易消化タンパク質の少ない水稲新品種‘媛育83号’

水口聡　中矢夏子

A New rice variety with low levels of easy-to-digest protein, ‘Himeiku 83'

MINAKUCHI Satoshi and NAKAYA Natsuko

要　旨

易消化タンパク質含有量が少ない中生品種の育成を目標に，2012年に愛媛県農林水産研究所において，グルテリン低減遺伝子*Lgc1*とグロブリン欠失遺伝子*glb1*を併せ持つ‘中国188号’を母とし，タンパク質含有率が低く食味が良好な‘媛育71号’を父として交配し，DNAマーカーにより両遺伝子を併せ持つ個体を選抜しながら‘媛育71号’を4回戻し交配することで*Lgc1*と*glb1*の両遺伝子に関する準同質遺伝子系統を作出し，2020年に‘媛育83号’を育成した．

本品種は愛媛県では中生のうるち種である．‘ヒノヒカリ’よりも出穂期が2日，成熟期は7日程度遅い．‘ヒノヒカリ’と比べて稈長は長く，穂長はやや長，穂数はやや少であり，草型は偏穂重型である．耐倒伏性は中で，いもち病のほ場抵抗性の評価は葉いもちがやや強である．収量は‘ヒノヒカリ’より14%多い．千粒重は‘ヒノヒカリ’よりも0.5g軽く，玄米の外観品質は‘ヒノヒカリ’よりやや劣る．玄米中の総タンパク質含有率は‘媛育71号’と同程度で‘ヒノヒカリ’より10%程度少ない．易消化タンパク質であるグロブリンはなく，グルテリンは‘ヒノヒカリ’より少ない．また，難消化タンパク質であるプロラミンは‘ヒノヒカリ’より多く蓄積する．炊飯米は‘コシヒカリ’や‘ヒノヒカリ’と比べてやや粘りが少ないものの，総合評価は同等である．

キーワード：水稲，‘媛育83号’，タンパク質，低グルテリン，グロブリン欠失，腎疾患

Abstract

‘Himeiku 83’ is a new paddy rice variety developed at Ehime Research Institute of Agriculture, Forestry and Fisheries in 2020. The variety was selected from ‘Himeiku 71’ near-isogenic lines harboring *Lgc1* mutation, reducing the glutelin content, and *glb1* mutation, causing the deficiency of globlin. In order to develop the near-isogenic lines, ‘Himeiku 71’ was used as the recurrent parent for incorporation of *Lgc1* and *glb1* genes from ‘Chugoku 188’, the donor parent. Characteristics of ‘Himeiku 71’ are high yielding, good eating quality and low protein content in the starchy endosperm of rice seeds. Characteristics of ‘Himeiku 83’ are as follows:

1. It is non-glutinous rice variety. Its maturity is classified as medium in Ehime prefecture. Its heading date is two days later and its maturing date is seven days later than those of ‘Hinohikari’, a standard medium maturing variety in Ehime prefecture.
2. Its culm length is longer than that of ‘Hinohikari’. Its panicle length is slightly longer than that of ‘Hinohikari’. It has less panicles per unit area than ‘Hinohikari’. Its plant type is partial panicle length type. Its resistance to lodging is medium. It has slightly high field resistance to rice blast in our upland nursery.
3. Its yield of brown rice is about 14% greater than that of ‘Hinohikari’. Its weight of 1,000 grains is slightly smaller than that of ‘Hinohikari’. Its grain appearance and its grain quality are inferior to those of ‘Hinohikari’.
4. Its protein content in the brown rice is 10% lower to that of ‘Hinohikari’. Content of glutelin, which is an easy-to-digest protein, is lower than that of ‘Hinohikari’. Globlin, which is an easy-to-digest protein, is deficient. Content of prolamin, which is an hard-to-digest protein, is higher than that of ‘Hinohikari’.

1．緒　言

総務省の人口推計によると，本県の高齢化率（65歳以上人口割合）は33.0%で全国10位（2019年）と高齢化が進展する中，糖尿病や腎疾患の患者が多いことが問題となっている．厚生労働省の患者調査によると，10万人あたりの糖尿病受療率（入院および外来）は四国および九州で特に高く，本県では2017年に7,046人（全国16位）である．また，日本透析医学会によると，本県の100万人あたりの透析患者数は2009年に2,311人（全国20位）だったが，2018年には2,974人（全国15位）と増加の一途をたどっている．糖尿病の慢性合併症である糖尿病性腎症が増加していることから，今後さらに腎疾患患者は増加することが予想される．一方，人工透析治療を受けている人は全国で33万人を超え，その医療費は1兆6千億円以上となっており，食事療法等により病状の悪化を遅らせて，人工透析患者の増加を抑えることが重要となっている．

腎疾患の食事療法ではタンパク質摂取量を低減させることがポイントであり（Ideura *et al.*, 2007），日本腎臓学会では慢性腎臓病のステージごとに食事療法におけるタンパク摂取量基準を定めている（日本腎臓学会，2014）．例えば，透析前のステージ3bからステージ5では体重1kgあたり一日のタンパク質摂取量は0.6gから0.8gが推奨されている．これは体重50kgの人なら一日に30～40g程度となる．日本人の主食である米にもタンパク質は含まれており，180gのごはんに約4.5gのタンパク質が含まれるため，ごはんを３食食べるとそれだけで一日の目安の約40%を米から摂ることになる．そのため，乳酸菌等であらかじめタンパク質を分解した低タンパクごはんが販売されているが，高価で食味が良くないことから，患者の大きな不満となっている．

米タンパク質はデンプン性胚乳に存在する２種類のプロテインボディ（PB），すなわちPB-IとPB-IIに特異的に集積し（Tanaka *et al.*, 1980），PB-Iには見かけの分子量で10kDa，13kDaおよび16kDaの低分子ポリペプチドが集積するが，これらはすべてプロラミンである（Ogawa *et al.*, 1987）．一方，PB-IIには見かけの分子量で22～23kDa，26kDaおよび37～39kDaのポリペプチドが集積しており，22～23kDaおよび37～39kDaポリペプチドはグルテリンで，26kDaポリペプチドはグロブリンである（Tanaka *et al.*, 1980）．22～23kDaおよび37～39kDaのグルテリンは57kDaグルテリン前駆体がプロセッシングを受けて生成される（Yamagata *et al.*, 1982, Sarker *et al.*, 1986）．

PB-Iではプロラミンポリペプチドが合成と同時に小胞体膜内に層状に積み重ねられ，10，16および13a（kDa）ポリペプチドがS-S結合によって互いに強固な結合を形成し，それらと主要な13kDaのプロラミンとが互いに強い疎水結合を形成し，物理的に強固な構造を取っていると考えられており（Ogawa *et al.*, 1990），PB-Iは人体内では消化されず体外に排出されることが明らかとなっている（Tanaka *et al.*, 1975）．

一方，PB-IIでは，見かけの分子サイズ57kDaの前駆体ポリペプチドとして膜結合型のポリゾーム上でまず合成され,ゴルジ体（Yamagata *et al.*, 1982）（Krishnan *et al.*, 1986）を経由して液胞内に輸送され,その際約20kDaと約40kDaの2つのサブユニットに開裂される.またPB-IIに存在する特異的な26kDaのポリペプチドも膜結合のポリゾーム上で合成されるが,グルテリンと異なり前駆体として合成はされない（Krishnan *et al.*, 1986）．PB-IIを電子顕微鏡で詳しく観察すると，電子密度の大きなグルテリンのブロックが寄せ集まった状態を作っており，吸水した時，PB-II内のそれらのブロック間が離れ，PB-II全体の構造が壊れやすくなると考えられている．実際に圧力釜で炊いた米の内部構造を電子顕微鏡で調べると，PB-IIはデンプン同様その構造は完全に破壊されるが，PB-Iの形態は保たれることが確認されている（田中・小川，1986）．

