

高品質な酒造原料米生産のための「総の舞」の生育特性の解明

太田 和也*・星野 徹也**・西川 康之・在原 克之・小山 豊

キーワード：水稲、酒造好適米、玄米千粒重、心白、タンパク

I 緒 言

清酒の製造において、吟醸酒等の特定名称酒(国税庁)の原料米には、酒造好適米品種が多く用いられている。酒造好適米品種は、粒が大きいこと、心白が存在すること及び吸水性が高いことにおいて一般うるち品種と明確に区別され(斉藤・西澤、1996a)、酒造原料米としての品質(以下、酒造適性とす)に優れる。近年、全国で作付面積が大きい酒造好適米品種は「山田錦」、「五百万石」及び「美山錦」である(農林水産省、2003b)。

しかし、これらの品種を温暖地の早期栽培地帯である本県で栽培しても品種特性を生かすににくく、酒造適性の高い玄米を生産することは難しい。そのため、県内の酒造メーカーでは他県産米を多く使用していたが、他県からの原料米の供給は不安定であること、及び県独自の品種を原料米に使用することで差別化により清酒の付加価値を高められることから、県独自の酒造好適米品種の育成が県内の酒造メーカーから要望されるようになった。

その要望に応えるために、本県初の酒造好適米品種として「総の舞」が2000年に育成され(和田ら、2002;星野ら、2002)、2002年から奨励品種として栽培が開始された。「総の舞」は酒米研究会が実施している酒米全国統一分析結果によっても酒造好適米に分類され、酒造適性が高いことが確認されている(荒巻、2002)。また、熟期は本県における中生であり、耐冷性が強い等の栽培特性にも優れる。

温暖地の早期栽培地帯である本県の場合、水稲の出穂期は概ね7月中旬から下旬であり、一年のうち気温が最も高い期間に登熟期となる。登熟期が高温となる条件は、稲体の生理活性の低下や登熟期間の短縮のため、大粒を特徴とする酒造好適米品種の生育条件としては不相当と

されている(前重、1993)。したがって、本県は酒造好適米品種の栽培地域として必ずしも適しているというわけではない。

そのような条件においても、「総の舞」の玄米は高い酒造適性を示し、酒造好適米として優れた特徴を持っている。しかし、その高い酒造適性を維持するためには、本県の場合、厳しい気象条件であるということを前提に、品種特性に応じた適切な栽培管理を行う必要がある。

そこで本研究では、酒造適性に影響を及ぼす「総の舞」の生育特性を解析した。その結果、酒造適性の高い玄米品質と目標とする収量を得ることができ生育目標値が明らかになったので、ここに報告する。

なお、本研究の開始に当たり、現、千葉県農業総合研究センター企画調整部長の渡部富男博士に有益なご助言を頂いた。ここに記して厚く感謝を申し上げる。

II 材料及び方法

1. 試験1 現地試験における「総の舞」の生育と酒造適性の年次及び圃場間差異

試験は1999年から2001年の3年間、県内における地域の異なる複数の圃場で行った。1999年はA、B、Cの3圃場、2000年はA、B、C、Dの4圃場、2001年はA、B、C、D、E、Fの6圃場とした。

圃場の土性は、A圃場及びE圃場は壤土、C圃場及びD圃場は砂壤土、B圃場及びF圃場は埴土であった。施肥及び移植等の栽培概要は、第1表のとおりとした。

調査は、成熟期(帯緑色歩合15%の時、以下同様)に穂数の計測と坪刈りを行った。坪刈りを行って得られた玄米のうち、粒厚2.0mm以上を精玄米とし、以下の調査に供試した。玄米千粒重は、水分15%に換算して表した。心白発現率は、心白(前重・小林、2000)の大きさが小以上(農林水産省農業研究センター、1995)のものを心白発現粒とし、粒数の割合とした。碎米率は、玄米を試験精米機(テストミルTM-05)により玄米重量対比70%(以下、精米歩合70%とする)になるまで精米し

2004年9月30日受理

* 現 君津農林振興センター

** 産業支援技術研究所

た場合の砕けた粒の重量割合とした。

以上で得られた精米歩合70%の白米について、吸水性(20分)、蒸米吸水率、消化性(Brix)及び粗タンパク含有率を分析した。分析方法は酒造用原料米全国統一分析法(酒米研究会、1996)に従った。なお、粗タンパク含有率は、乾物当たりの窒素含有率に定数5.95を乗じた値とした。

2. 試験2 酒造適性に影響を及ぼす水稻の生育要因の解明

試験は2000年から2002年の3年間、千葉県農業試験場・水田作研究室(現、千葉県農業総合研究センター・生産技術部・水田作研究室)の水田圃場(沖積壤土、中粗粒強グライ土滝尾統)で行った。

試験区は、移植日、基肥窒素施用量、穂肥窒素施用時期及び施用量を第2表のとおり組み合わせて設定した。反復は設定しなかった。

耕種概要は以下のとおりとした。施肥はいずれも速効性の化成肥料を用いた。基肥は代かき時に全面全層施用とし、窒素以外に、リン酸は5.5から8.0kg/10a、加里は5.0から6.0kg/10a施用した。穂肥窒素は試験区による所定期及量とし、同時に加里3.0kg/10aを全ての試験区に施用した。葉令が約2.3(不完全葉を含めず)の稚苗を、栽植密度約18.5本/m²で機械移植した。その他、水管理及び病害虫防除は慣行に従って行った。

穂揃期に葉色を葉色計(SPAD-502 株ミノルタ製)で測定した。各試験区とも20株について、最長稈の上位第3葉を測定した。

成熟期に平均的な穂数の6株を抜き取って一穂粒数を調査し、m²当たり粒数を求めた。

また、坪刈りを行い、得られた玄米のうち粒厚2.0mm以上を精玄米とし、精玄米重、玄米千粒重及び心白発現率を求めた。玄米千粒重と心白発現率の調査方法は試験1と同様とした。さらに、試験1と同様の方法で、精玄米を精米歩合70%に精米し、白米の粗タンパク含有率を求めた。なお、これらの調査は、各試験区について2か所ずつ行い、その平均値で表した。

