品質・加工

有機栽培を行った米飯の食味と理化学的特性

齊藤邦行^{*1)}・速水敏史¹⁾・石部友弘¹⁾・松江勇次²⁾・尾形武文²⁾・黒田俊郎¹⁾

(¹⁾岡山大学・²⁾福岡県総合農業試験場)

要旨: 岡山大学農学部附属農場の水田において、水稻品種日本晴を供試して有機栽培を1990年に開始し、7~9年目の3カ年に米飯の食味と理化学的特性を比較した。試験区は基肥に完熟堆厩肥と発酵鶏糞を用い、農薬施用の有無により有機・無農薬区(油粕追肥)、有機・減農薬区(除草剤、油粕追肥)、有機・有農薬区(除草剤+殺虫殺菌剤、化学肥料追肥)、さらに化学肥料のみ用いた慣行区(除草剤+殺虫殺菌剤)の4区を設定した。食味官能試験の結果、3カ年の平均でみると総合評価と粘りは慣行区に比べ、有機・無農薬区、有機・減農薬区との相違は小さかったが、有機・有農薬区の食味は劣った(粘りのみ有意)。有機・無農薬区の総合評価は慣行区に比べ1996年には劣り、1997年には優り、1998年にはほぼ等しかったことから、有機質肥料の施用による食味の向上や、農薬施用の有無が食味に及ぼす影響は明確には認められなかった。1997年に、各試験区の一部について無施肥栽培を行ったところ、いずれの区でも総合評価は向上し、これには精米のアミロース含有率ではなくタンパク質含有率の低下とアミログラム特性の向上により粘りの増加したことが関係すると推察された。さらに1998年には、実肥施用を行わず基肥を増施することにより、有機・無農薬区、有機・有農薬区では精米のタンパク質含有率の低下とともに総合評価が向上した。以上の結果、有機質肥料を用いて良食味米の生産を行うには、穂肥・実肥における肥効発現に留意し、登熟期に窒素吸収を抑制することが重要であると結論された。

キーワード: アミログラム特性、コメ、食味、施肥、タンパク質含有率、テクスチャー、有機栽培。

今日では、食の安全性確保や環境保全を求める時代的要求に応える形で「有機農業」が市民権を獲得し、有機農産物のJAS規格まで制定するに至っている。前報において(齊藤ら2001)、有機栽培を10年間継続した結果、基肥に堆厩肥と発酵鶏糞、追肥にナタネ油粕を用いることにより化学肥料と同等の肥効が確保され、除草剤を施用しなくてもヒエ抜きを行うことにより、慣行区の約90%程度の収量性が確保できることを報告した。しかし、有機農業には、自然の生態系をできるだけ維持し、有機物による地力増強の下で、安全な食料をできるだけ多く、かつ安定的に生産することのみならず、良質で食味の良い食料生産も両輪の一つとして求められている。

野菜や果物等の畑作物では、有機栽培により糖含量が高まり、味が良くなり、貯蔵性も高まることが報告されている(森1986)。有機栽培米の品質食味に関しては、玉置ら(1995)は有機農法実施年数の増加に伴いアミログラム特性値が向上すること、中川ら(2000)は有機栽培を行っている13地点の米の品質を慣行栽培米と比較し、有機栽培米は窒素含量が低く、品質は概ね良好であることを認めている。また、井上ら(1991)は菜種油粕を基肥、追肥に用いて栽培した米の食味に及ぼす影響はみられないが、穂肥が遅れるとタンパク質含量が高まる可能性を示唆している。さらに浅野ら(1998)はアイガモ栽培したコメの食味が劣った要因としてタンパク質含量が高いことを指摘している。すなわち、有機栽培を行ったコメの品質食味については、一様な結果は得られていない。

そこで本実験では、前報(齊藤ら2001)で報告を行った有機栽培試験(10年間)の過程で、1996年(継続6年目)~1998年の3カ年に渡りコメの食味と理化学的特性を比較した。また、無施肥区(1997年)や実肥無施用区(1998年)を設け、施肥方法の違いがコメの食味と理化学的特性に及ぼす影響を検討した。

