

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

杉浦和彦¹⁾・本庄弘樹¹⁾・林元樹¹⁾・野々山利博¹⁾・山下和巳¹⁾・虎澤明広¹⁾・山内章²⁾

(¹⁾ 愛知県農業総合試験場作物研究部, (²⁾ 名古屋大学大学院生命農学研究科)

要旨: 愛知県における水稻品種コシヒカリの品質低下要因を現地調査から解析した。2006～2009年の4年間に延べ68ほ場で調査を実施した結果、高温により発生する白未熟粒のうち基部未熟粒の発生割合が最も多かった。乳白粒は出穂後寡照となった2009年をはじめ、全ての年次で基部未熟粒より発生が少なかった。したがって愛知県のコシヒカリにおける外観品質低下要因は、主に基部未熟粒の多発によるものと考えられた。基部未熟粒の発生は、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が認められたことから、気象の影響が大きいことがうかがわれた。一方、基部未熟粒は穂揃期の葉身窒素含量、玄米タンパク質含量と有意な負の相関が認められた。また、土壤窒素発現量と施肥窒素量をあわせた窒素供給量と基部未熟粒の間に有意な負の相関が認められた。調査ほ場の施肥窒素量は、目標収量から推定した最適施肥量に比べ平均 1.47g m^{-2} 不足していた。以上のことから、本県では窒素供給量が不足している傾向があり、基部未熟粒の発生を抑制するためには、窒素供給量を増やすことが必要であると結論づけられた。

キーワード: 基部未熟粒, 高温, コシヒカリ, 施肥窒素量, 窒素供給量, 土壤窒素発現量, 葉身窒素含量。

近年わが国では夏期の気温が上昇傾向にあり、この40年間で最高気温は約 0.8°C 、最低気温は約 1.1°C 上昇した(河津ら2007)。これに伴い水稻では、いわゆる高温登熟障害により白未熟粒が多発し、外観品質の低下が問題となっている。愛知県においても、水稻品種コシヒカリは外観品質の低下により1等米比率が低迷している(杉浦ら2008b)。特に2008年は1等米比率が過去最低の12%となり、農家の収益に大きな打撃を与えていることから、高温登熟障害対策の早急な確立が求められている。

高温により発生が増加する白未熟粒は、白濁の発生部位により乳白粒、背白粒、基部未熟粒(基白粒)等に分類され、その発生要因はそれぞれ異なる。乳白粒は、出穂後の日射量制限や、単位面積あたりの初数が多くなると発生が助長される(今野ら1991, 高橋2006)。それに対し背白粒は、登熟期の気温及び日射量が増加すると発生が助長され(若松ら2009)、出穂期以降の葉色を維持すると発生が抑制される(高橋2006)。基部未熟粒は、植物体の低窒素栄養条件により発生が助長される(近藤ら2006)。

白未熟粒発生による外観品質低下は、全国的な問題となりつつあるが、地域により種類、発生程度は異なる。森田(2010)は九州産米における作柄・品質低下の原因として、登熟期の高温寡照や、台風の影響も大きいとしている。近藤(2008)は全国の水稲作況基準筆地点における玄米の外観品質データから、東海地域では背白・基部未熟粒の発生が多いとしている。背白・基部未熟粒の発生は前述のとおり窒素量に影響されるが、施肥窒素量だけでなく土壌から

の窒素発現量を含めた調査、解析を行った事例は少ない。このため、土壤窒素肥沃度の異なるほ場を調査、解析することにより外観品質低下の実態と要因を把握し、高温登熟障害を克服する対策技術について考察した。

材料と方法

1. 現地試験

試験は2006年～2009年の4年間実施した。調査地点は愛知県におけるコシヒカリの主産地である西三河地域を中心に設置した(第1表)。調査地点数は、2006年には1市8ほ場、2007年には3市27ほ場、2008年には4市20ほ場、2009年には5市13ほ場の延べ68ほ場で実施した。栽培は各生産者の慣行法で行った。成熟期に平均的な10株の稈長、穂長、穂数及び倒伏程度を調査した。倒伏程度は観察により、ほぼ100%倒伏から無の間を6段階(5～0)に区分して判定した。精玄米重は1試験区あたり50株を2反復刈り取りし、風乾した後に籾摺りし、縦目篩を用いて精選した玄米を水分14.5%換算し精玄米重、千粒重を算出した。篩目は、調査を実施した西三河地域の農業協同組合でコシヒカリの玄米選別に使われている 1.85mm とした。また、登熟歩合は生育の平均的な株を2006、2007年は3株、2008、2009年は5株採取し、初数に対する粒厚 1.85mm 以上の玄米数を登熟割合とした。外観品質調査は穀粒判別器(サタケ製RGQ I10)を用い、精玄米1000粒を障害粒(乳白粒、基部未熟粒、腹白粒等)及び整粒に分類した。穀粒判別器では、腹白粒、背白粒とも腹白粒と

第1表 現地試験ほ場の耕種概要.