したがって，グルテリンやグロブリンのような易消化タンパク質で構成されるPB-Ⅱが少なく，プロラミンのような難消化タンパク質が多い米はカロリーはそのままでタンパク質摂取量を低減できる可能性がある．

これに対して，イネにおいて優性突然変異遺伝子*Lgcl*の利用により胚乳中のグルテリンを低減させた低グルテリン品種‘エルジーシー1’（西村，2000）や‘春陽’（上原ら，2002).が育成されており，グルテリン低減遺伝子*Lgcl*とグロブリン欠失遺伝子*glb1*の利用によりグルテリン低減と26kDaグロブリン欠失の両方の特性を持つ‘エルジーシー活’および‘エルジーシー潤’（西村，2004；Nishimura *et al.*, 2005）が育成されている．これらの品種はヒトの体内で吸収されるタンパク質を低減させる特

徴を持ち，低タンパク質米として腎不全患者の病態食として臨床的に有効であることが報告されている（望月・原，2000；上原ら，2002）．これらの品種ではデンプン米や乳酸菌等による低タンパク加工米と比べると食味は向上しているが，最近のコメの食味に対する要求においてはまだ不十分でありさらに食味の向上が望まれている．また，さらなる低タンパク質化した品種が実現できれば，腎疾患の食事療法でタンパク質摂取制限が必要な患者にとって福音となる．

本県育成の‘媛育71号’はタンパク質含有率が低く多収で食味が良好な特長を持つ（水口ら，2016）．また，グルテリン低減遺伝子*Lgc1*とグロブリン欠失遺伝子*glb1*のDNAマーカーが開発されている（Morita *et al.*, 2009）ことから，低タンパク質品種‘媛育71号’にこれら２つの遺伝子を持たせることで，より易消化タンパク質含有量が少なく多収で良食味なオリジナル品種を育成したので，その育成経過と品種特性について報告する．

２．育種目標および育成経過

‘媛育83号’は，易消化タンパク質含有量が少ない中生品種の育成を目標に，2012年に愛媛県農林水産研究所で‘中国188号’を母とし‘媛育71号’を父として交配した組み合わせに由来する（図1）．‘中国188号’はグルテリン低減遺伝子*Lgc1*とグロブリン欠失遺伝子*glb1*を併せ持つ農研機構西日本農業研究センターが育成した系統で，‘媛育71号’はタンパク質含有量が少なく多収の本県育成品種である．育成にはDNAマーカー選抜と連続戻し交配法を用いた．グルテリン低減遺伝子*Lgc1*とグロブリン欠失遺伝子*glb1*の検出にはMorita *et al.*（2009）が開発した表1のような塩基配列のプライマーを用いた．グロブリン欠失遺伝子*glb1*の検出ではPCRのバンドがクリアでない場合があったため，SDS-PAGEによるタンパク質の確認を併用した（Laemmli, 1970）（図2～5）．また，育種年限を短縮するため，世代短縮温室を活用して年２回の交配および世代促進を実施した．

選抜経過を表2に示した．すなわち，2012年に交配，翌2013年春に，F1に‘媛育71号’を戻し交配してB1F1を養成し，これらの中からDNAマーカーを用いて*Lgc1*と*glb1*を併せ持つ個体を選抜し，同年秋に再度‘媛育71号’を戻し交配した．2014年春および2015年春にも同じように戻し交配を実施し，*Lgc1*と*glb1*を併せ持つB4F1個体を得た．2015年秋から2016年にかけて世代を進め，*Lgc1*と*glb1*を併せ持つB4F4を得た．2017年にB4F5においてDNAマーカーによる個体選抜を行い，*Lgc1*と*glb1*を併せ持つ25個体からの種子を個体ごとにすべて採取し，翌2018年の系統選抜および生産力検定に供試した．2018年の生産力検定において，供試した25系統のうち‘媛系1499’の系統番号を付したものについて，易消化タンパク質が少なく食味評価も良好であることから，B4F6世代で‘媛育83号’の系統名を付した．2019年に奨励品種決定調査本調査と同様の試験に供試し，易消化タンパク質含有量が低く，食味・生育・収量に問題がないことを確認するとともに，B4F7世代で固定していることを確認（表3～6，図6）した後，2020年11月9日に品種登録出願を行った．

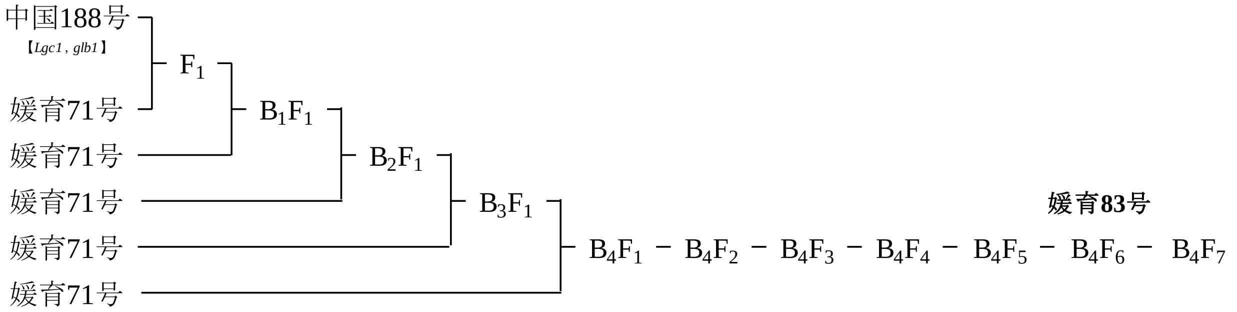

図1　‘媛育83号’の系譜

表1　遺伝子の検出に使用したプライマーの塩基配列

プライマー名	塩基配列（5’-3’）	検出遺伝子
GLBd-F2	GAGAACAGAGGAACAGAGATGTT	*glb1*あり
GLBd-R2	TGAGGTGTCCTCTCCTCTTTTAG	
GLBw-F	CAATGGCTAGCAAGGTCGTCT	*glb1*なし
GLBw-R	CAAGCCAGCTAAGCCTAGTAC	
LGCd-F2	CGGGTAAAGAATGGCCTTAAAC	*Lgc1*あり
LGCd-R2	ATTTGGTCATACTAGTCTAGTT	
LGCw-F	GCAAGCACGAAGCCTTAAGA	*Lgc1*なし
LGCw-R	TGAGTCCACAGTTGATTGCT	