材料と方法

実験Ⅰ: 1996年から1998年まで前報と同様の試験区を設定して栽培を行った。すなわち、水稻品種日本晴を供試し、慣行にしたがってポット育苗した成苗を6月13日~16日に機械移植した。栽植密度は16.8~18.3株/m²の範囲で年次により変動した。試験区は、基肥に完熟堆厩肥と発酵鶏糞を用い、農薬施用の有無により、「有機・無農薬区」、「有機・減農薬区」、「有機・有農薬区」、さらに化学肥料のみ用いた「慣行区(無機・有農薬区)」を設定した(第1表)。農薬は有機・減農薬区で除草剤を1回、有機・有農薬区及び慣行区で除草剤を1回、殺虫剤を1996年には3回、1997、1998年には4回施用した。追肥は有機・無農薬区及び有機・減農薬区で菜種油粕を、有機・有農薬区及び慣行区で化学肥料を施用した(第1表)。施肥量は全区とも施肥資材の窒素成分量を基に、基肥5kg/10a、追肥6kg/10aになるように調整した。追肥は、つなぎ肥、穂肥、実肥の3回に分けてそれぞれ窒素成分で2kg/10aを施用した。試験区面積は慣行区が2.08a、これ以外の区では3.13aで、反復は設けなかった。

第1表 試験区の構成.

No.	試験区	農 薬 ¹⁾		施肥量 (g/m ²)				3 要素成分量 (g/m ²)						
		除草 剤	殺虫 剤	基 肥		追肥(3回)		基 肥			追 肥			
				堆厩肥	鶏糞	化成	油粕	化成	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	有機・無農薬区	—	—	1389	106	—	113	—	5.0	6.7	6.6	6.0	0.3	1.1
2	有機・減農薬区	1	—	1389	106	—	113	—	5.0	6.7	6.6	6.0	0.3	1.1
3	有機・有農薬区	1	3(4)*	1389	106	—	—	43	5.0	6.7	6.6	6.0	7.3	5.6
4	慣 行 区	1	3(4)*	—	—	43	—	43	5.0	6.1	4.7	6.0	7.3	5.6

1): 数値は施用回数で, 除草剤 (プッシュ粒剤 17), 殺虫剤 (ルーバン M 粒剤, アプロードバッサ粉剤 DL), 殺虫・殺菌剤 (ヒノバイマク粉剤 15DL). *: 1997, 1998 年はパダン液剤を追加した.

第2表 有機栽培が食味官能評価に及ぼす影響 (3 ヶ年の平均, 実験 I).

区	総 合 評 価				外 観	味	粘り (3カ年の平均)
	1996年	1997年	1998年	平均			
有機・無農薬区	-0.25a	0.14ab	-0.13ab	-0.01ab	0.07a	-0.040a	-0.04b
有機・減農薬区	-0.13a	0.21b	0.07b	0.03b	0.04a	0.073a	0.02b
有機・有農薬区	-0.31a	-0.21a	<u>-0.40a</u>	-0.24a	-0.06a	-0.177a	<u>-0.38a</u>
慣 行 区	0	0	0	0	0	0	0

アンダーラインを付した数値は基準米 (慣行区) と t 検定により 5% 水準で有意差あり.

同一文字を伴う平均値間には最小有意差法により 5% 水準で有意差なし.

実験 II: 1997 年には, 施肥が食味に及ぼす影響を明らかにするため, 有機栽培を 7 年間継続した各試験区の一部に全く施肥を行わない無施肥区 (9×10 m, 反復なし) を設けて栽培を行った. すなわち, 試験区は実験 I の 4 試験区にそれぞれ無肥・無農薬区, 無肥・減農薬区, 無肥・有農薬区, 無肥・慣行区を加えた, 合計 8 区を設定した. なお, 施肥以外の栽培管理は施肥区と同様であった.

実験 III: 実肥の施用が食味に及ぼす影響を明らかにするため, 1998 年には前年無肥料栽培を行った水田を用いて, 各試験区に実肥無施用区を設けて栽培を行った. すなわち, 実肥無施用区では実肥の窒素成分を基肥に加えて, 7 kg/10 a とした. したがって, 総施肥量は各区とも同様である.

