

富山県における水稻品種「コシヒカリ」の高温登熟回避を目的とした 晩植栽培に適した栽植密度

守田和弘¹⁾・高橋渉²⁾・杉森史郎³⁾・古畑昌巳⁴⁾

¹⁾ 富山県農林水産総合技術センター食品研究所, ²⁾ 富山県農産食品課, ³⁾ 富山農林振興センター,

⁴⁾ 中央農業総合研究センター北陸研究センター)

要旨：近年の温暖化条件下において、高温登熟回避を想定した作期移動が水稻「コシヒカリ」の生育、収量および品質に及ぼす影響を調査するとともに、作期ごとの適正な栽植密度について2ヶ年検討した。移植時期を4月下旬（早植）から5月中旬（晩植）に遅らせた結果、5月中旬区では4月下旬区に比べて移植～最高分げつ期までの日数が短縮することで最高分げつ数が減少し、穂数が少なくなることで減収した。また、晩植によって登熟気温が低下した2005年では5月中旬区で外観品質が向上した。各移植時期において栽植密度と収量、品質との関係を検討した結果、4月下旬区では栽植密度を高めることで穂数が増加するものの収量は増加せず、過繁茂による葉色の低下や品質の低下が認められた。一方、5月中旬区では、晩植による穂数不足を補うために栽植密度を高めることが有効であり、栽植密度を高めるほど穂数増加、収量増加につながるとともに、外観品質が向上することが明らかになった。これらのことから、高温登熟回避を想定した晩植栽培では、早植栽培に比べて栽植密度を高めることが生育、収量および品質の安定化に有効であると判断された。

キーワード：移植時期、高温、コシヒカリ、栽植密度、収量、水稻、品質。

近年の温暖化の影響により、水稻作では登熟初期に異常高温に遭遇することで白未熟粒や胴割粒が多発するなど、米の品質低下が全国的な問題となっている（寺島ら 2001, 井上 2003, 宮野・国分 2009）。富山県においては、1998年の1等米比率が87%であったのに対し、1999年に夏期の高温が顕著となって以降、1999年から2002年まで75%、74%、66%、55%と著しい品質低下が続いた。等級格下げの主な要因は白未熟粒や胴割粒の発生であり、その直接的要因は富山県も高温登熟と考えられた（高橋 2006）。

高温登熟を回避する技術的手段の一つとして、出穂を遅らせるための晩植が各地で励行されているが（寺島ら 2001, 小葉田ら 2005）、地域によっては出穂期以降の気温低下が緩慢で作期移動の効果が得られない場合もあり（坂田・高田 2006）、北陸地域だけで見ても効果のある地域は限定されている（松村 2007）。しかし、高橋（2006）は富山県において移植時期と玄米品質の関係を解析し、7月下旬に出穂した水稻に比べ、8月上旬に出穂した水稻について登熟気温の低下に起因する明らかな品質の向上を認め、富山県における晩植の有効性を明らかにした。また、近年の温暖化条件下において8月上旬に出穂させるためには、移植時期を5月中旬に設定することが有効であることを示した。この解析結果をもとに、富山県では2003年から移植時期を従来の4月下旬～5月上旬から2週間程度遅らせ、5月10～15日を中心とした田植えを推進したところ、2003年は1等米比率が83%まで回復し、以降2008年まで74%、83%、80%、89%、88%と安定的に品質の改善効果が認められている。

一方、水稻の移植栽培では晩植することで減収となりやすいことが知られており、その要因として穂数の減少による㎡当たり籾数の減少が指摘されている（中谷 1972, 伊藤・田中 1977, 楠谷ら 1992, 上田ら 1998a, b, 山口ら 2004）。実際、富山県において晩植を行った一部の圃場では、穂数が確保しにくく減収傾向にあることが問題となっていることから、本県においても晩植栽培における収量の変動要因は穂数による影響が大きいと推察され、穂数を安定的に確保することにより、晩植栽培における減収傾向を改善できる可能性が考えられる。

穂数を制御する方法として栽植密度の調節が考えられる。これまでに栽植密度が高いほど穂数が増加することが多くの報告で認められているが（井上ら 2004, 高橋ら 2004, 若松ら 2004）、栽植密度が高すぎた場合には、葉色の極端な低下による玄米品質の低下（高橋ら 2004）や1穂籾数の減少による収量低下（若松ら 2004）を招くことも報告されている。一方、近年は低コストを目的とした疎植栽培についても多く研究されており、疎植栽培導入によるコスト低減効果が西日本地域を中心に報告されている（山田ら 2003, 井上ら 2004, 大橋・今井 2004, 木村ら 2005）。しかし、これらの報告の多くは早植または普通期において十分な穂数や籾数が確保される条件下で行われた試験結果であり、栽植密度が低すぎた場合には、1穂籾数の増加による乳白粒の増加（高橋ら 2004）や単位面積当たりの籾数の減少（井上ら 2004）、収量や食味の不安定化（若松ら 2004）といった問題が報告されている。すなわち、栽植密度は栽培環境に合わせて設定することが重要であり、高温

第1表 月別気象概況.

	年次	5月	6月	7月	8月			9月		
					上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
日平均気温 (℃)	2005	16.2	22.8	24.9	28.4	26.7	25.7	25.6	24.7	21.4
	2006	17.1	21.4	24.0	28.2	28.7	27.0	24.4	21.8	19.8
	平年値	16.7	20.6	24.6	26.6	26.3	25.5	23.8	21.7	19.9
日射量 (MJ/m ² /日)	2005	19.7	17.6	15.1	21.0	13.0	14.9	13.8	14.8	11.3
	2006	15.1	17.6	12.6	24.0	20.9	18.7	13.9	11.0	15.7
	平年値	17.7	16.2	16.3	18.1	17.3	16.1	14.1	12.2	11.3

日平均気温および日射量の平年値は1971～2000年までの平均値で表す。気象データは気象庁による測定値(観測地点:富山)を使用。

第2表 生育ステージと期間日数.

