

品質・加工

有機および慣行栽培米の品質特性の比較

中川祥治^{*1)}・田村夕利子¹⁾・緒方善丸²⁾

(¹⁾財団法人微生物応用技術研究所・²⁾MOA 自然農法大学校)

要旨: 1994年から3年間、同一農家が管理する隣接した有機および慣行栽培水田13組から採取した米の品質特性を比較した。有機および慣行別の平均値が各年次別、および3年間こみのいずれかで統計的に有意な差を示した特性は、不完全米割合(有機-少)、窒素含量(有機-少)、Mg/(K・N)(有機-高)、カリウム含量(有機-少)、カルシウム含量(有機-少)、亜鉛含量(有機-多)、胚芽活性度(有機-高)であり、概ね有機栽培米の品質が良かった。これらの特性の内、窒素含量、Mg/(K・N)、カリウム含量および亜鉛含量については、主に有機栽培水田における比較的小さい窒素施肥量および低い追肥頻度が影響していると推察された。また、米を収穫した後の水田土壌理化学性を測定した結果、慣行栽培水田に対して有機栽培水田で可給態ケイ酸が有意に高く、米の窒素含量低下に関与している可能性が示唆された。

キーワード: 外観品質, 米, 窒素含量, 貯蔵性, 土壌理化学性, Mg/(K・N), ミネラル含量, 有機栽培。

近年、一部の水稻農家において「安全な食料を消費者に供給する」、「農業経営面から」、「行政機関・農協からの働きかけ」および「農薬使用による健康面の不安」等の動機から、化学合成農薬(以下農薬)又は化学肥料を通常の使用量より大幅に節減した環境保全型農業への取り組みがなされており、さらに今後生産の拡大が見込まれている(注: 農林水産省統計情報部 1997. 環境保全型農業調査耕種部門調査結果の概要. 農林水産統計速報 9-226: 1-25.)。無農薬・無化学肥料で行われる有機栽培は、環境保全型農業の一つとして位置づけられているが、水稻の有機栽培を評価する上で、生産された米の品質は生産者および消費者にとっても関心を呼ぶ点である。これまでに鳥取、佐賀、宮城、新潟および長野の試験研究機関において、堆肥や有機質肥料などの有機物と化学肥料を種々の組み合わせで施用し、収穫された米の品質を比較する試験がいくつか行われている(注: 農林水産省農業研究センター 1992. 生態系活用型農業における生産安定技術. 地域重要新技術開発促進事業研究成果: 37-43.)が、有機物施用の効果について共通した傾向は得られていない。最近、齊藤ら(1998)は、有機質肥料と農薬の有無を組み合わせた試験を実施し、有機質肥料や農薬の施用の有無が米の食味に及ぼす影響は小さく、天候や肥料の施用方法に左右されると指摘している。

一方、生産現場における現状把握という観点から、有機栽培を実施している農家の水田で実際に収穫された米についての検討も行われており、玉置ら(1995)が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について報告している。また、自然・慣行両農法で生産した米の食味比較も行われている(力石ら 1996)。しかし、品種および栽培地の異なった場合に共通してみられる傾向を観察した研究はみられない。

そこで筆者らは、有機栽培米の品質特性について、品種および栽培地が異なっても共通してみられる傾向を見出すことを目的として、3年間にわたり全国13ヶ所から有機および慣行栽培米を採取し、外観品質、食味関連成分、ミネラル含量および貯蔵性について比較した。さらに、有機質肥料の増肥・減肥や水田土壌の理化学性と米の品質特性との関係についても若干の検討を行ったのであわせて報告する。

材料と方法

1. 水田の条件

供試米は、1994年～1996年の3年間、北海道3ヶ所、青森県2ヶ所、岩手県3ヶ所、宮城県2ヶ所、石川県2ヶ所および熊本県1ヶ所の計13ヶ所に設定した有機栽培および慣行栽培の水田から採取した。各地における両栽培の水田は隣接し、同一品種を栽培しており、4ヶ所を除いて同一農家により管理されている。各水田の面積は最低でも8aであった。各地の地形は平地、台地および山地、土壌群は泥炭土、グライ土、褐色低地土、灰色低地土および褐色森林土と多様であったが、土性は壤土が多数を占めていた。また、水田の乾湿は乾田が多いが、湿田および半湿田も少数混在していた。栽培品種は、きらら397、つがるおとめ、むつほまれ、ひとめぼれ、あきたこまち、ササニシキおよびコシヒカリの7品種であった。有機栽培の実施年数は、初年度の1994年時点において最低4年～最高34年の範囲におよんでいた(第1表)。

有機栽培における養分供給は、一部にほぼイナワラ還元のみという所もみられたが、米糠、大豆粕および骨粉等の有機質肥料や牛糞堆肥の施用、レンゲ鋤き込み等を種々に組み合わせて行われていた。それらの有機物施用は元肥が主体となっており、追肥がされているのは4ヶ所(第1表

第1表 供試玄米採取水田の条件.