食味官能試験: 適期に刈り取って天日乾燥を行い, 水分 15% に調整した玄米を 91% まで搗精した精米を供試した. 食味試験は福岡県総合農業試験場において, 松江 (1992) に準拠して, いずれの実験ともにパネル構成員 14~16 名で実施し, 基準米 (慣行区日本晴) と比較して総合評価, 外観, 味を -3 (かなり不良) から +3 (かなり良い), 粘りを -3 (かなり弱い) から +3 (かなり強い) の 7 段階で評価した.

炊飯米の理化学的特性: 粉碎した精米のタンパク質含有

率とアミロース含有率はオートアナライザー II 型 (プラン・ルーベ社製) により, アミログラム特性の最高粘度とブレイクダウンは, ビスコグラフ E 型 (ブラベンダー社製) により測定を行った. 炊飯米のテクスチャー特性はテクスチュロメータ (全研製, GTX-2) により粘着性と硬さ/粘着性比 (江幡ら 1989) を各 3 反復の平均として求めた.

生育概要: 3 ヶ年の気象は平均気温, 日照時間, 降水量ともに平年値±5%の範囲内にあった (齊藤ら 2001). 慣行区における m² 当たり精玄米収量は 1996 年 543 g, 1997 年 531 g, 1998 年 542 g と平年値 (513 g) を上回った. 3 ヶ年を通じて, 成熟期の相違は試験区間で認められず, 10 月 2~5 日の範囲にあった. 倒伏はほとんど認められなかったが, 実験 III (1998 年) の実肥無施用, 慣行区では草丈の伸長が他区に比べて著しく, 登熟期後半になびき型の倒伏がみられ, 一部では穂発芽も認められた. なお, 食味と理化学的特性の試験に供試した精米は, 圃場で採取する際に穂発芽が認められた株は除外した.

結 果

1. 有機栽培米の食味と理化学的特性 (実験 I)

各有機栽培試験区と基準米とした慣行区における食味官能評価を, 3 ヶ年の平均値として第 2 表に示した. 相対的な食味評価値を異なる年次で平均することは困難があるにしても (松江ら 1992), ここでは慣行栽培米との偏差に注

目して比較を行う。総合評価は1996年には慣行区に比べ有機栽培区で劣り、有機・減農薬区>有機・無農薬区>有機・有農薬区の順となった。1997年は慣行区に比べ有機・減農薬区>有機・無農薬区で優り、有機・有農薬区で劣った。1998年は慣行区と有機・減農薬区でほぼ等しく、有機・無農薬区>有機・有農薬区で劣った。平均でみると、有機・無農薬区と有機・減農薬区の総合評価は慣行区とほぼ等しく、これに対して有機・有農薬区では劣った。すなわち、有機質肥料を継続して施用しても、年次によっては食味が向上する場合があるものの、平均すると食味に及ぼす影響は認められなかった。追肥に化学肥料を用いた有機・有農薬区では、3ヵ年ともに食味の低下が著しかった。外観、味ともに有機・有農薬区で最も劣り、特に粘りの低下が著しかった。

2. 無施肥が有機栽培米の食味と理化学的特性に及ぼす影響 (実験 II)

施肥区に比べ無肥区の総合評価は減農薬区を除いて、0.14~0.21 ポイント向上した (第3表)。しかし、無肥区においても有農薬区の総合評価が最も低かった。外観、味、粘りともほぼ同様な傾向を示し、特に総合評価と粘りとの間には密接な正の相関関係 (1%水準で有意) が認められた。総合評価と理化学的特性値の間には、タンパク質含有率、硬さ/粘着性比と負の (5%水準で有意)、最高粘度 (5%水準で有意)、ブレイクダウン (1%水準で有意) と正の、密接な相関関係が認められた。

3. 実肥の施用が有機栽培米の食味と理化学的特性に及ぼす影響 (実験 III)