年次	移植時期	生育ステージ(月/日)										
		移植	I		II		III		IV		V	
2005	4月下旬	4/22	(32)	5/24	(28)	6/21	(10)	7/1	(25)	7/26	(38)	9/2
	5月中旬	5/13	(27)	6/9	(19)	6/28	(13)	7/11	(22)	8/2	(39)	9/10
2006	4月下旬	4/24	(29)	5/23	(35)	6/27	(8)	7/5	(27)	8/1	(39)	9/9
	5月中旬	5/15	(28)	6/12	(21)	7/3	(10)	7/13	(25)	8/7	(39)	9/15
平均値	4月下旬	4/23	(30)	5/23	(32)	6/24	(9)	7/3	(26)	7/29	(38)	9/5
	5月中旬	5/14	(27)	6/10	(20)	6/30	(12)	7/12	(23)	8/4	(39)	9/12

I: 分けつ盛期, II: 最高分けつ期, III: 幼穂形成期, IV: 出穂期, V: 成熟期(第3, 4図も同様)。()は生育ステージ間の日数を示す。

登熟回避を想定した晩植栽培における穂数と収量の因果関係を整理するとともに、栽植密度がそれらに及ぼす影響を評価することは安定生産を行う上で極めて重要である。また、栽植密度に関する多くの研究は、大半が1作期により検討されたものであり、近年の温暖化条件において、移植時期と栽植密度の組み合わせが生育、収量および品質に及ぼす影響を詳細に比較した報告はほとんど見当たらない。

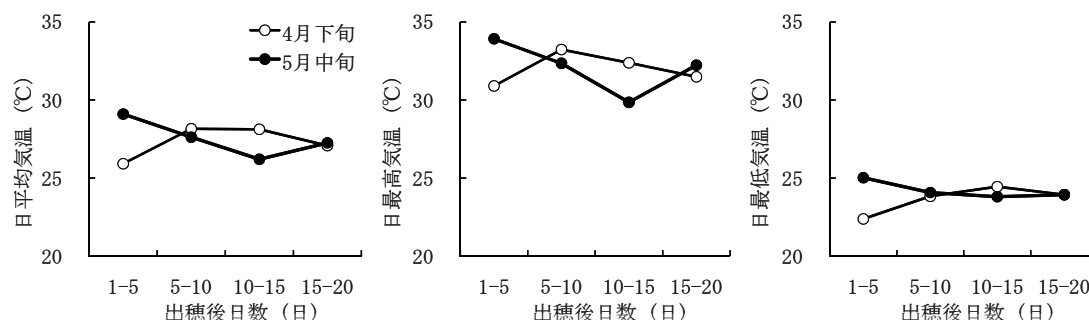
そこで本研究では、現在富山県ではやや早植にあたる4月下旬移植と、高温登熟回避のために晩植した5月中旬移植において、作期移動が生育、収量および品質に及ぼす影響を栽植密度を変えた条件で調査し、各移植時期に適した栽植密度について検討を行った。

材料と方法

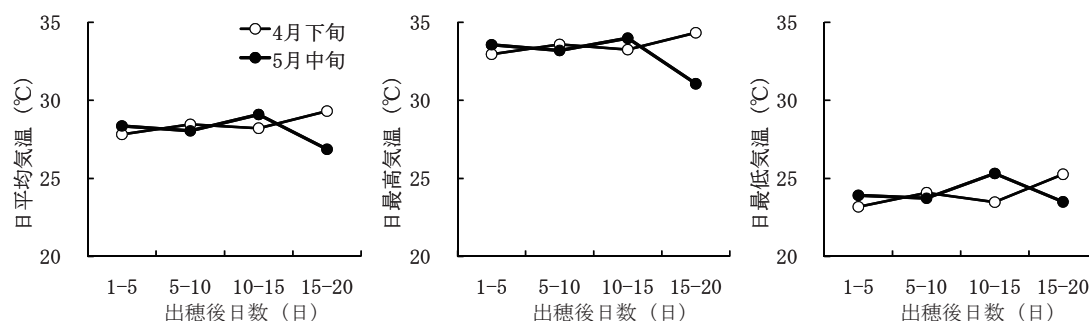
試験は2005年および2006年の2ヶ年において富山県農業技術センター農業試験場(現:富山県農林水産総合技術センター農業研究所)内圃場(富山市吉岡, 沖積砂壤土)で行った。品種はコシヒカリを供試し、2005年は4月22日および5月13日、2006年は4月24日および5月15日に播種後約20日の稚苗を機械(井関農機製PZ50)移植した。移植時期について、以下4月下旬の移植は4月下旬区、5月中旬の移植は5月中旬区と記す。移植直後、1株3～4本植となるよう補植により調整した。施肥量(成分量)は、基肥として4月下旬区はN:P₂O₅:K₂O=5.0:8.3:6.7 g/m²、5月中旬区はN:P₂O₅:K₂O=4.0:6.7:5.3 g/m²、穂肥として両移植時期ともN:P₂O₅:K₂O=3.0:0.6:

3.0 g/m²(出穂前15日および出穂前7日に半量ずつ)施用した。栽植密度は、田植え機の設定により21.2株/m²区(条間30 cm×株間15.7 cm)、18.2株/m²区(条間30 cm×株間18.3 cm)、15.2株/m²区(条間30 cm×株間21.9 cm)の3水準を設けた。実際の栽植密度は設定密度21.2、18.2、15.2株/m²区の順に、2005年は4月下旬区21.3、19.1、16.1株/m²、5月中旬区21.5、19.0、16.1株/m²、2006年は4月下旬区20.7、18.8、15.6株/m²、5月中旬区20.7、18.3、15.4株/m²であったが、以下は設定密度を試験区名で示す。1試験区の面積は約24 m²、2反復で試験を実施した。

