植方法の玄米外観品質への影響

ここでは栽植密度, 植付深および植付本数と玄米外観品質の関係について検討した.

材料および方法

試験は 2013~2015 年に玉井試験場内ほ場において実施した. 移植期は 5 月 12~13 日で, 稚苗を用い, 機械移植を行った. 基肥は 3Nkg/10a, 穂肥は出穂前 25 日に 3Nkg/10a 施用した. 水管理は県水稻栽培基準に準じた通常管理とした. 試験の構成は, 栽植密度は坪当たり 70 株, 60 株, 50 株, 37 株の 4 水準, 植付深は浅植(2cm 程度), 深植(5cm 程度)の 2 水準, 株本数は少(2~3 本), 多(7~8 本の)2 水準とし, いずれも田植機の設定により調整した. 調査は収量, 品質, 分けつ構成

について行った。

結 果

1 栽植密度

栽植密度は年次変動があるが、3カ年の平均では概ね設定に近い値となった。稈長、穂長、穂数に栽植密度による明らかな傾向は見られなかった(表 8)。収量、収量構成要素に栽植密度による明らかな差は見られなかった。外観品質は、2013、2015 は栽植密度の低い区で白未熟粒が減少する傾向であった。しかしその他未熟粒が増加傾向で、整粒粒比はいずれも同等であった。玄米粗蛋白含量に明らかな差は見られなかった(表 9)。

2 植付深

植付深は3カ年の平均で浅植区が20mm、深植区が37mmとなった。稈長は深植でやや長くなり、穂長、穂数は明らかな差は見られなかった(表 8)。収量、外観品質は、2013 は深植で多収となり、白

未熟粒も減少したが、他は年により傾向が一定せず、植付深の影響は判然としなかった(表 9)。

3 1 株本数

1 株本数は3カ年の平均で少区が3.7本、多区が6.6本となった。稈長は多区でやや長くなり、有意差はないが穂数も多く確保された(表 8)。収量は、2013、2015年は多区でm²当たり粒数が多くなる傾向で、多収となった。外観品質は、2013、2015年は多区で白未熟粒が減少する傾向が見られた。同様に玄米粗蛋白含量も2013、2015年は多区で増加する傾向が見られた(表 9)。

4 分けつ構成

分けつ構成は深植、1 株本数多で有意に2次分けつが減少し、主茎、1次分けつ主体の構成となった。栽植密度では、37株設定区で株当たり穂数が増加したが、高次分けつの増加は見られず、分けつ構成に有意な違いは見られなかった(表 10)。

表 8 移植方法と生育

年次	田植機設定			実測値			出穂期	成熟期	成熟期			
	栽植密度 (株/坪)	植付深	1株本数	栽植密度 (株/坪)	植付深 (mm)	1株本数 (本/株)			稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	
2013	70	浅	少	59	24	3.7	8月9日	9月21日	77.8	21.3	312	
	60	浅	少	53	19	3.6	8月9日	9月21日	76.1	20.1	361	
	60	浅	多	53	15	5.7	8月9日	9月21日	78.1	20.1	371	
	60	深	少	52	39	3.9	8月9日	9月21日	78.2	20.1	333	
	50	浅	少	43	24	4.3	8月9日	9月21日	79.6	20.8	337	
	37	浅	少	31	17	2.8	8月9日	9月21日	80.9	21.8	307	
2014	70	浅	少	75	17	3.4	8月11日	9月23日	72.5	20.7	332	
	60	浅	少	67	22	3.2	8月11日	9月23日	70.5	20.7	354	
	60	浅	多	68	27	5.8	8月11日	9月23日	72.8	21.1	403	
	60	深	少	68	39	3.1	8月11日	9月23日	75.0	22.1	349	
	50	浅	少	55	17	4.0	8月11日	9月23日	72.1	20.5	312	
	37	浅	少	40	23	3.2	8月11日	9月23日	73.3	21.2	304	
2015	70	浅	少	58	12	3.3	8月10日	9月29日	73.6	21.8	416	
	60	浅	少	53	17	3.2	8月10日	9月29日	71.0	21.5	404	
	60	浅	多	52	18	7.2	8月10日	9月29日	72.8	22.2	446	
	60	深	少	55	31	3.7	8月10日	9月29日	76.3	23.0	496	
	50	浅	少	42	19	3.7	8月10日	9月29日	72.4	21.7	345	
	37	浅	少	32	19	4.3	8月10日	9月29日	74.7	22.1	358	
分散分析	70			64			—	—	77.6	ab	21.9	380
	60			58			—	—	75.3	b	21.4	400
	50			47			—	—	77.7	ab	21.7	358
	37			35			—	—	79.3	a	22.4	350
					**				*		ns	ns
		浅			20			—	—	75.6	b	21.4
	深			37			—	—	79.5	a	22.3	382
				**				*		ns	ns	
		少				3.7	—	—	76.5	b	21.7	355
		多				6.6	—	—	78.6	a	22.0	389
					**				*	ns	ns	