年次	市	栽培様式		土壌窒素発現量			肥料の種類	ほ場数	施肥窒素量			牛糞堆肥 施用ほ場	堆肥施用量	
		移植	直播	平均 (g kg ⁻¹)	最大 (g kg ⁻¹)	最小 (g kg ⁻¹)			平均 (g m ⁻²)	最大 (g m ⁻²)	最小 (g m ⁻²)		最大 (g m ⁻²)	最小 (g m ⁻²)
2006	安城	8	0	3.27	5.74	2.31	緩効性肥料	8	—	—	—	0		
	安城	12	3	3.57	5.72	2.38	緩効性肥料	21	4.3	8.0	0.0	6	4000	1000
	西尾	6	0				直播専用肥料	2						
	豊田	6	0				有機質肥料	1						
2007							速効性肥料	1						
							無施肥	2						
	安城	9	2	3.80	5.45	2.05	緩効性肥料	12	5.1	8.6	1.2	2	700	700
	岡崎	2	3				直播専用肥料	5						
2008	半田	3	0				有機質肥料	1						
	豊橋	1	0				米ぬか	2						
	安城	5	0	4.42	1.27	7.20	緩効性肥料	9	4.4	7.2	1.3	1	500	500
	岡崎	1	2				直播専用肥料	2						
2009	半田	3	0				米ぬか	2						
	刈谷	1	0											
	西尾	1	0											

土壌窒素発現量 = 培養窒素量 $\cdot 0.65 [1 - \exp(-0.04 \cdot t)]$ + 全窒素 $\cdot 0.45 [1 - \exp(-0.00028 \cdot t)]$, t : 25℃有効積算地温, 期間はイネ生育全期間. 2006年の窒素施肥量は未確認. 2007年の乾田直播ほ場は土壌分析を未実施.

第2表 場内ほ場における試験区の設定.

年次	試験区	施肥窒素量 (g m ⁻²)	土壌			牛糞堆肥		
			培養窒素量 (g kg ⁻¹)	全窒素 (g kg ⁻¹)	土壌窒素発現量 (mg kg ⁻¹)	施用量 (g m ⁻²)	C/N比	窒素量 (g kg ⁻¹)
2008	無施肥	0	0.012	0.151	27.9	—	—	—
	堆肥単用	0	0.012	0.163	29.8	2000	47.7	0.785
	堆肥・化成肥料	5	0.012	0.163	29.8	2000	47.7	0.785
	化成肥料単用	5	0.012	0.151	27.9	—	—	—
2009	無施肥	0	0.013	0.130	24.3	—	—	—
	堆肥単用	0	0.017	0.140	28.4	2000	30.7	1.195
	堆肥・化成肥料	5	0.017	0.140	28.4	2000	30.7	1.195
	化成肥料単用	5	0.013	0.130	24.3	—	—	—

土壌窒素発現量 = 培養窒素量 $\cdot 0.65 [1 - \exp(-0.04 \cdot t)]$ + 全窒素 $\cdot 0.45 [1 - \exp(-0.00028 \cdot t)]$, t : 25℃有効積算地温, 期間はイネ生育全期間. 全窒素, 全炭素量は炭素窒素分析計で計測.

して示されるが, 目視の判別では腹白粒の発生がなかったことから背白粒とした.

葉身窒素含量は, 穂揃期及び穂揃10日後に生育が中庸な3株を株抜きし, 80℃24時間以上通風乾燥した後, 葉身を切り取りボールミルで粉碎後, 炭素窒素分析計(株式会社ジェイ・サイエンス・ラボ製 JM1000CN)により測定した. 玄米タンパク質含量は近赤外分光光度計(NIRECO製 6500HON)を用い測定した. また現地ほ場の土壌を採取し, 30℃4週間湛水培養窒素量(以下, 土壌培養窒素量), 全窒素量を測定した. 土壌培養窒素量の測定は, 北村ら(1989)の方法によった. 全窒素含量は炭素窒素分析計(前出)により測定した. 土壌窒素発現量は, 土壌培養窒素量及び全窒素量から, 北村・今泉(1991)の推定式を改良し

た式

$$Y = A \cdot 0.65 [1 - \exp(-0.04 \cdot t)] + B \cdot 0.9 [1 - \exp(-0.00028 \cdot t)]$$

Y: 積算土壌窒素発現量 (mg/kg), A: 湿土30℃4週間湛水培養窒素量 (mg/kg), B: 全窒素の50% (mg/kg), t : 25℃有効積算日数 $\sum \exp[21000(T-298)/592T]$ (日), T: 日平均地温 (K)

を用い, 水稻生育期間の発現量を算出した. 土壌の採取は, 施肥前の概ね3月から4月頃に行った. また, 堆肥の散布は土壌採取の1カ月以上前に行い散布後に耕起した. 気温及び日照時間は, 現地ほ場に最も近い地域気象観測システム(AMeDAS, 岡崎)のデータを用いた.

第3表 生育期間中の平均気温及び日照時間.