調査は分けつ盛期、最高分けつ期、幼穂形成期、出穂期に茎数および群落葉色、成熟期に収量、収量構成要素および玄米外観品質について行った。茎数は各試験区において平均的な生育を示した12株について調査し、群落葉色は試験区の群落上をFHK葉色カラスケール(富士平工業社製)を用いて測定した。収量および収量構成要素は、成熟期に各試験区12株について穂数を調査後、調査12株に加え1区当たり1坪(約3.3 m²)を別に刈り取り、それぞれ天日乾燥を行った。乾燥後、穂数調査株について脱粒し、1穂粒数を算出した。登熟歩合は籾を脱ぶ後、粒厚1.85 mm以上の精玄米数をもとに算出した。m²当たり粒数はm²当たり穂数に1穂粒数を乗じて算出した。精玄米重および千粒重は、1坪分の株を脱穀した粒厚1.85 mm以上の精玄米を用いて算出し、水分含有率15%となるように値を補正した。玄米外観品質の調査は蛸谷ら(2008)の方



第1図 各移植時期における出穂後の気温の推移 (2005年).



第2図 各移植時期における出穂後の気温の推移 (2006年).

法に準じ、粒厚 1.85 mm 以上の精玄米について肉眼で整粒、基白粒、背白粒、腹白粒、乳白粒、心白粒、その他粒（青未熟粒、奇形粒および茶米）のいずれかに分類し、それぞれの粒数を調査粒数当たりの比率として評価に用いた。品質調査粒数は各試験区につき 200 粒を 2 反復、計 400 粒について実施した。

結 果

1. 試験年次の気象概況と生育ステージ

試験を実施した2ヶ年の月別気象概況を第1表に示した。気温について2005年では6月、8月上旬および9月、2006年では6月および8月で平年値に比べて高く、残りの期間はほぼ平年並みで推移した。また、日射量について2005年では8月中旬、2006年では5月と7月を除きほぼ平年並みかそれ以上に多く、おおむね良好であった。

各移植時期における生育ステージとその期間日数を第2表に示した。期間日数について、2ヶ年平均すると5月中旬区は4月下旬区と比べて移植～最高分けつ期が15日短く、最高分けつ期～幼穂形成期が3日長く、幼穂形成期～出穂期が3日短く、登熟期間は同程度であった。また、栽植密度による生育ステージの差は認められなかった。

品質に影響を及ぼす気象要因として、出穂後20日間の気温の推移を第1図および第2図に示した。2005年では、5月中旬区は4月下旬区に比べて日平均気温、日最高気温、日最低気温ともに出穂後1～5日は高く、出穂後5～10日および15～20日は同程度であったが、出穂後10～15日に

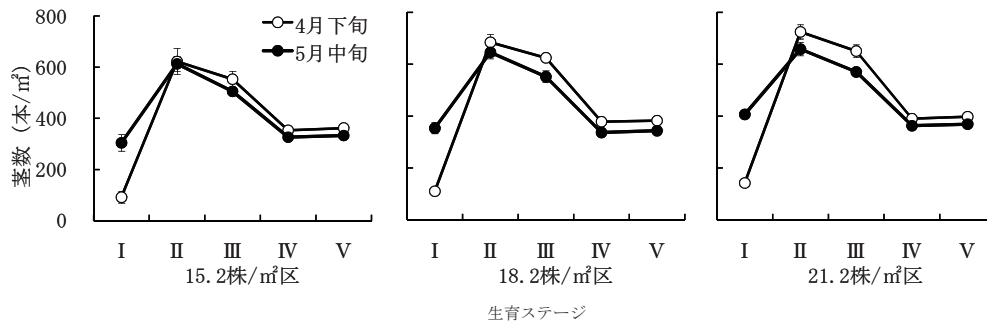
については日最低気温には大差がないものの、日最高気温が顕著に低く、その結果日平均気温は低く推移した。2006年では、5月中旬区は4月下旬区に比べて日平均気温、日最高気温、日最低気温ともに出穂後1～10日は同程度、出穂後15～20日は低く、出穂後10～15日については日最高気温には大差がないものの、日最低気温が高く、その結果日平均気温はやや高く推移した。

2. 茎数と葉色の推移および分けつに及ぼす影響

移植時期および栽植密度が茎数の推移に及ぼす影響について第3図に示した。なお、2ヶ年同様の傾向であったためデータは2ヶ年の平均値で示した。5月中旬区の茎数は、分けつ盛期では4月下旬区に比べて多かったが、最高分けつ期以降は少なく推移した。また、いずれの移植時期においても栽植密度が高いほど茎数が多く、この傾向は5月中旬区より4月下旬区で顕著であり、分けつ盛期～幼穂形成期では栽植密度が高いほど移植時期間の茎数の差が大きくなる傾向を示した。

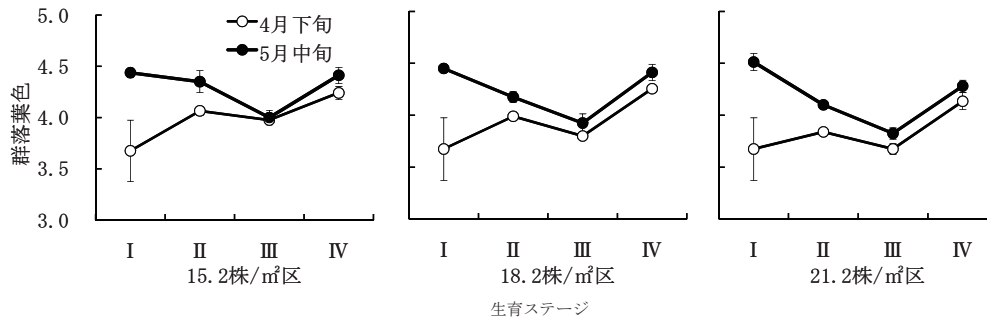
移植時期および栽植密度が葉色の推移に及ぼす影響については第4図に示した。5月中旬区の葉色は、生育期間を通して4月下旬区より濃く推移した。また、いずれの移植時期においても、最高分けつ期～出穂期では栽植密度が高いほど葉色が淡く、この傾向は5月中旬区より4月下旬区で顕著となった。