2002年に、基肥窒素1、4、6 kg/10aの試験区のうち穂肥窒素を出穂前18日に施用した穂数の異なる3試験区について、一穂のうち籾を一次枝梗籾と二次枝梗籾に分け、m²当たりの一次枝梗籾数、二次枝梗籾数及びm²当たり粒数を求めた。さらに、一次枝梗籾と二次枝梗籾に分けて籾すりを行い、篩による選別を行わずに全玄米について、試験1と同様の基準により枝梗別の心白粒数、無心白粒数とそれぞれの割合を求めた。

III 結 果

1. 試験1 現地試験における「総の舞」の生育と酒造適性の年次及び圃場間差異

水稻の生育と玄米、白米の分析結果を第3表に示した。

穂数は、年次、圃場により大きく異なり、272本/m²から483本/m²の範囲に分布した。特に、1999年のA圃場及びC圃場、2000年のA圃場、B圃場及びC圃場、2001年のC圃場で多かった。

玄米千粒重は3年間の平均値と比較して、1999年で軽かった。特に、A圃場で24.0g、C圃場で23.2gと、3年間の平均値の25.2gと比較して1g以上軽かった。

第1表 現地試験(試験1)における栽培概要

年次	圃場	土性	移植日 (月/日)	基肥窒素施用量 (kg/10a)	穂肥窒素	
					施用時期	施用量(kg/10a)
1999	A	壤土	4/30	1.6	-35、-25	0.9、1.7
	B	埴壤土	5/1	4.6	-25	3.6
	C	砂壤土	4/28	9.4	-25	1.1
2000	A	壤土	4/30	1.6	-18	1.7
	B	埴壤土	4/29	4.9	-10	2.7
	C	砂壤土	5/4	堆肥6t	-25	2.0
	D	砂壤土	4/29	1.8	無施用	
2001	A	壤土	5/1	2.0	無施用	
	B	埴壤土	4/29	4.0	-18	2.0
	C	砂壤土	4/28	堆肥4t	無施用	
	D	砂壤土	4/27	1.8	無施用	
	E	壤土	4/26	4.2	無施用	
	F	埴壤土	4/22	5.6	-18	2.6

注1)各圃場とも、植付本数は約4本/株、栽植密度は約18株/m²。

2)穂肥施用時期は出穂前日数を示す(-35:穂首分化期、-25:幼穂形成期、-18:幼穂長1cm、-10:幼穂長10cm)。

第2表 場内試験(試験2)における試験区の構成

年次	移植日 (月/日)	基肥窒素 施用量 (kg/10a)	穂肥窒素	
			施用時期	施用量 (kg/10a)
2000	4/18	2	-25	2
		2	-18	2
		4	-25	2
		4	-18	2
		6	-25	2
		6	-18	2
	5/8	2	-18	2
		4	-18	2
		6	-18	2
		0	無施用	
		0	-25	2
		0	-18	2
2001	4/19	2	-25	2
		2	-18	2
		4	-25	2
		4	-18	2
		6	-18	2
		8	-18	2
	5/7	0	-18	2
		2	-18	2
		4	-18	2
		6	-18	2
		1	-35	2
		1	-25	2
2002	4/18	1	-18	2
		1	-25、-18	各々1
		1	-35、-25、-18	各々0.7
		4	無施用	
		4	-35	2
		4	-25	2
		4	-18	2
		6	無施用	
		6	-18	2

注)穂肥施用時期は出穂前日数を示す(-35:穂首分化期、-25:幼穂形成期、-18:幼穂長1cm)。

心白発現率は3年間の平均値と比較して1999年で低かった。また、圃場間での差が大きく、1999年のC圃場で50%、2000年のB圃場で60%、2001年のC圃場で68%であり、3年間の平均値と比較して低かった。

砕米率は3年間の平均値と比較して、2000年でいずれの圃場とも高かった。しかし、圃場間で大きな差はなかった。

吸水性(20分)は年次間の大きな差はなかったが、圃場間で差が見られ、3年間の平均値と比較して、1999年のC圃場、2000年のB圃場及び2001年のA、C圃場でやや低かった。2001年のA圃場を除くと、吸水性(20分)と心白発現率が低い圃場は同一であった。

蒸米吸水率は、3年間の平均値と比較して、2000年では全圃場ともやや高かった。しかし、圃場間で大きな差はなかった。

消化性(Brix)は、3年間の平均値と比較して、1999年はやや高い傾向であった。一方、2000年は低い傾向で、デンプンの糖化程度がやや劣ることが推定された。また、2001年のA圃場でやや低かった以外には、圃場間での大きな差はなかった。

粗タンパク含有率は3年間の平均値と比較して、2000年はいずれの圃場とも高かった。この他に、1999年のC圃場が6.4%、2001年のA圃場が6.3%であり、各年の平均値と比較して高かった。

2. 試験2 酒造適性に影響を及ぼす水稻の生育要因の解明

(1) 粗タンパク含有率の変動要因

粗タンパク含有率に対する穂揃期の葉色、 m^2 当たり粒数及び玄米千粒重の単相関係数を第4表に示した。穂揃期の葉色とは0.64の高い有意な正の相関関係が、 m^2 当たり粒数とは0.38の有意な正の相関関係が、玄米千粒重とは-0.42の有意な負の相関関係が認められた。

m^2 当たり粒数と粗タンパク含有率との関係を年次別に第1図に示した。2000年及び2001年は、相関係数は低い正の相関関係の傾向が見られ、2002年は $r=0.64^*$ の有意な正の相関関係が認められた。この関係における基肥窒素施用量別の相関係数を第5表に示した。点数が少ないために有意性について判断することはできないが、2000年及び2001年では負の相関関係であった。

