

高温条件における穂肥窒素分施体系が水稻コシヒカリの 収量および玄米品質に及ぼす影響

武久邦彦・堀田 悟*・小嶋俊彦・中井 譲・鳥塚 智

Effects of Ear Fertilizer Application on Yield and Grain Quality of Rice Cultivar 'Koshihikari' under High Temperature

Kunihiko Takehisa, Satoru Hotta*, Toshihiko Kojima, Joe Nakai and Satoshi Toritsuka

キーワード: 玄米外観品質, 高温, コシヒカリ, 穂肥

近年, 登熟期の高温により玄米外観品質の低下が著しい。登熟期が高温に経過した2010年度および2011年度において, 滋賀県の水稲主要品種「コシヒカリ」を栽培した。移植時期や基肥および追肥施用量を変更するとともに, それぞれの場合に, 1回目(幼穂形成期7日後, 「穂肥Ⅰ」)と2回目(同14日後, 「穂肥Ⅱ」)の施用量を変更した試験区を, 穂肥の総施用量を 4gN/m^2 として設け, 水稻収量および玄米品質に及ぼす影響を検討した。その結果, 移植時期や基肥および追肥施用量の変更により水稻収量や玄米品質が変動したが, 穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量が2-2, 1-3, 0- 4gN/m^2 の比較では, 1回目を減量し2回目を増量するにしたがい精玄米重が減少し, 玄米外観品質が向上する傾向が認められた。玄米外観品質の向上は乳白粒や基部未熟粒の減少によった。玄米蛋白含量は1回目を減量し2回目を増量するにしたがい増加する傾向があったが, 増加の程度は小さかった。登熟期が高温の場合, 標準的な2- 2gN/m^2 の施肥で十分な収量が得られるが玄米外観品質が低下する場合には, 1- 3gN/m^2 への変更が玄米品質向上に有効と考えられた。

1. 緒言

近年, 西日本を中心に1等米比率の低下が著しい。滋賀県においても, 1998年以降では2003年および2012年を除き1等米比率が全国平均を下回る年が続いている。特に気温が高まる7月下旬から8月上旬ごろに出穂期を迎える早生品種の品質低下が著しい。

玄米外観品質の低下は, 登熟期の高温による影響^{4), 6), 7), 9), 11), 12)}だけでなく, 籾数が多いほど乳白粒が多くなること^{3), 7), 8), 13)}, 基白・背白粒は登熟期の稲体の窒素栄養条件が低いと多くなること^{6), 7), 8)}から, 稲の栄養状況なども影響していると指摘されている。

滋賀県では琵琶湖への窒素流出負荷軽減のため, 生育期間全体の窒素減肥を進めてきた経緯がある。しかし, 減肥の進んだ現在の施肥量であっても, 最近の高温気象条件では生育前半から過繁茂となり, 籾数が過剰になる場合が多い。また, 生育後半の施肥については, 玄米蛋白含有率が出穂期に近い施肥で高まることが明らかにされ^{1), 14)}, 実肥の取りやめや穂肥の減肥が慣行的に行われている。これらのことが, 籾数の増加や生育後期の栄養凋落を招き玄米外観品質を劣化させていることがうかがわれる。

穂肥の施肥法が収量や玄米外観品質に及ぼす影響を解析するため, 堀田ら²⁾は, 滋賀県農業技術振興センター内ほ場において5月中旬植のコシヒカリを供試し, 穂肥の1回目(幼穂形成期7日後)と2回目(幼穂形成期14日後)の窒素施用量を変更した施肥試験の結果から, 穂肥の総窒素施用量 3gN/m^2 では収量を低下させずに玄米外観品質を高めることは難しく, 1回目と2回目にそれぞれ 2gN/m^2 , 合計 4gN/m^2 を施用する施肥法が収量および食味を低下させずに玄米外観品質を高める施肥体系であることを明らかにした。

本研究では, 作土の土性, 移植時期および基肥-追肥の窒素施用量を変更した試験区を設けた上で, 穂肥合計 4gN/m^2 施用での1回目と2回目の施用量の変更が収量および玄米品質に及ぼす影響を検討した。

2. 材料および方法

2010, 2011年度に, 滋賀県農業技術振興センター内の作土土性がSLのほ場およびCLのほ場において, 水稻「コシヒカリ」の稚苗を機械移植した。栽植密度は 18.2株/m^2 , 植付本数は4~5本/株とした。

試験区は移植時期2水準, 基肥および追肥の窒素施用量

2～3水準とし、それぞれに穂肥の1回目（幼穂形成期（幼穂長1mm）7日後施用。以下「穂肥Ⅰ」と称する。）および2回目（幼穂形成期14日後施用。以下「穂肥Ⅱ」と称する。）の窒素施用量を変更した3～4水準の試験区を、穂肥Ⅰと穂肥Ⅱの合計施用量を4gN/m²として設置した。表1に試験区構成の詳細を示す。5月上旬植、中旬植は、隣接したほ場にそれぞれ設置し、基肥-追肥と穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱを組み合わせた試験区を各ほ場に2連設置した。ただし、2011年度、CLほ場、5月中旬植の基肥-追肥1.5-1gN/m²は1連とした。2010年度は5月上旬植の移植日を5月3日、中旬植を5月17日とした。2011年度は5月上旬植の移植日を5月2日、中旬植を5月17日とした。

幼穂形成期には草丈、茎数の調査を行うとともに生育中庸な水稻を4株採取し、80℃で乾燥し、粉碎後に、ケルダール法（スーパーケル1500型、以下同じ。）により窒素含量を測定した。乾物重を乗じて窒素吸収量を算出した。

成熟期には60株を刈り取り、収量調査を行った。段篩による1.8mm以上の玄米を精玄米とし、精玄米重、千粒重、整粒

歩合（穀粒判別器RGQ110Bによる測定値で粒数比）、玄米タンパク質含有率（ケルダール法による窒素含量に5.95を乗じた値）を測定した。精玄米重、千粒重は水分14.5%に、玄米蛋白含量は水分15%に換算した。また、この株の穂数を計量した。籾およびわらの一部を抽出し、ケルダール法により窒素含量を測定し、籾重、わら重を乗じて窒素吸収量を算出した。これらとは別に、生育中庸な10株を採取し、籾数および登熟歩合を測定した。

2010年度の水稲栽培前には、供試ほ場の土壌を採取して風乾し、2mmの篩で篩別後、pH、T-C、T-N、CEC、置換性塩基およびトルオーグリン酸を分析した。T-CおよびT-NはCNコーダー法により測定した。また、2011年度の水稲栽培前には、湿潤土を30℃4週間の湛水培養し、可給態窒素として、アンモニア化成量を測定した。

