

水稻‘あきさかり’における移植時期の前進が収量，玄米品質および被覆尿素の溶出パターンに及ぼす影響

鈴江康文・安淵潤一・小川仁・建本聡

Effects of advance transplanting time on yield, grain quality and elution pattern of coated urea in rice cultivar ‘Akisakari’.

Yasufumi SUZUE, Junichi YASUBUCHI, Hitoshi OGAWA, Satoshi TATEMOTO

要 約

徳島県の水稲‘あきさかり’栽培において，登熟期の高温回避による玄米外観品質向上を目的とした移植時期の前進が収量および品質に及ぼす影響について検討した。

一般的な移植時期である5月中旬から約1か月前進させた4月中旬に移植したところ，出穂後20日間の日平均気温（以下，登熟気温）は約1℃低下した。収量に差はみられず，その他未熟粒や白未熟粒の割合が減少し，整粒歩合が約4%向上した。

併せて，本県‘あきさかり’栽培に広く利用されている全量基肥肥料（以下，本県あきさかり肥料）に含まれる80日および100日タイプのシグモイド型被覆尿素について，移植時期の前進による溶出パターンへの影響および溶出タイプの違いによる収量，品質への影響を調査した。両タイプとも溶出パターンは生育ステージと連動し，移植時期を前進させてもおおむね同一の生育ステージに溶出を開始し，終了した。このことから4月移植においても現行の施肥体系を適用可能であることが示唆された。溶出タイプの違いによる収量および品質への影響は認められなかった。

以上より本県‘あきさかり’栽培において移植時期を1か月程度前進させることで，収量を維持したまま玄米外観品質を向上させることが可能であり，その場合，現行施肥体系を適用できることが示唆された。

キーワード：水稻，移植時期，高温，‘あきさかり’

Keyword : rice, transplanting time, high temperature, ‘Akisakari’

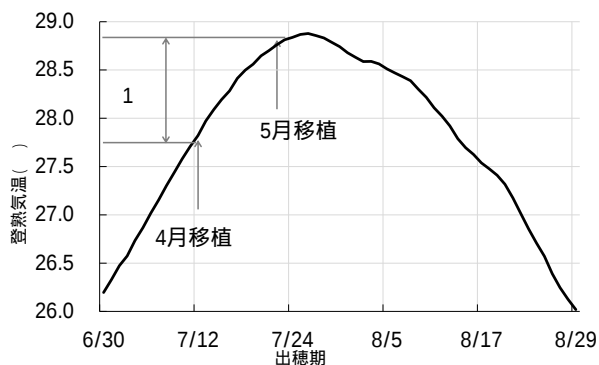
緒 言

近年，水稻栽培では地球温暖化を背景として登熟期が高温にさらされることによって起こる外観品質の低下（以下，高温登熟障害）が問題となっている。高温登熟障害は玄米の白濁化，粒張りの低下，胴割れ粒の増加などの症状として現れ，整粒歩合の低下，ひいては1等米比率低下の主要因となっている⁴⁾。本県では2016年に高温耐性品種である‘あきさかり’を奨励品種に採用したが，依然として1等米比率は40%台と低迷しており⁵⁾，更なる対策が求められている。

対策のひとつとして登熟期が高温期にあたらないよう

作期を遅らせることによる品質向上事例が報告されている^{7),10),11)}。本県‘あきさかり’栽培では5月中旬移植が一般的であり，この場合7月下旬に出穂し，登熟期が一年で最も気温が高い時期にあたることから（第1図），作期を遅らせることは有効な手段と考えられる。しかし，本県では後作として秋冬野菜栽培が盛んであり作期の遅延は圃場や作業の競合につながる。地域によっては水稻成熟前に用水の供給がとまり灌水できなくなるといった支障が生じるため，登熟期の高温回避には作期を前進させる方が現実的と考えられる。