年次	5月平均気温	6月平均気温	出穂後20日間			
	平年比 (℃)	平年比 (℃)	平均気温 (℃)	平年比 (℃)	日照時間 (h d ⁻¹)	平年比 (%)
2006	0.0	+0.1	27.4	+0.6	7.1	114
2007	-0.2	-0.1	27.8	+1.1	7.7	124
2008	+0.4	-0.8	28.8	+2.0	8.2	132
2009	+1.2	+0.5	26.9	+0.1	4.4	70
平均	+0.3	-0.1	27.7	+1.1	6.9	110

気温、日照時間とも気象庁地域気象観測システム（愛知県岡崎）のデータ.

2. 場内試験

試験は2008年、2009年に愛知県農業総合試験場作物研究部水田利用グループ内ほ場（愛知県安城市、以下場内ほ場）で実施した。土壌の種類は細粒黄色土で、品種はコシヒカリを用いた。牛糞堆肥及び化成肥料投入の有無により窒素供給量を変えた試験区を設定した（第2表）。牛糞堆肥は2カ年同じ試験区に2000 g m⁻²を継続して施用した。化成肥料は西三河地域で多く使用されている全量基肥肥料（速効性肥料：リニア型40日タイプ被覆尿素肥料：シグモイド型100日タイプ被覆尿素肥料＝1：1：8、窒素成分比）を用いた。施肥量は窒素成分で5 g m⁻²とし側条施肥した。調査は現地試験と同様の方法で行った。堆肥の窒素、炭素含量は、炭素窒素分析計（前出）により測定した。また、2009年産米について食味官能試験を財団法人日本穀物検定協会に依頼した。炊飯した米は5項目（外観、香り、味、粘り、硬さ）と総合評価を比較評価する相対法で実施した。基準米は複数産地のコシヒカリブレンドを用いた。

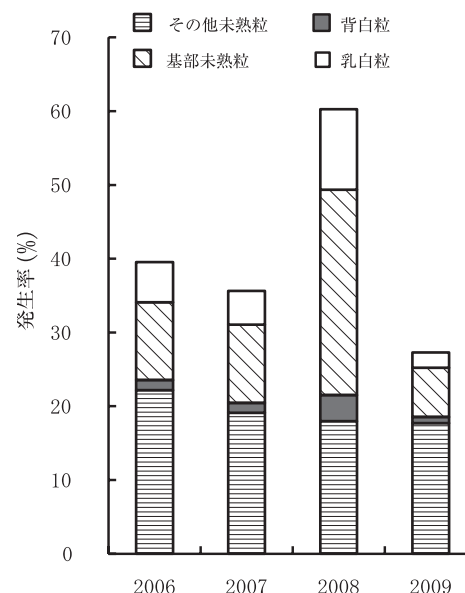
結 果

1. 気象

本研究を行った4年間の生育期間中の平均気温及び日照時間を第3表に示した。出穂後20日間の平均気温及び日照時間は、各現地ほ場の出穂期からそれぞれ算出し年次ごとに平均した値を示した。2006年、2007年における出穂後20日間の平均気温は平年に比べ0.6～1.1℃高く、日照時間は14～24%多かった。2008年では気温は平年に比べ2.0℃高い28.8℃、日照時間は平年比132%と高温多照年であった。2009年は5月から6月にかけて平年に比べ気温が高く推移したが、出穂後の気温はほぼ平年並みで、日照時間は平年比70%であった。

2. 現地ほ場における障害粒の発生率

穀粒判別器で判定した障害粒のうち発生割合が多かった乳白粒、基部未熟粒、背白粒、および上記以外で整粒にカウントされない未熟粒（以下その他未熟粒）の年次別平均発生率を第1図に示した。高温多照であった2008年では障害粒の発生は60%を超え、外観品質が著しく低下した。登熟期の気温が最も低く、また寡照であった2009年の障



第1図 障害粒別発生率の年次推移.

害粒の発生率は28%と最も低かった。乳白粒、基部未熟粒、背白粒の発生率は、いずれも2008年が最も高く、2009年が最も低かった。障害粒別の発生は、基部未熟粒とその他未熟粒の割合が高かった。その他未熟粒はいずれの年も発生率が高いが、年次変動は小さかった。

整粒歩合と各障害粒発生率との重回帰分析の結果、基部未熟粒の標準偏回帰係数が最も大きい値を示した（第4表）。

3. 白未熟粒発生要因

玄米品質と生育、収量構成要素、気象条件との相関を第5表に示した。整粒歩合は、倒伏、千粒重、玄米タンパク質含量との間に有意な正の相関が認められた。また、穂揃期及び穂揃10日後の葉身窒素含量との間にも有意な正の相関が認められた。一方、登熟温度、日照時間との間に有意な負の相関が認められた。

乳白粒、基部未熟粒、背白粒は登熟温度、日照時間との間に高い正の相関が認められた。また、倒伏及び千粒重との間には負の相関があった。乳白粒と1 m²当たり粒数との間には相関が認められなかった。基部未熟粒は、玄米タ

第4表 整粒歩合と障害粒との重回帰分析 (2006~2009年).

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t 値	P 値	単相関係数
乳白粒	-1.215	-0.319	-22.233	0.000***	-0.884
基部未熟粒	-0.987	-0.650	-43.488	0.000***	-0.909
背白粒	-1.036	-0.091	-5.043	0.000***	-0.887
その他未熟粒	-1.019	-0.227	-30.781	0.000***	-0.212

*** は 0.1%水準で有意.

第5表 玄米品質と生育, 収量構成要素, 気象条件との相関 (2006~2009年).