注1 英小文字は tukey の多重比較により同一文字間には有意差がないことを示す(5%水準)。

注2 **, *はそれぞれ 1%, 5%水準で有意差のあることを示す。ns は有意差のないことを示す。

表 9 移植方法と収量・品質

年次	田植機設定			収量 (kg/10a)	千粒重 (g)	登熟 歩合 (%)	有効 穂数 (本/株)	1穂 籾数 (粒)	m当 籾数 (千粒)	2mm 以上 (%)	外観品質(粒比%)			蛋白 含量 (%)	
	栽植 (株/坪)	植付 深	1株 本数								整粒	白未熟	その他 未熟		
2013	70	浅	少	503	22.1	84.6	290	75.4	21.8	88.6	58.3	24.5	15.6	5.6	
	60	浅	少	468	21.9	89.2	350	69.8	24.3	87.6	55.8	26.1	16.4	5.3	
	60	浅	多	493	22.5	90.8	351	76.5	28.2	88.9	69.2	14.8	14.4	5.9	
	60	浅	多	472	22.2	89.8	308	81.7	25.1	89.4	58.3	23.8	15.3	5.5	
	50	浅	少	506	22.4	88.1	311	73.9	23.0	88.5	65.2	18.1	14.5	5.8	
	37	浅	少	515	22.3	88.3	277	88.2	24.4	86.5	65.6	18.0	15.0	5.7	
2014	70	浅	少	489	22.1	84.2	329	84.1	27.7	77.8	54.3	23.2	21.8	5.4	
	60	浅	少	546	22.8	83.1	337	85.0	28.7	79.0	58.7	18.3	22.1	5.8	
	60	浅	多	528	22.3	84.3	391	74.2	29.0	60.2	50.5	27.4	21.6	5.6	
	60	浅	多	537	21.9	82.1	348	86.4	30.0	77.7	53.0	22.5	24.0	5.4	
	50	浅	少	475	22.8	85.7	309	82.2	25.5	74.8	52.1	24.6	22.5	5.3	
	37	浅	少	499	22.2	85.4	301	85.1	25.6	76.8	57.1	18.1	24.2	5.2	
2015	70	浅	少	597	22.5	83.6	324	79.7	32.2	72.3	57.3	26.1	14.9	5.5	
	60	浅	少	533	22.4	85.8	268	75.8	26.1	75.8	55.4	25.3	18.2	5.3	
	60	浅	多	613	23.0	85.8	335	69.8	29.4	74.0	59.4	20.1	19.0	6.2	
	60	浅	多	618	23.0	79.8	367	77.3	35.2	72.1	60.6	17.3	20.4	6.6	
	50	浅	少	557	22.1	86.6	268	81.6	27.2	69.7	57.5	21.3	19.9	5.2	
	37	浅	少	582	21.8	85.4	264	85.8	30.0	65.0	60.0	16.9	21.9	5.2	
分散 分析	70			557	22.4	83.5	346	80.5	30.4	75.8	58.5	22.4	17.7	5.9	
	60			543	22.5	85.4	350	77.7	29.5	77.1	58.5	21.0	19.1	5.7	
	50			540	22.6	86.2	328	80.0	28.4	73.9	60.1	19.1	19.2	5.8	
	37			560	22.2	85.8	312	87.2	29.8	72.4	62.8	15.4	20.6	5.8	
				ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		浅		537	22.4	86.3	323	78.9	27.6	75.3	59.6	20.5	19.6	5.7	
		深		564	22.4	84.2	345	83.8	31.4	74.3	60.3	18.4	19.6	6.0	
				ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
			少	536	22.3	84.8	314	83.0	28.2	78.0	58.4	20.7	19.4	5.6	
			多	564	22.5	85.7	354	79.7	30.7	71.6	61.5	18.2	18.9	6.1	
			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

注 1 ns は有意差のないことを示す。

注 2 蛋白含量は玄米粗蛋白含量, 2mm 以上は粒厚 2mm 以上の玄米粒比。

表 10 分けつ構成(2015)