採取地 No.	所在地	地形	土壌		乾湿	栽培品種	有機栽培 実施年数
			土壌群	土性			
1	北海道江別市	平野	泥炭土	壤土	乾田	きらら397	6年
2	北海道樺戸郡新十津川町	平野	グライ土	埴土	湿田	きらら397	19年
3	北海道夕張郡由仁町	平野	褐色低地土	壤土	半湿田	きらら397	4年
4	青森県北津軽郡中里町	平野	グライ土	壤土	乾田/半湿田	つがるおとめ	32年
5	青森県十和田市	台地	灰色低地土	壤土	半湿田	むつほまれ	5年
6	岩手県気仙郡住田町	山地	灰色低地土	壤土	乾田	ひとめぼれ	34年
7	岩手県下閉伊郡岩泉町	山地	褐色森林土	壤土	乾田	あきたこまち	13年
8	岩手県水沢市	平野	灰色低地土	壤土	乾田	ひとめぼれ	20年
9	宮城県仙台市泉区	平野	灰色低地土	壤土	乾田	ササニシキ	5年
10	宮城県仙台市泉区	平野	グライ土	埴壤土	半湿田	ひとめぼれ	10年
11	石川県珠洲市馬縹町	山地	褐色森林土	壤土	乾田	コシヒカリ	不明
12	石川県羽咋郡志賀町	山地	褐色森林土	壤土	乾田	コシヒカリ	18年
13	熊本県阿蘇郡阿蘇町	台地	褐色森林土	壤土	乾田/湿田	コシヒカリ	6年

各採取地において有機および慣行栽培を実施している水田から供試玄米を採取した。

“乾湿”における“/”は有機/慣行栽培水田を示す。

“有機栽培実施年数”は初年度の1994年を含む。

の採取地10~13)であった。本研究で対象とした有機栽培は、一定のガイドライン(注:全国MOA自然農法産地支部連合会(本部-静岡県田方郡大仁町)の設定した「MOA自然農法ガイドライン」)に添っており、化学肥料および農薬は一切使用されていない。一方、慣行栽培はそれぞれの地域で一般的に行われている肥培および防除管理に準じている。栽植密度は一部をのぞいて両栽培とも20株 m^{-2} 前後であった。なお、筆者らは実際に各水田へ赴き、水田条件の確認および収穫調査の立ち会いを行った。

2. 収穫および玄米調製

収穫適期に、1枚の水田につき3ヶ所から各30株ずつ(3条×10株)稲を刈り取り、自然乾燥後、脱穀および籾摺りを経た粗玄米を1.8mm目の米選機にかけ、3ヶ所のサンプルを均一に混合したものを精玄米(以下“玄米”とする)として各分析および測定に供した。また、30株×3ヶ所の玄米収量と刈り取り面積から収量を算出した。

3. 米の品質特性の分析および測定

腹白米、青米および茶米などの不完全米は肉眼で鑑定し、千粒重は玄米約20gの粒数を数えて算出した。窒素は玄米を42メッシュのふるいを全通するよう粉碎し(以下“玄米粉”とする)、NCアナライザー(NC800型、住化分析センター製)による乾式燃焼法で分析した。アミロースは、玄米を精米機(RE075型、HOSOKAWA製)により精白米(搗精歩合90%)とし、120メッシュのふるいを全通するよう粉碎したのについて、簡易比色定量法(新・食品分析法編集委員会1996)により、シグマ社製ポテトアミロースIIIを標準として定量した。各種ミネラルは玄米粉を乾式灰化後、ICP(ICPS-1000 III型、SHIMADZU製)により分析した。なお、ICP法におい

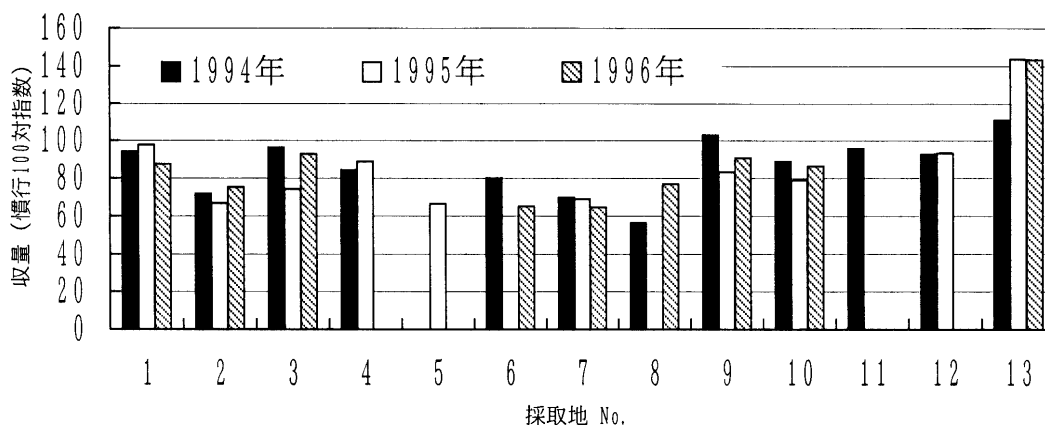
てカリウムの測定精度が問題になる場合があるが、本法ではサンプル秤量時からの5連制で変動係数(CV)=0.90%を確保しており、問題ないと思われる。玄米の貯蔵性については、収穫後の玄米を500mL容のプラスチック容器に室温下で密閉保存し、収穫翌年4月(以下“A”とする)および10月(以下“B”とする)の2回、胚芽活性度および脂肪酸度を指標として測定した。胚芽活性度は直径90mmのシャーレ内において、2.5 gL^{-1} 2・3・5-トリフェニールテトラゾリウムクロライド(TTC)水溶液20mLに玄米約150粒を25°Cで24時間浸漬し、鮮紅色になった胚芽の粒数を数え、全粒数に対する百分率を求めて測定した(小原ら1982)。脂肪酸度は玄米粉について大坪ら(1987)の比色法で分析した。