諸形質	整粒歩合	乳白粒	基部未熟粒	背白粒
倒伏	0.25*	-0.27*	-0.33**	-0.26*
千粒重	0.44***	-0.49***	-0.27*	-0.40***
玄米タンパク質含量	0.31**	-0.14	-0.35**	-0.26*
1 m ² 当たり粒数	0.04	0.07	-0.08	-0.05
葉窒素含量 (穂揃期)	0.32**	-0.14	-0.39**	-0.30*
葉窒素含量 (穂揃 10 日後)	0.34**	-0.12	-0.28*	-0.22
登熟温度	-0.68***	0.66***	0.71***	0.64***
日照時間	-0.62***	0.60***	0.58***	0.53***

値は相関係数. *** は 0.1%, ** は 1%, * は 5%水準で有意. 日照時間は出穂後 20 日間の日平均時間.

第6表 玄米品質と土壤窒素発現量との相関.

年次	整粒歩合	基部未熟粒	乳白粒	背白粒
2007 年	-0.17	0.17	0.09	0.07
2008 年	-0.47	0.58*	-0.00	0.19
2009 年	0.07	0.27	-0.26	-0.42

値は相関係数. * は 5%水準で有意.

ンパク質含量, 穂揃期及び穂揃 10 日後の葉身窒素含量との間に負の相関が認められた. 背白粒も玄米タンパク質含量及び穂揃期の葉身窒素含量との間に負の相関が認められた.

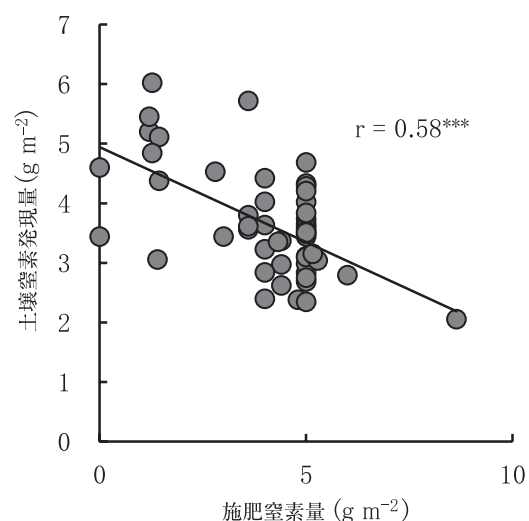
土壤窒素発現量と整粒歩合との間には有意な相関が認められなかった (第6表). 2008 年は基部未熟粒のみと有意な正の相関が認められた. 土壤窒素発現量と施肥窒素量を合わせた窒素供給量は整粒歩合との間に有意な正の相関が, 基部未熟粒とは有意な負の相関が認められた (第7表). 基部未熟粒以外の障害粒については, 有意な相関はなかった. 2009 年は相関が認められなかった. また, 土壤窒素発現量と施肥窒素量の間には, 有意な負の相関が認められた (第2図).

2007~2009 年における現地ほ場の最適施肥窒素量を検討した. 最適施肥窒素量は, 収量目標を 480~510 g m⁻² とした場合の成熟期における最適窒素吸収量をもとに, 土壤窒素発現量を推定し窒素施肥量を決定したものである (愛知県農林水産部 2011). これにより各ほ場の最適窒素施肥量を算出すると, 窒素施肥量が 3 g m⁻² 以上不足しているほ場は 10%, 1~3 g m⁻² 不足しているほ場は 52%, 0~1 g m⁻² 不足しているほ場は 28%であり, 窒素施肥量が十分足りていた

第7表 玄米品質と窒素供給量との相関.

年次	整粒歩合	基部未熟粒	乳白粒	背白粒
2007 年	0.57**	-0.63**	-0.03	-0.35
2008 年	0.59*	-0.58*	-0.22	-0.31
2009 年	0.20	-0.11	0.18	0.21

窒素供給量 = 施肥窒素量 + 土壤窒素発現量. 値は相関係数. ** は 1%, * は 5%水準で有意.



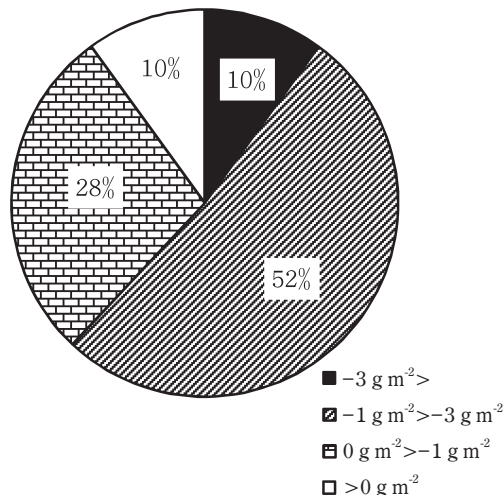
第2図 現地試験における土壤窒素発現量と施肥窒素量の相関 (2007~2009年).