玄米千粒重と粗タンパク含有率との関係を年次別に第2図に示した。年次により玄米千粒重及び粗タンパク含有率の分布する範囲は異なったが、玄米千粒重の増大に伴って粗タンパク含有率が低くなる傾向が見られた。2001年は $y=-0.214x+11.04$ ($r=-0.49$)、2002年は $y=-0.197x+10.64$ ($r=-0.54$)の直線で近似され、両年はほぼ同一の直線で近似された。2000年は、玄米千粒重の分布する範囲が25.1gから26.0gと狭かったが、 $y=-0.832x+27.19$ ($r=-0.68^*$)の直線で近似され、有意な負の相関関係が認められた。

第3表 現地試験(試験1)における水稻の生育と、玄米、白米の分析結果

年次	圃場	穂数 (本/ m^2)	玄米千粒 重(g)	心白発現 率(%)	砕米率 (%)	吸水性 (20分)	蒸米吸水 率(%)	消化性 (Brix)	粗タンパク 含有率(%)
1999	A	453	24.0	73	0.9	28.3	34.0	11.0	5.8
	B	347	24.8	75	0.8	28.7	35.0	11.3	5.5
	C	483	23.2	50	1.2	28.1	35.2	10.6	6.4
	平均	428	24.0	66	1.0	28.4	34.7	11.0	5.9
2000	A	445	26.0	75	7.0	29.5	36.5	9.7	6.7
	B	479	25.3	60	5.9	28.0	35.8	9.8	6.4
	C	467	25.7	85	5.0	29.3	36.4	10.0	6.3
	D	371	25.2	65	—	—	—	—	6.9
平均	441	25.6	71	6.0	28.9	36.2	9.8	6.6	
2001	A	426	24.9	73	1.1	27.8	34.3	9.7	6.3
	B	422	25.7	80	1.0	30.0	35.9	10.4	5.6
	C	447	26.0	68	0.7	27.1	34.3	10.6	5.5
	D	327	26.0	85	0.9	28.5	36.2	10.0	5.7
	E	272	25.3	78	1.9	28.9	34.1	10.4	4.9
	F	335	25.8	92	1.1	29.5	34.3	10.5	4.8
平均	371	25.6	79	1.1	28.6	34.9	10.3	5.5	
3年間平均		406	25.2	74	2.3	28.6	35.2	10.3	5.9

注1) 千葉県農業試験場 水田作営農研究室成績書(1999年、2000年)、千葉県農業総合研究センター水稻育種研究室成績書(2001年)、及び産業支援技術研究所研究報告第1号(2003年)から作表。

2) —は欠測値。

(2) 心白発現率の変動要因

心白発現率に対する穂揃期の葉色、 m^2 当たり籾数及び玄米千粒重の単相関係数を第6表に示した。穂揃期の葉色とは $r=-0.65^{**}$ 、 m^2 当たり籾数とは $r=-0.82^{**}$ の高い有意な負の相関関係が認められた。玄米千粒重との単相関係数は $r=-0.07$ であり、有意な関係は認められなかった。

m^2 当たり籾数と心白発現率との関係を年次別に第3図に示した。2000年の単相関係数は $r=-0.62$ と負の相関関係の傾向が見られ、2001年及び2002年の単相関係数はそれぞれ、 $r=-0.85^{**}$ 、 $r=-0.89^{**}$ の高い有意な負の相関関係が認められた。このように、各年次ともに m^2 当たり籾数の増加に伴って心白発現率は低くなった。

玄米千粒重と心白発現率との関係を年次別に第4図に示した。年次により玄米千粒重及び心白発現率の分布する範囲は異なったが、単相関係数は、2000年は $r=0.86^{**}$ 、2001年は $r=0.76^{**}$ 、2002年は $r=0.96^{**}$ であり、各年ともに高い有意な正の相関関係が認められ、玄米千粒重の増加に伴って心白発現率が高くなった。

第4表 粗タンパク含有率に対する単相関係数

穂揃期の葉色	m^2 当たり籾数	玄米千粒重
0.64 **	0.38 *	-0.42 *

注)**、*はそれぞれ、1%、5%水準で有意であることを示す。

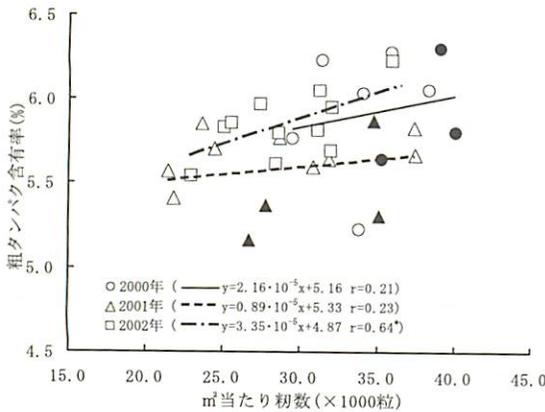
第5表 年次及び基肥窒素施用量の m^2 当たり籾数と粗タンパク含有率の単相関係数 (試験2)

	基肥窒素施用量(kg/10a)				
	0	1	2	4	6
2000年			-0.47	-0.98	-0.22
2001年	-0.49		-0.32	-0.97	-0.68
2002年		0.70		0.70	

第6表 心白発現率に対する単相関係数

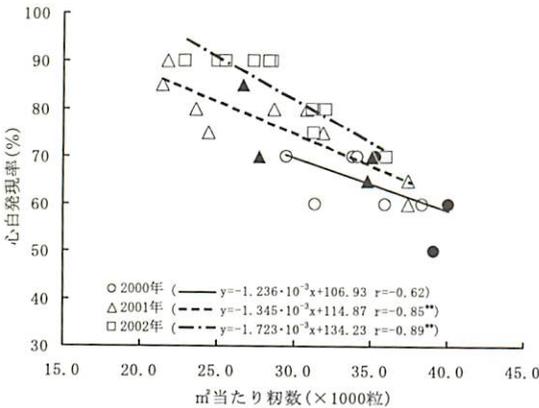
穂揃期の葉色	m^2 当たり籾数	玄米千粒重
-0.65 **	-0.82 **	-0.07