気温、日射量、日照時間は、滋賀県農業技術振興センターの観測露場において測定した。

表1 試験区構成

作土 土性	移植時期	基肥-追肥 施用量(gN/m ²)	穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量 (gN/m ²)			
			4-0 *	2-2	1-3	0-4
SL	5月上旬	3-2	4-0 *	2-2	1-3	0-4
		1.5-1	4-0 *	2-2	1-3	0-4
	5月中旬	3-2	4-0 *	2-2	1-3	0-4
		1.5-1	4-0 *	2-2	1-3	0-4
CL	5月上旬	3-2	4-0 *	2-2	1-3	0-4
		1.5-1	4-0 *	2-2	1-3	0-4
		0-0	4-0 *	2-2	1-3	0-4
	5月中旬	3-2	4-0 *	2-2	1-3	0-4
		1.5-1	4-0 *	2-2	1-3	0-4
		0-0	4-0 *	2-2	1-3	0-4

注）*：2010年度の単年度設置。

3. 結果および考察

3. 1 供試ほ場の土壌理化学性および水稻の生育段階と気象条件

供試ほ場の土壌分析結果を表2に示した。作土土性がCLのほ場（以下、「CLほ場」と称する。）のT-C、T-N含量およびCECは、SLのほ場（以下、「SLほ場」と称する。）と比較して高かった。また、CLほ場の可給態窒素はSLほ場と比較して高かった。

表3に幼穂形成期の生育および窒素吸収量を示した。同一の移植時期、基肥-追肥施用量でみると、2010年度と比較して、2011年度の草丈は低く、茎数は多かった。また、同一年度の移植時期別にみると、基肥-追肥施用量が減るにしたがい、草丈が低くなり、茎数が減少する傾向が認められた。また、基肥-追肥施用量3-2gN/m²区で移植時期による差をみると、いずれの年度でも、SLほ場では移植時期による茎数の差は小さく、CLほ場では5月上旬植の茎数が、中旬植と比較して多かった。

表2 供試ほ場の土壌理化学性

作土 土性	pH	T-C	T-N	CEC	置換性塩基(mg/100g)			Truog-P ₂ O ₅	可給態N
	H ₂ O	(%)	(%)	(me/100g)	CaO	MgO	K ₂ O	(mg/100g)	(mg/100g)
SL	5.75	1.71	0.14	11.5	156	18	12	8.7	2.8
CL	5.94	1.95	0.17	15.6	197	26	16	6.7	3.8

注) 隣接した2ほ場の平均値。

水稻窒素吸収量について、2010年度には、5月上旬植、中旬植のいずれも、同一施肥量でみると、CLほ場の窒素吸収量がSLほ場と比較して多く、表2で示した土壌の窒素肥沃度の影響が認められた。2011年度は明瞭でなかった。

各年度の移植時期別にみると、基肥-追肥施用量を減少するにしたがい、窒素吸収量が減少する傾向が認められた。また、基肥-追肥施用量 3-2gN/m²区で移植時期による差をみると、SLほ場では移植時期による窒素吸収量の差は小さく、2011年度のCLほ場では5月上旬植の窒素吸収量が中旬植と比較して多く、草丈および茎数に反映された。

表4に水稻の幼穂形成期、出穂期、成熟期と幼穂形成期以降の気温、日射量および日照時間を示した。

2010、2011年度のいずれも、SLほ場とCLほ場の幼穂形成期、出穂期、成熟期は、移植時期が同じであれば、ほぼ同じ日であり、生育の速度はSLほ場とCLほ場では変わらなかった。

幼穂形成期～出穂期の平均気温は、2010年度の中旬植が上

旬植と比較して0.5℃高かった。2011年度は移植時期による差は小さかった。

出穂後20日間の平均気温は、両年度とも中旬植が上旬植と比較して高く、2010年度で0.4℃高く、2011年度にはSLほ場で0.5℃、CLほ場で0.2℃高かった。また、年度、移植時期に関わらず、玄米の白未熟粒が急激に増えるとされる27℃^{7), 11)}以上となり、2010年度はその後も成熟期まで低下しなかった。両年度とも、移植時期に関わらず、玄米外観品質が低下しやすい気象条件となった。

出穂後20日間の平均日射量について、2011年度の平均日射量は移植時期に関わらず2010年度と比較して多かった。出穂20日後以降では、2011年度の平均日射量が2010年度と比較して少なかった。出穂後20日間の日照時間は、2010年度は中旬植が上旬植と比較して長く、2011年度は2010年度と比較して移植時期による差が小さかった。

表3 幼穂形成期の生育・窒素吸収量

		SLほ場				CLほ場				
年度	移植時期	基-追 (kgN/10a)	n	草丈 (cm)	茎数 (本/株)	窒素吸収量 (gN/m ²)	n	草丈 (cm)	茎数 (本/株)	窒素吸収量 (gN/m ²)
2010	5月上旬	3-2	8	71.9	26.1	4.2	8	78.2	30.4	5.6
		1.5-1	8	68.3	24.5	3.9	8	73.5	27.8	4.4
		0-0	-	-	-	-	8	67.9	24.8	3.2
	5月中旬	3-2	8	74.1	24.1	4.5	8	75.5	25.5	5.2
		1.5-1	8	69.7	22.8	3.6	8	71.3	22.9	4.0
		0-0	-	-	-	-	8	66.3	18.9	2.9
2011	5月上旬	3-2	6	69.6	34.3	5.5	6	71.0	37.0	6.3
		1.5-1	6	66.2	33.0	4.5	6	67.2	31.4	4.5
		0-0	-	-	-	-	6	62.8	27.0	3.4
	5月中旬	3-2	6	71.9	33.2	4.8	6	73.9	30.0	4.8
		1.5-1	6	68.5	31.0	3.8	3	68.0	26.6	4.0
		0-0	-	-	-	-	6	62.9	23.0	2.9

表4 生育経過と気温、日射量、日照時間

年度	作土 土性	移植時期	幼穂 形成期	出穂期	成熟期	平均気温 (℃)			平均日射量 (MJ)		平均日照時間 (h)	
						幼穂形成期 ～出穂期	出穂後 20日間	出穂20日後 ～成熟期	出穂後 20日間	出穂20日後 ～成熟期	出穂後 20日間	出穂20日後 ～成熟期
2010	SL	5月上旬	7月5日	7月27日	8月27日	26.3	27.5	28.7	14.4	19.1	5.0	9.7
		5月中旬	7月9日	8月1日	8月31日	26.8	27.9	28.6	15.9	18.8	6.4	10.0
	CL	5月上旬	7月5日	7月27日	8月27日	26.3	27.5	28.7	14.4	19.1	5.0	9.7
		5月中旬	7月9日	8月1日	8月31日	26.8	27.9	28.6	15.9	18.8	6.4	10.0
2011	SL	5月上旬	6月29日	7月24日	8月25日	26.7	27.1	26.4	16.6	13.5	5.8	4.5
		5月中旬	7月5日	7月30日	9月1日	26.6	27.6	26.1	16.8	14.3	6.3	5.6
	CL	5月上旬	6月29日	7月25日	8月26日	26.6	27.3	26.2	17.0	13.2	6.1	4.4
		5月中旬	7月5日	7月31日	9月2日	26.6	27.5	26.3	16.3	13.9	6.0	5.5