そこで，登熟期の高温回避を目的とした5月中旬から4月中旬への移植時期の前進が‘あきさかり’の収量およ



第1図 出穂期と登熟気温(出穂後20日間の日平均気温)の関係
注) 徳島地方気象台徳島観測所における10年間(2014-2023)の日平均気温をもとに作図

び品質に及ぼす影響を明らかにした。併せて、現行の施肥体系が適用できるか検討するため、本県あきさかり肥料に使用されている80日および100日タイプのシグモイド型被覆尿素を用い、移植時期の前進が溶出パターンに及ぼす影響および溶出タイプの違いが収量、品質に及ぼす影響を明らかにしたので報告する。

材料および方法

1 栽培概要

試験は2021～2023年の3年間、徳島県立農林水産総合技術支援センター（徳島県名西郡石井町）内の水田圃場（細粒質灰色低地土）にて実施した。供試圃場の土壌化学性は第1表のとおりである。

品種は「あきさかり」を用い、4月移植は4月12日から4月14日、5月移植は5月11日から5月13日に、栽植密度が15.2株/m²（株間22cm×条間30cm）となるよう機械移植した。

施肥および代かきは移植の2日前に行い、施肥以外の栽培管理は当センターの慣行に従った。

試験設計および施肥量は第2表のとおりとし、全量基肥で施用した。試験規模は1区24～30m²とし、2021年、2022年は2反復、2023年は3反復で行った。

第1表 供試圃場の土壌化学性

作期	T-N (%)	T-C (%)	CEC (me/100g)	可給態窒素 (mg/100g)
4月移植	0.19	1.9	16.0	3.0
5月移植	0.17	1.7	14.6	3.1

注) 土壌は4月移植、5月移植ともに2023年4月4日に採取

2 調査項目および調査方法

(1) 成熟期の生育、収量および玄米品質

稈長および穂長は成熟期に各区10株を調査した。わら窒素含量は乾式燃焼法（株式会社住化分析センター SUMIGRAPH NC-22F）により測定した。

収量および収量構成要素は各区60株を刈り取り調査した。収量は篩目1.80mm以上の玄米の重さとし、水分15%に換算した。初数は全籾を回収し、縮分器を用いて16分割した試料の初数を調査し、単位面積当たりに換算した。

玄米外観品質は穀粒判別器（静岡製機 ES-1000）を用いて測定した。腹白未熟粒は背白粒を含むものとして評価した。乳白粒、基部未熟粒、腹白未熟粒の合計を白未熟粒とした。玄米タンパク質含有率は、食味分析計（静岡製機 TM-3500）を用いて測定した。

得られた数値はフリー統計ソフトRを用いて線形混合モデルにより有意差を検定した。

(2) 被覆尿素からの窒素溶出率

窒素溶出率は宮崎県の方法³⁾により測定した。すなわち、各被覆尿素5gを正確に秤量し、不織布袋（お茶パック）に入れ、栽培試験圃場の一画に作土表面から深さ5cmに埋設した。任意の期間経過後に掘り出し、付着した土を水洗除去した後、65℃で乾燥し、重量を測定した。重量の減少量を窒素溶出量として溶出率を算定した。調査は3反復で行った。

結 果

1 生育ステージと気象条件

年次毎の生育ステージを第3表に示した。移植期を1か月前進させことで幼穂形成期までの栄養生長期が長くなり、出穂期は3年平均で12日前進した。出穂期から成熟期までの日数は両作期とも37日前後と差がみられなかった。また、被覆尿素的溶出タイプの違いによる生育ステージの差はみられなかった。