土壤窒素発現量 = 培養窒素量 \cdot 0.65 [1-exp (-0.04 \cdot t)] + 全窒素 \cdot 0.45 [1-exp (-0.00028 \cdot t)], t: 25℃有効積算地温.

は場はわずか10%であった(第3図)。不足していた施肥窒素量は、3年間の平均で 1.47 g m^{-2} であった(第8表)。

4. 場内試験結果

堆肥施用による土壌培養窒素量は、施用1年目では効果が認められなかったが、2年目では慣行区に比べ増加した(第2表)。化成肥料施肥区では、精玄米重及び玄米タンパク質含量が増加し(第9表)、基部未熟粒の発生は抑制さ



第3図 施肥窒素量が不足するは場の割合(2007~2009年)。
農作物の施肥基準(愛知県農林水産部2011)から算出。

れ整粒歩合は向上した。 1 m^2 当たり粒数は化成肥料施用により増える傾向が認められたが、乳白粒の発生率は各処理区間に有意差がなかった。

食味は無施肥区、堆肥・化成肥料区及び化成肥料単用区を比較した(第10表)。無施肥区は玄米タンパク質含量が7.0%と低いものの整粒歩合が50%台と低かった。堆肥・化成肥料区及び化成肥料単用区は、いずれも玄米タンパク質含量が8.5%以上、整粒歩合は70%以上であった。無施肥区の外観はやや劣り食感が軟らかくなったが、総合評価では3区とも有意な差は認められなかった。

考 察

1. 愛知県における高温登熟障害粒の特徴

愛知県におけるコシヒカリについて白未熟粒別の発生率

第8表 現地ほ場における窒素不足量。

年次	施肥窒素量 (g m^{-2})	土壌窒素発現量 (g m^{-2})	窒素不足量 (g m^{-2})
2007	3.99	3.58	1.68
2008	4.39	3.80	1.06
2009	3.92	3.67	1.66
平均	4.10	3.68	1.47

土壌窒素発現量 = 培養窒素量 $\cdot 0.65 [1 - \exp(-0.04 \cdot t)]$ + 全窒素 $\cdot 0.45 [1 - \exp(-0.00028 \cdot t)]$, t : 25°C 有効積算地温。窒素不足量は、農作物の施肥基準(愛知県農林水産部2011)による最適窒素施肥量より不足した窒素量。

第9表 施肥、堆肥が玄米品質に与える影響。

年次	試験区名	稈長 (cm)	精玄米重 (g m^{-2})	倒伏程度	千粒重 (g)	整粒歩合 (%)	乳白粒 (%)	基部未熟粒 (%)	背白粒 (%)	玄米タンパク 質含量 (Dry%)	1 m^2 当たり 粒数 ($\times 1000$ 粒)
2008	無施肥	80 c	53.4 c	0 b	21.3 a	35 c	10.3 a	30.6 b	3.1 a	7.4 c	30.3 b
	堆肥単用	83 c	54.3 bc	0 b	21.1 a	37 c	10.1 a	28.8 b	3.1 a	7.6 c	31.0 b
	堆肥・化成肥料	94 a	58.8 b	2 a	21.1 a	53 a	9.0 a	14.3 a	2.0 a	9.0 a	37.6 ab
	化成肥料単用	90 b	64.8 a	2 a	21.3 a	48 b	10.2 a	19.9 a	2.4 a	8.6 b	40.8 a
2009	無施肥	77 c	46.1 c	0 b	22.0 b	58 b	2.7 a	14.6 bc	1.4 a	7.0 c	23.4 b
	堆肥単用	82 b	50.2 c	0 b	21.8 b	62 b	4.6 a	8.4 ab	1.1 a	7.2 c	27.9 ab
	堆肥・化成肥料	90 a	61.7 a	1.5 a	22.3 b	76 a	4.6 a	2.6 a	1.7 a	8.8 a	34.3 a
	化成肥料単用	83 b	56.9 b	1 a	23.0 a	74 a	3.9 a	4.5 a	0.9 a	8.5 b	29.7 ab

年次別の多重検定(Tukey)により、同じ英小文字間には5%水準で有意差がない。玄米タンパク質含量は乾物換算値。倒伏程度は0(無)~5(甚)。

第10表 施肥・堆肥処理が食味に与える影響。

処 理	整粒歩合 (%)	玄米タンパク質含量 (Dry%)	総合評価			外観	香り	味	粘り	硬さ
			評価値	信頼区間	有意差					
無施肥	58	7.0	0.30	± 0.30	ns	-0.10	0.05	0.40	0.40	-0.40
堆肥・化成肥料	76	8.8	0.15	± 0.30	ns	0.15	0.00	0.15	0.30	0.00
化成肥料単用	74	8.5	0.15	± 0.26	ns	0.05	0.20	0.35	0.30	-0.15