3. 2 収量、玄米外観品質および玄米蛋白含量

図1に各区の精玄米重を2連（2011年度、CLほ場、5月中旬植の基肥-追肥1.5-1gN/m²は1連、他の項目も同じ。）の平均値で示した。移植時期、基肥-追肥施用量別にみると、SLほ場の2010年度は、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量2-2gN/m²区が最も多く、0-4 gN/m²区が最も少ない傾向が認められた。SLほ場の2011年度も、5月上旬植の基肥-追肥施用量3-2gN/m²区を除き、2-2gN/m²区が最も多く、0-4 gN/m²区が最も少ない傾向が認められた。CLほ場の2010年度は、5月中旬植の基肥-追肥施用量3-2 gN/m²区を除き、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量4-0gN/m²区が最も多く、基肥-追肥施用量0-0 gN/m²区では、0-4 gN/m²区が最も少なかった。CLほ場の2011年度は、5月中旬植の基肥-追肥施用量3-2 gN/m²区を除き、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量による差が小さかった。以上、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量0-4 gN/m²区が他の区と比較して少ない場合が多かった。

図2に各区の玄米整粒粒比を2連の平均値で示した。移植時期、基肥-追肥施用量別にみると、SLほ場の2010年度では、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量0-4gN/m²区が最も高く、4-0 gN/m²区が最も低かった。2011年度も、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量0-4gN/m²区が最も高い傾向が認められた。CLほ場の2010年度では、5

月中旬植の基肥-追肥施用量0-0 gN/m²区を除き、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量0-4 gN/m²区が最も高く、4-0 gN/m²区が最も低かった。2011年度も、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量0-4 gN/m²区が高い傾向が認められた。以上、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量0-4 gN/m²区が他の区と比較して高い場合が多かった。

図3に各区の玄米蛋白含量を2連の平均値で示した。2010年度と2011年度で比較すると、SLほ場では2010年度の玄米蛋白含量が2011年度と比較して高い傾向であった。CLほ場では、2010年度と2011年度の差は明らかでなかった。移植時期、基肥-追肥施用量別にみると、SLほ場の2010年度では、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量0-4 gN/m²区が高い傾向であった。SLほ場の2011年度では、0-4 gN/m²区あるいは1-3 gN/m²区が高い傾向であった。CLほ場の2010年度では、中旬植の基肥-追肥施用量0-0 gN/m²区を除き、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量0-4 gN/m²区が最も高く、2011年度では、1-3 gN/m²区あるいは0-4 gN/m²区で高くなる傾向であった。2年間を通じて玄米蛋白含量の最高値は6.6%であった。

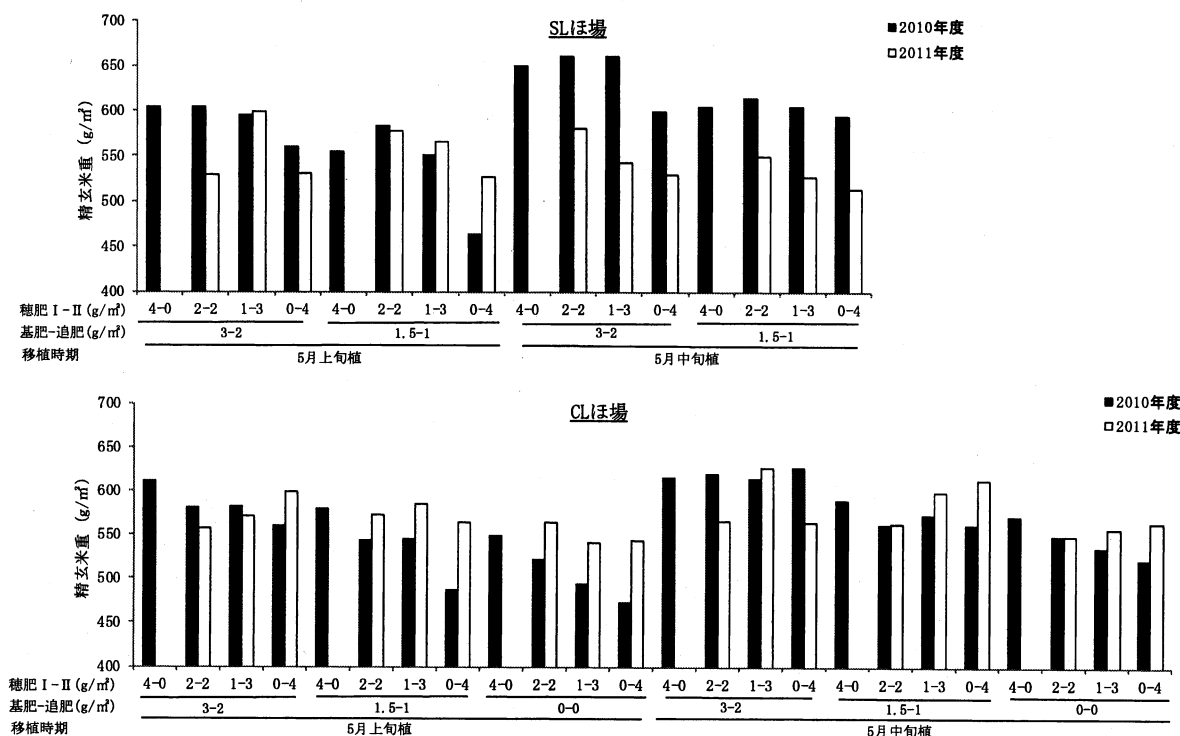


図1 移植時期、基肥-追肥施用量および穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量が精玄米重に及ぼす影響
注) 水分14.5%換算値。