第2表試験区ごとの施肥量

試験区	速効性	S80	S100	合計
S80区	0.5	0.3		0.8
S100区	0.5		0.3	0.8

注) 単位はkgN/a。全量基肥で施用

注) 速効性は48化成、S80、S100は2021年はエムコートS80H

およびS100Hを2022年、2023年はJコートS80およびSS100を使用

第3表 生育ステージ

作期	年	移植期	幼穂形成期	出穂期	成熟期
4月移植	2021年	4月14日	6月20日	7月15日	8月21日
	2022年	4月13日	6月14日	7月9日	8月16日
	2023年	4月12日	6月18日	7月13日	8月17日
	3年平均	4月13日	6月17日	7月12日	8月18日
5月移植	2021年	5月13日	7月1日	7月26日	9月1日
	2022年	5月12日	6月27日	7月22日	8月30日
	2023年	5月11日	6月29日	7月24日	8月29日
	3年平均	5月12日	6月29日	7月24日	8月30日

注)試験区(肥料タイプ)による生育ステージの差はなし

第4表 試験期間の気象条件

作期	年	移植期～幼穂形成期			幼穂形成期～出穂期			出穂期～20日間			出穂20日後～成熟期		
		期間 日数 (日)	日平均 気温 (℃)	日平均 日照時間 (時間)	期間 日数 (日)	日平均 気温 (℃)	日平均 日照時間 (時間)	期間 日数 (日)	日平均 気温 (℃)	日平均 日照時間 (時間)	期間 日数 (日)	日平均 気温 (℃)	日平均 日照時間 (時間)
4月移植	2021年	67	19.8	6.2	25	24.7	4.5	20	27.8	10.3	17	25.9	3.5
	2022年	62	18.9	6.6	25	26.1	6.7	20	27.5	7.4	18	29.0	7.9
	2023年	67	18.8	6.3	25	25.4	5.5	20	28.3	9.2	15	28.4	6.4
	3年平均	65	19.2	6.4	25	25.4	5.5	20	27.9	9.0	17	27.8	5.9
5月移植	2021年	49	22.0	5.0	25	26.5	6.8	20	27.8	7.8	17	26.3	5.3
	2022年	46	21.7	6.5	25	27.2	6.8	20	28.9	8.8	19	27.7	5.8
	2023年	49	21.5	5.7	25	27.0	6.8	20	29.0	9.0	16	27.6	6.5
	3年平均	48	21.7	5.8	25	26.9	6.8	20	28.6	8.5	17	27.2	5.9

注)当センター気象観測データをもとに作成

2 栽培期間の気象条件

生育ステージ毎の日平均気温および日平均日照時間を第4表に示した。4月移植は出穂20日後～成熟期を除き5月移植よりも日平均気温が低く推移した。代表的な高温登熟障害である白未熟粒の発生との相関が高いとされる登熟気温（出穂期～20日間）は3年平均で4月移植が27.9℃、5月移植が28.6℃と0.7℃低下した。日照時間は梅雨の影響を受け、4月移植では幼穂形成期～出穂期で、5月移植では移植期～幼穂形成期で少なかった。出穂期～成熟期における差はみられなかった。なお、試験期間において台風などの気象災害や病虫害による特筆すべき影響はみられなかった（データ省略）

3 成熟期の生育、収量および収量構成要素

成熟期の生育を第5表に示した。すべての調査項目において作期間に有意な差がみられた。具体的には4月移植は5月移植に比べ3年平均で稈長が2～3cm、穂長が約1cm長かった。わら重が小さい一方、わら窒素含量が高かった。試験区間に有意な差はみられなかった。

収量および収量構成要素を第6表に示した。4月移植では5月移植に比べ1穂初数が有意に増加したが他の収量構成要素には差がみられず、収量にも有意な差はみられな

かった。いずれの調査項目でも試験区間に差はみられなかった。

4 玄米品質

玄米品質を第7表に示した。4月移植は5月移植に比べ整粒歩合が3～5ポイント増加し、外観品質が有意に向上した。特に、主として粒張りが悪く充実不足の玄米が含まれるその他未熟粒の割合が低下した。白未熟粒の割合も有意に低下したが、発生割合が低くその差はわずかであった。玄米タンパク質含有率もわずかに低下した。いずれの調査項目でも試験区間に差はみられなかった。