注)**は1%水準で有意であることを示す。



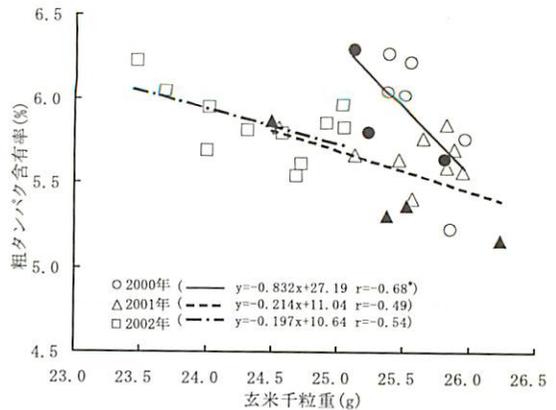
第1図 m^2 当たり籾数と粗タンパク含有率との関係 (試験2)

注1) 白抜きは4/20頃移植、黒塗りは5/10頃移植を示す。
 2) r は単相関係数。*は符号が5%水準で有意であることを示す。無印は有意差無し。



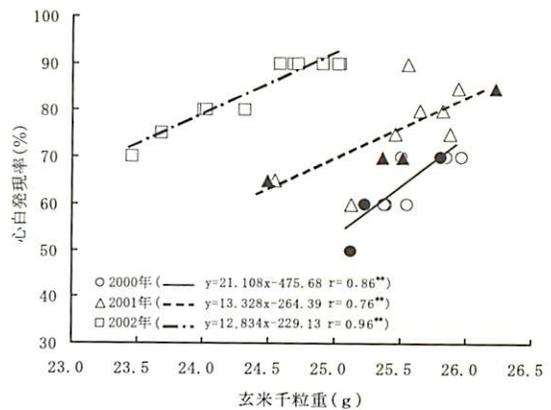
第3図 m^2 当たり籾数と心白発現率との関係 (試験2)

注1) 塗りつぶしは5/10頃移植を示す。
 2) r は単相関係数。**は符号が1%水準で有意であることを示す。無印は有意差無し。



第2図 玄米千粒重と粗タンパク含有率との関係 (試験2)

注1) 白抜きは4/20頃移植、黒塗りは5/10頃移植を示す。
 2) r は単相関係数。*は符号が5%水準で有意であることを示す。無印は有意差無し。



第4図 玄米千粒重と心白発現率との関係 (試験2)

注1) 塗りつぶしは5/10頃移植を示す。
 2) r は単相関係数。*は、符号が1%水準で有意であることを示す。

(3) 枝梗別の心白発現率

2002年に、基肥窒素1、4、6 kg/10aのうち穂肥窒素を出穂前18日に施用した穂数の異なる3試験区について、穂数、一穂粒数、㎡当たり粒数及び枝梗別の心白発現率を第7表に示した。

基肥窒素施用量の増加によって穂数は増加し、基肥窒素施用量1 kg/10aでは381本/㎡、4 kg/10aでは474本/㎡、6 kg/10aでは536本/㎡であった。

一穂粒数との関係を見ると、穂数381本/㎡では72粒、474本/㎡では68粒、536本/㎡では67粒であり、穂数の増加によって一穂粒数は減少傾向を示したが、穂数が381本/㎡の場合を100とすると474本/㎡では94、536本/㎡では93であり、減少の程度は小さかった。その結果、㎡当たり粒数は穂数が381本/㎡の場合を100とすると474本/㎡では117、536本/㎡では131となり、穂数の増加に伴い㎡当たり粒数が増加した。

枝梗別の心白発現率は、穂数が381本/㎡及び474本/㎡の場合には、一次枝梗粉では86%及び79%で、二次枝梗粉では78%及び66%であり、一次枝梗粉の方が高かった。しかし、穂数が536本/㎡の場合には、一次枝梗粉では58%、二次枝梗粉では62%であり、大きな違いは認められなかった。全粒における心白発現率は穂数の増加に伴って低くなり、穂数が381本/㎡では83%、474本/㎡では74%、536本/㎡では60%であった。

穂数の違いによる㎡当たりの枝梗別の心白粒数、無心

白粒数及び不稔粒数を第5図に示した。穂数が381本/㎡及び474本/㎡の場合を比較すると、一次枝梗粉と二次枝梗粉を合わせた心白粒数は同程度であったが、無心白粒数は474本/㎡の方が多かった。穂数が536本/㎡では、381本/㎡及び474本/㎡と比較して、一次枝梗粉と二次枝梗粉を合わせた心白粒数が減少するとともに無心白粒数が増加した。

枝梗別の無心白粒数の増加程度は、穂数が381本/㎡の場合と比較して、穂数が536本/㎡の場合には一次枝梗粉では4.0倍、二次枝梗粉では1.8倍であり、穂数が多い場合の無心白粒数の増加程度は一次枝梗粉の方が著しかった。

(4) ㎡当たり粒数と玄米千粒重及び精玄米重との関係
㎡当たり粒数と玄米千粒重との関係を第6図に示した。年次ごとに見ると両者の関係は二次式で近似され、㎡当たり粒数が28,000粒を上回ると玄米千粒重が低下する傾向が見られた。2000年は生育期間中全般的に高温多照の気象条件であったために、㎡当たり粒数が29,500から40,100粒と多い範囲に分布した。同程度の㎡当たり粒数において他の年次と比較すると、玄米千粒重がやや重かった。

㎡当たり粒数と精玄米重との関係を第7図に示した。2001年及び2002年では、㎡当たり粒数の増加に伴って精玄米重が増加した。また、㎡当たり粒数が25,000粒を下回った場合には、精玄米重が54.0kg/aを下回る場合が多かった。