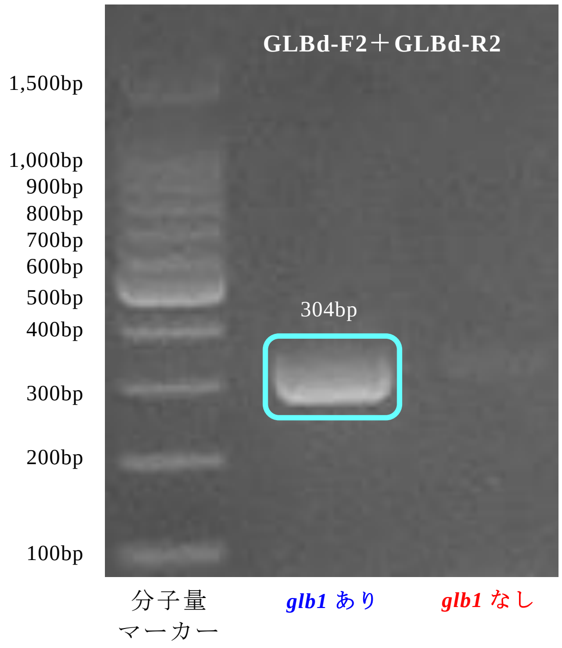

図 2　DNA マーカー（GLBd-F2＋GLBd-R2）による グロブリン欠失遺伝子 *glb1* の検出

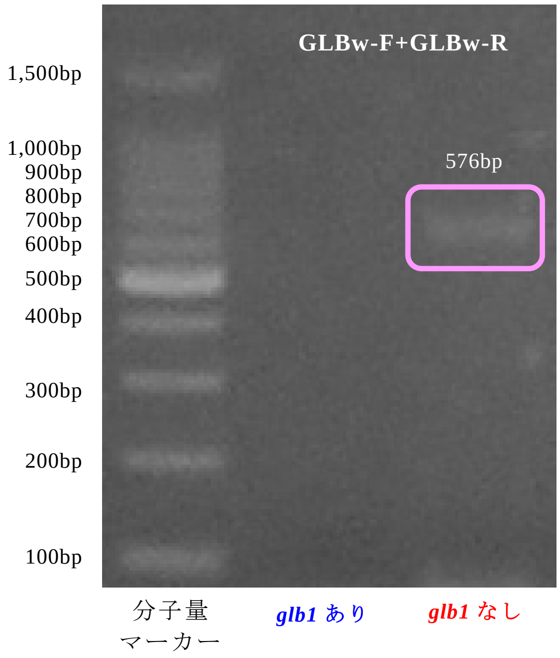

図3　DNAマーカー（GLBw-F+GLBw-R）による グロブリン欠失遺伝子*glb1*がないことの確認

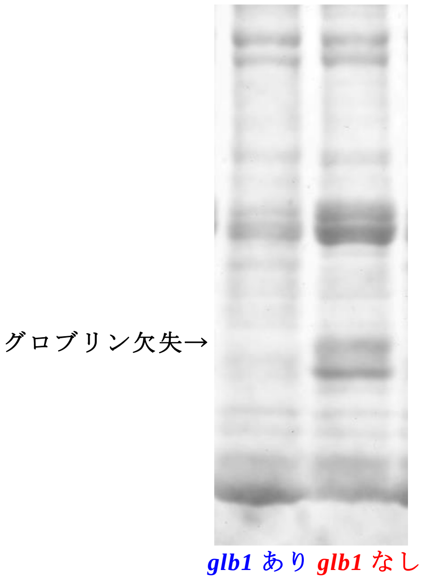

図 4　玄米タンパク質の SDS-PAGE 電気泳動によるグロブリン欠失遺伝子 *glb1* の確認

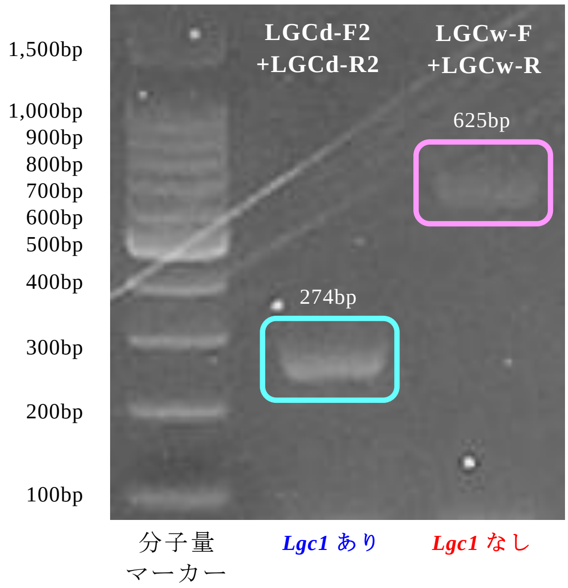

図5　DNAマーカー（LGCw-F+LGCw-RおよびLGCd-F2+LGCd-R2）によるグルテリン低減遺伝子*Lgc1*の検出

表2　‘媛育83号’の選抜経過

		2012	2013	2013	2014	2015	2015	2016	2016	2017	2018	2019
	年次	2012	2013	2013	2014	2015	2015	2016	2016	2017	2018	2019
	世代	交配	B1F1	B2F1	B3F1	B4F1	B4F2	B4F3	B4F4	B4F5	B4F6	B4F7
供試	系統群数											1
	系統数									個体選抜	25	5
	個体数	111	708	2	73	69	103	103	111	386		
選抜	系統数									25	1	1
備考			戻し交配	戻し交配	戻し交配	戻し交配	世代促進				媛系1499	媛育83号

表3　‘媛育83号’の固定度（系統間の比較）

品種名	試験番号	出穂始（月/日）	出穂期（月/日）	出穂揃（月/日）	穂揃日数（日）	平均値 稈長（cm）	平均値 穂長（cm）	平均値 穂数（本/株）
媛育83号	2019-341	8/26	8/28	8/29	3	91.2	20.6	13.5
	2019-342	8/26	8/28	8/29	3	92.4	20.8	15.6
	2019-343	8/26	8/28	8/29	3	92.3	20.9	14.0
	2019-344	8/26	8/28	8/29	3	93.9	21.3	16.0
	2019-345	8/26	8/28	8/29	3	94.0	21.1	14.9
ヒノヒカリ	2019-010	8/23	8/25	8/26	3	80.8	19.4	15.0
	2019-156	8/23	8/25	8/26	3	80.4	20.4	15.7
	2019-321	8/23	8/25	8/26	3	82.8	19.6	16.6

注）表中の数値は2019年の系統選抜個体の調査結果

表4　‘媛育83号’の固定度（稈長の系統内個体変異）

品種名	試験番号	稈長の階級値（cm） ~74	~76	~78	~80	~82	~84	~86	~88	~90	~92	~94	~96	~98	~100	平均値（cm）	標準偏差	変動係数（%）
媛育83号	2019-341						1	2	1	7	9	6	2	2		91.2	3.3	0.036
	2019-342								1	7	8	10	2		1	92.4	2.5	0.027
	2019-343							1	3	7	3	8	4	4		92.3	3.4	0.036
	2019-344									2	5	9	13	1		93.9	1.9	0.021
	2019-345							1	1	1	6	7	8	5	1	94.0	2.9	0.030
ヒノヒカリ	2019-010	1	2	3	10	5	2	6	1							80.8	3.4	0.042
	2019-156		3	7	5	5	10									80.4	2.8	0.035
	2019-321		1	3	1	8	9	4	4							82.8	3.0	0.036

注）表中の数値は2019年の系統選抜個体の調査結果

表5　‘媛育83号’の固定度（穂長の系統内個体変異）

品種名	試験番号	穂長の階級値（cm） ~17	~18	~19	~20	~21	~22	~23	~24	~25	平均値（cm）	標準偏差	変動係数（%）
媛育83号	2019-341				13	7	5	5			20.6	1.1	0.052
	2019-342				8	11	6	4	1		20.8	1.1	0.055
	2019-343		1	1	6	11	5	3	3		20.9	1.4	0.067
	2019-344			1	4	12	9	2			21.0	1.6	0.078
	2019-345			3	6	7	8	1	4	1	21.1	1.6	0.074
ヒノヒカリ	2019-010	1	3	9	8	6	1	2			19.4	1.4	0.071
	2019-156			6	6	8	8	2			20.4	1.3	0.063
	2019-321	1	2	7	9	7	2	2			19.6	1.4	0.072