移植時期および栽植密度が分けつに及ぼす影響について第3表に示した。5月中旬区は4月下旬区に比べて分けつ



第3図 移植時期および栽植密度が茎数の推移に及ぼす影響。

各数値は2005年および2006年の平均値。生育ステージの表記は第2表に同じ。縦棒は標準誤差。



第4図 移植時期および栽植密度が葉色の推移に及ぼす影響。

各数値は2005年および2006年の平均値。生育ステージの表記は第2表に同じ。群落葉色は試験区の群落上をFHK葉色カラスケール(富士平工業社製)を用いて測定した。縦棒は標準誤差。

第3表 移植時期および栽植密度が分げつに及ぼす影響。

移植時期	栽植密度 (株/m ²)	分げつ速度 (本/m ² /日)	最高分げつ数 (本/m ²)	穂数 (本/m ²)	有効茎歩合 (%)
4月下旬	15.2	10.1	622	362	58.2
	18.2	11.1	685	383	55.9
	21.2	11.7	725	398	55.4
5月中旬	15.2	12.9	613	333	54.6
	18.2	13.6	646	344	53.4
	21.2	13.9	658	369	56.1
平均値	4月下旬	11.0	677	381	56.5
	5月中旬	13.5	639	348	54.7
	有意差	**	*	**	ns

各数値は2005年および2006年データの平均値。分げつ速度は移植～最高分げつ期までの値。対応のあるt検定の結果、4月下旬区と5月中旬区の平均値間において**は1%水準、*は5%水準で有意差があることを示す。ns:有意差なし。有効茎歩合は逆正弦変換した値を有意差検定した。

速度が有意に速かったが、移植～最高分げつ期までの期間が短くなること(第2表)で最高分げつ数は有意に少なくなり、有効茎歩合に差がない結果、穂数は有意に少なかった。また、いずれの移植時期においても、栽植密度が高いほど最高分げつ数が多くなり、有効茎歩合に顕著な差が見られない結果、栽植密度が高いほど穂数が増える傾向を示した。

3. 収量および収量構成要素に及ぼす影響

移植時期および栽植密度が収量および収量構成要素に及ぼす影響について第4表に示した。なお、2ヶ年同様の傾向であったためデータは2ヶ年の平均値で示した。5月中旬区は4月下旬区に比べて穂数が有意に少なく、1穂粒数には差がないものの、両形質の積である総粒数は有意に少なかった。また、登熟歩合、千粒重には移植時期間に差が認められず、5月中旬区の精玄米重は4月下旬区に比べて

第4表 移植時期および栽植密度が収量および収量構成要素に及ぼす影響.

移植時期	栽植密度 (株 / m ²)	精玄米重 (g / m ²)	穂数 (本 / m ²)	1 穂粒数 (粒)	総粒数 (×百粒 / m ²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
4 月下旬	15.2	583 a	362 a	84.1 a	304 a	89.6 a	22.7 a
	18.2	569 a	383 a	77.5 ab	296 a	87.9 a	22.8 a
	21.2	562 a	398 a	70.2 b	279 a	90.8 a	22.8 a
5 月中旬	15.2	515 a	333 a	76.4 a	254 a	88.6 a	22.7 a
	18.2	533 a	344 a	72.4 a	249 a	93.6 a	22.7 a
	21.2	552 a	369 a	70.1 a	258 a	94.0 a	22.6 a
平均値	4 月下旬	571	381	77.3	293	89.4	22.7
	5 月中旬	533	348	73.0	254	92.1	22.7
	有意差	*	**	ns	*	ns	ns

各数値は 2005 年および 2006 年データの平均値. 対応のある t 検定の結果, 4 月下旬区と 5 月中旬区の平均値間において ** は 1% 水準, * は 5% 水準で有意差があることを示す. ns: 有意差なし. 同一英文字間, 各移植時期の栽植密度間に 5% 水準の有意差が無いことを示す (Tukey 法). 登熟歩合は逆正弦変換した値を有意差検定した.

第5表 移植時期および栽植密度が外観品質に及ぼす影響 (2005 年).

移植時期	栽植密度 (株 / m ²)	整粒 (%)	白未熟合計 (%)	基白 (%)	背白 (%)	腹白 (%)	乳白 (%)	心白 (%)	その他未熟 (%)
4 月下旬	15.2	54.0	40.2	7.9	16.6	0.6	14.6	0.5	5.8
	18.2	53.1	43.2	9.2	17.4	0.9	14.1	1.6	3.7
	21.2	49.9	43.8	11.0	15.6	0.3	14.8	2.1	6.3
5 月中旬	15.2	62.6	27.8	9.1	9.9	1.6	4.5	2.6	9.6
	18.2	65.8	24.0	6.8	8.0	2.3	3.5	3.5	10.3
	21.2	69.8	25.4	8.8	8.6	1.1	4.9	2.0	4.9
平均値	4 月下旬	52.3	42.4	9.4	16.5	0.6	14.5	1.4	5.3
	5 月中旬	66.0	25.7	8.2	8.8	1.7	4.3	2.7	8.3
	有意差	**	**	ns	**	*	**	ns	ns

データは 2005 年の平均値. 対応のある t 検定の結果, 4 月下旬区と 5 月中旬区の平均値間において ** は 1% 水準, * は 5% 水準で有意差があることを示す. ns: 有意差なし. 各数値は逆正弦変換した値を有意差検定した.