第7表 基肥窒素施用量別の穂数、一穂粒数、㎡当たり粒数及び枝梗別の心白発現率 (試験2)

基肥窒素施用量 (kg/10a)	穂数 (本/㎡)	一穂粒数 (粒)	㎡当たり粒数 (×1000粒)	心白発現率(%)		
				一次枝梗粉	二次枝梗粉	全粒
1	381 (100)	72 (100)	27.4 (100)	86 (100)	78 (100)	83 (100)
4	474 (124)	68 (94)	32.0 (117)	79 (92)	66 (84)	74 (90)
6	536 (141)	67 (93)	36.0 (131)	58 (68)	62 (79)	60 (72)

注1) 2002年の試験区のうち、穂肥窒素施用時期が出穂前18日(窒素施用量は2kg/10a)の区について。

2) ()の数値は、基肥窒素施用量1kg/10aの値を100とした場合の指数。

IV 考 察

1. 現地試験における「総の舞」の生育と酒造適性の年次及び圃場間差異

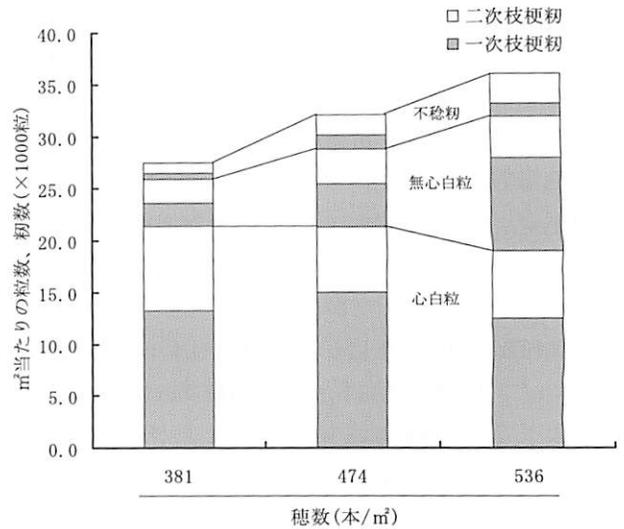
酒造適性を評価する項目として、「酒造適性基準値」が設定されている(斉藤・西澤, 1996b)。これは、玄米千粒重、吸水性(20分)、蒸米吸水率、消化性及び粗タンパク含有率において、酒造に適する範囲がそれぞれ定められているものである。また、心白は吸水性や麹菌のハゼ込みに関与することから、酒造適性を評価する際に重要な項目である(家村ら, 1996; 柳内ら, 1993)。

本試験では、これらのうち玄米千粒重、心白発現率、吸水性(20分)及び粗タンパク含有率の値には、年次や圃場による変動が認められた。また、蒸米吸水率、消化性及び碎米率には、年次間差がみられたものの、圃場間差は小さかった。年次による変動は主として気象条件の違いによるものであり、圃場による変動は土壌条件や栽培条件の違いによるものと推定され、それらの要因が水稻の生育に影響を及ぼし、酒造適性に関する分析値が変動したと見ることができる。

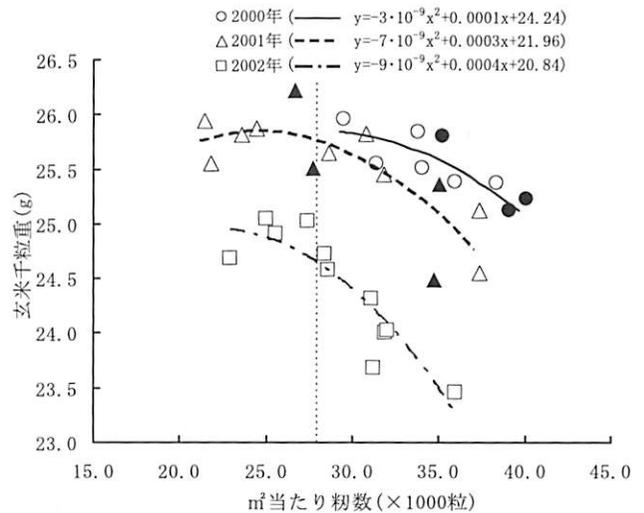
なお、心白の発現が多いと吸水性(20分)の値が高くなるとされている(家村ら, 1996)。第3表においても、吸水性(20分)の値がやや低い1999年のC圃場、2000年のB圃場及び2001年のC圃場では心白発現率も低く、家村らの報告の内容と一致した。

また、本試験では明確な傾向は認められなかったが、心白が存在すると蒸米吸水率及び消化性が高くなる(柳内, 1996)。これは、米粒内部のデンプン粒子の間隙が大きいことによるとされている。消化性はまた、出穂期以降の最高気温が高いほど低下することも報告されている(岡崎ら, 1989)。本試験において2000年は消化性の値が低かったが、この年は出穂期以降高温傾向であり、報告の内容と一致する。このことから、消化性は、心白の存在の有無という水稻の生育要因以外に、登熟期間の気象の影響も受けたと推測される。

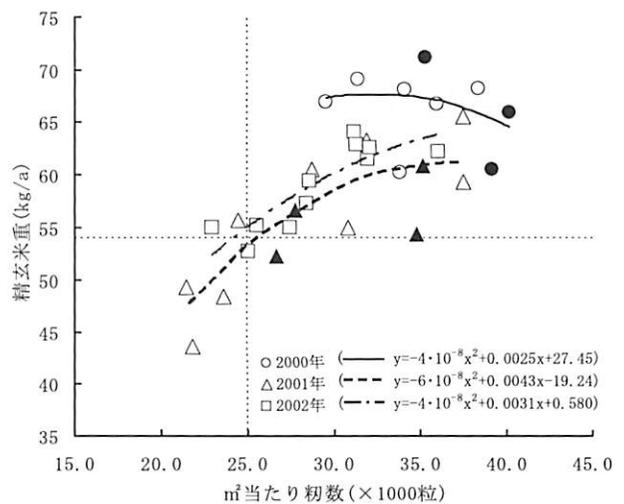
一般うるち品種では、収穫前の気象条件や乾燥により胴割れが発生する(長田ら, 2004; 佐藤, 1964)。酒造好適米品種では、一般うるち品種よりも精米歩合を低くすることから、胴割れが碎米につながりやすいと考えられる。このことから、本試験で碎米率の年次間差が大きかったことは、気象条件の影響が大きいと考えられる。なお、2000年においては、機種は同じであるものの、異なる精米機を用いており、その影響もあると推測される。