注）表中の数値は2019年の系統選抜個体の調査結果

表6　‘媛育83号’の固定度（穂数の系統内個体変異）

品種名	試験番号	穂数の階級値（本/株）								平均値	標準	変動係数
		~8	~10	~12	~14	~16	~18	~20	~22	（本/株）	偏差	（%）
媛育83号	2019-341			9	14	6	1			13.5	1.5	0.108
	2019-342				8	16	4	2		15.6	1.7	0.111
	2019-343	1		3	15	7	4			14.0	2.1	0.149
	2019-344			1	7	11	9	1	1	16.0	2.1	0.131
	2019-345			2	11	10	5	2		14.9	2.0	0.135
ヒノヒカリ	2019-010		1	4	8	9	6	2		15.0	2.5	0.165
	2019-156			2	8	10	5	3	2	15.7	2.6	0.163
	2019-321			1	4	11	8	5	1	16.6	2.3	0.138

注）表中の数値は2019年の系統選抜個体の調査結果

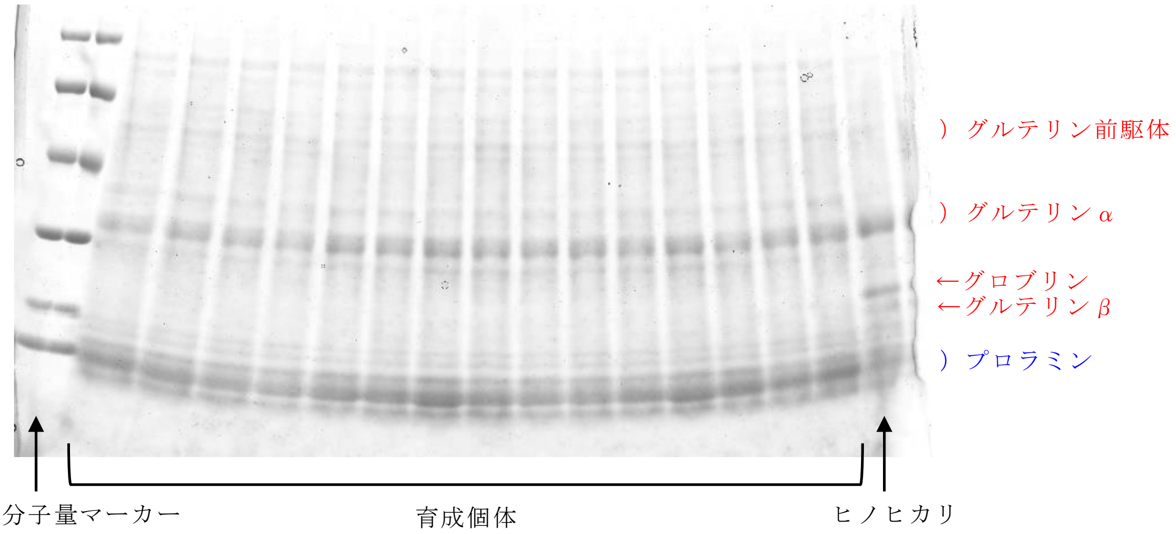

図 6　‘媛育 83 号’の固定度（個体ごとのタンパク質電気泳動像）【61 ページ】

３．特性

3.1 一般特性の調査方法

2018～2019年に生産力検定を愛媛県農林水産研究所（以下，農水研）内ほ場（松山市上難波）において，普通期栽培（移植基準日6月15日）で実施した．稚苗移植栽培で，栽植密度は15.2株/㎡（30×22㎝）とし，3本植えとした．試験は1区9㎡の3反復で実施した．

施肥量（N : P_2O_5 : K_2Okg/10a）は標準施肥とし，基肥6.0 : 6.0 : 6.0，穂肥（出穂約20日前）4.0 : 0.6 : 4.9とした．

タンパク質の分析方法は以下のとおりとした．

ケット社製小型精米機パーレストを用いて玄米10gを91%搗精し，白米サンプルとした．玄米または白米をUDY社製Cyclone Sample Millにより100メッシュに粉砕した．玄米粉または白米粉30mgに抽出バッファー（尿素8M, SDS 4%, グリセリン20%, 2-メルカプトエタノール5%を含む0.125MのTris-HCl（pH6.8））を700μL加えて撹拌したあと，33℃で24時間静置後，10,000rpmで10分間遠心分離して得られた上清をタンパク質抽出液とした．

タンパク質抽出液をLarmmli（1970）によるSDS-PAGE電気泳動法により分離した．ポリアクリルアミドゲルにはアトー社製の既製ゲルe-パジェルE-R1020L，電気泳動用バッファーにはアトー社製のEzRun粉末，分子量マーカーにはアトー社製のEzStandard，電気泳動槽にはe-パジェル用電気泳動装置AE-6530P型ラピダス・ミニスラブをそれぞれ使用した．電気泳動後，ゲルの染色にはGenScript社製のタンパク質染色システムeStein2.0を使用した．EPSON社製スキャナーGT-X970で電気泳動像を読み取り，Totallab社製の画像解析ソフトQuantV12.2を用いてそれぞれのバンドの濃さを数値化してバンドごとの含有割合を算出した．

これと並行して，総タンパク質含有量を以下のように測定した．上記の方法で100メッシュに粉砕した玄米または白米サンプル200mgをElementar

Analytical社の全自動元素分析装置Vario MAX CNSに供試して窒素含量を測定し，係数（5.95）を乗じて総タンパク質含有量を算出した．この総タンパク質含有量に画像解析によるバンドごとの割合を乗じることで，それぞれのタンパク質の含有率を算出した．

生産力検定から明らかになった品種特性を以下に述べる．

3.2. 一般特性

草型は偏穂重型，止葉は半立で，ふ先色は黄白，脱粒性は難である．稈の剛柔は中で，細太は太，芒は先端のみに短芒が発生する（表7）．

2018年から2020年の平均値では，‘媛育83号’の出穂期は8月26日，成熟期は10月10日で，‘ヒノヒカリ’よりも出穂期が2日，成熟期が7日それぞれ遅く，‘媛育71号’と比べると出穂期が同じで，成熟期は4日早い（表8）．本県では中生のうるち種に属する．‘媛育83号’の稈長は89㎝で‘ヒノヒカリ’や‘媛育71号’より長い（図7）．‘媛育83号’の穂長は20.6㎝で‘ヒノヒカリ’より長く‘媛育71号’と同程度である．穂数は279本/㎡と‘ヒノヒカリ’より少なく‘媛育71号’と同程度で，草型は偏穂重型であった．止葉は半立ち（図8・9），穎色は黄白であった．稈長が長いものの茎が太いため，耐倒伏性は中であった（表7）．

表7　‘媛育83号’の形態的特性

品種名	草型	葉色	止葉形状（後期）	ふ先色	脱粒性	稈		芒	
						剛柔	細太	多少	長短
媛育83号	偏穂重型	中	半立	黄白	難	中	太	稀	極短
媛育71号	偏穂重型	中	半立	黄白	難	やや剛	中	無	—
ヒノヒカリ	偏穂重型	中	半立	黄白	難	やや剛	やや太	稀	極短