実肥の施用を行わず、基肥に上乗せすることにより、有

第3表 無施肥が有機栽培米の食味と理化学的特性に及ぼす影響 (実験 II, 1997 年)。

区	食味官能評価				タンパク質アミロース含有率 (%)		アミログラム特性(B.U.)		テクスチャー特性(T.U.)	
	総合評価	外観	味	粘り	含有率 (%)	含有率 (%)	最高粘度	ブレイクダウン	粘着性	硬さ/粘着性比
有機・無農薬区	0.14ab	0.21a	0.14a	0.14b	6.8c	18.3ab	476	208	0.24abc	30.6bcd
有機・減農薬区	0.21b	0.07a	0.21a	0.07b	6.8c	18.5b	487	215	0.24abc	30.1bc
有機・有農薬区	-0.21a	0.07a	-0.07a	-0.29a	7.7d	18.4b	440	179	0.23ab	39.1f
慣行区	0	0	0	0	7.2d	18.3ab	476	211	0.20a	42.1f
無肥・無農薬区	0.29b	0.21a	0.14a	0.21b	6.0a	18.0a	502	233	0.35g	22.6a
無肥・減農薬区	0.21b	0.21a	0.14a	0.21b	6.5b	18.5b	498	227	0.27bcdef	29.6b
無肥・有農薬区	0.00a	0.00a	0.07a	0.00a	6.4b	18.6b	470	204	0.27cdef	32.7bcde
無肥・慣行区	0.14ab	0.21a	0.00a	0.07b	5.9a	18.5b	536	255	0.27bcde	32.5bcde
相関係数										
総合 vs	-	0.626	0.817*	0.944**	-0.748*	-0.304	0.731*	0.745**	0.603	-0.828*

アンダーラインを付した数値は基準米 (慣行区) と t 検定により 5%水準で有意差あり。

同一文字を伴う平均値間には最小有意差法により 5%水準で有意差なし。

第4表 実肥の施用が有機栽培米の食味と理化学的特性に及ぼす影響 (実験 III, 1998 年)。

区	食 味 官 能 評 価				タンパク質含有率(%)
	総合評価	外観	味	粘り	
(実肥施用)					
有機・無農薬区	-0.13bc	0.07bc	-0.13bc	-0.07abc	7.5bc
有機・減農薬区	0.07c	0.00bc	0.20c	0.13c	7.9cd
有機・有農薬区	-0.40ab	-0.20ab	-0.33ab	-0.40ab	8.0d
慣 行 区	0	0	0	0	7.9cd
(実肥無施用)					
有機・無農薬区	0.07c	-0.07abc	-0.27ab	-0.07abc	6.8a
有機・減農薬区	0.07c	-0.07abc	-0.13bc	0.07c	6.8a
有機・有農薬区	0.07c	0.20c	-0.07bc	0.13c	7.3b
慣 行 区	-0.27abc	-0.07abc	-0.07bc	-0.20abc	7.7c

アンダーラインを付した数値は基準米 (慣行区) と t 検定により 5%水準で有意差あり。

同一文字を伴う平均値間には最小有意差法により 5%水準で有意差なし。

機・無農薬区と有機・有農薬区では総合評価がそれぞれ 0.2, 0.47 ポイント上昇したが (第4表), 有機・減農薬区では変化せず, また慣行区では低下した。慣行区で食味が低下した要因として, 基肥の増施により生育後期になびき型倒伏がみられ, 雨が多く穂発芽の生じやすい環境条件も食味低下に関係すると考えられた (松江ら 1991)。外觀, 味, 粘りは, 実肥無施用により有機・無農薬区, 有機・減農薬区, 慣行区では低下したのに対して, 有機・有農薬区のみ向上がみられた。タンパク質含有率は実肥無施用によりいずれの区でも低下したが, その程度は有機・有農薬区で小さかった。

考 察

本報告では, 有機栽培の継続試験を行っている水田から産出したコメの食味と理化学的特性を, 1996 年から 3 年間に渡り調査した。以下, 有機物の施用や施用方法, 農薬の散布がコメの食味に及ぼす影響について考察を行う。

まず有機物の施用が食味に及ぼす影響について考えてみると, 施肥にすべて有機質資材を用いた有機・無農薬区と有機・減農薬区の総合評価は, 慣行区に比べ 1996 年にはやや劣り, 逆に 1997 年にはやや優り, 1998 年にはほぼ等しかった。平均でみても有機質資材が食味に及ぼす影響は認められなかった。同一品種で栽培した場合の食味に影響する要因としてタンパク質含有率やアミロース含有率が指摘されているが, 本試験ではタンパク質含有率と密接な負の直線関係がみられたが, アミロース含有率との関係は有意ではなかった (第3表)。