5 被覆尿素的の溶出パターン

被覆尿素的の窒素溶出率の推移を第2図および第3図に示した。年次間差はあるもののS80は幼穂形成期頃に溶出し始め、出穂期には約80%が溶出した（第2図）。S100は幼穂形成期を過ぎてから溶出し始め、出穂期までに50～60%溶出し、成熟期まで溶出が継続した（第3図）。この生育に連動した溶出パターンは作期が異なっても同様の傾向を示した。

第5表 成熟期の生育

作期	年	試験区	稈長	穂長	わら重	わら窒素含量
			(cm)	(cm)	(kg/a)	(%)
4月移植	2021年	S80	74.7	17.8	60.7	0.55
		S100	74.4	18.2	60.8	0.52
	2022年	S80	75.3	17.4	60.6	0.46
		S100	76.2	17.4	66.5	0.47
	2023年	S80	74.8	16.7	66.6	0.51
		S100	75.6	16.6	66.9	0.52
	3年平均	S80	74.9	17.3	62.6	0.51
		S100	75.4	17.4	64.8	0.50
5月移植	2021年	S80	74.2	16.2	74.1	0.38
		S100	73.7	16.0	75.5	0.42
	2022年	S80	72.8	16.2	72.6	0.43
		S100	70.5	16.4	71.0	0.43
	2023年	S80	72.5	16.9	68.1	0.45
		S100	73.4	16.7	68.7	0.46
	3年平均	S80	73.2	16.4	71.6	0.42
		S100	72.5	16.3	71.7	0.44
作期		**	**	**	**	
試験区		ns	ns	ns	ns	

注) *は5%水準、**は1%水準で有意差があることを示す。

第6表 収量および収量構成要素

作期	年	試験区	穂数	1穂 粒数	m ² 当り 粒数	登熟 歩合	千粒重	収量
			(本/m ²)	(粒)	(千粒)	(%)	(g)	(kg/a)
4月移植	2021年	S80	426	79.9	34.0	96.2	21.7	71.1
		S100	409	81.4	33.3	93.4	22.1	68.7
	2022年	S80	463	74.4	32.4	93.8	21.8	66.1
		S100	457	73.5	31.7	93.6	21.8	64.8
	2023年	S80	432	74.9	32.3	91.7	22.5	66.6
		S100	431	73.5	31.6	93.2	22.8	67.2
	3年平均	S80	440	76.4	32.9	93.9	22.0	68.0
		S100	432	76.1	32.2	93.4	22.2	66.9
5月移植	2021年	S80	463	74.7	34.6	91.1	21.9	69.1
		S100	458	74.8	34.3	91.5	22.1	69.3
	2022年	S80	514	69.7	34.4	91.9	22.3	70.7
		S100	501	68.8	32.6	93.0	22.5	68.1
	2023年	S80	405	70.0	28.4	92.0	22.5	58.9
		S100	399	69.4	27.7	91.3	22.6	57.1
	平均	S80	460	71.5	32.5	91.7	22.3	66.2
		S100	453	71.0	31.5	91.9	22.4	64.8
作期			ns	**	ns	ns	ns	ns
	試験区		ns	ns	ns	ns	ns	ns