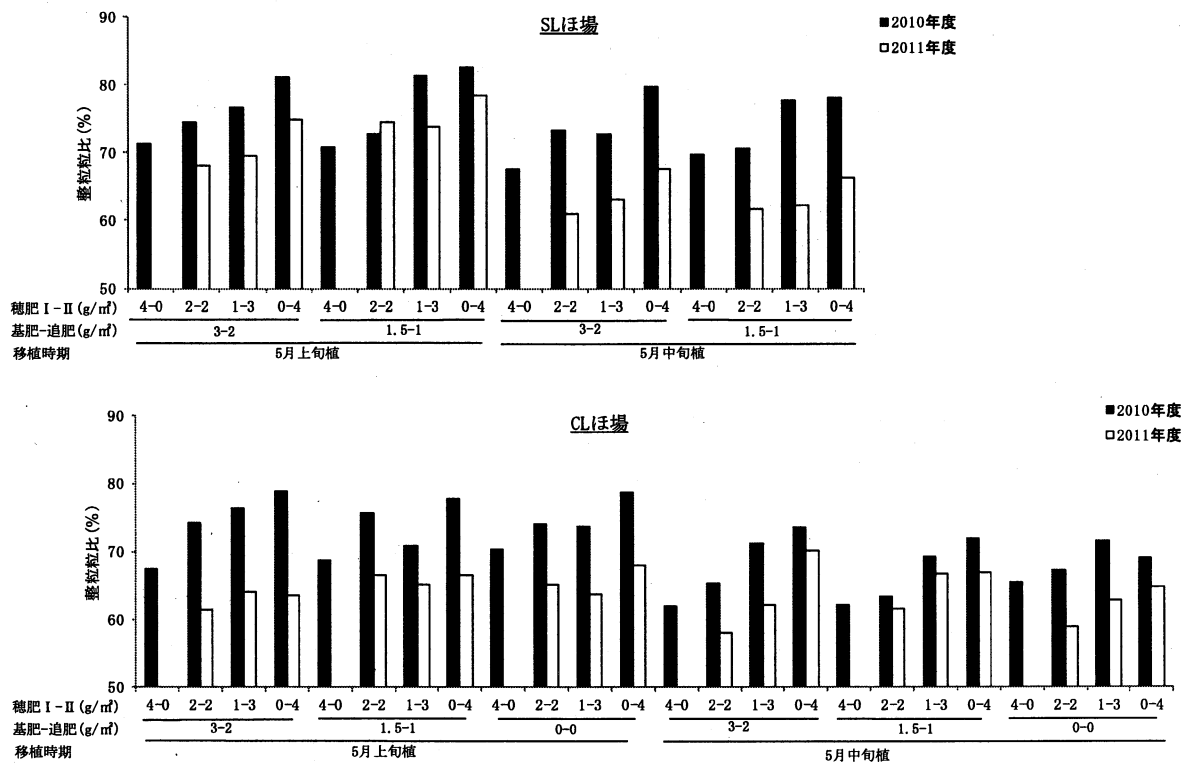


図2 移植時期、基肥-追肥施用量および穂肥 I -穂肥 II 施用量が玄米外観品質に及ぼす影響

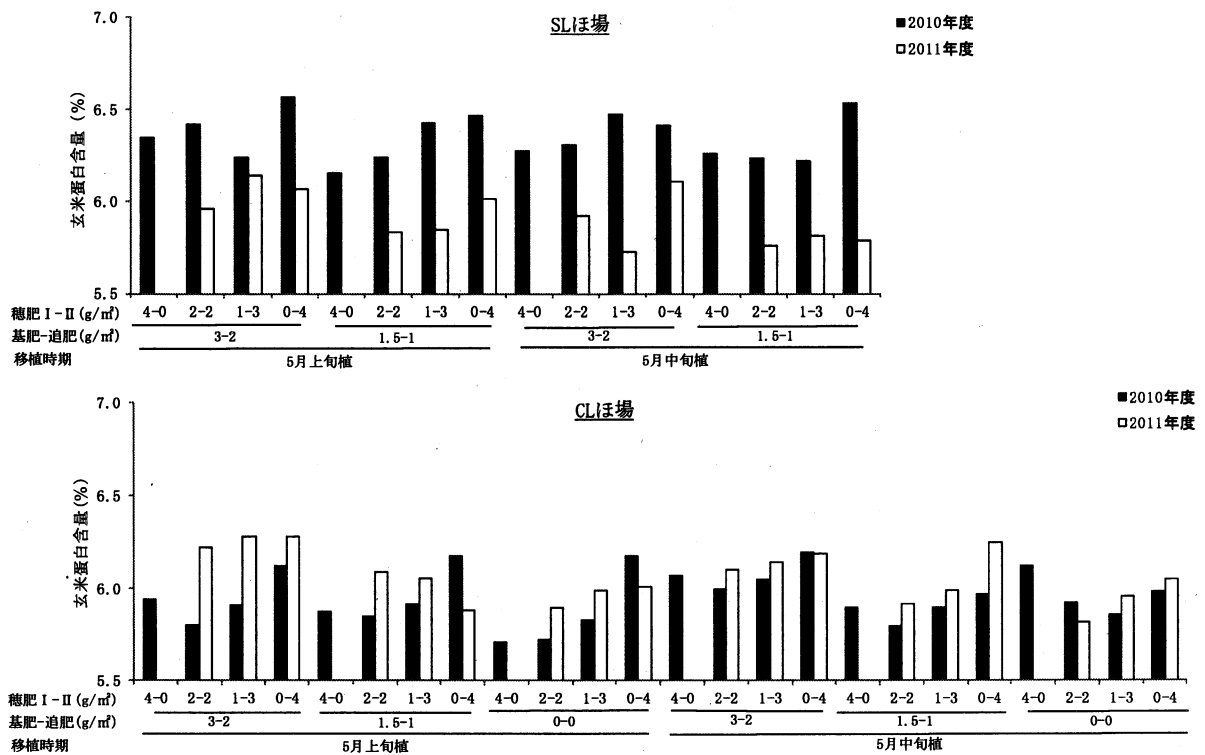


図3 移植時期、基肥-追肥施用量および穂肥 I -穂肥 II 施用量が玄米蛋白含量に及ぼす影響
注) 水分15%換算値。

3. 3 水稻の収量および窒素吸収量に及ぼす要因解析

5月上旬植および中旬植で2年間を通じて同一試験区を設置した区を選定し、水稻の収量、成熟期窒素吸収量について、移植時期、基肥-追肥、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱを因子とした3元配置分散分析による有意差検定を行い、その結果をSLほ場は表5に、CLほ場は表6に示した。

移植時期について、SLほ場では、2010年度は5月中旬植の一穂粒数が上旬植と比較して有意に増加し、粒数/㎡が有意に増加した。登熟歩合や千粒重は5月中旬植が上旬植と比較して有意に低下したが、5月中旬植の精玄米重は上旬植と比較して有意に増加し、粒数増加の影響が大きかった。2011年度は移植時期による粒数/㎡や精玄米重の差は有意

ではなかった。また、いずれの年度においても、窒素吸収量には有意差が認められたが、2010年度は5月中旬植が高く、2011年度は低かった。

CLほ場の移植時期については、SLほ場と同様、2010年度は5月中旬植の粒数/㎡が上旬植と比較して有意に増加した。5月中旬植では、一穂粒数が有意に増加しており、これが粒数/㎡に反映した。5月中旬植の精玄米重は有意に増加し、粒数増加の影響が大きかった。2011年度もSLほ場同様、移植時期による粒数/㎡や精玄米重の差は有意ではなかった。窒素吸収量には2010年度においては有意差が認められなかったが、2011年度はSLほ場と同様、5月中旬植が低く、幼穂形成期までの窒素吸収量が反映した。