さらに, 無施肥で栽培を行うと, ほとんどの区で総合評価が向上し, 同時にタンパク質含有率の低下を伴っていたことから (第3表), 食味の良否には肥料の種類よりも肥効の違いが関係していると考えられた。特に総合評価が 3 ヶ年を通じて最低値を示した有機・有農薬区では, 基肥に有機質肥料を用いているため慣行区に比べ初期生育が抑えられ, 乾物重が小さい割に, 化成肥料による追肥の肥効が大きく, 出穂期以降, 植物体の窒素含有率が高まったことが関係すると推察された (結果は示していない)。

タンパク質含有率はアミログラム特性の最高粘度 ($r = -0.859$), ブレークダウン ($r = -0.869$) と負の相関関係 (1%水準で有意) が認められたことから (第3表), 含有率の増加に伴ってアミログラム特性で示される粘りが弱まり, 総合評価が低下したと推察された。松江ら (1996) によると, 土壌型の違いによる食味低下, 特に淡色黒ぼく土産米の食味が劣った主因はタンパク質含有率の増加にあり, アミロース含有率, アミログラム特性との関係は小さいことを報告している。本研究では同一圃場における施肥条件の影響を比較しているため, 登熟温度の違いによるアミログラム特性の相違を含んでいないことから, アミログラム特性も食味に関係したと考えられた。岡本ら (1989) や稲津 (1990) も土壌条件の違いによる粘りの変動にはア

ミロース含有率よりもタンパク質含有率の影響が大きいことを認めており, 有機質肥料の施用による食味の変動にはタンパク質含有率が支配的な要因であると推察された。

本研究では, 有機栽培の試験を開始した当初より, 収量性の確保を目的として実肥の施用を行ってきた。しかし, 上述したように有機栽培米の食味が低下する年次もあることを考慮すると, 実肥の施用が食味の変動に影響している可能性が推察される。そこで, 実験 III において実肥無施用で栽培を行ったところ, 有機・有農薬区では粘りが強くなり, 有機無農薬区と有機・有農薬区では総合評価が向上した (第4表)。出穂期に近い追肥は食味を低下させることが認められている (石間ら 1974, 平ら 1974), 県によっては深層追肥や遅い穂肥や実肥は控えるよう指導がなされている (新堀 1977)。また, 井上ら (1991) は菜種油粕を基肥, 追肥に用いて栽培した米の食味に及ぼす影響はみられないが, 穂肥が遅れるとタンパク質含量が高まる可能性を示唆している。したがって, 有機質肥料を用いて良食味米の生産を行うには, 穂肥・実肥における肥効発現に留意し, 登熟期に窒素吸収を抑制することが肝要であると結論された。

最後に, 有機栽培における除草剤や殺虫・殺菌剤の影響について考えてみる。本研究では有機・無農薬区と有機・減農薬区の違いは除草剤の施用にあり, これらと有機・有農薬区, 慣行区の違いは殺虫・殺菌剤の施用にある。有機・無農薬区と有機・減農薬区の総合評価は 3 ヶ年を通じて有意差はなく, 農薬を施用しても有機・有農薬区に比べ慣行区の食味は優った (第2表)。松江 (1993) も殺虫剤散布の有無が食味に及ぼす影響を検討し, 必ずしも無散布が食味を向上させるとは限らないことを報告している。これらの結果は, 有機質肥料のみならず, 除草剤や殺虫・殺菌剤の施用がコメの食味に及ぼす影響は小さいことを示唆している。

有機栽培は, 自然の生態系をできるだけ維持し, 有機物による地力増強の下で, 安全なコメを生産することを目的としたものである。その方向は正しいにしても, 本研究で得られたように有機質肥料の施用方法によっては食味を低下させることから, 付加価値に見合った高品質・良食味米の生産には繋がらない場合もあることを十分理解しておかなければならない。

引用文献

- 浅野紘臣・磯部勝孝・坪木良雄 1998. アイガモ栽培による米の食味と Placebo 効果. 日作紀 67: 174-177.
- 江幡守衛・山田勉・石川雅士 1989. 米飯のテクスチャーに関する研究. 第3報 テクスチャーの品種間差異. 日作紀 58: 569-575.
- 稲津脩 1990. 良食味米の理化学的特性と栽培 (日本作物学会シンポジウム記事). 日作紀 59: 611-615.
- 井上恵子・山本富三・角重和浩・末信信二 1991. 水稻に対する菜種油粕の施用法. 福岡農総試研報 A11: 9-14.