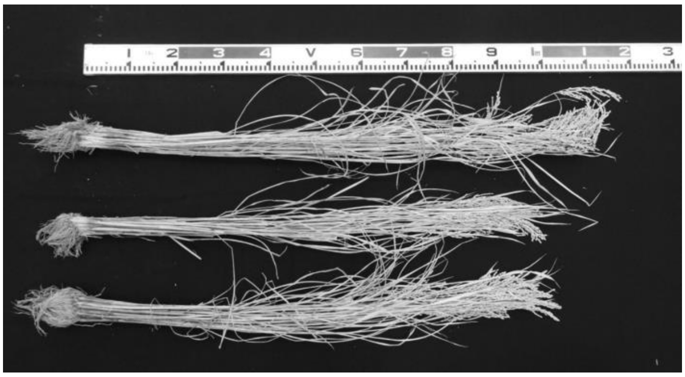

図7　‘媛育83号’の稲株【61ページ】
（上から媛育83号，媛育71号，ヒノヒカリ）

図8　‘媛育83号’の草姿（乳熟期）【62ページ】

図9　‘媛育83号’の草姿（成熟期）【62ページ】

表8　生産力検定における‘媛育83号’の生育および収量（普通期栽培・標肥）

（試験年度） 品種名	出穂期 （月/日）	成熟期 （月/日）	稈長 （cm）	穂長 （cm）	穂数 （本/㎡）	倒伏 （0-5）	精玄米重 （kg/a）	収量比 （%）
（2018年）								
媛育83号	8/28	10/19	91	21.2	297	0.0	56.5	105
媛育71号	8/29	10/27	75	20.8	276	0.0	58.1	108
ヒノヒカリ	8/26	10/8	80	19.8	364	0.0	53.9	100
（2019年）								
媛育83号	8/25	10/3	85	19.8	258	0.7	47.1	123
媛育71号	8/25	10/6	80	20.1	259	0.3	48.5	127
ヒノヒカリ	8/23	10/1	79	19.0	264	1.3	38.2	100
（2020年）								
媛育83号	8/25	10/8	92	20.8	283	0.7	43.9	119
媛育71号	8/24	10/8	80	21.1	282	0.0	43.1	117
ヒノヒカリ	8/23	9/30	84	19.9	268	0.0	37.5	100
（3年平均）								
媛育83号	8/26	10/10	89	20.6	279	0.5	49.2	114
媛育71号	8/26	10/14	78	20.7	272	0.1	49.9	116
ヒノヒカリ	8/24	10/3	81	19.6	299	0.4	43.2	100

注）倒伏は0（無）～5（甚）の6段階．精玄米重は1.8㎜以上．

3.3 収量性

標肥栽培における‘媛育83号’の精玄米重は2018年から2020年の平均値で49.2kg/aとなり，‘媛育71号’の収量性には及ばないものの，‘ヒノヒカリ’対比で114%と多収であった（表8）．

3.4 病害抵抗性

農林水産研究所における畑晩播では，葉いもちほ場抵抗性が「極強」の‘媛育71号’（水口ら，2016）を交配親とする‘媛育83号’は‘媛育71号’にはやや劣るものの‘ヒノヒカリ’より明らかに強く「やや強」と考えられる（表9）．

表9　‘媛育83号’の葉いもちほ場抵抗性

品種名	遺伝子	発病程度			判定
		2019年	2020年	2021年	
媛育83号	?	0	1	0	やや強
媛育71号	a，k	0	0	0	強
ヒノヒカリ	a，i	3	4	6	やや弱
日本晴	+	-	2	5	中
コシヒカリ	+	-	4	8	弱
金南風	a	-	3	5	中

注）畑晩播圃場で検定．発病度は0～10（全葉枯死）の11段階

3.5 玄米形質および食味

3.5.1 玄米形質

玄米の千粒重について，‘ヒノヒカリ’では20.9gであったのに対し，‘媛育83号’では20.4gとやや小さかった（表10・図10）．

玄米の整粒割合について，‘ヒノヒカリ’および‘媛育71号’ではそれぞれ67.8%および63.3%であったのに対し，‘媛育83号’では55.7%とやや低かった．玄米の外観品質について，‘ヒノヒカリ’および‘媛育71号’ではそれぞれ4.9および5.8であったのに対し，‘媛育83号’では5.7と‘媛育71号’と同等であった．日本穀物検定協会による検査等級については，‘ヒノヒカリ’および‘媛育71号’では1.5および1.8であったのに対し，‘媛育83号’では1.9と‘媛育71号’と同等であった（表10）．低グルテリン品種である‘春陽’では玄米に腹白，乳白および心白が認められ，玄米品質は‘ひとめぼれ’より明らかに劣る（上原ら，2002）．また，‘媛育71号’は‘ヒノヒカリ’と同様に登熟期間が高温になると品質低下をおこしやすい（水口ら，2016）．‘媛育83号’は‘媛育71号’を反復親とする戻し交配により育成したことや，‘春陽’と同様に低グルテリンの特性を持つことから，玄米品質は遺伝的にあまり優れていない可能性がある．

食味分析計による玄米タンパク質含有率について，‘ヒノヒカリ’および‘媛育71号’ではそれぞれ6.0%および5.4%であったのに対し，‘媛育83号’では5.6%と‘ヒノヒカリ’より低く‘媛育71号’より高かった（表10）．

‘媛育83号’の玄米の長さ，幅および厚みについて，‘ヒノヒカリ’および‘媛育71号’と比べてやや長さが短い傾向にあった（表11）．

表10　生産力検定における‘媛育83号’の玄米品質（普通期栽培・標肥）

試験年度	品種名	千粒重 (g)	整粒割合 (%)	玄米ﾀﾝﾊﾟｸ質含有率 (%)	外観品質 (1-9)	検査等級 (等)
2018年	媛育83号	20.4	57.6	5.7	6.0	2.2
	媛育71号	20.7	64.9	5.4	6.2	2.0
	ヒノヒカリ	21.2	71.2	6.1	4.5	1.5
2019年	媛育83号	20.1	46.8	5.0	5.5	2.3
	媛育71号	20.2	50.7	4.8	5.8	2.0
	ヒノヒカリ	20.9	63.3	5.5	5.0	2.0
2020年	媛育83号	20.6	62.8	6.2	5.7	1.3
	媛育71号	21.0	74.4	5.9	5.5	1.3
	ヒノヒカリ	20.6	68.8	6.4	5.2	1.0
3か年平均	媛育83号	20.4	55.7	5.6	5.7	1.9
	媛育71号	20.6	63.3	5.4	5.8	1.8
	ヒノヒカリ	20.9	67.8	6.0	4.9	1.5

注）移植基準日：6/15，栽植密度：15.2株/㎡，反復：2018年2反復，2019～2020年3反復
施肥（窒素kg/a）：基肥0.6＋穂肥0.4
整粒割合：サタケ社製穀粒判別器RGQI10
玄米ﾀﾝﾊﾟｸ質含有率：静岡製機社製TM-3500（水分14.5%換算）
外観品質：1（上上）～9（下下）の9段階評価
検査等級：日本穀物検定協会による調査

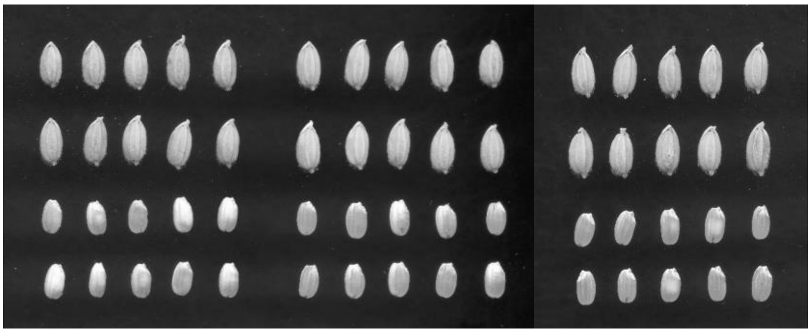

図10　‘媛育83号’の籾と玄米（左から，媛育83号，媛育71号，ヒノヒカリ）【62ページ】

表11　生産力検定における‘媛育83号’の粒形（2018～2020年）

調査年度	品種名	長さ (mm)	幅 (mm)	厚み (mm)	長さ/幅
2018年	媛育83号	5.10	2.75	2.03	1.85
	媛育71号	5.10	2.77	2.03	1.84
	ヒノヒカリ	5.17	2.79	1.92	1.85
2019年	媛育83号	5.06	2.70	1.86	1.87
	媛育71号	5.11	2.71	1.88	1.88
	ヒノヒカリ	5.07	2.74	1.91	1.85
2020年	媛育83号	5.12	2.74	1.90	1.87
	媛育71号	5.15	2.71	1.94	1.90
	ヒノヒカリ	5.12	2.73	1.91	1.88
3か年平均	媛育83号	5.09	2.73	1.93	1.86
	媛育71号	5.12	2.73	1.95	1.87
	ヒノヒカリ	5.12	2.75	1.91	1.86

