

特別栽培の継続が水稲の生育，収量および品質に及ぼす影響

菅原慶子^{1*}・軽部 潔¹・加藤盛夫^{1,2}・林 久喜^{1,2}

¹ 筑波大学農林技術センター
305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1
² 筑波大学生命環境系
305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

要 旨

食の安全や持続的生産という観点から、筑波大学農林技術センター水田では化学合成農薬および化学肥料の使用量を慣行栽培の50%以下にする減農薬・減化学肥料栽培(以下、特別栽培)に取り組んでいる。本研究では特別栽培圃場における複数年の調査結果をとりまとめ、有機質肥料の継続施用が水稲(品種：コシヒカリ)の生育、収量および米品質に及ぼす影響を明らかにした。特別栽培水稲の生育は慣行栽培に比べて、草丈、茎数、葉色値ともに劣って推移した。収量は慣行栽培に比べて特別栽培は大きく減収した。登熟歩合には差が見られず、特別栽培では穂数および1穂粒数の減少による単位面積当たり粒数の不足が低収量の原因であることが明らかになった。特別栽培米は食味値がやや高く、特に玄米タンパク質含有率は低かった。特別栽培では食味値の維持に配慮しつつ茎数確保と1穂粒数維持を図る栽培管理が必要と考えられる。

キーワード：収量、水稲、特別栽培、品質、有機質肥料

緒 言

環境問題への関心および農産物の食味と安全性に対する消費者意識の向上により、消費者が農産物の生産過程に関心を持つようになった。実際、2002年に開催された筑波大学公開講座・農業における農薬の重要性と適正使用を考える「実験的実習：環境を考えた少農薬水稲栽培」では、アンケートの結果、農薬の必要性や安全性を理解した上でも農薬の使用は避けて農産物を生産したいという参加者の気持ちが推察され、加えて収穫物の安全性に対する消費者の関心が高いことが明らかとなった。また、持続可能な農業生産という観点から、行政や試験研究機関において有機栽培農産物の品質評価基準の設定や試験研究への取り組みが盛んになってきた

(農林水産省 2013)。

農林技術センターの所在する茨城県においては環境保全と農産物に対する消費者の信頼を高めるとともに、安全で安心な食料供給と環境にやさしい農産物を求める消費者ニーズに対応した農業生産の拡大を目的として特別栽培への取り組み(エコ農業茨城推進に関する農産物認証制度)に力を入れている(茨城県 2008)。このような中で筑波大学農林技術センターは食の安全および持続的生産という観点からコシヒカリの特別栽培に2005年から取り組んでおり、茨城県の認証(「特別栽培農産物」)を受けて生産過程における化学合成農薬の施用回数および化学肥料の施用量を慣行栽培の50%以下に抑えた減農薬・減化学肥料栽培を継続している。

有機質肥料と無農薬で栽培された作物は現

*連絡者：菅原慶子 筑波大学農林技術センター
305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1
E-mail：sugawara.keiko.fm@un.tsukuba.ac.jp

行の化学肥料と農薬を使用した栽培方法に比べて、食味が優れることが報告された(近藤ら 1987, 大場ら 2000, 伊藤ら 2010)。しかし、農林技術センターの特別栽培では玄米収量は慣行栽培よりも低い傾向にあった(筑波大学農林技術センター 2009)。

特別栽培認証を受ける生産者は年々増加しており、認証基準を満たした水稻特別栽培の安定生産は重要な課題である(佐藤ら 2007)。本研究では、特別栽培の継続が水稻の生育、収量および米の品質へ及ぼす影響が現行の化学肥料を主とした栽培(以下、慣行栽培)と異なるものかどうかを検証した。

材料および方法

本研究は2009年から2011年の3年間、品種はコシヒカリを用い、農林技術センター水田圃場で実施した。1号圃および2号圃(各19.6a)は2009年より新規に特別栽培圃場として栽培を開始し、慣行栽培として6号圃(22.2a)を対照とした。肥料として市販の有機質肥料(1号圃には「ブリケット(粒状)有機100%味好1号」(N-P-K=6-8-4%、片岡チッカリン(株)、農林水産省有機農産物等ガイドライン適合肥料)105kg/10a、2号圃に「どきどき有機一発(有機50%)」(N-P-K=12-7-5%、コープケミカル、茨城県認証制度適合肥料)52.5kg/10a、慣行栽

培には「ゆうた君一発(有機入りコシヒカリ専用基肥)」(N-P-K=6-8-4%、コープケミカル)66.6kg/10aを施用した。特別栽培の窒素成分量は6.3kg/10aで、うち化学肥料による窒素施用量を0kg/10aとする特別栽培(有機100%)区(1号圃)と3.15kg/10aの特別栽培(有機50%)区(2号圃)とし、慣行栽培区(6号圃)は窒素施用量8.0kg/10a、うち化学肥料による窒素施用量を5.6kg/10aとした。肥料の施用方法は特別栽培で全層施肥、慣行栽培では側条施肥とし、使用肥料はすべて緩効性の基肥専用肥料のため追肥は行わなかった。