- 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.
- 松江勇次・水田一枝・古野久美・吉田智彦 1991. 北部九州産米の食味に関する研究. 第1報 移植時期, 倒伏の時期が米の食味および理化学性に及ぼす影響. 日作紀 60:490—496.
- 松江勇次 1992. 少数パネル, 多数試料による米飯の官能検査. 日本家政学会誌 43:1027—1032.
- 松江勇次・原田皓二・吉田智彦 1992. 北部九州産米の食味に関する研究. 第4報 品種および産地での食味の安定性. 日作紀 61:545—550.
- 松江勇次 1993. 水稻の食味に及ぼす環境条件の影響及び良食味の奨励品種選定に関する研究. 福岡農試特別報告 6:1—73.
- 松江勇次・小田原孝治・比良松道一 1996. 北部九州産米の食味に関する研究. 第7報 食味の産地間差とその要因. 日作紀 65:245—252.
- 森敏 1986. 食品の質に及ぼす有機物施用の効果. 日本土壤肥料学会編, 有機物研究の新しい展望. 博友社, 東京. 85—137.
- 中川祥治・田村夕利子・緒方善丸 2000. 有機および慣行栽培米の品質特性の比較. 日作紀 69:31—37.
- 新堀二千男 1977. 米の品質と施肥法. 農及園 52:873—877.
- 岡本正弘・堀野俊郎・脇本賢三・荒井利直・坂井真 1989. 土壌型による食味の変動と米の成分との関係. 日作紀 58(別1):68—69.
- 齊藤邦行・黒田俊郎・熊野誠一 2001. 水稻の有機栽培に関する継続試験—10年間の生育収量—. 日作紀 70:530—540.
- 平宏和・平春枝・松崎昭夫・松島省三 1974. 水稻玄米の化学成分組成におよぼす窒素施肥の影響. 日作紀 43:144—150.
- 玉置雅彦・吉松敬祐・堀野俊郎 1995. 水稻有機農法実施年数と米のアミログラム特性値およびミネラル含量との関係. 日作紀 64:677—681.

Effects of Organic Fertilization and Pesticide Application on Palatability and Physicochemical Properties of Cooked Rice: Kuniyuki SAITOH^{*1)}, Toshifumi HAYAMI¹⁾, Tomohiro ISHIBE¹⁾, Yuji MATSUE²⁾, Takefumi OGATA and Toshiro KURODA¹⁾ (¹⁾*Fac. of Agr., Okayama Univ., Okayama 700-8530, Japan;* ²⁾*Fukuoka Agr. Res. Cent.*)

Abstract: The effects of organic fertilizer (cow and chicken manure) and pesticide on palatability and physicochemical properties of cooked rice (cultivar Nipponbare) were examined for three years from 1996 to 1998 in the paddy field of Okayama University. On the average, the overall eating quality of cooked rice from the plants grown in organic fertilizer-applied & pesticide-free plot and organic fertilizer & herbicide-applied plot were not significantly different from that in the chemical fertilizer & pesticide-applied plot. The palatability in the organic basal fertilizer applied, chemical top-dressed & pesticide-applied plot was inferior to that in the chemical fertilizer & pesticide-applied plot. This suggests that organic fertilization and agricultural chemicals hardly affect the palatability of cooked rice. In 1997, the palatability in each plot without fertilization was superior to that in the corresponding fertilized plot. The overall eating quality was negatively correlated with protein content and hardness/adhesion ratio, and positively correlated with stickiness, maximum viscosity and break down, but not with amylose content. In 1998, the palatability in the organic fertilizer-applied & pesticide-free plot and the chemical fertilizer & pesticide-applied plot without topdressing at the ripening period (amount of total applied nitrogen was equal) was superior to the corresponding plot with topdressing at the ripening period. In order to produce good eating quality rice in organic culture, it is important to restrict the nitrogen absorption of organic fertilizer at the ripening stage.

Key words: Amylographic characteristics, Fertilization, Organic farming, Palatability, Protein content, Rice, Texture.