食味官能試験は2009年の同一ほ場産米を用い(財)日本穀物検定協会に依頼。20名により実施し、複数産地コシヒカリのブレンドを基準米とした。nsは有意差なし。

を調査した結果、基部未熟粒の発生が最も多かった。基部未熟粒は、登熟期間中に高温となると発生しやすいとされている（長戸・江幡 1965, 若松ら 2007）が、本研究でも基部未熟粒の発生は、気温及び日照時間と有意な正の相関が認められた。本県のコシヒカリは、4月下旬から5月上旬に移植され、7月下旬から8月上旬頃が出穂期となる。東海地方の梅雨明けの平年値は7月20日頃であるため、登熟期間は梅雨明け後となり気温、日射量とも年間で最も高い時期となる。このため、本県のコシヒカリの外観品質低下は高温・多照による基部未熟粒の増加が要因といえる。

日照時間と基部未熟粒については、日照時間が増加すると気温の上昇を伴うことが予想される。このため、結果的に日照時間と基部未熟粒の相関が認められた可能性がある。日射量について若松ら（2009）は、遮光処理により穂の表面温度が低下し、品質は向上したとしている。また森田ら（2004）は不完全米に関与する高温の感受部位は茎葉ではなく穂であるとしている。このため、日照時間の増加は直接的な気温の上昇だけでなく、穂の表面温度の上昇が基部未熟粒の発生増加に関与していると推察される。

一方、乳白粒は基部未熟粒に比べ発生が少なかった。特に2009年は、出穂後20日間の日照時間が平年比70%であったため、同化産物の競合により乳白粒が発生しやすい（若松ら 2009）気象条件であった。しかし、調査を行った4年間では発生が最も少なかった。これは、出穂後20日間の平均気温が調査を行った4年間では最も低かったことが一因であろう。

高温で発生が増加する障害粒のうち、基部未熟粒はいずれの年次も発生が最も多く、重回帰分析でも整粒歩合に与える影響が最も大きいことから、愛知県では基部未熟粒の発生抑制対策を重視する必要がある。その他未熟粒については、発生量に年次間差がなかったことから、高温登熟障害に起因する未熟粒でないと推察される。

2. 外観品質低下要因

外観品質については、白未熟粒のうち基部未熟粒、背白粒は、玄米タンパク質含量及び葉身窒素含量との間に有意な負の相関が認められた。基部未熟粒、背白粒は、玄米タンパク質含量が高いほど発生が抑制されると報告されており（中川ら 2006）、本研究の結果も同様であった。一方、整粒歩合は玄米タンパク質含量及び葉身窒素含量との間に有意な正の相関が認められた。これは白未熟粒のうち基部未熟粒、背白粒の割合が高いためと考えられる。また、一般的に倒伏すると外観品質は低下しやすいと考えられるが、倒伏程度と整粒歩合は有意な正の相関を示した。生産現場ではコシヒカリは倒伏しやすいことに加え食味向上の目的で必要以上に施肥量を控えるため、基部未熟粒が増加し整粒歩合が低下したものと推察される。こうしたことから、倒伏程度の小さいほ場に比べ大きいほ場は窒素の供給量が多いため、基部未熟粒、背白粒の発生が抑制され整粒

歩合が向上したと考えられる。

3. 窒素供給量が外観品質に与える影響

施肥窒素量と土壤窒素発現量を合わせた窒素供給量が多いほど基部未熟粒、背白粒の発生が低下し、整粒歩合は向上した。また、基部未熟粒は土壤窒素発現量が多いほど高くなる傾向が認められ、窒素供給量と逆の相関を示した。土壤窒素発現量が多い肥沃なほ場では、コシヒカリのような倒伏しやすい品種では施肥窒素量を控えるため、このような相関を示したと推察される。このため、土壤窒素発現量と施肥窒素量には有意な負の相関があったと考えられる。このことは、施肥窒素量が土壤窒素発現量に比べ基部未熟粒の発生に対し与える効果が大きいことを示している。場内試験においても、堆肥施肥により土壤培養窒素量を増加させた試験区では基部未熟粒の発生は減少したが、有意差はなかった。一方、窒素施肥により基部未熟粒の発生は有意に抑制された。以上のことから、基部未熟粒の発生には施肥窒素量の影響が大きいといえる。

4. 外観品質向上対策

前述のように本県のコシヒカリの外観品質低下要因は、主に登熟期の高温による基部未熟粒の増加である。基部未熟粒の発生は、穂揃期の葉身窒素含量が高いほど抑制されたことから、穂肥施用時期を慣行より遅らせたり、増肥したりする方法が考えられる。しかし、本県では大規模な水田作経営体が多いため、省力化から全量基肥肥料が広く普及しており、追肥による施肥技術対策を導入することは困難である。このため筆者らは全量基肥肥料の配合を、従来型の被覆尿素肥料（速効性肥料：リニア型40日タイプ被覆尿素肥料：シグモイド型80日タイプ被覆尿素肥料＝2：3：5、窒素成分比）から、新型肥料に改良した（杉浦ら 2008a）。この新型肥料は、速効性肥料：リニア型40日タイプ被覆尿素肥料：シグモイド型100日タイプ被覆尿素肥料＝1：1：8（窒素成分比）の割合で配合しており、従来型に比べ生育前半の肥効を抑え、生育後期の肥効を高めた肥料配合となっている。この肥料は基部未熟粒の発生抑制だけでなく、生育初中期の過繁茂を抑えることで籽数を制限し乳白粒の発生抑制効果も期待される。