有意に減少した.

栽植密度で比較すると, いずれの移植時期でも栽植密度が高いほど穂数が多く, 1 穂粒数が少なくなる傾向があり, 両形質の積である総粒数に有意な差は認められなかった. また, 登熟歩合については 4 月下旬区では一定の傾向は認められないが, 5 月中旬区では栽植密度が高いほど増加する傾向があり, 15.2 株 / m² 区では他の試験区より 5 ポイント以上低くなった. 千粒重には栽植密度による差は認められなかった. その結果, 精玄米重は 4 月下旬区では 15.2 株 / m² 区でやや多くなったものの顕著な差は認められず, 5 月中旬区では栽植密度が高くなるほど多くなる傾向が認められた.

4. 品質に及ぼす影響

移植時期および栽植密度が玄米外観品質に及ぼす影響について第 5 表および第 6 表に示した. 2005 年では, 5 月中旬区は 4 月下旬区に比べて白未熟粒が有意に少なく, その

他未熟粒に差がない結果, 整粒歩合が有意に高くなった. 特に, 5 月中旬区では 4 月下旬区に比べて背白粒, 乳白粒の発生が顕著に少なかった. 2006 年では, 5 月中旬区は 4 月下旬区に比べて白未熟粒が有意に多く, その他未熟粒に差がない結果, 整粒歩合が有意に低くなった. 特に, 5 月中旬区では 4 月下旬区に比べて乳白粒, 心白粒の発生が多かった.

また, 栽植密度が品質に及ぼす影響については, 2 ケ年を通して 4 月下旬区では栽植密度が高いほど白未熟粒が多くなり, 整粒歩合が低くなる傾向が認められた. 一方, 5 月中旬区では栽植密度が高い場合には白未熟粒あるいはその他未熟粒が減少し, 整粒歩合が高まる傾向が認められた.

考 察

1. 移植時期および栽植密度が生育に及ぼす影響

試験を実施した 2 ケ年における富山市の気温は, 平年値に比べて生育期間を通して全般的に高く推移し, 近年の温

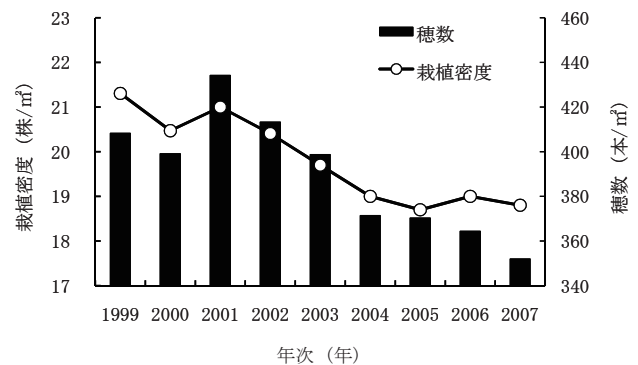
第6表 移植時期および栽植密度が外観品質に及ぼす影響 (2006年).

移植時期	栽植密度 (株/m ²)	整粒 (%)	白未熟合計 (%)	基白 (%)	背白 (%)	腹白 (%)	乳白 (%)	心白 (%)	その他未熟 (%)
4月下旬	15.2	39.0	50.9	7.3	28.9	3.4	7.4	3.9	10.1
	18.2	36.0	54.2	7.0	32.3	2.7	8.3	3.9	9.8
	21.2	34.8	56.6	8.9	31.4	2.3	6.9	7.1	8.6
5月中旬	15.2	20.5	71.6	9.4	30.0	0.5	17.0	14.8	7.9
	18.2	25.3	65.9	9.5	26.6	0.5	13.9	15.4	8.9
	21.2	27.4	63.8	7.4	25.5	1.1	15.3	14.5	8.9
平均値	4月下旬	36.6	53.9	7.7	30.9	2.8	7.5	5.0	9.5
	5月中旬	24.4	67.1	8.8	27.4	0.7	15.4	14.9	8.5
	有意差	**	*	ns	ns	**	**	**	ns

データは2006年の平均値。対応のあるt検定の結果、4月下旬区と5月中旬区の平均値間において**は1%水準、*は5%水準で有意差があることを示す。ns：有意差なし。各数値は逆正弦変換した値を有意差検定した。

暖化傾向を象徴していた(第1表)。また、この期間の日平均気温を移植時期間で比較すると、2ヶ年とも移植～最高分げつ期までの期間で5月中旬区が4月下旬区に比べて2℃以上高く推移した(データ略)。この影響により、5月中旬区では移植後の分げつ発生が旺盛となり、分げつ速度は4月下旬区に比べて有意に速かった。一方で、5月中旬区では4月下旬区に比べて最高分げつ期までの日数が著しく短縮した結果(第2表)、最高分げつ数は有意に減少した(第3表)。これは従来の報告と同様の傾向であり(佐本ら1959, 伊藤・田中1977, 上田ら1998a)、晩植では移植後の高温により生体の伸長・維持に養分の消耗が多くなり、茎数増加に使われる量が減ること(佐本ら1959)、また、早植では移植後の低温により分げつの初期増加は緩慢となるが、気温の上昇とともに急激に分げつが増加すること(伊藤・田中1977)によると推察された。これらの報告や本研究の結果は、温暖化が進む近年において晩植を行った場合には、最高分げつ数がより顕著に減少しやすいことを示唆している。一方、本研究では移植時期間の有効茎歩合に差が認められなかった結果、最高分げつ数が少ない5月中旬区では4月下旬区に比べて穂数も有意に少なかった(第3表)。これに関して、著者ら(2009)は高温年次における移植時期と穂数の関係を別途検討し、4月下旬～5月中旬の移植では最高分げつ数が多いほど穂数が多くなることを確認しており、上田ら(1998a)と同様の結果を得ている。これらのことから、近年の温暖化条件下における晩植栽培では、生育初期が高温条件となることにより、早植に比べて最高分げつ数を確保しにくくなった結果、穂数の減少につながっているものと推察された。