4. 有機栽培水田における増肥・減肥処理

1994年、4ヶ所(第1表の採取地1, 3, 6および9)の有機栽培水田に次のような処理を行った。すなわち、水田の一部に処理区(33 m^2 以上)を設け、有機物の施用が堆肥およびイナワラ還元主体の水田では、米糠、大豆粕および骨粉等の有機質肥料を元肥に施用し(増肥処理)、逆に有機質肥料が通常施用されている水田では減肥(減肥処理)した。なお、有機質肥料の種類については農家に一任し、施用量の目安は窒素成分としておおむね5 gm^{-2} とした。収穫は処理区の中から30株(3条×10株)の稲を刈り取り、前述の有機および慣行栽培水田と同様玄米に調製して各分析および測定に供した。

5. 水田土壌理化学性の分析

水稻収穫後、一枚の水田につき5ヶ所から0~15cm層の作土を採取し、混合して風乾砕土に調製した後、2mmのふるいを通過した分について以下の各分析および測定に



第1図 供試玄米採取水田における有機栽培米の収量。
 “採取地 No.”は第1表を参照。各採取地においてカラムのないものはデータなし。

第2表 有機および慣行栽培玄米13組の外観品質平均値。

	1994年			1995年			1996年			3年間こみ	
	有機	慣行	O-C	有機	慣行	O-C	有機	慣行	O-C	O-C	
不完全米 (全粒中%)	13.0	17.1	-4.1 ±4.6**	15.2	16.7	-1.5 ±6.5	30.8	33.6	-2.8 ±13.0	-2.8 ±8.6*	
腹白米 (全粒中%)	2.1	3.0	-0.9 ±1.5	1.3	1.4	-0.1 ±1.8	12.5	14.0	-1.5 ±10.2	-0.8 ±5.9	
青米 (全粒中%)	3.5	5.2	-1.7 ±3.5	5.4	6.3	-0.9 ±2.9	3.0	1.8	1.2 ±4.7	-0.6 ±3.9	
茶米 (全粒中%)	2.3	2.4	-0.1 ±1.4	0.6	0.7	-0.1 ±0.4	0.9	0.7	0.2 ±0.9	0.0 ±1.0	
ねじれ米 (全粒中%)	0.8	0.6	0.2 ±0.3	0.7	0.7	0.0 ±0.3	5.4	5.2	0.2 ±3.1	0.1 ±1.8	
死米 (全粒中%)	0.6	1.6	-1.0 ±1.7	3.2	3.5	-0.3 ±4.2	3.0	3.9	-0.9 ±3.2	-0.8 ±3.1	
先細米 (全粒中%)	0.5	0.5	0.0 ±0.3	0.9	0.9	0.0 ±0.6	1.2	1.4	-0.2 ±1.0	0.0 ±0.7	
着色米 (全粒中%)	0.5	0.6	-0.1 ±0.2	0.9	0.9	0.0 ±0.6	0.5	0.5	0.0 ±0.7	-0.1 ±0.5	
その他 (全粒中%)	2.7	3.2	-0.5	2.2	2.3	-0.1	4.2	6.2	-2.0	-0.9	
千粒重 (g d.b.)	24.7	24.6	0.1 ±1.1	23.7	23.4	0.3 ±1.1	24.0	23.9	0.1 ±1.6	0.1 ±1.3	

“有機”および“慣行”の各値は13ヶ所の平均値。

有機および慣行栽培の差 (O-C) は平均値±標準偏差で示した。また、有意性は *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$ で示した (Paired t-test, 年次ごとは $df=12$, 3年間こみは $df=38$)。