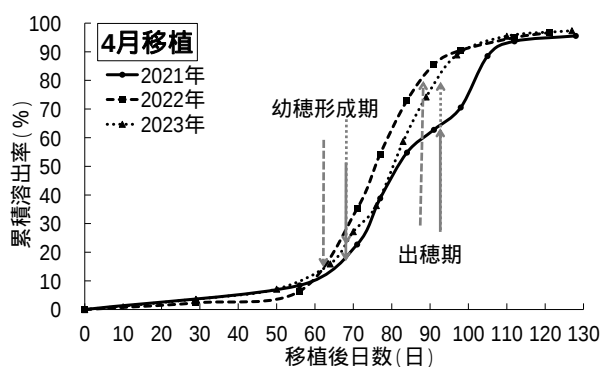
注) *は5%水準、**は1%水準で有意差があることを示す。

第7表 玄米品質

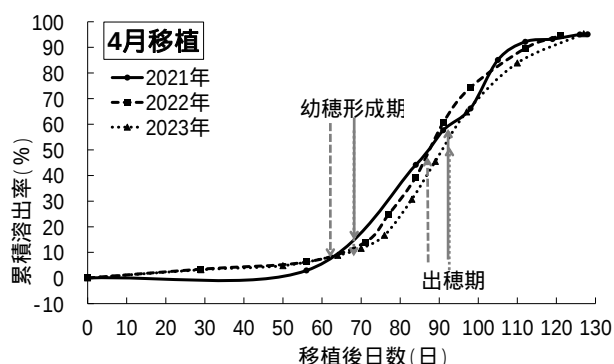
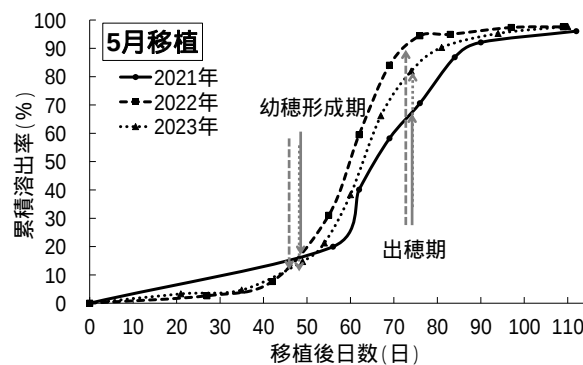
作期	年	試験区	整粒	白未熟粒					青未熟	他未熟	タンパク質含有率
				計	乳白	基部	背白・腹白				
				(%)	(%)	(%)	(%)	(%)			
4月移植	2021年	S80	73.9	1.5	0.6	0.5	0.4	18.7	5.1	6.4	
		S100	76.8	1.3	0.7	0.3	0.3	14.1	6.3	6.5	
	2022年	S80	79.8	2.9	1.7	0.9	0.3	2.7	12.8	6.4	
		S100	81.0	2.6	1.6	0.7	0.3	2.4	12.5	6.2	
	2023年	S80	77.7	5.3	3.6	0.6	1.1	5.5	9.6	6.4	
		S100	80.4	4.2	3.0	0.5	0.8	5.3	8.5	6.6	
	3年平均	S80	77.1	3.2	2.0	0.7	0.6	9.0	9.2	6.4	
		S100	79.4	2.7	1.8	0.5	0.5	7.3	9.1	6.4	
5月移植	2021年	S80	73.9	4.1	3.0	0.6	0.5	4	14.7	6.9	
		S100	76.0	3.7	2.7	0.6	0.5	4.5	13.0	6.9	
	2022年	S80	73.0	6.5	4.1	1.4	1.1	1.7	16.4	6.5	
		S100	73.0	6.6	3.9	1.6	1.2	0.9	17.4	6.4	
	2023年	S80	75.6	3.8	2.1	0.6	1.2	1	16.3	6.6	
		S100	74.6	3.9	2.0	0.6	1.3	0.8	17.9	6.6	
	3年平均	S80	74.2	4.8	3.1	0.9	0.9	2.2	15.8	6.7	
		S100	74.5	4.7	2.9	0.9	1.0	2.1	16.1	6.6	
作期		**	*	ns	*	**	**	**	*		
試験区		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		