注）サタケ穀粒判別器RGQI10で測定

3.5.2 炊飯米の食味官能評価

農林水産研究所の職員による食味試験を次のように実施した．すなわち，‘ヒノヒカリ’を基準（0）としてかなり悪い（-3）から，かなり良い（+3）の7段階で評価した．2018年および2019年に実施した‘媛育83号’の食味官能評価結果を図11に示す．‘媛育83号’の炊飯米を‘ヒノヒカリ’と比べると，2018年産はいずれの項目もほぼ同等であったが，2019年産は外観がやや劣り粘りがやや弱かった．

2019年産の‘媛育83号’を日本穀物検定協会の食味官能評価に供試したところ，複数産地産‘コシヒカリ’と比較して，硬さがやや軟らかく粘りがやや弱いものの，他の項目は同等で，総合評価は同等であった（図12）．‘媛育83号’と同様に易消化タンパク質を低下させた‘春陽’の食味は‘コシヒカリ’より劣る（上原ら，2002）ことから，‘媛育83号’が‘コシヒカリ’並の良食味であることは，‘媛育83号’を腎疾患患者の食事療法に活用するうえで極めて重要な特長と言える．

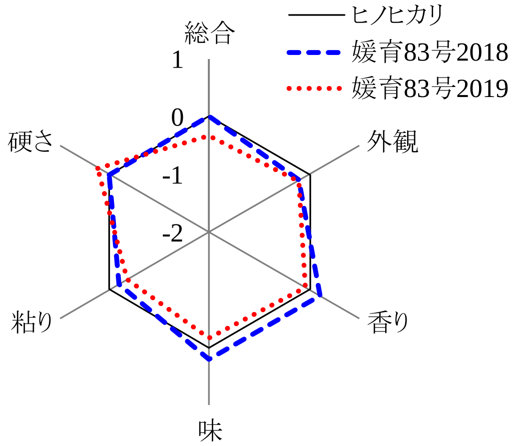

図11　愛媛農水研パネラーによる食味官能評価
※基準米：愛媛県農林水産研究所産‘ヒノヒカリ’
※基準米と比較し，総合評価・外観・香り・味（かなり良+3～かなり不良-3の7段階評価），粘り（かなり強い+3～かなり弱い-3の7段階評価），硬さ（かなり硬い+3～かなり軟らかい-3の7段階評価）を調査

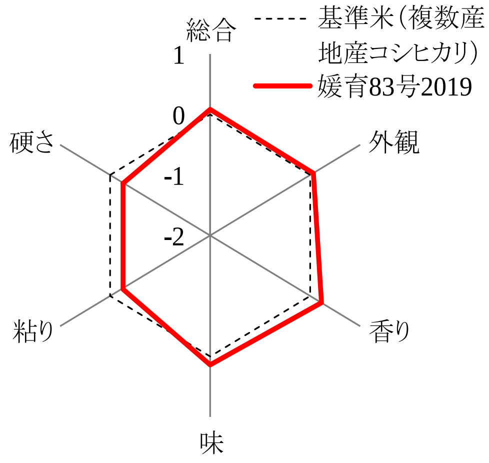

図12　日本穀物検定協会による食味官能評価
※基準米：複数産地産‘コシヒカリ’
※基準米と比較し，総合評価・外観・香り・味（かなり良+3～かなり不良-3の7段階評価），粘り（かなり強い+3～かなり弱い-3の7段階評価），硬さ（かなり硬い+3～かなり軟らかい-3の7段階評価）を調査

3.6 タンパク質含有率

‘媛育71号’は低グルテリン遺伝子*Lgc1*とグロブリン欠失遺伝子*glb1*を持たないため，グルテリンおよびグロブリンが多く存在した．‘中国188号’は*Lgc1*と*glb1*を両方有するため，グルテリンαおよびグルテリンβのバンドがいずれも薄く，グロブリンは存在しなかった．‘媛育83号’は‘中国188号’と同様に*Lgc1*と*glb1*を両方有するため，グルテリンαおよびグルテリンβのバンドがいずれも薄く，グロブリンは存在しなかった（図13）．

‘媛育83号’，‘媛育71号’および‘ヒノヒカリ’の総タンパク質含有率はそれぞれ5.6%，5.6%および6.2%と，‘媛育83号’および‘媛育71号’では‘ヒノヒカリ’より10%程度少なかった．タンパク質ごとにみると，‘媛育71号’ではいずれもタンパク質も‘ヒノヒカリ’より10%程度ずつ低かった．*Lgc1*と*glb1*を両方有する‘媛育83号’では‘ヒノヒカリ’と比較して，グルテリンαが33%減，グルテリンβが56%減，グロブリンが100%減，57kDa前駆体が11%減で易消化タンパク質は49%減少していた．逆に16kDaプロラミンが9%増，13kDaプロラミンが114%増，10kDaプロラミンが32%増で難消化タンパク質が61%増加していた（図14・表12）．

米の食味にはグルテリンとプロラミンが重要な役割を果たしており，同一品種内ではグルテリンが，品種間ではプロラミンが食味評価の指標となり得る（松江，2007）．また，分画した米タンパク質（プロラミン・グルテリン）を添加した米飯の食味評価試験を実施したところ，米タンパク質を添加した米飯は，硬く，粘りが弱く，外観・香り・味・総合のいずれも評価が低くなり，特にプロラミンを添加した米飯では硬さが硬くなり，グルテリンを添加した米飯では外観の評価が低くなった（Furukawa *et al.*, 2006）．一般的にタンパク質含有量が多くなると米飯の食味は低下するとされるが，タンパク質の総含量ではなく，プロラミンやグルテリンのようなタンパク質の種類ごとの含有量で推定するほうが精度が向上すると考えられる．したがって，プロラミンが多くグルテリンが少ない‘媛育83号’は米飯の食味を検討するうえでも興味深い材料であると考えられる．

今回の食味官能評価の結果では‘媛育83号’の米飯に硬くなる傾向は見られなかったが，やや粘りが弱くなった．プロラミン含有量の多い‘媛育83号’に‘春陽’のような食味総合評価の低下が見られない原因は明らかでないが，施肥条件によりタンパク質，特にプロラミンの含有量が増減した場合の食味評価については今後検討が必要と考えられる．