第5図 穂数の違いによるm²当たりの枝梗別の心白粒数、無心白粒数及び不稔粒数(試験2)



第6図 m²当たり粒数と玄米千粒重との関係(試験2)
注) 塗りつぶしは5/10頃移植を示す。



第7図 m²当たり粒数と精玄米重との関係(試験2)
注) 塗りつぶしは5/10頃移植を示す。

以上のことから、水稻の生育と酒造適性との関係を論じる場合、酒造適性に関する項目は、粗タンパク含有率、心白発現率及び玄米千粒重に集約できると考えられる。したがって、ここでは主にこれらに着目して水稻の生育との関係を検討する。

2. 酒造適性に影響を及ぼす水稻の生育要因と目標生育量の解明

酒造好適米品種に求められる品質として、粗タンパク含有率が高すぎないこと、心白発現率が高いこと及び粒が大きいこと（玄米千粒重が重いこと）が必要であるとされている（前重・小林，2000）。これら3項目について水稻の生育との関係を解析し、酒造適性の高い玄米を生産するための適正な生育量を明らかにする。

(1) 粗タンパク含有率の変動要因

m^2 当たり粗数と粗タンパク含有率の間には有意な正の相関関係が（第4表、第1図）、玄米千粒重と粗タンパク含有率の間には負の相関関係が認められた（第4表、第2図）。さらに、 m^2 当たり粗数と玄米千粒重の間には負の関係があることから（第6図）、 m^2 当たり粗数の増加が玄米千粒重の低下につながり、その結果、粗タンパク含有率が高くなったと考えられる。

一方で、基肥窒素施用量別に m^2 当たり粗数と粗タンパク含有率との関係を見ると、2000年及び2001年では負の相関関係を示し（第5表）、第4表及び第1図における正の相関関係とは異なる結果であった。

粗タンパク含有率は、籾生産効率で決まる籾1粒当たりの粗タンパク含有量と、籾1粒当たりに蓄積する炭水化物による希釈の2つの要因によって決まるとされている（藤井ら，2001）。籾生産効率とは m^2 当たり粗数を穂揃期の稲体の窒素含有量で除した値で、この値が大きいほど籾1粒当たりに蓄積する窒素量、すなわち粗タンパク含有量が少なくなるとされている（松田ら，1997）。本試験では、基肥窒素施用量別に見た場合、 m^2 当たり粗数の増加に伴って粗タンパク含有率が低下する傾向がみられた。このことは m^2 当たり粗数の増加に伴って籾生産効率が高くなったことを示唆している。

したがって、最小限の窒素施用量によって、穂揃期の稲体窒素含有量を高めずに、玄米千粒重の低下が生じない範囲でより多くの粗数を確保することが、粗タンパク含有率を高くしないために重要であると考えられた。

(2) 心白発現率の変動要因

玄米千粒重と心白発現率との関係は、年次を込みにした場合には相関関係は認められなかったが（第6表）、年次別に見るといずれの年次も高い正の相関関係が認められた（第4図）。これは、年次により玄米千粒重の分布

範囲が異なったことによると考えられる。

穂揃期の葉色と心白発現率とは負の相関関係が認められたことから（第6表）、稲体の窒素吸収量の増加に伴って m^2 当たり粗数が増加すると玄米千粒重が軽くなり、心白発現率が低下すると考えられる。

なお、玄米千粒重が軽かった2002年は「コシヒカリ」でも乳白粒等の未熟粒が多発生し、一等米比率が58%と著しく低下するなど（農林水産省，2003a）、登熟が不良となる特異な年次であったことが推測される。

(3) 枝梗別の心白発現率

心白発現率は m^2 当たり粗数との間に高い有意な負の相関関係が認められた（第6表、第3図）。さらに、 m^2 当たり粗数が増加した場合、心白発現率は一次枝梗籾、二次枝梗籾の両方で低下し、特に一次枝梗籾において心白粒の減少と無心白粒の増加の程度が著しかった（第5図）。

通常、一次枝梗籾の心白発現率は二次枝梗籾と比較して高く（長戸，1953）、これは強勢な穎花では籾殻の生長や炭水化物の蓄積の程度が大きいためであるとされている（長戸・江幡，1959）。一方、本試験では、 m^2 当たり粗数が増加した場合には、二次枝梗籾だけではなく一次枝梗籾においても心白発現率が低下し、特に無心白粒の増加の程度は一次枝梗籾の方が著しかった。これは、穎花数の過剰により、強勢な穎花の多い一次枝梗籾においても玄米の生長が抑制されたためと考えられる。

(4) 玄米千粒重の目標値

登熟の良好な強勢穎花では心白発現率が高い（長戸・江幡，1959）。本試験においても、玄米千粒重と心白発現率とは正の相関関係が認められた。

また、玄米千粒重の小さい弱勢穎花では粗タンパク含有率が高い（松江・尾形，1999）。本試験では玄米千粒重と粗タンパク含有率の間には負の相関関係が認められ、この内容と一致した。

このように、玄米千粒重は心白発現率と粗タンパク含有率の両方に関係していた。玄米千粒重が大きいことはそれ自体が酒造適性が高いと評価される一つの要因であるとともに、心白発現率が高く、粗タンパク含有率が低いことを伴うことが明らかになった。したがって、玄米千粒重は酒造適性を評価する上で重要な要因であると判断される。

m^2 当たり粗数が28,000粒を上回ると、2001年では玄米千粒重が25.5gを下回り、2002年では24.5gを下回る場合が多かった。一方、玄米千粒重の上限は、2000年及び2001年では26.0g程度まで分布した（第6図）。2002年は前述のとおり特異な年次であったことから、酒造適性の高い玄米を安定して得るための玄米千粒重の目標値は、25.5から26.0gが適当であると考えられる。