	田植機設定			分けつ構成割合(%)			穂数 (本/株)
	栽植密度 (株/坪)	植付深	株本数	主茎	1次	2次	
	70	浅	少	18.1	61.2	20.6	18.7
	60	浅	少	17.6	60.1	22.3	18.5
	60	浅	多	26.3	68.0	5.7	23.5
	60	浅	多	19.6	64.5	15.6	21.8
	50	浅	少	19.0	61.0	20.0	20.7
	37	浅	少	18.7	60.3	21.0	28.5
分散 分析	70			23.5	67.3	9.0	22.9 b
	60			23.0	66.3	10.6	22.7 b
	50			24.3	67.1	8.5	24.8 b
	37			24.0	66.3	9.5	32.7 a
				ns	ns	ns	**
		浅		22.8	64.6	12.6	24.1
		深		24.6	68.9	6.3	27.4
				ns	**	*	ns
			少	19.3	62.8	17.8	23.3
			多	28.1	70.7	1.1	28.3
			**	**	**	*	

注 1 調査は成熟期に各区 5 株×3 反復について実施。

注 2 英小文字は tukey の多重比較により同一文字間には有意差がないことを示す(5%水準)。

注 3 **, *はそれぞれ 1%, 5%水準で有意差のあることを示す。ns は有意差のないことを示す。

考 察

栽植密度と外観品質については、高橋(2006)が栽植密度を低減することにより、葉色が維持され、

品質が向上することを報告している。本試験においても、有意差はないものの疎植で白未熟粒が減少する傾向が見られた。これは疎植により 1 株当たりの分けつが増え、これに伴い発根量が増加し、

養分吸収能力が向上したことが要因と考えられた。疎植になるほどこの能力は高まると思われるが、高橋(2006)も指摘しているように極端な疎植は2次枝梗粒の増加により1穂粒数が過剰となり、乳白粒が増加する危険性がある。また、今回は見られなかったが、高位高次分げつが多発する危険性もある。このため、高温登熟障害を軽減するための栽植密度は現地の状況も勘案し、50株/坪程度が適当と考えられた。

植付深については、千葉ら(2010)は、深植により穂数が抑制され品質が向上すること、ただし、深水管理に比べると効果は低く、これは深植により1穂粒数が増加することが要因と考えられることを報告している。本試験においては深植による穂数の減少見られず、1穂粒数は増加し、品質向上効果は見られなかった。要因については判然としないが、千葉ら(2010)は深植の効果には品種間差があることを報告しており、「彩のかがやき」は効果が発現しにくい可能性が考えられた。

1株本数については、年次による変動が大きく、明らかな傾向は見られなかったが、白未熟粒の発生が比較的多かった2013年は多区で品質向上効果が見られたことから、高温年には有効となる可能性が考えられた。

V 総合考察

本県では、2010年に「彩のかがやき」の高温登熟障害による甚大な被害が発生して以来、年により差があるものの、毎年のように高温に見舞われ、高温登熟対策は必須の技術になった。そこで、2011年から被害軽減技術の開発に取り組み、夏期高温となった2012年には被害の現地実態調査を実施した。

高温登熟対策技術は森田(2009)が指摘しているように、高温自体を避ける技術と高温に遭遇しても登熟障害の発生を抑制する技術に分けて考えることができる。

まず、高温自体を避ける技術であるが、具体的には晩生品種の利用と移植期の後進が挙げられる。今回、検討した「彩のかがやき」は晩生品種であり、この点ですでに高温回避技術の一つを実施していることになる。しかし2010年は9月以降も

異常高温が継続し、「彩のかがやき」でも高温を回避することができなかった。また、移植期の後進であるが、現地データの解析から単年度の結果ながら「彩のかがやき」においても効果があることが認められた。一般には移植期の後進は、出穂期を遅らせることにより登熟期間が高温に遭遇する事を避ける技術であるが、2012年の気温推移では、6月下旬植では8月31日頃に出穂したと類推されるが、この場合でも出穂後20日間の平均気温は27℃を超えており、高温を回避したとは言いがたい。しかし、明らかに高温登熟障害は軽減され、これは宮崎ら(2008)が報告しているように、移植期を遅らせることにより稲体窒素濃度が高く維持されることが要因の一つと考えられた。近年、8月下旬以降も著しい高温が継続することが多い。このため、移植期の後進が単に高温を避けるだけでなく、他の要因も関係し効果が発現しているのであれば比較的安定して効果が期待できる有効な技術と考えられた。移植期が遅いほど、より軽減効果は高いと思われるが、6月下旬以降の移植では玄米粗蛋白含量が高まり、食味が低下する危険性が高まることから、現地の状況も踏まえ、6月1日～6月20日頃の移植が良いと考えられた。やむを得ず5月中に移植する場合にも、できる範囲で遅らせることが有効と考えられた。