“青米”は活青を除く。

d.b.: 乾物あたり。

供した。容積重は山中式容積重測定装置 (DIK-1201 型, 大起理化工業製) により測定した。全炭素および全窒素は NC アナライザーによる乾式燃焼法, pH はガラス電極法, 可給態窒素は保温静置法 (30°C, 4 週間), 可給態リン酸はトルオーグ法, 亜鉛は 0.1 N 塩酸抽出法により分析した (土壤環境分析法編集委員会 1997)。また, 交換性 CaO, MgO, K₂O および陽イオン交換容量 (CEC) は振とう浸出法 (村本ら 1992), 可給態ケイ酸は 1 N 酢酸-酢酸ナトリウム緩衝液浸出法, 遊離酸化鉄は浅見・熊田法 (土壤養分測定法委員会 1987) により, それぞれ分析した。

結 果

1. 収量

供試米採取水田における有機栽培の玄米収量を, 慣行 100 対指数として第 1 図に示す。

収量は採取地 No. 13 および 1994 年の採取地 No. 9 を除いて全て 100 を下回っており, 今回玄米を採取した有機栽培の水田における収量は, 慣行栽培と比較して低く, 3 年間の全採取地平均では慣行の 87% であった。各年次にお

ける採取地 No.1~13 の慣行栽培収量レベルは, 1994 年が平均 559 gm⁻²・最高 664 gm⁻²・最低 461 gm⁻², 1995 年が平均 516 gm⁻²・最高 582 gm⁻²・最低 433 gm⁻² であった (注: 1995 年は 2ヶ所の採取地でデータなし, また 1996 年は収量の実数測定に一部不備があったため省略)。

2. 有機および慣行栽培米の各品質特性の比較

(1) 外観品質

有機および慣行栽培玄米 13 組の外観品質の平均値を第 2 表に示す。

全粒中の不完全米の割合は, 1994 年では有機 13.0% および慣行 17.1% で, 有意差 -4.1%** が得られ, 有機で不完全米が少なかったが, 1995 年および 1996 年では差がなかった。しかし, 3 年間こみでは有意差 -2.8% が得られた。不完全米の内, 比較的比率の多かった腹白米, 青米, 茶米, ねじれ米, 死米, 先細米および着色米について別々に検定したが, 有意差はなかった。また, 千粒重も同様であった。

(2) 食味関連成分

有機および慣行栽培玄米 13 組の食味関連成分の平均値

第3表 有機および慣行栽培玄米13組の食味関連成分平均値。

	1994年			1995年			1996年			3年間こみ
	有機	慣行	O-C	有機	慣行	O-C	有機	慣行	O-C	O-C
窒素 (% d.b.)	1.35	1.41	-0.06 ± 0.15	1.33	1.39	-0.06 ± 0.19	1.31	1.36	-0.05 ± 0.11	-0.06 ± 0.15*
Mg/(K・N) (Eq/Eq・%)	1.25	1.13	0.12 ± 0.13**	1.30	1.21	0.09 ± 0.18	1.25	1.18	0.07 ± 0.12*	0.10 ± 0.14***
アミロース (% d.b.)	22.9	22.7	0.2 ± 1.8	24.5	24.4	0.1 ± 0.7	26.1	26.1	0.0 ± 0.8	0.1 ± 1.2

有意性は *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$ で示した (Paired t-test, 年次ごとは $df=12$, 3年間こみは $df=38$, ただし 1996 年における“アミロース”は2組が欠測のため $df=10$) .

“アミロース”は精白米を分析した。

第4表 有機および慣行栽培玄米13組のミネラル含量平均値。

	1994年			1995年			1996年			3年間こみ
	有機	慣行	O-C	有機	慣行	O-C	有機	慣行	O-C	O-C
P (gkg^{-1} d.b.)	4.05	4.14	-0.09 ± 0.32	3.75	3.73	0.02 ± 0.19	3.78	3.78	0.00 ± 0.26	-0.02 ± 0.26
K (gkg^{-1} d.b.)	3.03	3.12	-0.09 ± 0.15*	3.02	2.97	0.05 ± 0.14	2.94	2.96	-0.02 ± 0.15	-0.02 ± 0.15
Mg (gkg^{-1} d.b.)	1.56	1.52	0.04 ± 0.11	1.55	1.51	0.04 ± 0.09	1.47	1.46	0.01 ± 0.09	0.03 ± 0.10
Ca ($mgkg^{-1}$ d.b.)	101	111	-10 ± 7***	100	104	-4 ± 6	114	120	-6 ± 8*	-7 ± 7***
Mn ($mgkg^{-1}$ d.b.)	33.0	32.9	0.1 ± 8.2	28.9	31.6	-2.7 ± 5.8	32.3	33.3	-1.0 ± 7.8	-1.2 ± 7.2
Zn ($mgkg^{-1}$ d.b.)	22.1	19.9	2.2 ± 2.9*	20.4	19.5	0.9 ± 2.2	23.2	21.9	1.3 ± 2.5	1.5 ± 2.5**
Cu ($mgkg^{-1}$ d.b.)	2.96	3.03	-0.07 ± 1.28	2.30	2.44	-0.14 ± 0.80	2.36	2.57	-0.21 ± 0.73	-0.14 ± 0.94

有意性は *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$ で示した (Paired t-test, 年次ごとは $df=12$, 3年間こみは $df=38$) .