表5 SLほ場における収量および窒素吸収量の有意差検定

年度	因子	水準	n	穂数 (本/㎡)	一穂粒数 (粒/穂)	粒数 (×100粒/㎡)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄米重 (g/㎡)	窒素吸収量 (gN/㎡)
2010	移植時期	5月上旬	12	371	74.0	275	89.1	23.0	559	9.3
		5月中旬	12	384	84.6	324	86.1	22.4	622	10.7
				ns	**	**	*	**	**	**
	基肥-追肥 (gN/㎡)	3-2	12	397	80.0	318	86.6	22.5	613	10.6
		1.5-1	12	358	78.6	281	88.6	22.8	568	9.4
				**	ns	**	ns	ns	**	**
	穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ (gN/㎡)	2-2	8	388	81.5	315	85.6	22.7	616	10.1
		1-3	8	380	80.6	306	87.3	22.7	602	10.2
		0-4	8	365	75.8	277	89.9	22.6	554	9.7
				ns	ns	**	ns	ns	**	ns
	2011 移植時期	5月上旬	12	383	76.9	294	85.4	22.6	555	10.0
		5月中旬	12	393	77.4	304	84.1	22.1	540	9.0
				ns	ns	ns	ns	*	ns	**
	基肥-追肥 (gN/㎡)	3-2	12	395	75.9	300	84.4	22.4	551	9.9
		1.5-1	12	381	78.3	298	85.1	22.4	543	9.0
				ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
	穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ (gN/㎡)	2-2	8	389	79.6	309	82.5	22.5	559	9.5
		1-3	8	394	76.2	300	85.3	22.4	558	9.6
		0-4	8	381	75.6	288	86.6	22.2	525	9.4
				ns	ns	*	ns	ns	**	ns

注) *, **: それぞれ5%および1%水準で有意差が認められる。交互作用は省略した。

表6 CLほ場における収量および窒素吸収量の有意差検定

年度	因子	水準	n	穂数 (本/㎡)	一穂粒数 (粒/穂)	粒数 (×100粒/㎡)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄米重 (g/㎡)	窒素吸収量 (gN/㎡)
2010	移植時期	5月上旬	18	379	71.0	269	91.1	22.7	532	9.4
		5月中旬	18	353	87.6	308	85.6	21.8	573	9.5
				**	**	**	**	**	**	ns
	基肥-追肥 (gN/㎡)	3-2	12	398	81.5	322	87.9	22.0	597	10.6
		1.5-1	12	371	76.9	283	88.7	22.3	545	9.2
		0-0	12	329	79.5	261	88.4	22.5	515	8.5
				**	ns	**	ns	**	**	**
	穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ (gN/㎡)	2-2	12	363	83.0	299	87.3	22.3	562	9.4
		1-3	12	364	79.9	289	88.6	22.3	557	9.4
		0-4	12	371	75.0	277	89.2	22.1	538	9.5
				ns	**	**	ns	ns	*	ns
2011	移植時期	5月上旬	18	383	84.2	322	82.5	21.5	566	10.2
		5月中旬	15	363	86.1	312	82.5	22.5	575	9.6
				ns	ns	ns	ns	**	ns	*
	基肥-追肥 (gN/㎡)	3-2	12	405	82.4	334	81.1	21.8	581	10.9
		1.5-1	9	377	84.4	317	83.8	22.0	580	10.0
		0-0	12	340	88.3	300	83.0	22.2	553	8.9
				**	*	*	*	**	*	**
	穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ (gN/㎡)	2-2	11	374	85.5	319	81.2	22.0	562	9.9
		1-3	11	370	85.9	317	83.1	22.0	578	10.0
		0-4	11	377	83.8	316	83.2	21.9	571	9.9
				ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

注) *, **: それぞれ5%および1%水準で有意差が認められる。交互作用は省略した。

基肥-追肥について、SLほ場では、2010年度は1.5-1gN/m²区の粗数/m²が3-2gN/m²区と比較して有意に低く、基肥-追肥の減量による粗数制限の効果が認められた。1.5-1gN/m²区の穂数が有意に少なく、これが粗数/m²に反映した。登熟歩合や千粒重は有意差が認められず、1.5-1gN/m²区の精玄米重は有意に低下した。2011年度は基肥-追肥による精玄米重の差は有意ではなかった。窒素吸収量にはいずれの年度においても有意差が認められ、1.5-1gN/m²区が少なかった。幼穂形成期までの窒素吸収量が反映した。

CLほ場の基肥-追肥については、2010年度は粗数/m²に有意差が認められ、SLほ場と同様、施肥量を減量するにしたがい、粗数が減少した。穂数/m²にも有意差が認められ、CLほ場でも基肥-追肥の減量による粗数制限の効果が認められた。千粒重にも有意差が認められ、施肥量が減少するにしたがい、千粒重が増加した。粗数を反映して、精玄米重にも有意差が認められ、施肥量を減量するにしたがい、精玄米重は低下した。2011年度は穂数/m²、一穂粗数、粗数/m²に有意差が認められた。穂数/m²は施肥量が減少するにしたがい低下し、一穂粗数は増加したが区間差は大きくなかった。この結果、粗数/m²は施肥量が減少するにしたがい低下し、基肥-追肥の減量による粗数制限の効果が認められた。窒素吸収量には、いずれの年度でも有意差が認められ、施肥量の減量にしたがい、少なくなった。CLほ場でも幼穂形成期までの窒素吸収量が反映する結果となった。

以上のように、移植時期および基肥-追肥施用量の変更により精玄米重や窒素吸収量に変動したが、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱについて、SLほ場の2010年度は、粗数/m²および精玄米重に有意差が認められ、穂肥Ⅰを減量し穂肥Ⅱを増量するにしたがい、粗数/m²、精玄米重は減少した。2011年度も同様の結果であったが、2011年度の精玄米重の区間差は2010年度と比較して小さかった。窒素吸収量には、いずれの年度においても有意差が認められなかった。

CLほ場の穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱについては、2010年度は、一穂粗数、粗数/m²および精玄米重に有意差が認められ、穂肥Ⅰを減量し穂肥Ⅱを増量するにしたがい、一穂粗数、粗数/m²および精玄米重は減少した。2011年度は精玄米重に有意差が認められなかった。窒素吸収量にはSLほ場と同様、2010、2011年度の両年度とも有意な差は認められなかった。

3. 4 玄米品質に及ぼす要因解析

5月上旬植および中旬植で2年間を通じて同一試験区を設置した区を選定し、玄米の外観品質および蛋白含量について、移植時期、基肥-追肥、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱを因子とした3元配置分散分析による有意差検定を行い、その結果を、SLほ場は表7に、CLほ場は表8に示した。

年度の差についてみると、いずれのほ場も、2011年度の整粒粒比が2010年度と比較して低い傾向が認められた。ほ

場間の差については、両年度ともSLほ場の整粒粒比がCLほ場と比較して高い傾向が認められた。2010年度のSLほ場の玄米蛋白含量が、2011年度のSLほ場および両年度のCLほ場と比較して大きい傾向であった。