一方、茎数の推移を栽植密度間で比較すると、いずれの移植時期においても最高分げつ数および穂数は栽植密度が高いほど増加し、これまでの報告と同様の傾向を示した(井上ら2004, 高橋ら2004, 若松ら2004)。しかし、4月下旬区では21.2株/m²区の最高分げつ数が725本/m²と茎数過剰となる傾向が見られ、最高分げつ期～幼穂形成期



第5図 富山県における近年の栽植密度と穂数の推移。

富山県内の農林振興センターが県内に設置する生育観測圃で得られたデータの平均値。平成19年度水稻・大麦・大豆生育経過の解析、富山県農林水産部より作成。

の葉色が15.2株/m²区と比較して大きく低下した(第4図)。このような生育初期の過繁茂による葉色の低下は、その後生育後期まで稲体の窒素濃度を維持することが困難となり、玄米品質の低下(高橋ら2004)や1穂粒数の減少による収量低下(田中・有馬1996, 若松ら2004)をもたらす可能性が考えられる。一方、5月中旬区では栽植密度を高く設定しても過繁茂とまらない範囲で最高分げつ数が多く確保され(第3表)、その結果、生育および穂数が高位安定化すると考えられた。第5図には富山県における1999年以降の栽植密度と穂数の関係を示したが、近年は疎植傾向が進み、それに伴って穂数が減少してきている。富山県では2003年から移植時期を遅らせる取組みを実施しているが、それ以降、栽植密度および穂数の低下が顕著となっていることから、晩植時には栽植密度を低下させず、むしろ高めてやるのが生育および穂数確保の観点から重要であると考えられた。

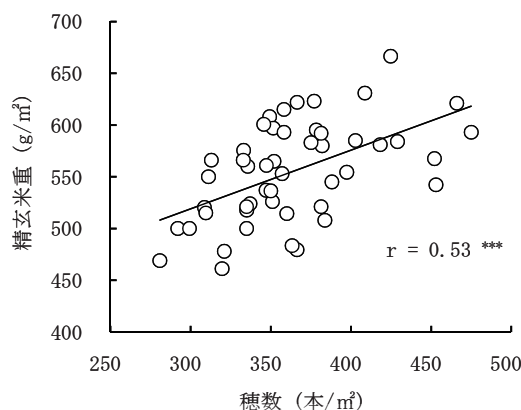
2. 移植時期および栽植密度が収量、収量構成要素に及ぼす影響

収量は、5月中旬区では4月下旬区に比べて有意に低下したが、これは総粒数の低下によるものであった。また、移植時期の1穂粒数に有意な差が認められなかったことから、両形質の積である総粒数は穂数に大きく制限されており(第4表)、従来から指摘されている晩植栽培での収量低下要因と一致していた(中谷 1972, 伊藤・田中 1977, 山口ら 2004)。これらの報告の中で、山口ら(2004)は近年の温暖化条件下での晩植栽培を対象とし、高温年次におけるコシヒカリの移植時期が収量性に及ぼす影響を詳細に解析した結果、収量と最も関係が強かったのは穂数であり、高温年次においても移植時期が遅いほど穂数および総粒数が減少することを報告している。また、富山県内の農林振興センターが県内に設置している生育観測圃において、移植時期を遅らせた圃場(5月10~17日移植)の2005~2007年の穂数と収量の関係を第6図に示した。両者の間には有意な正の相関関係が認められ、生産現場で問題となっている晩植栽培の収量低下の最も大きな要因は穂数の減少であることを示している。このように、晩植栽培における穂数確保の重要性が再確認された。

一方、栽植密度が収量構成要素に及ぼす影響については、前述のとおり穂数は栽植密度が高いほど多くなったが、それに伴い1穂粒数が少なくなることで両形質の積である総粒数に有意な差は認められなかった。この傾向は過去のいくつかの報告と一致していたが(福島ら 1997, 若松ら 2004, 高橋 2006)、若松ら(2004)は18~27株/m²の範囲において総粒数が同等でも疎植となるほど登熟歩合が低下し、減収することを認めている。また、高橋(2006)は総粒数が同等でも1穂粒数が極端に多くなる疎植条件(12.0株/m²)では登熟歩合が低下する結果を示している。本研究でも5月中旬区の15.2株/m²区では1穂粒数が増加し、登熟歩合が低下することで減収する傾向が認められた(第4表)。これは1穂粒数の増加に伴い登熟性に劣る弱勢穎果が増加するためと推察される。弱勢穎果は初期の発育が緩慢で登熟後期まで発育を続けるが(木戸・梁取 1968)、5月中旬区では4月下旬区に比べて登熟後半の日射量が顕著に低下しており(データ略)、晩植栽培では早植に比べて弱勢穎果を中心とした登熟歩合の低下が特に生じやすいと考えられる。これらのことから、晩植栽培において栽植密度を高めることは、前述した穂数の安定確保に加えて1穂粒数の制限による高い登熟歩合の確保に有効であり、収量の高位安定化が図れる可能性が示唆された。

3. 移植時期および栽植密度が品質に及ぼす影響

本研究における品質の年次間差を比較すると、いずれの移植時期においても2006年では2005年に比べて白未熟粒が増加し、整粒歩合が低下した。登熟気温と白未熟粒の発生に関しては、出穂後20日間の日平均気温が27℃を上回



第6図 穂数と収量の関係(2005~2007)。

富山県内の農林振興センターが県内に設置する生育観測圃で得られたデータ。平成17~19年度水稻・大麦・大豆生育経過の解析、富山県農林水産部より作成。移植時期は5/10~17。***:0.1%水準で有意(n=49)。