特別栽培の両区は「茨城県特別栽培農産物認証制度対象農産物並びに農薬及び化学肥料の使用基準」(米の化学合成農薬の使用成分回数8回、化学肥料の使用量(窒素成分量3.2kg/10a))以内で栽培を実施した。農薬については両栽培法とも使用成分回数を同じにし(表1)、種籾の消毒は農薬を使用せずに温湯消毒を行った。

各栽培年とも4月中旬～下旬に催芽籾を育苗箱に播種し、ビニルハウスで育苗後、特別栽培は5月上旬、慣行栽培は5月中旬に移植した(表2)。雑草防除および水管理は農林技術センターの慣行により実施した。出穂期は特別栽培区で7月下旬、慣行栽培区は8月上旬となり、それぞれ9月上旬および中旬に収穫した(表2)。

調査区として圃場内に対角線上に5ヵ所(2009、2010年)ないし3ヵ所(2011年)の収量調

表1 施用時期ごとの使用農薬ならびに農薬使用成分回数

栽培年	播種時 (殺菌剤)	移植時 (殺菌・殺虫剤)	移植後 (除草剤)	農薬使用成分 回数の合計
2009	TPN	フィプロニル・プロペナゾール	カフェンストロール・ベンゾビシクロン	5回
2010	TPN	フィプロニル	カフェンストロール・ベンゾビシクロン	4回
2011	TPN	フィプロニル	ピラクロニル・ベンゾビシクロン	4回

注) 茨城県特別栽培米の化学合成農薬の使用成分回数は8回以内。

表2 年別の生育時期(月/日)

処理区	栽培年	移植期	出穂始	穂揃期	成熟期
慣行栽培区	2009	5/15 (24)	7/31 (101)	8/6 (107)	9/15 (147)
	2010	5/13 (16)	7/27 (91)	8/2 (97)	9/2 (128)
	2011	5/10 (21)	7/27 (99)	8/2 (105)	9/8 (136)
有機50%区	2009	5/7 (20)	7/28 (101)	8/1 (105)	9/4 (139)
	2010	5/7 (17)	7/26 (97)	7/30 (101)	8/28 (130)
	2011	5/2 (20)	7/25 (104)	7/30 (109)	9/2 (141)
有機100%区	2009	5/7 (20)	7/30 (103)	8/3 (107)	9/4 (139)
	2010	5/7 (17)	7/26 (97)	7/30 (101)	8/28 (130)
	2011	5/2 (20)	7/23 (102)	7/28 (107)	9/2 (143)

注) ()内は播種後日数を示す。

査区を設定し、それぞれから100株を収穫、代表株法により収量および収量構成要素を求めた。生育調査は収量調査区の1ヵ所より連続する20株について移植後3週間ごとに出穂期まで、草丈、茎数、葉色値(SPAD-502、コニカミノルタ)を測定した。有効茎歩合は2010年および2011年に調査した。

2011年産米について粳摺り後、篩目1.85mmにて調整した玄米サンプルを食味値(1反復300gを3反復)および外観品質(1反復1500粒を3反復)の測定に使用した。食味は米粒食味計(RCTA11A、サタケ)により玄米の食味値、アミロース含量、タンパク質含有率、水分含量、脂肪酸度を測定した。玄米外観品質は、穀粒判別器(RGQI11A、サタケ)により整粒、未熟粒、被害粒の割合を測定した。

3ヵ年の栽培期間中(5月～8月)の気象条

件として気象庁気象統計情報過去の気象データ検索(<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>)からつくば気象観測所の日別平均気温ならびに平均日射量のデータを使用した。

結 果

1. 生育期間中の気象の推移

2009年は2010年および2011年に比べて平均気温は生育初期にやや高く、7月以降は低く推移した(図1)。2010年は7月以降は高く推移したが、2011年は7、8月の変動が激しかった(図1)。