移植時期について、SLほ場では、両年度で整粒粒比に有意な差が認められ、5月中旬植が上旬植と比較して整粒粒比が減少した。これは、5月中旬植では、白未熟粒のうち、粒比割合が大きい乳白粒および基部未熟粒が増加したことによる。特に2011年度は基部未熟粒の差が大きかった。2010年度と2011年度を比較すると、2010年度は平均で約3%の減少に対して、2011年度は約10%減少し、2011年度における移植時期の差が大きかった。CLほ場も、SLほ場と同様、いずれの年度でも5月中旬植の整粒粒比が5月上旬植と比較して減少した。ただし、2010年度の整粒粒比の差は約6%と大きかったのに対して、2011年度の差は約2%と小さかった。玄米蛋白含量には、SLほ場、CLほ場のいずれも、両年度で有意な差が認められなかった。

基肥-追肥について、SLほ場では、両年度で整粒粒比に有意な差が認められなかった。外観品質に及ぼす基肥-追肥の施肥量の影響は小さかった。CLほ場では2010年度には整粒粒比に有意な差が認められなかった。2011年度には有意な差が認められたが、平均値で大きな差ではなかった。しかし、基部未熟粒粒比には有意な差が認められ、施肥量が少なくなるにしたがい増加した。玄米蛋白含量はSLほ場、CLほ場のいずれも、2010年度には有意な差が認められなかった。2011年度には有意な差が認められたが、平均値で大きな差ではなかった。

穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱについて、SLほ場では、両年度で整粒粒比には有意な差が認められ、穂肥Ⅰを減量し穂肥Ⅱを増量するにしたがい増加した。白未熟粒のうち粒比割合が大きい乳白粒、基部未熟粒に有意な差が認められ、いずれも穂肥Ⅰを減量し穂肥Ⅱを増量するにしたがい減少し、整粒粒比が増加した。CLほ場でも同様の傾向が認められた。玄米蛋白含量は、CLほ場の2010年度のみ有意な差が認められたが、区間差は小さかった。

表7 SLほ場における外観品質および玄米蛋白含量の有意差検定

年度	因子	水準	n	外観品質（粒比）								蛋白 含量 (%)
				整粒	白未熟粒				合計	その他未熟	死米	
					乳白	基部未熟	腹白未熟	青未熟				
2010	移植時期	5月上旬	12	78.2	2.9	3.6	0.6	1.4	7.1	11.4	0.7	6.4
		5月中旬	12	75.3	3.5	4.9	0.6	2.0	9.0	11.6	1.0	6.4
				**	*	**	ns	*	**	ns	*	ns
	基肥-追肥 (gN/㎡)	3-2	12	76.3	3.4	4.0	0.6	2.0	8.0	11.6	1.0	6.4
		1.5-1	12	77.2	2.9	4.6	0.6	1.5	8.1	11.4	0.6	6.4
				ns	*	ns	ns	ns	ns	**	ns	
	穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ (gN/㎡)	2-2	8	72.8	4.8	5.4	0.9	1.8	11.0	12.0	1.3	6.3
		1-3	8	77.1	3.2	4.3	0.5	1.6	8.0	11.3	0.8	6.3
		0-4	8	80.4	1.6	3.1	0.5	1.9	5.3	11.1	0.4	6.5
				**	**	**	**	ns	**	ns	**	ns
2011	移植時期	5月上旬	12	73.2	2.8	3.9	0.4	3.3	7.1	14.7	0.7	6.0
		5月中旬	12	63.6	4.4	10.4	1.2	1.6	16.0	15.0	1.4	5.9
				**	**	**	**	**	**	ns	**	ns
	基肥-追肥 (gN/㎡)	3-2	12	67.4	3.8	6.8	0.8	2.9	11.4	15.5	1.0	6.0
		1.5-1	12	69.5	3.4	7.5	0.9	2.1	11.7	14.2	1.0	5.8
				ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
	穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ	2-2	8	66.3	4.3	8.3	0.7	2.1	13.3	15.3	1.2	5.9
		1-3	8	67.2	4.1	7.6	0.8	2.7	12.5	15.1	1.0	5.9
		0-4	8	71.8	2.5	5.6	0.9	2.6	9.0	14.3	0.9	6.0
				**	**	*	ns	ns	**	ns	ns	ns

注) *, **: それぞれ5%および1%水準で有意差が認められる。 交互作用は省略した。

表8 CLほ場における外観品質および玄米蛋白含量の有意差検定

		外観品質 (粒比)										蛋白
年度	因子	水準	n	白未熟粒					その他未熟	死米	含量 (%)	
				整粒	乳白	基部未熟	腹白未熟	青未熟				合計
2010	移植時期	5月上旬	18	75.6	1.4	5.7	0.5	0.6	7.6	14.7	0.3	5.9
		5月中旬	18	69.2	3.4	8.7	0.9	2.4	13.0	14.2	0.7	6.0
				**	**	**	**	**	**	ns	**	ns
	基肥-追肥 (gN/m ²)	3-2	12	73.3	2.5	5.7	0.6	1.6	8.8	15.2	0.7	6.0
		1.5-1	12	71.5	2.4	7.8	0.8	1.3	11.0	14.2	0.5	5.9
		0-0	12	72.4	2.2	8.1	0.7	1.5	11.0	13.8	0.4	5.9
				ns	ns	**	ns	ns	**	ns	**	ns
	穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ (gN/m ²)	2-2	12	70.0	2.9	9.0	0.9	1.4	12.7	14.6	0.6	5.8
		1-3	12	72.2	2.4	7.4	0.6	1.4	10.4	14.0	0.5	5.9
		0-4	12	75.0	1.9	5.3	0.6	1.6	7.7	14.7	0.5	6.1
			**	**	**	**	ns	**	ns	ns	**	
2011	移植時期	5月上旬	18	64.9	4.1	4.5	0.7	2.9	9.3	21.3	1.1	6.1
		5月中旬	15	63.3	5.3	9.1	1.3	1.8	15.7	16.7	1.9	6.0
				*	**	**	**	**	**	**	**	ns
	基肥-追肥 (gN/m ²)	3-2	12	63.2	4.8	5.4	0.9	2.9	11.1	20.7	1.7	6.2
		1.5-1	9	65.8	4.1	6.0	0.8	2.4	11.0	19.3	1.0	6.0
		0-0	12	63.9	4.9	8.2	1.2	1.9	14.3	17.8	1.5	6.0
				*	*	**	**	**	**	**	*	**
	穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ (gN/m ²)	2-2	11	62.0	5.4	7.7	1.1	2.5	14.2	19.0	1.7	6.0
		1-3	11	63.9	4.7	7.0	1.0	2.1	12.7	19.3	1.5	6.1
		0-4	11	66.6	3.9	5.0	0.9	2.7	9.8	19.4	1.1	6.1
			**	**	**	*	ns	**	ns	**	ns	