第5表 有機および慣行栽培玄米13組の貯蔵性平均値。

	1994年			1995年			1996年			3年間こみ
	有機	慣行	O-C	有機	慣行	O-C	有機	慣行	O-C	O-C
胚芽活性度A (全粒中%)	90.8	90.1	0.7 ± 5.2	80.6	84.0	-3.4 ± 7.6	61.7	59.8	1.9 ± 8.4	-0.3 ± 7.4
胚芽活性度B (全粒中%)	71.1	67.4	3.7 ± 4.7*	56.5	58.6	-2.1 ± 5.9	39.1	35.5	3.6 ± 17.0	1.8 ± 10.8
脂肪酸度A ($mg \cdot KOH/100g$ d.b.)	20.5	22.9	-2.4 ± 7.0	21.0	20.5	0.5 ± 3.6	15.2	18.2	-3.0 ± 9.0	-1.6 ± 6.9
脂肪酸度B ($mg \cdot KOH/100g$ d.b.)	29.7	34.5	-4.8 ± 9.0	32.5	32.4	0.1 ± 6.7	31.7	38.3	-6.6 ± 20.1	-3.8 ± 13.3

有意性は *: $p < 0.05$ で示した (Paired t-test, 年次ごとは $df=12$, 3年間こみは $df=38$) .

“胚芽活性度”および“脂肪酸度”におけるAおよびBはそれぞれ収穫翌年4月および10月の測定を示す。

を第3表に示す。

窒素含量は、各年次における有意差はなかったが、3年間こみでは有機1.33%および慣行1.39%で有意差-0.06%が得られ、有機が少ない傾向があった。

Mg/(K・N) (Eq/Eq・%) は、1994年では有機1.25および慣行1.13で有意差0.12**、さらに1996年にも有意差0.07*、また3年間こみでは有意差0.10***が得られ、有機の値が高い強い傾向がみられた。

アミロース含量は両栽培でほぼ同じ値を示し、差はなかった。

(3) ミネラル含量

有機および慣行栽培玄米13組のミネラル含量の平均値を第4表に示す。

カリウム含量は、1994年では有機3.03 gkg^{-1} および慣行3.12 gkg^{-1} で有意差-0.09 gkg^{-1} が得られ、有機が少ない傾向があったが、1995年、1996年および3年間こみでは差がなかった。

カルシウム含量は、1994年では有機101 gkg^{-1} および慣行111 gkg^{-1} で有意差-10*** gkg^{-1} 、さらに1996年に

も有意差-6 gkg^{-1} 、また3年間こみでは有意差-7*** gkg^{-1} が得られ、有機が少ない傾向が強かった。

亜鉛含量は、1994年では有機22.1 gkg^{-1} および慣行19.9 gkg^{-1} で有意差2.2 gkg^{-1} が得られ、有機が多かったが、1995年および1996年では差がなかった。しかし、3年間こみでは有意差1.5** gkg^{-1} が得られた。

その他のリン、マグネシウム、マンガンおよび銅については、差がなかった。

(4) 貯蔵性

有機および慣行栽培玄米13組の貯蔵性における平均値を第5表に示す。

収穫翌年4月に測定した胚芽活性度Aならびに脂肪酸度Aは、3年とも差がなかった。一方、収穫翌年10月に測定した胚芽活性度Bは、1994年では有機71.1%および慣行67.4%で有意差3.7%が得られ、有機の活性が高く保存性が優れていたが、1995年、1996年および3年間こみでは差がなかった。また、収穫翌年10月に測定した脂肪酸度Bについては、3年とも差がなかった。

第6表 有機栽培水田における有機質肥料の増肥・減肥処理と米の品質特性 (1994年)。

採取地No.	処理内容	収量 (gm ⁻²)			不完全米 (全粒中%)			全窒素 (% d.b.)			Mg/(K・N) (Eq/Eq・%)			胚芽活性度B (%)		
		未処理	処理	増減	未処理	処理	増減	未処理	処理	増減	未処理	処理	増減	未処理	処理	増減
1	減肥	541	438	-	13.2	9.6	-	1.60	1.53	-	0.97	0.93	-	94.2	93.3	○
3	減肥	553	444	-	15.6	11.7	-	1.76	1.48	-	0.96	1.06	+	81.2	94.7	+
6	増肥	480	534	+	17.5	13.2	-	1.25	1.28	○	1.31	1.33	○	65.5	74.7	+
9	減肥	568	509	-	15.0	12.8	-	1.23	1.36	+	1.35	1.16	-	76.6	70.7	-

採取地No.	処理内容	K (gkg ⁻¹ d.b.)			Mg (gkg ⁻¹ d.b.)			Ca (mgkg ⁻¹ d.b.)			Zn (mgkg ⁻¹ d.b.)		
		未処理	処理	増減	未処理	処理	増減	未処理	処理	増減	未処理	処理	増減
1	減肥	3.34	3.36	○	1.62	1.48	-	108	113	+	23.4	26.3	+
3	減肥	3.34	3.38	○	1.76	1.66	-	100	100	○	20.3	21.8	+
6	増肥	2.77	2.94	+	1.41	1.56	+	105	103	○	22.5	22.6	○
9	減肥	3.45	3.30	-	1.78	1.61	-	96	99	○	18.6	19.5	+