しかし、2008年には新型肥料が多く生産現場で使用されているにもかかわらず、愛知県におけるコシヒカリの1等米比率は12%であり、肥料の配合だけでは外観品質向上に十分な効果があげられなかった。これは、食味向上の目的で玄米タンパク質含量を抑制するために窒素施用量を減らす取り組みが進められていることが原因と考えられる。そこで、調査したほ場について目標収量から推定した最適な窒素施肥量を算出した結果、窒素施肥量が十分足りていたほ場はわずか10%であり、平均1.47 g m⁻²の窒素施肥量が不足していた。このような施肥窒素不足が、基部未熟粒の発生を増加させ外観品質低下を助長させていると考

えられる。一方、ここで用いた最適窒素量は、目標とする収量 (480~510 kg) から求めた窒素量であり、登熟期の高温による品質低下を考慮していない。前述のとおり、高温登熟条件下では基部未熟粒の発生を抑制するため、穂揃期の葉身窒素含量を高く保つ必要があることから、収量だけでなく品質を含めた最適窒素供給量を明らかにしていく必要がある。この点については、今後の課題である。

こうした施肥窒素不足は、稲-小麦-大豆の輪作体系を長年続けていることも一因と考えられる。松村 (1992) は畑作期間の長い作付け体系ほど作土の窒素含有量の低下が著しいとしている。またダイズ作は、土壌が好气的条件下で有機物分解が促進されるだけでなく、ダイズ自身が難溶性土壌窒素を分解・促進するため、地力窒素の消耗が激しいといわれている (有原 2000)。本県でコシヒカリの作付けが最も多い地域は西三河地域であるが、この地域では稲-小麦-大豆の輪作体系が長年行われていることから、土壌の窒素含有量が低下し、植物体への窒素供給量が不足した可能性が考えられる。このため土壌窒素発現量を的確に把握し、窒素施肥量を決定していくことが必要である。

一方、窒素供給量の増加は玄米タンパク質を増加させ、食味の低下につながる恐れがある。しかし本研究の食味評価では、玄米タンパク質含量が大きく異なるにも関わらず食味総合評価に有意な差はなかった。玄米タンパク質含量の低い米は、外観品質が劣り食感は軟らかくなった。これは窒素供給量不足のため基部未熟粒が多発し、外観品質が低下するとともに、白濁部分は澱粉構造が粗いため (服部ら 2004)、コメに含まれる水分が高くなりべたつきがでたと推察される。そのため粘り、味などでは優っていたが総合評価では有意な差が認められなかったと考えられる。

以上のことから高温条件下で登熟する場合、窒素供給量を増やすことで玄米タンパク質含量は増加するが、白未熟粒の発生を抑制することで米の外観や食感を改善し、食味の低下を抑える可能性が示唆された。石間ら (1974) は、玄米タンパク質含量は食味を低下させる要因の一つであるが玄米タンパク質含量だけから食味を完全に推定することはできないとしている。このため、高温条件下では食味向上を目的とした玄米タンパク質含量抑制のための過度な窒素供給の抑制は、白未熟粒の増加による食味の低下のリスクがあり避けるべきである。

気候変動に関する政府間パネル (IPCC2007) の第4次評価報告書では、最近12年 (1995~2006年) の世界の地上気温は、1850年以降で最も温暖であり、気候システムの温暖化には疑う余地がないとされている。このため、今後さらに夏期の気温が上昇する懸念があり、栽培技術だけでなく、高温耐性品種の育成も急務である。すでに高温耐性品種として様々な品種が育成されている (渡部ら 1998, 星ら 2002, 坂井ら 2007) が、こうした品種育成と栽培技術を組み合わせることにより、さらなる高温に対する技術対策を強化していくことが重要な課題であろう。

謝辞: 現地試験の実施にあたり農家の方々並びに普及指導員の方々にご協力いただいた。また、農業総合試験場企画普及部広域指導室池田彰弘氏にはご指導を頂いた。供試材料の管理には深谷勝正氏にご協力を頂いた。ここに深く感謝いたします。