注) *, **: それぞれ5%および1%水準で有意差が認められる。 交互作用は省略した。

4. 考察

4.1 移植時期および基肥-追肥施用量が収量および玄米品質に及ぼす影響

2010, 2011 年度の両年度は, 出穂後 20 日間の平均気温は 27℃を上回り, 5 月中旬植が上旬植と比較して高かった。高橋ら⁷⁾は, 出穂後 20 日間の平均気温が 27.3℃を上回ると

完全粒歩合が低下することを, 若松ら¹²⁾は, 背白米は 27℃以上で発生がみられ, 28℃で多発したことを報告している。

これらのことから, いずれの年度も玄米外観品質が低下しやすく, 特に, 中旬植が上旬植と比較して外観品質の低下が起りやすい気象条件であった。2010 年度の解析では, SL ほ場, CL ほ場のいずれも, 移植時期が初数/m²に影響を及ぼし, 上旬植が中旬植と比較して少なくなった。結果として精

玄米重は中旬植で多くなった。穂数/㎡は幼穂形成期の生育や窒素吸収量の状況を反映し、中旬植に対して上旬植で多いか同等であり、中旬植では一穂粒数が増加し、粒数/㎡と精玄米重が増加した。

一方、整粒粒比はSLほ場、CLほ場のいずれも、両年度で、中旬植で低下する傾向がみられ、これは主に乳白粒や基部未熟粒の増加によると考えられた。井上³⁾は、乳白粒の発生は粒数/㎡と高い相関が認められ、粒数30,000粒以上で高まる傾向であることを明らかにしている。吉野¹⁵⁾は一穂粒数の増加によって、未熟粒割合の多い二次枝梗粒が増加するため、一穂全体の未熟粒割合が増加すると考えている。和田¹⁰⁾は、出穂前28日間の高温処理により乳白粒等が多くなる傾向を認めている。2010年度の中旬植において、幼穂形成期から出穂期までの気温が上旬植と比較して高く、中旬植での乳白粒の増加は、出穂前後の高温が重なった結果と考えられた。また、杉浦⁶⁾は基部未熟粒の発生と、出穂後20日間の平均気温、日照時間との間に有意な正の相関関係を認めており、中旬植での基部未熟粒の増加の原因は、2010年度では平均気温と日照時間、2011年度では平均気温の影響が大きいと考えられた。特に2011年度は、出穂後20日間の平均気温について、移植時期による差が大きいSLほ場で低下の程度が大きかったことも、これを裏付けている。

また、窒素吸収量は、2010年度には中旬植が上旬植と比較して多かったが、玄米蛋白含量は同等であった。中旬植では、窒素吸収量も増加したが精玄米重も増加したため、玄米蛋白含量の増加に至らなかったと考えられた。

基肥-追肥施用量については、幼穂形成期には施用量の減少により、草丈が低く、茎数が少なく、窒素吸収量が減少する傾向が認められた。SLほ場の2011年度は粒数/㎡および精玄米重に有意差が認められなかったが、SLほ場の2010年度およびCLほ場の両年度は、基肥および追肥の施用量の減量にしたがい、幼穂形成期の状況を反映して、粒数/㎡が少なくなった。結果として、精玄米重が低下した。一方、整粒粒比には大きな差はみられなかった。

基肥-追肥施用量の減量による精玄米重の低下の原因は、いずれも幼穂形成期までにほぼ決定する穂数/㎡の低下によるものであり、その後決定する一穂粒数は精玄米重に大きな影響を与えなかった。整粒粒比には穂数/㎡よりも一穂粒数の影響が大きいと考えられ、玄米外観品質には、幼穂形成期以降の気象条件や窒素栄養条件の影響が、幼穂形成期までと比較して大きいと考えられた。

窒素吸収量は基肥および追肥の施用量が減るにしたがい減少したが、玄米蛋白含量は有意差がないか、あっても区間差が大差なかった。精玄米重も減少しているためと考えられた。

4. 2 穂肥Ⅰおよび穂肥Ⅱの施用法が収量および玄米品質

に及ぼす影響

前項に示したとおり、移植時期や基肥-追肥施用量の変更により、幼穂形成期の生育や収量、玄米外観品質には変動が認められた。5月上旬植および中旬植について、それらの変動も含めて解析した結果、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量が2-2, 1-3, 0-4 gN/㎡の範囲において、SLほ場の両年度およびCLほ場の2010年度は、穂肥Ⅰを減量し穂肥Ⅱを増量するにしたがい、粒数/㎡が少なくなり、精玄米重が低下した。一方、整粒粒比は、SLほ場およびCLほ場の両年度で、穂肥Ⅰを減量し穂肥Ⅱを増量するにしたがい増加した。堀田²⁾は穂肥の施用量3gN/㎡で、1回目の施肥量を減らし2回目の穂肥量を増やすと整粒粒比が向上するが、精玄米重が低下することを明らかにしており、本報告でも同様の結果となった。

整粒粒比の増加は乳白粒や基部未熟粒の減少によった。粒数/㎡が少なくなることで乳白粒が減少することは前述のとおりである。基部未熟粒について、杉浦⁶⁾は、穂揃期の葉身窒素濃度等と有意な負の相関を認めている。高橋⁷⁾は登熟初期に高温に遭遇した場合、稲体の窒素濃度が低くなることで基白、背白粒の発生を助長するとしており、高田⁸⁾は、登熟期間の窒素栄養状態を高めることで基白粒が減少したとしている。穂肥Ⅱを増量することで登熟期の窒素栄養状態が向上したと推察され、このことが基部未熟粒の減少により整粒粒比の増加に寄与したと考えられた。

窒素吸収量は、SLほ場、CLほ場の両年度で有意差が認められなかった。一方、玄米蛋白含量は、CLほ場の2010年度で穂肥Ⅱを増量するにしたがい高くなったが、区間差は大差なかった。堀田²⁾は、重窒素を用いた穂肥窒素動態解析から、出穂期に近い穂肥施用は、籾への移行量が多くなり、収量および食味を低下させる懸念があることから、穂肥は幼穂形成期14日後（出穂期の11日前）までに施用することが望ましいと報告している。また、吉野¹⁵⁾は食味を考慮した適正な穂肥施用時期は出穂前10日以前であるとしている。合計施肥量が同一での穂肥Ⅰの減量と穂肥Ⅱの増量は、窒素吸収量に変化せずに精玄米重の低下をとまなうため、玄米蛋白含量が高くなる可能性が考えられるが、本研究の施用量、施用時期の範囲での穂肥施用法では玄米蛋白含量の大きな増加に至らなかったと考えられた。