表中の記号は、+：増加，-：減少，○：増減なしで、各項目とも標準区に対する変化が4%未満の場合を増減なしとした。処理は元肥において行なわれた。胚芽活性度 B は収穫翌年 10 月の測定を示す。

3. 有機質肥料の増肥・減肥処理と米の品質特性との関係

減肥処理 3 地点および増肥処理 1 地点の有機栽培水田から採取した米の各種品質特性値を第 6 表に示した。

有機および慣行栽培の比較で有意差の得られた玄米品質項目の内、増肥・減肥処理に対して反応したのは亜鉛含量のみで、採取地 No.3 における増肥で変化しなかったものの、他の 3 地点では施肥量の減少に伴って増加する傾向が伺えた。また、マグネシウム含量は有機および慣行栽培の比較で有意差はなかったが、その値は減肥により減少し、増肥により増加した。なお、本処理における 4 地点では、収量は減肥により減少し、増肥により増加しており、施肥の効果は明確に出ていた。

4. 水田土壌理化学性

供試玄米採取水田における土壌理化学性の平均値を第 7 表に示した。

土壌中の可給態ケイ酸含量は有機 239 mgkg⁻¹ および慣行 176 mgkg⁻¹ で有意差 63*mgkg⁻¹ が得られ、有機栽培の水田土壌にケイ酸が多いことが認められたが、その他の項目については差がなかった。

考 察

本研究における採取地の数は多くないが、地形、水田土壌の土壌群、水田の乾湿および栽培品種が様々であり、さらには有機栽培の水田において施用されている有機物の種類も一定していない。よって、このような条件下で統計的有意差が得られた品質特性項目については、一般の有機栽培米にも同じ傾向がみられる可能性が高いと考えられる。

本研究で対象とした有機栽培は、一部を除いて慣行より収量が低かった (第 1 図)。一部の採取地において、農家に対する聞き取り調査から 1 作あたり窒素成分施肥量を概算した結果、採取地 No. 1 で有機栽培 4 gm⁻²・慣行栽培 7

第7表 供試玄米採取水田における土壌理化学性平均値 (1994年採取)。

	有機	慣行	O-C
容積重 (Mgm ⁻³ d.b.)	0.95	0.96	-0.01 ±0.08
全炭素 (gkg ⁻¹ d.b.)	26.1	24.9	1.2 ±9.1
全窒素 (gkg ⁻¹ d.b.)	2.1	2.0	0.1 ±0.8
C/N比	12.1	12.5	-0.4 ±0.9
pH	5.6	5.4	0.2 ±0.4
可給態窒素 (mgkg ⁻¹ d.b.)	107	112	-5 ±30
置換性CaO (gkg ⁻¹ d.b.)	1.94	1.95	-0.01 ±0.64
置換性MgO (mgkg ⁻¹ d.b.)	467	467	0 ±180
置換性K ₂ O (mgkg ⁻¹ d.b.)	216	244	-28 ±86
Ca/Mg (meq比)	6.64	4.02	2.62 ±9.33
Mg/K (meq比)	5.42	4.49	0.93 ±2.39
CEC (cmol (+) kg ⁻¹ d.b.)	16.9	16.2	0.7 ±3.3
可給態リン酸 (mgkg ⁻¹ d.b.)	86	107	-21 ±111
可給態ケイ酸 (mgkg ⁻¹ d.b.)	239	176	63 ±79*
遊離酸化鉄 (gkg ⁻¹ d.b.)	15.3	14.5	0.8 ±5.0
Zn (mgkg ⁻¹ d.b.)	6.20	4.97	1.24 ±4.04

“有機” および “慣行” の各値は 13ヶ所の平均値。有機および慣行栽培の差 (O-C) は平均値±標準偏差で示した。また、有意性は *：p<0.05 で示した (Paired t-test, df=12)。可給態リン酸はトルオーグ法による。可給態窒素は 30°C、4 週間の保温静置法による。Zn は 0.1 N 塩酸抽出法による。

gm⁻²、採取地 No. 3 で有機 9 gm⁻²・慣行 10 gm⁻²、また、採取地 No. 10 で有機 5 gm⁻²・慣行 7 gm⁻² であり、有機栽培の窒素施肥量が比較的少ない。一方、3 年とも慣行に対して収量が高かった採取地 No. 13 (第 1 図) では、有機 22 gm⁻²・慣行 8 gm⁻² と、有機栽培は慣行の 2 倍以上の窒素が施用されていた。以上のことから、全般的に有機栽培の収量が低かったのは、窒素施肥量が少ないことに起因すると考えられる。