(5) 酒造適性の高い玄米を生産するための目標生育量目標とする25.5から26.0gの玄米千粒重を得るための㎡当たり籾数の上限値は28,000粒と考えられた。一方、目標とする54.0から60.0kg/aの収量を確保するためには、㎡当たり籾数は25,000粒以上が必要であった。したがって、㎡当たり籾数の適正な範囲は25,000から28,000粒となる。

さらに㎡当たり籾数は、穂数と一穂籾数との積として表される。一般に、穂数の増加に伴って補償作用が働き、一穂籾数は減少する。しかし「総の舞」では、穂数が増加しても一穂籾数の減少程度は小さく、この結果、穂数の増加が㎡当たり籾数の増加につながった(第7表)。

一穂籾数は穎花分化期における稲体の窒素含有率に影響を受け、窒素含有率が高いと増加するとされている(和田, 1969)。「総の舞」は、形態的特性として、分けつ期の葉色は「濃緑」であり他の奨励品種と比較して濃いことから(和田ら, 2002)、穎花分化期頃においても稲体の窒素含有率が高いと推測される。このため、穂数が多い場合でも稲体の窒素含有率が低下せず、「総の舞」は一穂籾数が減少しにくい特性があるものと推測される。

㎡当たり籾数が25,000から28,000粒の適正範囲にある場合の一穂籾数は、2002年は約70粒(第7表)、2000年及び2001年は70から75粒であった。したがって、㎡当たり籾数は穂数でほぼ決定し、穂数の適正な範囲は約350から400本/㎡であると考えられる。

なお、第3表において穂数が概ね450本/㎡以上の圃場について見ると、1999年のC圃場、2000年のB圃場、2001年のC圃場は心白発現率が低かった。1999年のA圃場は心白発現率の著しい低下は認められなかったが、玄米千粒重が小さかった。これらの圃場では、穂数の過剰が㎡当たり籾数の過剰につながったと推測される。

以上のように、「総の舞」では穂数の過剰により㎡当たり籾数が過剰になりやすい。この場合、玄米千粒重の低下と、一次枝梗籾、二次枝梗籾の両者における心白発現率の低下につながり、酒造適性に悪影響を及ぼすことが明らかになった。したがって、「総の舞」の栽培に際しては、粗タンパク含有率低減の意味からも、基肥窒素は適正な穂数を確保することができる最低限の施用量とし、茎数の増加に応じた中干し等の生育制御を行って穂数を過剰にしないことが重要であると考えられる。

温暖地の早期栽培では登熟期間が高温になりやすく、従来の酒造好適米品種の栽培は難しかったが、「総の舞」の導入と、本研究により明らかになった、酒造適性を重視した本品種の目標生育量を達成することにより、酒造適性の高い玄米の生産が可能であると考えられる。

なお、酒造適性に関する項目のうち、碎米率は、年次

変動に関わる気象条件のような何らかの影響を受けて変動することが推測されたが、本研究では生育との関係は明らかにできなかった。「総の舞」の栽培において、酒造適性のより高い玄米の生産を行うために、この点について引き続き、解析を行っている。

V 摘 要

酒造好適米品種「総の舞」において、酒造原料として品質の高い玄米を安定して生産することを目的として、酒造適性に及ぼす水稻の生育要因を検討した。

1. 酒造適性に大きく関係するとされている玄米千粒重、心白発現率、碎米率、吸水性(20分)、蒸米吸水率、消化性及び粗タンパク含有率は、年次や圃場により変動した。このうち、玄米千粒重、心白発現率及び粗タンパク含有率が水稻の生育に大きく影響されることが推測された。
2. 玄米千粒重の増大に伴って心白発現率が高く、一方で粗タンパク含有率が低くなり、水稻の生育と酒造適性との関係を検討する場合、玄米千粒重は重要な要因であると判断された。酒造適性の高い玄米を生産するために、「総の舞」の目標とする玄米千粒重は25.5から26.0gが適当であると認められた。
3. 酒造適性の高い玄米を得ることができる25.5から26.0gの玄米千粒重と、目標とする54.0から60.0kg/aの収量を確保するためには、㎡当たり籾数は25,000から28,000粒が適正であった。この㎡当たり籾数を得ることができる穂数の目標値は、350から400本/㎡が適当であると考えられた。
4. 「総の舞」の品種特性として一穂籾数の変動幅が小さいために、穂数の増加が㎡当たり籾数の増加につながりやすいことが明らかになった。㎡当たり籾数が過剰になった場合、玄米千粒重や心白発現率が低下して酒造適性が不良になることから、栽培管理においては穂数の過剰を避けることが重要であることが示された。

VI 引用文献

- 荒巻 功(2002). 酒米全国統一分析結果の解析. 酒米懇談会講演要旨集. 26. 6-27.
- 藤井弘志・松田裕之・安藤 豊・横山克至・森 静香・高取 寛・渡部幸一郎(2001). 良食味米生産のための施肥・栽培条件(1). 農業および園芸. 76(10). 1092-1098.
- 星野徹也・飯嶋直人・中田裕之・加藤茂宏・小山 豊・和田潔志・西川康之・林 玲子・太田和也・齋藤幸