次に高温に遭遇しても登熟障害の発生を抑制する技術だが、これは高温に負けない強勢穂主体の健全な稲体とし、順調に登熟が行える環境を整える技術と考えることができる。高温を始め、肥料不足、その他の障害による稲体の不健全化は葉色に端的に表れると考えられ、葉色診断は稲体の状態を把握する重要な手法である。これまで出穂期の葉色が低下すると高温登熟障害が多発することが多く報告されているが、今回の試験では穂肥施用時期の葉色がより強く影響していることが明らかになった。このことから、高温登熟障害の軽減には、早い時期から葉色を保つことが必要であり、気象庁の長期予想により高温の危険性が高い場合、穂肥施用時期の葉色を適正に保つため、中干し終了後の葉色診断と追肥が効果的であると考えられた。また、1回目の穂肥施用後も葉色が薄い場合は、出穂前15～10日の2回目の穂肥が有効であった。森田(2009)は穂ばらみ期追肥が有効なこと

を報告しているが、「彩のかがやき」は晩期追肥により玄米蛋白含量が上がりやすいこと、葉色の低下が見られる場合は、早めに追肥を行った方が、被害軽減効果が高いと考えられることから、出穂前15~10日の追加穂肥が有効と思われる。ただし、異常高温が継続して、追加穂肥によっても葉色の上昇が不十分な場合は、穂ばらみ期追肥についても検討する必要がある。

次に移植方法と出穂後の水管理であるが、これは強勢穂の早期確保と、発根量の増大、土壌環境の改善による根の活性維持を狙ったものである。しかし試験期間中、高温登熟障害の発生が比較的に少ない条件であったことから、明確な差は見られなかった。栽植密度については、疎植、1株本数増により高温登熟障害が軽減する可能性が見られた。水管理については、従来言われているように、かけ流し、間断かん水で高温登熟障害が軽減される傾向が認められた。かけ流しは、先に述べたように水利権の制限から実施は難しいと思われ、間断かん水の励行を推進する必要がある。

以上のように、高温登熟障害軽減に有効な技術がいくつか明らかになったが、個別の効果は小さいものであり、安定した効果を得るには、これらを総合的に実施することが必要である。また、今回は検討していないが、高温登熟障害の軽減に有効と考えられる、早期に低位低次分けつを確保し、遅発分けつの発生を抑えること、根量の増大と根系の発達を促すこと、過剰な土壌還元による根の傷みを防ぐこと、十分な土壌窒素を供給すること等のため、土作り、健苗育成、耕深の確保、適正な中干し等の水管理等、いわゆる基本技術の励行が重要である。これらを総合的に実施することによって、安定した高温登熟障害の軽減が可能になると考えられた。

VI 引用文献

荒井義光・伊藤博樹(2001)：高温登熟時の用水掛け流し処理による水田地温の低下と玄米品質の向上 日作東北支部報 44, 89-90.
千葉雅だら(2010)：水管理と植付深が水稻の収量と品質に及ぼす影響 新大農研報 62(2), 105-110.

藤原洋一・鳥山和伸・藤井秀人(2013)：夏期の飽水管理が土壌環境と玄米品質に及ぼす影響 H25 農業農村工学会大会講演会要旨集 328-329.
井上ら(2007)：高温障害に強いイネ 日本作物学会北陸支部北陸育種談話会編 養賢堂 56-59
小林麻子(2012)：米の外観品質・食味研究の最前線〔18〕高温耐性水稻品種の育成とその遺伝的要因の解明—外観品質を主として— 農及園 87(5), 525-529
今野 周ら(1991)：登熟期の環境要因および生育条件が水稻の登熟、収量および品質に及ぼす影響 山形農試研報 25, 7-22.
宮崎真行・内川修・田中浩平・福島裕助(2008)：移植時期が異なる場合の玄米品質と稲体窒素栄養条件 日作九支報 74, 11-13.
森田 敏(2009)：水稻高温登熟障害の生理生態的解析 九沖農研報 52, 1-78
水稻高温対策連絡会議対策推進チーム(2006)：水稻の高温障害の克服に向けて(高温障害対策レポート) 農林水産省.
高田聖ら(2010)：高温登熟条件下で発生する水稻品種の白未熟粒割合と基肥窒素施用量との関係 日作紀 79(2), 150-157.
高橋 渉(2006)：気候温暖化条件下におけるコシヒカリの白未熟粒発生軽減技術 農及園 81(9), 1012-1018.
寺島一男ら(2001)：1999年の夏期高温が水稻の登熟と米品質に及ぼした影響 日作紀 70(3), 449-458.
寺島一男(2005)：日本作物学会シンポジウム記事 温暖化する気象条件下での早期栽培イネにおける品質・収量低下に対する技術的対応 全国的な高温化がコメ品質に及ぼす影響とその要因の解析 日作紀 74, 86-89.
若松謙一・佐々木修・上菌一郎・田中明男(2007)：暖地水稻の登熟期間の高温が玄米品質に及ぼす影響 日作紀 76, 71-78.