外観品質について、有機栽培米では不完全米の割合が少

なかった(第2表)。不完全米は外観品質として米の検査等級に関わるが、整粒歩合が低い米は官能検査の食味評価値が低く精米粗タンパク含量は高いという報告(今野ら1997)もある。粗タンパク含量との関係については、本研究においても不完全米の少ない有機栽培米で窒素含量が低い傾向が出ており、前述の報告と矛盾しない。

窒素含量は有機栽培米の方が低いという傾向を示した(第3表)。一般的に米の窒素あるいはタンパク質含量は実肥のような生育後半に窒素が稲体へ吸収される場合に増加することが知られている(石間ら1972, 山下・藤本1974)。また、混合有機質肥料でも玄米のタンパク質含量と窒素施用総量および穂肥窒素量との間に、それぞれ正の相関がみられている(澤田ら1991)。さらに、有機栽培水田への施肥量が多く、追肥が行われている採取地No.13において、3年間の玄米窒素含量は、1994年から順に慣行が1.29, 1.23および1.29% (d.b.)であるのに対し、有機が1.42, 1.53および1.40% (d.b.)と、有機栽培米の方が高かった。これらのことから、本研究で対象とした有機栽培水田の多くにおいて窒素施用量が少なく、追肥が施用されていないことが、有機栽培米で低窒素含量を生じた主因と推測できる。なお、増肥・減肥処理においてはこのような傾向が出ていないが(第6表)、これは処理が元肥のためであろう。一方、全採取地における両栽培水田土壌の理化学分析結果では、慣行に対して有機の可給態ケイ酸が有意に高かった(第7表)、ケイ酸の増加は米粒中タンパク含有量の低下に関与することが指摘されており(宮森1996)、本研究でみられた低窒素含量を生む一因となっている可能性がある。

官能検査の“粘り”と正の相関が認められているMg/(K・N)(岡本ら1985)は、本研究において有機栽培米が高い傾向を示した。Mg/(K・N)の構成要素である窒素については前述したので、Mg/Kについて述べる。Mg/Kは稲体の窒素吸収量と負の相関関係にあり、主に窒素吸収量に対するカリウム含量の上昇が関与していることが指摘されている(武田ら1990)。本研究の有機および慣行比較試験でも、Mg/(K・N)の差が最も顕著であった1994年において、カリウム含量が有意に有機で少なくなっており、有機栽培における少ない窒素施用量が主な原因と考えられる。しかしながら、増肥・減肥処理においてはマグネシウムが有機質肥料の施肥とともに増加あるいは減少していることから(第6表)、有機質肥料施用によるマグネシウム含量の増加も有機栽培米のMg/(K・N)に若干関与している可能性も考えられる。

アミロースはどの年次においても有機および慣行栽培米含量に差がなかったが、これはその含有率が窒素施用量に影響されずに品種および登熟温度などに影響される(稲津1990)ためと思われる。

ミネラル含量について、本研究では有機栽培米の方が、カリウムおよびカルシウムが少なく、亜鉛が多かった(第

4表)。亜鉛については増肥・減肥処理において施肥量の減少と共に増加する傾向がみられており(第6表)、有機栽培における窒素施肥量の少なさが亜鉛の増加と関連しているのではないかと考えられる。またカリウムは前述のように有機栽培の稲体における少ない窒素施用量が主因と思われるが、カルシウムについては原因が明確でない。

貯蔵性については、有機栽培米の胚芽活性度に高い傾向がみられた。豊島ら(1998)は本法(ただし、 1gL^{-1} TTC水溶液に1時間浸漬)での測定値と官能検査総合評価値との間に正の相関を得ており、食味と関係のあることが推察されている。しかし、施肥など栽培環境との関係については知られていない。玄米脂肪酸度も品質劣化の指標として用いられ、官能検査総合評価値との間に負の相関が得られている(豊島ら1998)が、本研究では有意差を得るに至らなかった。

以上のように、本研究では有機および慣行栽培米の品質を比較した結果、不完全米、窒素含量、Mg/(K・N)、カリウム含量、カルシウム含量、亜鉛含量および胚芽活性度に有意差がみられ、栽培年により傾向の強弱はあるが概ね有機栽培米の品質が高かった。これらの品質項目の内、窒素含量、Mg/(K・N)、カリウム含量および亜鉛含量については、主に有機栽培水田における比較的少ない窒素施肥量および低い追肥頻度が影響していると推察された。玉置ら(1995)は山口県下において、有機農法実施年数の増加にともない、米の窒素、リン、カリウムおよびカルシウム含量が減少、マグネシウム含量が微増することを確認している。本研究の結果は、これと共通する点があり、生産現場における有機栽培米の特徴をある程度表わしているものと思われる。

なお、今回特に1994年において多くの項目で有意差がみられている。気象庁の農業気象年報によると、1994年の気象は、春先から少雨多照で栽培期間を通して高温であった。おそらく施用した有機物の分解や土壌の地力窒素の無機化ピークに影響し、水稻の生育期間を通して有機と慣行栽培間に種々の差が出やすかったと推測される。

謝辞:本研究を行うにあたり、玄米、土壌サンプルの採取および土壌の分析について御協力いただいた全国MOA自然農法産地支部連合会、また、論文の作成にあたり、有益なご助言をいただいた広島県立大学生物資源学部助教教授玉置雅彦博士、同助教授猪谷富雄博士、東京大学名誉教授善本知孝博士ならびに世界永続農業協会宇田川武俊博士に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- カ石サダ・志賀康造・金子精一 1996. 自然、慣行両農法で生産した魚沼産コシヒカリの米の食味比較について. 栄養学雑誌 54: 377-382.
 土壌環境分析法編集委員会 1997. 土壌環境分析法. 博友社, 東京. 195-352.