注) 玄米品質は静岡製機穀粒判別機ES-1000、玄米タンパク質含有率は同食味計TM-3500の計測値。白未熟粒は乳白、基部、背白・腹白の合計。

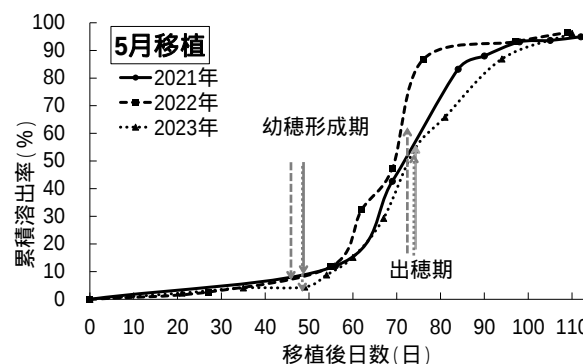
注) *は5%水準、**は1%水準で有意差があることを示す。



第2図 作期による溶出パターンの違い (S80)



第3図 作期による溶出パターンの違い (S100)



考 察

1 移植時期の前進が気象条件および生育ステージに及ぼす影響

移植時期を1か月前進させることにより、出穂期は12日前進（第3表）し、登熟気温は0.7℃低下した（第4表）。第1図に示した徳島気象台徳島観測所のデータでみても4月移植（出穂期を7月12日と仮定）は27.8℃，5月移植（出穂期を7月24日と仮定）は28.8℃となっており、当センターを含む徳島県東部地域では移植時期の前進により登熟気温を約1℃下げることができると考えられた。

2 移植期の前進が成熟期の生育、収量および玄米品質に及ぼす影響

移植期の前進により稈長がやや長くなるものの（第5表），収量に差はみられず（第6表），玄米品質は向上した（第7表）。

「あきさかり」は中短稈性の品種で耐倒伏性は“強”であり⁹⁾，3年間の試験期間において倒伏はみられなかった（データ省略）。また移植期の違いによる稈長差は2～3cmであり倒伏への影響は少ないと考えられる。

収量については移植期が遅くなるほど低下することが報告されているが^{2), 6)}，本試験では1穂粒数を除き収量

構成要素および収量に明らかな差はみられなかった。当センター内における過去の作期試験でも同様の傾向がみられており（データ省略），要因の一つとして「あきさかり」の草型が“偏穂数型”であり，作期にかかわらず穂数を確保しやすい点が関係していると考えられるが詳細については引き続き検討が必要である。

品質面では，山口らは登熟期間の1穂あたりの稲体窒素含量が高いほど整粒歩合が向上したと報告している¹¹⁾。本試験でも4月移植は5月移植に比べ成熟期のわら窒素含量が高く， m^2 あたり粒数に差がみられなかったことから1穂あたりの稲体窒素含量も高かったと考えられる。登熟気温の低下に加え，成熟期までの稲体窒素含量の維持，すなわち光合成能力の維持が玄米の充実を促し，整粒歩合の向上に寄与したと考えられる。一方，白未熟粒の発生割合は7%未満と低かった。白未熟粒は登熟気温が27℃以上になると多発するとされている¹³⁾。本試験ではいずれの年次，作期でも27℃以上であったことから，高温耐性をもつ「あきさかり」の品種特性によると考えられる⁸⁾。

3 移植期の前進が被覆尿素の溶出パターンに及ぼす影響および被覆尿素の溶出タイプが収量・品質に及ぼす影響

今回検討した2タイプの被覆尿素はいずれも移植時期にかかわらず生育ステージに連動して溶出した(第2図, 第3図)。被覆尿素的の溶出パターンと水稻の生育ステージはともに温度条件に依存しており, 温度条件が異なっても溶出パターンは生育ステージに適応することが報告されている¹⁾。本試験でも同様の結果がみられたことから, 移植時期を4月にずらしても現行の施肥体系が適用可能と考えられる。溶出タイプ別にみるとS80は幼穂形成期から出穂期にかけて溶出するため穎花数の増加による収量向上に, S100は幼穂形成期を過ぎてから成熟期にかけて溶出するため登熟期の光合成維持による玄米品質の向上に寄与すると考えられる。しかし, 本試験において溶出タイプの違いによる収量・品質への影響はみられなかった(第5表, 第6表)。水稻は必要窒素量の過半を地力窒素から吸収するとされており¹²⁾, 地力窒素の溶出が施肥窒素による差を縮小したことが要因と考えられる。