引用文献

- 愛知県農林水産部 2011. 農作物の施肥基準. 愛知県, 愛知. 28-39.
- 有原文二 2000. ダイズ安定多収の革新技術. 農文協, 東京. 135-140.
- 服部優子・松田智明・新田洋司 2004. 2002年度の高温登熟で多発した不完全登熟粒におけるデンプン蓄積構造の特徴. 日作紀 73 (別2): 118-119.
- 星豊一・阿部聖一・石崎和彦・重山博信・小林和幸・平尾賢一・松井崇晃・東聡志・樋口恭子・田村隆夫・浅井善広・中嶋健一・原田惇・小関幹夫・佐々木行雄・阿部徳文・近藤敬・金山洋 2002. 新しい選抜法による高温登熟性に優れた良食味水稻早生品種「こしいぶき」の育成. 北陸作物学会報 39: 1-4.
- IPCC 2007. 第4次評価報告書第1作業部会報告書政策決定者向け要約 (翻訳気象庁). 1-26.
- 石間紀男・平宏和・平春枝・御子柴穆・吉川誠次 1974. 米の食味に及ぼす窒素施肥および精米中のタンパク質含有率の影響. 食総研報 29: 9-15.
- 河津俊作・本間香貴・堀江武・白岩立彦 2007. 近年の日本における稲作気象の変化とその水稻収量・外観品質への影響. 日作紀 76: 423-432.
- 北村秀教・関稔・今泉諒俊 1989. 土壌窒素発現に基づいた水稻施肥プログラムの開発. 愛知農総試研報 21: 47-61.
- 北村秀教・今泉諒俊 1991. 土壌窒素発現量簡易予測法を用いた水稻施肥窒素の診断. 土肥誌 62: 439-444.
- 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. 日作紀 75 (別2): 14-15.
- 近藤始彦 2008. コメの白未熟粒の発生要因について. 米麦改良 11: 2-8.
- 今野周・今田孝弘・中山芳明・宮野斉・三浦浩一・高取寛・早坂剛 1991. 登熟期の環境要因及び生育条件が水稻の登熟、収量及び品質に及ぼす影響. 山形農試研報 25: 7-22.
- 松村修 1992. 水田作付体系における地力維持対策. 農業技術 47 (11): 488-492.
- 森田敏・白土宏之・高梨純一・藤田耕之輔 2004. 高温が水稻の登熟に及ぼす影響-穂・茎葉別の高夜温・高昼温処理による解析-. 日作紀 73: 77-83.
- 森田敏 2010. 水稻に及ぼす温暖化の影響と対策技術-西日本を中心とした実態・要因・対策-. 植調 43 (12): 565-573.
- 長戸一雄・江幡守衛 1965. 登熟期の高温が穎果の発育ならびに米質に及ぼす影響. 日作紀 34: 59-65.
- 中川博視・白川美翠・永島秀樹 2006. 炭水化物供給可能量と穂揃期窒素追肥がイネの白未熟粒の発生に及ぼす影響. 日作紀 75 (別2): 12-13.
- 坂井真・岡本正弘・田村克徳・梶亮太・溝淵律子・平林秀介・深浦壮一・西村実・八木忠介 2007. 玄米品質に優れる暖地向き良食味

- 水稻品種「にこまる」の育成について. 育種学研究 9: 67-73.
- 杉浦和彦・井上勝弘・野々山利博・林元樹 2008a. 全量基肥肥料による「コシヒカリ」の白未熟粒発生抑制. 愛知農総試研報 40: 99-105.
- 杉浦和彦・林元樹・小出俊則・井上勝弘 2008b. 愛知県における2007年夏季の高温の影響と今後の課題. 日作紀 77(別 1): 370-371.
- 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. 農業および園芸 81(9): 1012-1018.
- 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.
- 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.
- 渡部富雄・和田潔志・西川康之・長島正・林玲子・伊藤靖之・小原麻里・藤家梓 1998. 早生, 耐冷, 良質・良食味水稻品種「ふさおとめ」の育成. 千葉農試研報 39: 15-26.

Research on the Factors Affecting Kernel Quality of Rice Cultivar ‘Koshihikari’ Cultivated in Aichi Prefecture : Kazuhiko SUGIURA¹⁾, Hiroki HONJO¹⁾, Motoki HAYASHI¹⁾, Toshihiro NONOYAMA¹⁾, Kazumi YAMASHITA¹⁾, Akihiro TORAZAWA¹⁾ and Akira YAMAUCHI²⁾ (¹⁾*Aichi Agricultural Research Center, Nagakute, Aichi 480-1193, Japan;* ²⁾*Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University*)

Abstract : The purpose of this study was to examine the factors deteriorating kernel quality of rice cultivar ‘Koshihikari’ cultivated in Aichi Prefecture. The investigation was executed in 68 fields in 2006–2009. The occurrence of base immature kernels was most prominent among white immature kernels at a high temperature. On the other hand, the occurrence of milky white kernels was less than that of base immature kernels, even in 2009 which was a year with low insolation during the ripening period. Therefore, the quality deterioration of ‘Koshihikari’ in Aichi Prefecture was considered due to the occurrence of base immature kernels. Since the occurrence of base immature kernels positively correlated with average temperature and sunshine durations during the 20 days period after heading, the kernel quality of rice is considered to be greatly influenced by climate. Base immature kernels negatively correlated with the leaf nitrogen content at full heading time, the content of the brown rice protein, and the amount of the nitrogen supply, including the mineralized nitrogen in soil. The amounts of nitrogen fertilizer in the fields were 1.47 g m⁻² that was insufficient compared with the optimum amount of nitrogen fertilizer. Thus, the amount of nitrogen fertilizer was insufficient for Koshihikari cultivation in Aichi prefecture. We concluded that it is necessary to increase the amount of the nitrogen supply to control the occurrence of base immature kernels.

Key words : Base immature kernel, High temperature, ‘Koshihikari’, Leaf nitrogen, Mineralized nitrogen in soil, Nitrogen fertilizer, Nitrogen supply.