- 土壌養分測定法委員会 1987. 土壌養分分析法. 養賢堂, 東京. 278—332.
- 稲津脩 1990. 良質米の理化学的特性と栽培. 日作紀 59:611—615.
- 石間紀男・平宏和・平春枝・御子柴穆・吉川誠次 1972. 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.
- 今野周・一戸每子・加藤賢一・長谷川正俊・武田正宏 1997. 米の食味官能評価に及ぼす玄米品質及び食味理化学特性の影響と良食味米のプロフィール. 山形農試研報 31:13—29.
- 宮森康雄 1996. 低タンパク米生産におけるケイ酸の役割とその診断指標. 土肥誌 67:696—700.
- 村本稷司・後藤逸男・蜷木翠 1992. 振とう浸出法による土壌の交換性陽イオンおよび陽イオン交換容量の迅速分析. 土肥誌 63:210—215.
- 小原哲二郎・鈴木隆雄・岩尾裕之 1982. 改定 食品分析ハンドブック. 建帛社, 東京. 513.
- 岡本正弘・堀野俊郎・福岡忠彦・篠田治躬 1985. 玄米の窒素及び主要ミネラル含量と食味との関連について. 育雑(別2) 35:250—251.
- 大坪研一・柳瀬肇・石間紀男 1987. 比色法による米の脂肪酸度の測定—貯蔵による米の品質変化と Duncombe 法を改良して測定した脂肪酸度との関係について—. 食総研報 51:59—65.
- 齊藤邦行・速水敏史・松江勇次・尾形武文・黒田俊郎 1998. 水稻の有機栽培に関する生態学的研究—米飯の食味と理化学的特性—. 日作紀 67(別1):20—21.
- 澤田富雄・井上浩一郎・曳野亥三夫・吉川年彦 1991. 混合有機質肥料の施用が水稻の生育・収量・品質に及ぼす影響. 兵庫中央農技研報(農業) 39:17—22.
- 新・食品分析法編集委員会 1996. 新・食品分析法. 光琳, 東京. 564—566.
- 武田良和・中鉢富夫・山家いずみ 1990. 養分吸収と米の食味関連成分. 東北農業研究 43:81—82.
- 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.
- 豊島英親・木村俊範・吉崎繁・藤井幸代・岡留博司・塚根保夫・盛田正樹・田嶋義三・大坪研一 1998. 良質米の貯蔵中の品質変化. 食科工 45:683—691.
- 山下鏡一・藤本堯夫 1974. 肥料と米の品質に関する研究 2 窒素肥料が米の食味, 炊飯特性, デンプンの理化学的性質等に及ぼす影響. 東北農試研報 48:65—79.

Comparison of Rice Grain Qualities as Influenced by Organic and Conventional Farming Systems: Shoji NAKAGAWA^{*1)}, Yuriko TAMURA¹⁾ and Yoshimaru OGATA²⁾ (¹⁾Institute for Agro-Microbiology, Atami 413-0033, Japan; ²⁾MOA Nature Farming School)

Abstract: From 1994 through 1996, qualities of rice grains cultivated under organic and conventional farming systems have been compared at 13 different locations in Japan with respect to their appearances, indices of the eating quality, mineral content, and shelf life. At each location, the organically managed paddy and conventionally managed paddy were adjacent to each other and managed by almost the same farmers. The results of the paired t-tests showed that statistically significant differences in qualities of organic and conventional rice grains were found in 1994 ($n=13$), 1996 ($n=13$), and a total of three years ($n=39$). The organically grown rice had higher Mg/(K·N), zinc content, and embryo activity during storage and lower imperfect rice kernel ratio, nitrogen content, potassium content, and calcium content than the conventionally grown rice. Among these indices, the lower nitrogen content, higher Mg/(K·N), lower potassium content, and higher zinc content of the organically grown rice could be explained because of the lower nitrogen application in organic farming systems than in conventional farming systems. Furthermore, it was found that the organic paddies contained higher available silica than the conventional paddies did statistically, at significant levels at all the locations. This may contribute to the inhibition of nitrogen accumulation in organic rice grains.

Key words: Grain quality, Mg/(K·N), Mineral content, Nitrogen content, Organic farming, Physicochemical property of soil, Rice, Shelf life.