- 一(2002). 酒造好適米品種の開発～「総の舞」の醸造適性試験～. 千葉県工業試験場研究報告. 16. 24-28.
- 星野徹也・飯嶋直人・中田裕之・三宅幸一・小山 豊・和田潔志・西川康之・林 玲子・齋藤幸一・太田和也(2003). 酒造好適米新品種「総の舞」の現地試験醸造結果. 千葉県産業支援技術研究所研究報告. 1. 14-24.
- 家村芳次・藤田栄信(1982). 千粒重と粗蛋白質および心白面積も含めた表面積による評価法の検討 酒造原料米の評価についての研究(第2報). 醸造協会誌. 77(4). 260-264.
- 家村芳次・影山由香里・松永恒司・原 昌道(1996). アミロース含量, 心白および腹白が白米の吸水性に及ぼす影響. 醸造協会誌. 91(7). 515-520
- 国税庁. 清酒の製法品質表示基準(国税庁告示第8号 平成元年11月制定、平成15年10月31日改正)
- 前重道雅(1993). 酒米の生産技術改善に関する研究. 広島県立農業技術センター研究報告. 56. 1-126
- 前重道雅・小林信也 編著(2000). 最新 日本の酒米と酒造り. 養賢堂. 東京. 1-319.
- 松田裕之・藤井弘志・柴田康志・小南 力・長谷川愿・大淵光一・安藤 豊(1997). 水稻の窒素吸収量からみた籾生産効率と精米中のタンパク質含有率の関係. 土肥誌. 68(5). 501-507.
- 松江勇次・尾形武文(1999). 栽培条件が穂上位位置別の米粒のタンパク質含有率に与える影響. 日作紀. 68(3). 370-374.
- 長田健二・滝田 正・吉永悟志・寺島一男・福田あかり(2004). 登熟初期の気温が米粒の胴割れ発生におよぼす影響. 日作紀. 73(3). 336-342.
- 長戸一雄(1953). 心白・乳白米及び腹白の発生に関する研究. 日作紀. 21(1). 26-27.
- 長戸一雄・江幡守衛(1959). 心白米に関する研究 第1報 心白米の発生. 日作紀. 27. 49-51.
- 農林水産省(2003a). 平成14年産米の検査結果(速報値). 2003年2月末日現在.
- 農林水産省(2003b). 平成15年産水稻の品種別作付状況(速報).
- 農林水産省農業研究センター(1995). 稲育種マニュアル. 農業研究センター研究資料. 30. 66-67. 茨城.
- 岡崎直人・君塚 敦・木崎康造・小林信也(1989). 酒造原料米の醸造適性と気象条件の関係. 醸造協会誌. 84(11). 800-806.
- 齊藤博之・西澤直行(1996a). 酒造好適米と一般米を判別する方法. 醸造協会誌. 91(2). 123-129.
- 齊藤博之・西澤直行(1996b). 新品種酒造米の酒造適性を推定する方法. 醸造協会誌. 91(10). 737-744.
- 酒米研究会(1996). 酒造用原料米全国統一分析法. 酒米研究会.
- 佐藤正夫(1964). 籾の胴割れ機構について. 農業及び園芸. 39 (9). 1421-1422.
- 和田源七(1969). 水稻収量成立におよぼす窒素栄養の影響—とくに出穂期以後の窒素の重要性について—. 農技研報. A16. 27-167.
- 和田潔志・小山 豊・西川康之・林 玲子・渡部富男・長島 正・星野徹也・中田裕之・飯嶋直人・加藤茂宏(2002). 酒造好適米用水稻新品種「総の舞」の育成. 千葉農総研研報. 1. 79-90.
- 柳内敏靖・福田 潔・長野知子・中村智美・宮崎紀子・水間智哉・清川良文・若井芳則(1993). 原料米の製麴適性. 醸造協会誌. 88(12). 977-983.
- 柳内敏靖(1996). 酒米特性に及ぼす酒造好適米の心白の影響. 生工. 74 (2). 97-103.

Elucidation of the Growth Characteristics of cv. “Fusanomai” for the Production of High-quality Rice for Sake Making

Kazuya O^TA*, Tetsuya HOSHINO**, Yasuyuki NISHIKAWA,
Katsuyuki ARIHARA and Yutaka KOYAMA

key word : Rice, Rice suitable for Sake brewing, 1000 grain weight of brown rice, White core, Protein

Summary

We investigated growth factors of rice that affect properties of rice for Sake making in cv. “Fusanomai” suitable for Sake brewing for the stable production of high-quality brown rice for Sake making

1. Factors that are thought to significantly affect properties of rice for Sake making, namely, 1000 grain weight of brown rice, the rate of white core, the rate of broken rice, water absorption for 20 minutes, water absorption of steamed rice, digestibility and crude protein content, fluctuated according to years and paddy fields. It was suggested that 1000 grain weight of brown rice, the rate of white core and crude protein content were significantly affected by the growth of rice.
2. Along with the increase of 1000 grain weight of brown rice, the rate of white core increased, and on the other hand, crude protein content decreased. Thus, it was concluded that 1000 grain weight of brown rice is an important factor when examining the relation between the growth of rice and properties of rice for Sake making. It was confirmed that 25.5 to 26.0 g was proper as the target 1000 grain weight of brown rice of cv. “Fusanomai” for the production of high quality brown rice for Sake making.
3. To ensure 1000 grain weight of brown rice of from 25.5 g to 26.0 g, from which high-quality brown rice for Sake making can be obtained, and the target yield of from 54.0 kg/a to 60.0 kg/a, the proper number of spikelet per square meters was from 25000 to 28000. It was considered that from 350 to 400 was proper for the target number of panicle per square meters to obtain this number of spikelet per square meters.
4. It was revealed that since the fluctuation range of the number of spikelet per panicle is narrow as varietal characteristics of cv. “Fusanomai”, the increase of the number of panicle per square meters showed the tendency to cause the increase of the number of spikelet per square meters. In case the number of spikelet per square meters is too many, properties of rice for Sake making become worse by the decrease of 1000 grain weight of brown rice and of the rate of white core. Therefore, it was indicated that it's important in the management of cultivation to avoid the excess of the number of panicle per square meters.

(*Present Address : Kimitsu Agriculture and Forestry Promotion Center, **Chiba Industrial Technology Research Institute)