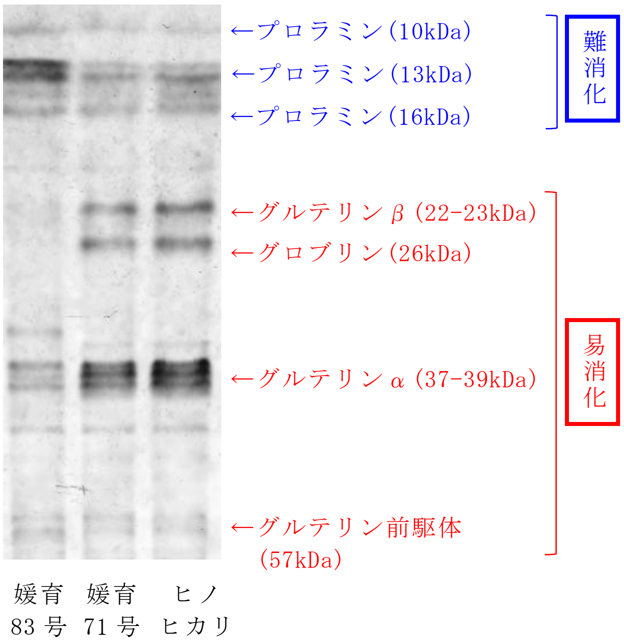

図13　‘媛育83号’の玄米タンパク質の電気泳動像

【62ページ】

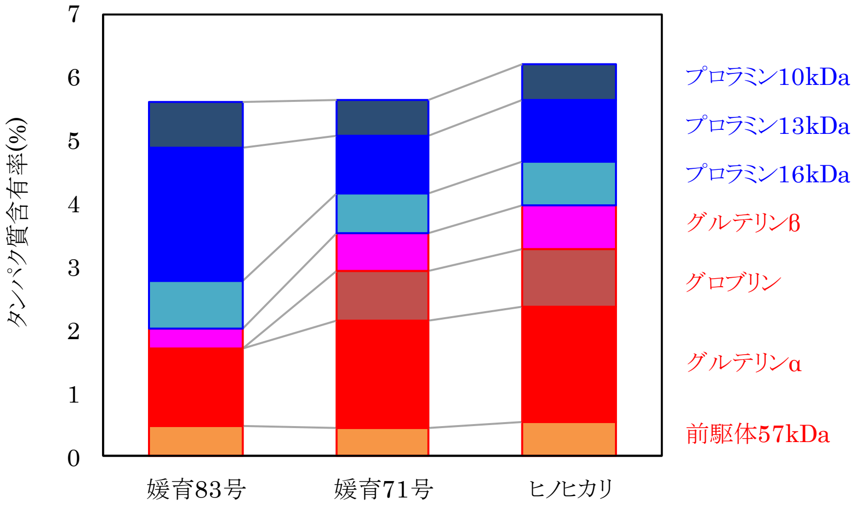

図14　‘媛育83号’の玄米中の各タンパク質含有率

表12　‘媛育83号’のタンパク質ごとの含有率（2018年と2019年の平均）

タンパク質	分子量	含有率(%)		
		媛育83号	媛育71号	ヒノヒカリ
グルテリン前駆体	57kDa	0.48	0.43	0.54
グルテリンα	37-39kDa	1.23	1.71	1.83
グロブリン	26 kDa	—	0.80	0.90
グルテリンβ	22-23kDa	0.30	0.59	0.68
プロラミン	16kDa	0.77	0.62	0.71
プロラミン	13kDa	2.09	0.93	0.98
プロラミン	10kDa	0.73	0.55	0.55
易消化タンパク質	22-57kDa	2.01	3.52	3.96
難消化タンパク質	10-16kDa	3.59	2.11	2.24
総タンパク質		5.60	5.63	6.19

注）水分15%補正

４．現地調査

4.1 調査方法

愛媛県北宇和郡鬼北町には低グルテリン品種‘春陽’および‘LGCソフト’の生産に以前から取り組んでいる生産者がいる．そこで，同生産者に‘媛育83号’の試験栽培を依頼した．現地調査の耕種概要を表13 に示す．農水研の慣行栽培では栽植密度を15.2株/㎡としているが，現地調査では15.2株/㎡の標準区だけでなく12.3株/㎡の疎植区も設けた．農水研では移植期6/12，施肥量は窒素成分で10kg/10aとしたが，現地の慣行栽培では移植期5/29，施肥量は窒素成分で7.95kg/10aであった．

4.2 調査結果

現地調査における‘媛育83号’の生育は，標準区および疎植区ともに出穂期は8/17，成熟期は10/8と出穂期は農水研産より8日早かったが，成熟期は同じであった．稈長は80cmと農水研産より短く，倒伏は見られなかった．穂長は標準区で18.6cm，疎植区で19.2cmと農水研産と比べるとやや短かった．穂数は標準区で305本/㎡，疎植区で269本/㎡と，標準植では農水研産よりやや多かったが，疎植区では少なくなった（表14）．

現地調査における‘媛育83号’の収量および品質は，精玄米重は標準区で50.9kg/aと農水研産より多くなったが，疎植区では32.5kg/aと少なくなった．これは‘媛育83号’が偏穂重型であるため，疎植にすると穂数が確保できず，収量が低下したものと推察される．千粒重は標準区で20.3g，疎植区で20.0gと農水研産よりやや小さかった．外観品質や検査等級は農水研産と同様であった．玄米タンパク質は標準区・疎植区ともに6.6%と農水研産よりやや高かった．白米タンパク質は標準区で5.8%，疎植区で5.6%と農水研産よりやや高かった（表15）.

今回の現地調査受託生産者は生産した白米を株式会社サタケの依頼分析に供試し，炊飯米のタンパク質含有率を測定したうえで，白米に分析データを添付して販売している．そこで，本試験で生産した‘媛育83号’だけでなく、同じ方法で同生産者が栽培した‘春陽’および‘LGCソフト’について，炊飯米のタンパク質含有率を依頼分析により測定した．‘コシヒカリ’の易消化タンパク質含有率は80.8%であるのに対し，３品種ともに易消化タンパク質含有率は大幅に少なかった．‘春陽’および‘LGCソフト’と比較すると，‘媛育83号’ではグロブリンが欠失しており加えて13kDaプロラミン含有率が高いことから，‘媛育83号’が最も易消化タンパク質含有率が低かった（図15・表16）.

桜本・重田（2007）は‘春陽’と‘コシヒカリ’のタンパク質について，ヒトによる消化吸収率を摂取タンパク質量と尿中排泄タンパク質を比較し，‘春陽’の消化吸収率は‘コシヒカリ’の49.5%から61.7%と推定した．本試験では‘春陽’より‘媛育83号’のほうが易消化タンパク質含有率が低か

ったことから，‘媛育83号’のタンパク質の消化吸収率は‘春陽’より低い可能性があり，‘媛育83号’の炊飯米は腎疾患の食事療法に利用価値が高いと考えられる．

今回の現地調査で栽培試験を実施した生産者からは，これまで生産してきた‘春陽’や‘LGCソフト’と比べて，‘媛育83号’はいもち病に強く倒れにくいため栽培しやすい，収量が多い，食味が良好，易消化タンパク質が少ないなど，メリットが多いとの評価であった．

以上のように，‘媛育83号’は易消化タンパク質が少なく，栽培特性，収量性，食味特性にも優れることから，腎疾患の食事療法に対応するための米品種として有望である可能性が高いと考えられる．

表13　鬼北町現地試験における‘媛育83号’の耕種概要

試験区	移植期 （月/日）	栽植密度 （株/㎡）	条間 （㎝）	株間 （㎝）	施肥成分量（kg/10a） 窒素：リン酸：カリ
標準植	5/29	15.2	30	22	7.95：5.3：5.3
疎植	5/29	12.3	30	27	7.95：5.3：5.3
（参考）農水研	6/12	15.2	30	22	10.0：0.66：10.9

表14　鬼北町現地試験における‘媛育83号’の生育

試験区	出穂期 （月/日）	成熟期 （月/日）	倒伏 (0-5)	稈長 （㎝）	穂長 （㎝）	穂数 （本/㎡）
標準植	8/17	10/8	0.0	80	18.6	305
疎植	8/17	10/8	0.0	80	19.2	269
（参考）農水研	8/25	10/8	0.7	92	20.8	283