ると白未熟粒が増加すること(森田 2005, 坂田・高田 2006)、特に基白粒、背白粒の発生に関しては他の白濁粒と比較して高温の影響が大きいこと(若松ら 2007)が指摘されている。本研究における2ヶ年の出穂後20日間の日平均気温を比較すると、2005年は4月下旬区で27.1℃、5月中旬区で27.5℃、2006年は4月下旬区で28.5℃、5月中旬区で28.2℃といずれも27℃を超えており、より高温で推移した2006年では背白粒が主として増加したものと考えられた(第5表、第6表)。

移植時期が品質に及ぼす影響を比較すると、5月中旬区は4月下旬区に比べて、2005年では背白粒、乳白粒の減少により整粒歩合が有意に高くなったが、2006年では乳白粒、心白粒の増加により整粒歩合が有意に低下した(第5表、第6表)。本研究では、前述のように移植時期における出穂後20日間の日平均気温に大差は認められなかったものの、品質に有意な差が認められた。これに関して、コシヒカリでは出穂後20日間の中でも出穂後10~15日の高温が基白粒、背白粒および乳白粒の発生に最も影響を及ぼすこと(高橋 2006)が報告されており、本研究では移植時期における同期間の温度差が品質に影響を及ぼしたものと推察された。すなわち、2005年においては、5月中旬区は4月下旬区に比べて出穂後10~15日の日平均気温が1.9℃低く、日最高気温も顕著に低いために背白粒および乳白粒の発生が抑えられたと考えられる(第1図)。一方、2006年においては、5月中旬区は4月下旬区と比べて出穂後10~15日の日平均気温が0.9℃高く、特に日最低気温も顕著に高いために乳白粒および心白粒の発生が増加したと推察された(第2図)。このことから、晩植による品質向上には登熟期間の高温回避、特に出穂後10~15日頃の高温回避が重要と考えられるが、富山県における移植時期と登熟気温および玄米品質の関係を解析した結果、5月中旬移植は4月下旬移植に比べて出穂後20日間もしくは出穂後10

～15日の気温が低く推移する年次が多く、高橋（2006）が2000～2004年にかけて行った調査では、低温条件となった2003年を除くすべての年次で5月中旬移植において明らかな品質の向上が認められている。また、近年における5月中旬移植の平均的な出穂期は8月初旬であるため、出穂後10～15日にあたる8月中旬の日平均気温を2000～2006年で比較すると、2006年が28.7℃で最も高く（第1表）、これは平年値の26.3℃に比べ2.4℃、2番目に高かった2000年の27.7℃と比べても1.0℃高く、2006年の登熟気温の特異性が伺える。これらのことを考慮すると、本研究の結果も含め複数年で見れば、晩植において品質が向上する可能性が高いと判断された。

一方、栽植密度間で比較すると、2ヶ年を通して4月下旬区では栽植密度が高いほど白未熟粒が多くなり、整粒歩合が低下する傾向がある一方、5月中旬区では栽植密度が高い場合には白未熟粒あるいはその他未熟粒が減少し、整粒歩合が高まる傾向が認められた。このうち、4月下旬区の密植条件では栽植密度を慣行以上に高めたことで生育初期に過繁茂を生じ、最高分けつ期～出穂期の葉色が大きく低下したこと（第4図）が品質低下の要因と考えられる。すなわち、出穂前に一旦葉色が大きく低下すると登熟期間の窒素濃度維持が困難となり、物質生産能力が低下することで白未熟粒の発生を助長すること（野村ら2004）、また、総粒数が同等でも密植条件では登熟期間の窒素濃度低下がやや大きく、稲体の機能低下が大きいこと（井上ら2004）から、4月下旬区の密植条件では登熟期間中の窒素濃度低下が顕著となり、白未熟粒の発生を助長したものと推察された。一方、5月中旬区では密植条件でも葉色が大きく低下することなく推移したため、白未熟粒やその他未熟粒の発生には窒素条件よりもむしろ1穂粒数の影響が大きかったと推察される。すなわち、白未熟粒の発生は一般に弱勢穎果に発生しやすく（長戸・江幡1960）、疎植による1穂粒数の増加は未熟粒の発生を助長すること（若松ら2004）から、5月中旬区では栽植密度が高いほど1穂粒数が制限された結果、白未熟粒が生じやすい弱勢穎果が少なく、未熟粒の発生が抑えられたことで品質が向上した可能性が考えられた（第4表、第5表、第6表）。このように、2006年のような極端な高温登熟条件下においても、2005年と同様に晩植では密植栽培による品質の向上が認められた本研究の結果は、晩植と密植栽培の組み合わせが今後さらに温暖化した場合の品質向上技術の一助として有効となる可能性を示唆しており、注目される。本研究では栽植密度を21.2株/m²までしか設定しなかったが、晩植・密植栽培を導入する上で最適な栽植密度について検討を進めており、別途報告を行う予定である。

謝辞：本稿のとりまとめに当たり、農業環境技術研究所の坂本利弘博士、富山農林振興センターの鍋島学氏には適切なご助言をいただいた。また、本研究の調査に当たり、農業研究所栽培課スタッフの皆さんには大変ご協力いた