4. 3 まとめおよび今後の課題

本研究では、移植時期については、2010年度には精玄米重に影響を及ぼし、両年度で玄米外観品質に影響を及ぼした。整玄米重は穂数よりも一穂粒数の影響が大きく、玄米外観品質は登熟期の気温の影響を受けていたことから、幼穂形成期以降の気象条件の影響が大きいと考えられた。各期に高温になるかどうかを予測することは難しく、年によっても異なることから、移植時期の変更で精玄米重、玄米品質がどのように変化するかを判断できない。

一方で、基肥-追肥施用量の増減や、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用法の変更が、精玄米重や玄米外観品質に及ぼす影響は一定の方向性がみられた。玄米外観品質の向上のため、基肥-追肥施用量の減量により籾数/㎡を低下させることが考えられるが、本研究の範囲では施用量の減量により穂数/㎡が少なくなり籾数/㎡が低下したものの、玄米外観品質の向上は認められなかった。

穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用法について、2-2、1-3、0-4gN/㎡の変更によって、SL土壌、CL土壌のいずれも、両年度で精玄米重や玄米外観品質に及ぼす影響が認められ、穂肥Ⅰを減量し穂肥Ⅱを増量するにしたがい、精玄米重が減少し、玄米外観品質が向上する傾向が認められた。また、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量が4-0gN/㎡では玄米外観品質が低下した。すなわち、穂肥Ⅰ-穂肥Ⅱ施用量4-0gN/㎡では、標準的な2-2gN/㎡の施用と比較して玄米外観品質が低下し、0-4gN/㎡では収量が低下する危険性が高いと考えられた。一方で、玄米蛋白含量については、本研究の施用量、施用時期の範囲では大きな増加に至らなかった。したがって、収量と玄米外観品質を両立させるには、標準的な2-2gN/㎡あるいは1-3gN/㎡の施肥が必要と考えられ、2-2gN/㎡で十分な収量が得られるが品質が低下する場合には、1-3gN/㎡への変更が有効と考えられた。

本研究では基肥-追肥および穂肥の分施肥体系を基本としたが、西端ら⁵⁾は被覆複合肥料を用いた全量基肥栽培において、幼穂形成期頃から徐々に被覆肥料の窒素溶出量を増加させ、登熟期以降も徐々に窒素を供給することで、慣行の分施肥体系と比較して玄米外観品質が向上したと報告している。省力的な全量基肥栽培について、今後、被覆肥料の窒素溶出パターンや最適窒素施肥量に関する研究の発展が期待される。

5. 謝辞

本研究は農水省委託プロジェクト研究「農林水産分野における地球温暖化対策のための緩和及び適応技術の開発」(2010年度)および「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のための技術開発」(2011年度)による成果である。

滋賀県農業技術振興センター環境研究部および栽培研究部の職員の方々には終始ご協力を賜った。ここに記して深謝の意を表する。

6. 引用文献

- 1) 後藤英次・野村美智子・稲津脩 2006. 寒地水稻に対する時期別追肥窒素の利用効率と各器官への分配. 日作紀 75 : 443-450.
- 2) 堀田悟・武久邦彦・北川照美・鳥塚智・下田星児 2013. 登熟期の高温に適応する水稻コシヒカリの品質向上を目指した穂肥施用技術. 滋賀農技セ研報 51 : 17.

- 3) 井上健一・林恒夫・湯浅佳織・笈田豊彦 1997. 良質良食味品種の収量・品質からみた物質生産の解析 1. コシヒカリの登熟期間の物質生産が品質食味要因に及ぼす影響. 日作紀 66 : 109.
- 4) 長戸一雄・江幡守衛 1959. 登熟期の気温が水稻の稔実に及ぼす影響. 日作紀 28 : 275-278.
- 5) 西端善丸・牧田康宏・伊森博志 2001. コシヒカリの全量基肥施肥法による乳白粒の発生軽減と玄米品質の向上. 福井農試研報 38 : 41-45.
- 6) 杉浦和彦・本庄弘樹・林元樹・野々山利博・山下和巳・虎澤明広・山内章 2013. 愛知県における水稻品種コシヒカリの外観品質低下要因及びその対策について. 日作紀 82 : 262-269.
- 7) 高橋渉 2004. 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 : 1012-1018.
- 8) 高田聖・坂田雅正・亀島雅史・山本由徳・宮崎彰 2010. 高温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肥量との関係. 日作紀 79 : 150-157.
- 9) 寺島一男・齋藤祐幸・酒井長雄・渡部富男・尾形武文・秋田重誠 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 : 449-458.
- 10) 和田義春・大柿光代・古西朋子 2010. 出穂期以前の高温条件が水稻の生育、根/地上部重比および玄米外観品質に及ぼす影響. 日作紀 79 : 460-467.
- 11) 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.
- 12) 若松謙一・佐々木修・上菌一郎・田中明男 2008. 水稻登熟期の高温条件下における背白米の発生に及ぼす窒素施肥量の影響. 日作紀 77 : 424-433.
- 13) 若松謙一・佐々木修・田中明男 2009. 暖地水稻における高温登熟条件下の日射量および湿度が玄米品質に及ぼす影響. 日作紀 78 : 476-482.
- 14) 山田善彦・大場功・小原安雄 1997. 米の食味関連形質の変動特性と良食味栽培法の検討. 滋賀農試研報 38 : 42-56.
- 15) 吉野裕一・太田和也・在原克之・小山豊 2007. 穂肥の施用法が水稻の玄米外観品質と食味に及ぼす影響. 千葉農総研研報 6 : 95-102.

Summary

The quality in appearance of brown rice has significantly decreased due to high temperature during the ripening period. A major rice cultivar 'Koshihikari' was cultivated in Shiga, Japan in 2010 and 2011 when high temperatures continued during the ripening period.

The transplantation period and the amounts of basal fertilization and additional fertilization were varied. For each test condition, a test section was provided with different dosage in the first application (seven days after ear formation: ear fertilization I) and the second application (14 days after ear formation: ear fertilization II). The total dosage of fertilization after ear formation was 4 gN/m². The effect of the fertilization on the rice yield and the quality of the brown rice was then examined.

As a result, the rice yield and quality of the brown rice fluctuated depending on changes in the transplantation period and the amounts of basal fertilization and additional fertilization. Meanwhile, a comparison among different dosages in ear fertilization I and ear fertilization II including 2-2, 1-3, and 0-4 gN/m² exhibited a trend of the weight of polished brown rice decreasing and appearance of the brown rice improving when the dosage was low in the first application and then high in the second application.

The quality of the brown rice's appearance increased with the decreased amount of milky white kernel and base immature kernel.

The protein content of the brown rice tended to increase when the amount of fertilization in the first application was decreased and then increased in the second application, though the rate of increase was small.

When high temperatures continue during the ripening period, a standard fertilization of 2-2 gN/m² produces sufficient yield. Yet, changing to 1-3 gN/m² is effective to improve the quality of the brown rice if the brown rice's appearance becomes worse with the standard fertilization.