以上のことから本県水稻「あきさかり」栽培において移植時期を4月中旬に前進させることにより, 収量を維持したまま玄米品質を向上させることが可能であると考えられた。技術導入にあたっては現行の施肥体系を適用できるが, 低温による活着不良などのリスクを避けるため移植時期は地域の栽培体系における早限以降とする必要があると考えられる。また, 近年プラスチックによる海洋汚染が注目される中, 農業分野においても被覆肥料に使用されているプラスチック被膜殻の海洋への流出が懸念されている。本試験においても2年目以降は被膜の崩壊性を高め湛水時の浮き上がりを防止したJコートを使用した。今後は流出防止対策とともにプラスチックを使用した被覆肥料に頼らない栽培技術の確立が期待される。

摘 要

徳島県的水稻「あきさかり」栽培において, 5月中旬から4月中旬への移植時期の前進が収量および玄米品質に及ぼす影響について調査した。

1. 移植時期の前進により出穂期は12日前進し, 登熟気温(出穂後20日間の日平均気温)は約1℃低下した。
2. 収量への影響はみられず, その他未熟粒および白未熟粒が減少した結果, 整粒歩合が向上した。
3. 本県あきさかり肥料に使用されている80日および100日タイプのシグモイド型被覆尿素は移植時期を前進させても生育ステージに連動して溶出したことから, 施

肥体系を変えることなく栽培可能であると考えられた。

引用文献

- 1) 金田占弘・土屋一成(1997): 育苗箱全量施肥による不耕起移植水稻における窒素の利用率と気象変動の関係. 土肥誌, 68(2):112-115
- 2) 丸山幸夫・田中孝幸(1985): 水稻の作期が生育収量に及ぼす影響. 北陸農試報, 27:80-99
- 3) 宮崎県(2001): 水稻栽培における被覆尿素肥料の重量減少率による窒素溶出率の推定. 平成13年度九州沖縄農業研究成果情報 生産環境情報, 12.
- 4) 森田敏(2008): イネの高温登熟障害の克服に向けて. 日作紀, 77(1):1-12
- 5) 農林水産省: 米穀の農産物検査結果等. 農林水産省HP, (<https://www.maff.go.jp/j/seisan/syoryu/kensa/kome/>).
- 6) 坂田雅正・高田聖(2006): 高知県における高温登熟による品質低下に対応する品種と技術開発. 農及園, 81(1):102-109
- 7) 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
- 8) 田野井真・富田桂・小林麻子・林猛(2010): 水稻新品種「あきさかり」の高温登熟耐性. 北陸作物学会報, 45:3-6
- 9) 富田桂・堀内久満・小林麻子・田野井真・田中勲・見延敏幸・神田謹爾・林猛・寺田和弘・杉本明夫・鹿子嶋力・堀内謙一(2009): 水稻新品種「あきさかり」. 福井農試研報, 46:1-21
- 10) 月森弘(2008): 気象及び移植時期が水稻「コシヒカリ」の乳白粒発生に及ぼす影響. 島根農セ研報, 38:47-56
- 11) 山口泰弘・井上健一・湯浅佳織(2004): 高温年次におけるコシヒカリの移植時期が物質生産・収量・品質に及ぼす影響. 福井農試研報, 41:29-38
- 12) 山本富三・田中浩平・角重和浩(1992): 暖地水田における地力窒素発現パターンと施肥の診断. 第1報 地力窒素の発現が暖地水稻ニシホマレ, ヒノヒカリの生育・収量に及ぼす影響. 日作紀, 61:369-374
- 13) 若松謙一・佐々木修・上園一郎・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.