いた。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 蛭谷武志・山本良孝・矢野昌裕・舟根政治 2008. 染色体断片置換系統群を利用したイネの玄米外観品質に関与するQTLの検出. 育種学研究 10: 91-99.
- 福島敏和・山口正篤・薄井雅夫・松永純子 1997. 水稲の栽植密度、植え付け本数と収量構成要素、玄米品質との関係. 日作関東支報 12: 38-39.
- 井上健一 2003. 高温のイネ生産への影響と技術的対策—福井県の場合—. 日作紀 72 (別2): 440-445.
- 井上健一・林恒夫・湯浅佳織・笈田豊彦 2004. 水稲品質食味要因の安定性に関する解析的研究 2. 疎植条件が水稲の物質生産と収量品質に及ぼす影響. 福井農試研報 41: 15-28.
- 伊藤十四英・田中孝幸 1977. 水稲の幼苗および成苗における作期の移動が収量生産過程に及ぼす影響. 北陸作報 12: 14-17.
- 楠谷彰人・浅沼興一郎・木暮秩・関学・平田壮太郎・柳原哲司 1992. 暖地における早期栽培水稲品種キヌヒカリの収量および食味. 日作紀 61: 603-609.
- 木戸三夫・梁取昭三 1968. 腹白、基白、心白状乳白、乳白米の穂上における着粒位置と不透明部のかたちに関する研究. 日作紀 37: 534-538.
- 木村浩・森重陽子・杉本英治・住吉俊治・河内博文・川崎哲郎 2005. 疎植水稲の生育特性と安定生産技術. 愛媛農試研報 39: 1-9.
- 小葉田亨・月森弘・井上健一・寺島一男・飯田幸彦 2005. 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. 日作紀 74: 80-93.
- 松村修 2007. 高温障害に強いイネ. I. 緒言. 養賢堂, 東京. 1-14.
- 宮野法近・国分牧衛 2009. 宮城県における水稲玄米品質低下要因の解析—気象要因の影響について—. 日作紀 78: 225-233.
- 森田敏 2005. 水稲の登熟期の高温によって発生する白未熟粒, 充実不足および粒重低下. 農業技術 60: 442-446.
- 守田和弘・杉森史郎・北條綾乃・山口琢也・高橋渉 2009. 高温条件下における移植時期がコシヒカリの穂数に及ぼす影響. 日作紀 78 (別1): 26-27.
- 長戸一雄・江幡守衛 1960. 登熟期の気温が水稲の稔実に及ぼす影響. 日作紀 28: 275-278.
- 中谷治夫 1972. 水稲の栽培条件と収量, 米質に関する研究. 1. 移植時期が収量・米質におよぼす影響について. 北陸作報 7: 1-2.
- 野村幹雄・高橋渉・荒井清完・守田和弘 2004. 高温条件下における乳白、基白、背白粒発生に関する研究. 2. 追肥方法が生育中後期の栄養状態に及ぼす影響. 日作紀 73 (別2): 284-285.
- 大橋善之・今井久遠 2004. 京都府丹後地域における水稲「コシヒカリ」の疎植栽培が収量、品質に及ぼす影響. 日作紀 73 (別1): 26-27.
- 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.
- 佐本啓智・杉本勝男・宇田昌義・鈴木嘉一郎 1959. 水稲早期栽培の穂数増加原因についての考察. 日作紀 27: 182-184.
- 高橋渉・野村幹雄・荒井清完・守田和弘 2004. 高温条件下における乳白、基白、背白粒発生に関する研究. 1. 生育初期の高温条件が及ぼす影響. 日作紀 73 (別2): 282-283.
- 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.
- 田中典幸・有馬進 1996. 水稲の根の生育に及ぼす栽植密度の影響. 日

- 作紀 65 : 71–76.
- 寺島一男・齋藤祐幸・酒井長雄・渡辺富男・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.
- 上田一好・楠谷彰人・浅沼興一郎・一井眞比古 1998a. 香川県における水稻品種キヌヒカリの移植時期に関する研究－活着期, 出穂期および成熟期と気温の関係－. 日作紀 67 : 136–142.
- 上田一好・楠谷彰人・浅沼興一郎・一井眞比古 1998b. 香川県における水稻品種キヌヒカリの移植時期に関する研究－収量および食味と気象要因との関係－. 日作紀 67 : 289–296.
- 若松謙一・田之頭拓・重水剛・竹牟禮稜 2004. 鹿児島県早期栽培コシヒカリの収量構成要素及び食味に対する栽植密度の影響. 日作九支報 70 : 7–9.
- 若松謙一・佐々木修・上蘭一郎・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.
- 山田千津子・福島淳・宮下武則・十川和士・山浦浩二 2003. 収量と品質の確保が可能な水稻「ヒノヒカリ」の疎植栽培法. 平成14年度近畿中国四国農業研究成果情報 : 31–32.
- 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.

Planting Density Suitable for Late Transplanting for Avoiding High Temperature During the Ripening Period of Rice Cultivar Koshihikari in Toyama Prefecture, Japan : Kazuhiro MORITA¹⁾, Wataru TAKAHASHI²⁾, Fumio SUGIMORI³⁾ and Masami FURUHATA⁴⁾ (¹⁾Food Research Institute, Toyama Prefectural Agricultural Forestry and Fisheries Research Center, Toyama, 939-8153, Japan; ²⁾Toyama Prefectural Agricultural Food Product Division; ³⁾Toyama Agricultural Extension Center; ⁴⁾Natl. Agr. Res. Cent. Hokuriku)

Abstract : In order to avoid a high temperature during the ripening period, the effects of late transplanting and high planting density on the growth, yield and grain quality of rice (*Oryza sativa* L. cv. 'Koshihikari') were investigated for two years. Transplanting in mid-May (late transplanting) reduced maximum tillers number and panicle number than did transplanting on late-April (early transplanting), resulting in yield decrease. However, late transplanting improved grain quality in 2005 when the late transplanting lowered temperature during the ripening period. Under early transplanting, high planting density led to overluxuriant growth and, in some cases, the extreme decrease in leaf color, resulting in the poor grain quality. Under the late transplanting, on the other hand, high planting density increased the number of panicles and yield. In addition, high planting density in late transplanting improved grain quality due to decreased number of grains per panicle. These results suggest that the high planting density is effective to improve yield and grain quality under late transplanting for avoiding high temperature during the ripening period.

Key words : Grain quality, High temperature, Koshihikari, Planting density, Rice, Transplanting time, Yield.