表15　鬼北町現地試験における‘媛育83号’の収量および品質

試験区	精玄米重 （kg/a）	千粒重 （g）	整粒割合 （%）	外観品質 （1-9）	等級 （等）	等級 理由	玄米ﾀﾝﾊﾟｸ質 含有率（%）	白米ﾀﾝﾊﾟｸ質 含有率（%）
標準植	50.9	20.3	68.7	4.5	2.0	未熟	6.6	5.8
疎植	32.5	20.0	70.5	4.8	1.5	未熟	6.6	5.6
（参考）農水研	43.9	20.6	62.8	5.7	1.3	未熟	6.2	5.5

1)　玄米重・千粒重は1.8mm以上

2)　整粒割合はサタケ社製穀粒判別器RGQI10で測定

3)　外観品質は1（上上）～9（下下）の9段階評価，検査等級は日本穀物検定協会調査

4)　玄米タンパク質は静岡製機社製食味分析計TM-3500で測定（水分14.5%補正）

5)　白米タンパク質はElementar Analytical社製全自動元素分析装置Vario MAX CNSで窒素を測定し5.95を乗じた値（水分14.5%補正）

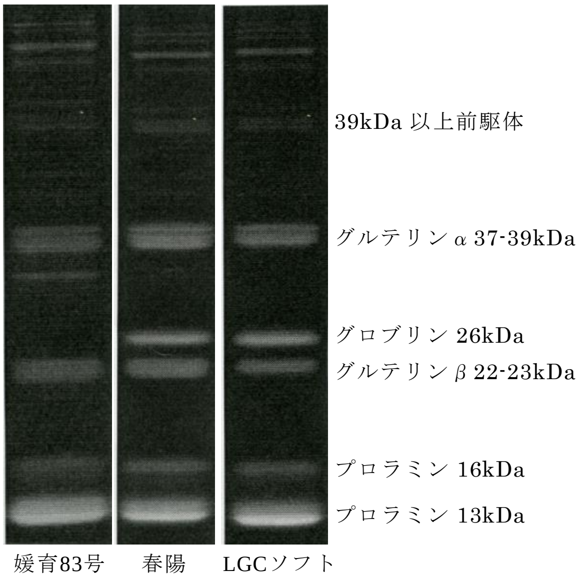

図15　鬼北町産３品種の炊飯米中のタンパク質電気泳動像
注）株式会社サタケによる穀物性質分析結果

表16　鬼北町産３品種の炊飯米中のタンパク質含有率

タンパク質	分子量	品種名（2020年）		
		媛育83号	春陽	LGCソフト
前駆体	39kDa以上	11.6%	13.4%	12.2%
グルテリンα	37-39kDa	18.6%	14.6%	13.8%
グロブリン	26 kDa	—	15.5%	15.3%
グルテリンβ	22-23kDa	13.7%	9.1%	10.8%
プロラミン	16kDa	14.9%	14.7%	15.4%
プロラミン	13kDa	41.2%	32.7%	32.5%
易消化タンパク質	22-57kDa	43.9%	52.6%	52.1%
難消化タンパク質	10-16kDa	56.1%	47.4%	47.9%

注）株式会社サタケによる穀物性質分析結果
（参考）コシヒカリでは易消化80.8%，難消化19.2%

謝辞

‘媛育83号’の育成に当たって，現地調査においては，現地調査受託農家，各地方局産業振興課，各支局地域農業育成室などの稲作関係各位から御協力をいただいた．ここに深甚の謝意を表する．

引用文献

Furukawa, S., K. Tanaka, T. Masumura, Y. Ogihara, Y. Kiyokawa and Y. Wakai（2006）: Influence of Rice Proteins on Eating Quality of Cooked Rice and on Aroma and Flavor of Sake，Cereal Chem.，**83**(4)，439-446.

Ideura, T., M. Shimazui, H. Morita and A. Yoshimura（2007）: Protein Intake of More than 0.5 g/kg BW/Day Is not Effective in Suppressing the Progression of Chronic Renal Failure，Contributions to Nephrology，**155**，40-49.

Krishnan, H. B., V. R. Franceschi and T. W. Okita（1986）: Immunochemical studies on the role of the Golgi complex in protein-body formation in rice seeds，Planta，**169**，471-480.

Kumamaru, T., H. Satoh, N. Iwata, T. Omura and M. Ogawa（1987）: Mutants for rice storage proteins. III. Genetic analysis of mutants for storage proteins of protein bodies in the starchy endosperm，Jpn. J. Genet.，**62**(4)，333-339.

Laemmli, U. K.（1970）: Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4，Nature，**227**，680-685.

松江勇次（2007）: 米の品質・食味〔３〕，農業および園芸，**82**(2)，300-311.

水口聡，兼頭明宏，秋山勉，三好大介，松長崇（2016）: 水稲多収新品種‘媛育71号’の育成とその特性，愛媛農林水研報，**8**，1-8.

望月隆弘，原茂子（2000）: 保存期慢性腎不全の食事療法における低蛋白米の有用性，日腎会誌，**42**(1)，24-29.

Morita, R., M. Kusaba, S. Iida, T. Nishio and M. Nishimura（2009）: Development of PCR markers to detect the glb1 and Lgc1 mutations for the production of low easy-to-digest protein rice varieties，Theor. Appl. Genet.，**119**(1)，125-130.

椌本圭子，重田耕司（2007）: 尿中尿素排泄量測定による難消化タンパク質含有量の高い水稲「春陽」の消化吸収率の推定，山陽女子短期大学研究紀要，**28**，19-25.

日本腎臓学会編（2014）: 慢性腎臓病に対する食事療法基準2014年版，日腎会誌，**56**(5)，553-599.

西村実（2000）: イネ低グルテリン系統LGC-1の育成と腎臓疾患患者の食事療法への適用，農業技術，**55**(10)，466-469.

西村実（2004）: 低グルテリン・26kDaグロブリン欠失の水稲新品種「エルジーシー活」および「エルジーシー潤」，農業技術，**59**(9)，385-388.

Nishimura, M., M. Kusaba, K. Miyahara, T. Nishio, S. Iida, T. Imbe and H. Sato（2005）: New rice varieties with low levels of easy-to-digest protein, 'LGC-Katsu' and 'LGC-Jun', Breeding Science, **55**, 103-105.

Ogawa, M., T. Kumamaru, H. Satoh, N. Iwata, T. Omura, Z. Kasai and K. Tanaka（1987）: Purification of Protein Body-I of Rice Seed and its Polypeptide Composition, Plant Cell Physiol, **28**(8), 1517-1527.

Sarker, S.C., M. Ogawa, M. Takahashi and K. Asada（1986）: The Processing of a 57-kDa Precursor Peptide to Subunits of Rice Glutelin, Plant Cell Physiol., **27**(8), 1579-1586.

田中國介，小川雅広（1986）: 目で見る食品化学　お米のタンパク質，化学と生物，**24**(11), 756-758.

Tanaka, K., T. Sugimoto, M. Ogawa and Z. Kasai（1980）: Isolation and Characterization of Two Types of Protein Bodies in the Rice Endosperm, Agric. Biol. Chem., **44**(7), 1633-1639.

Tanaka, Y., S. Hayashida and M. Hongo（1975）: The Relationship of the Feces Protein Particles to Rice Protein Bodies, Agric. Biol. Chem., **39**(2), 515-518.

上原泰樹，小林陽，太田久稔，清水博之，福井清美，三浦清之，大槻寛，小牧有三，笹原英樹（2002）: 水稲新品種「春陽」の育成，中央農研研究報告，**1**, 1-21.

Yamagata, H., T. Sugimoto, K. Tanaka and Z. Kasai（1982）: Biosynthesis of Storage Proteins in Developing Rice Seeds, Plant Physiol., **70**, 1094-1100.