日射量の日変動は大きいですが、2009年は7月下旬から8月上旬にかけて平年に比べて低い日が多く、2011年は8月中旬に低い日が多かった(図2)。

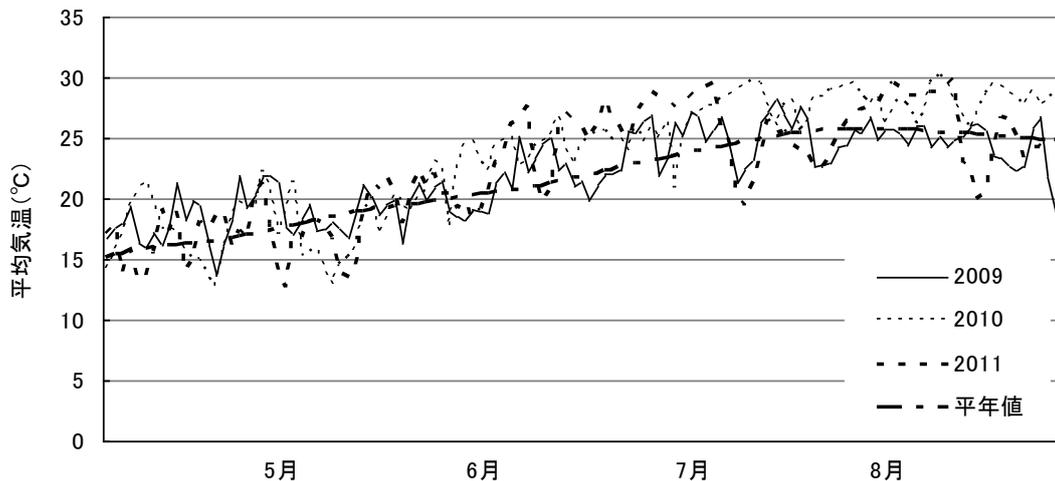


図1 生育期間中の平均気温の推移
(つくば、気象庁気象統計情報より抜粋)

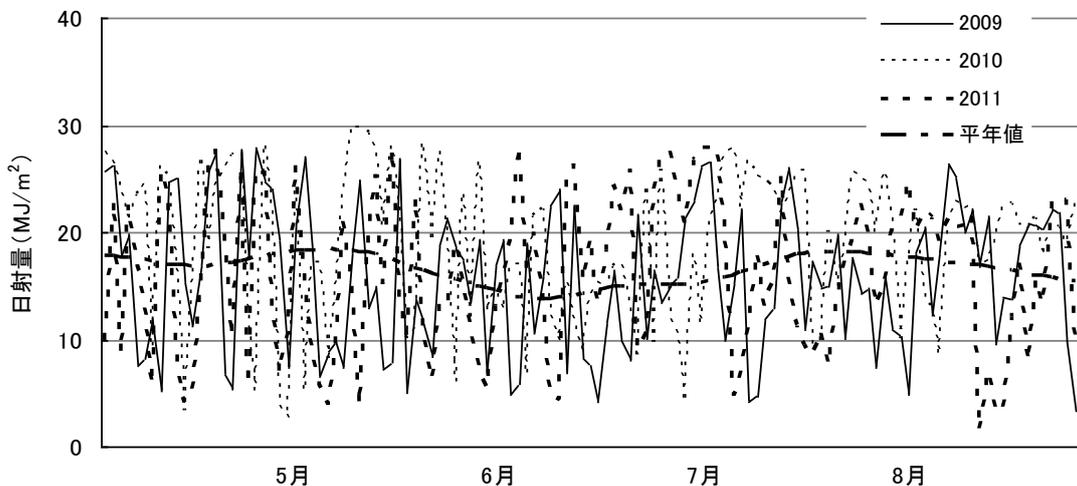


図2 生育期間中の平均日射量の推移
(つくば、気象庁気象統計情報より抜粋)

2. 生育経過

2011年の移植後から出穂期までの生育調査の結果を図3に示した。草丈は特別栽培区に比べて慣行栽培区が高く推移した(図3A)。株当たり茎数は慣行栽培が特別栽培に対して生育初期は増加程度が大きく最高茎数は多くなったが、その後減少して生育後半には圃場間の差はほとんどなかった(図3B)。葉色の指標であるSPAD値は生育初期の40前後の値から徐々に減少するが、生育後半になると特別栽培に比べて慣行栽培でやや大きく推移した(図3C)。

2010年および2011年の生育形質に及ぼす特別栽培の影響を表3に示した。栽培年にかかわらず特別栽培は慣行栽培より最高茎数が少なく、有効茎歩合は高かった。稈長と穂長は特別栽培で短かった。

3. 収量および収量構成要素

玄米収量は年次変動はあるものの、3ヶ年を平均すると有機100%区327g/m²、有機50%区383g/m²、慣行栽培区523g/m²と慣行栽培区と比較して特別栽培、特に有機100%区の収量は低かった。

収量構成要素を比較すると、登熟歩合には差がみられなかったのに対して、他の構成要素にはすべて差がみられた(表4)。特に単位面積当たり籾数は有機100%区17515個/m²、有機50%区20711個/m²、慣行栽培区27119個/m²と特別栽培では慣行栽培に対してそれぞれ少なかった。これは単位面積当たり穂数および1穂当たり籾

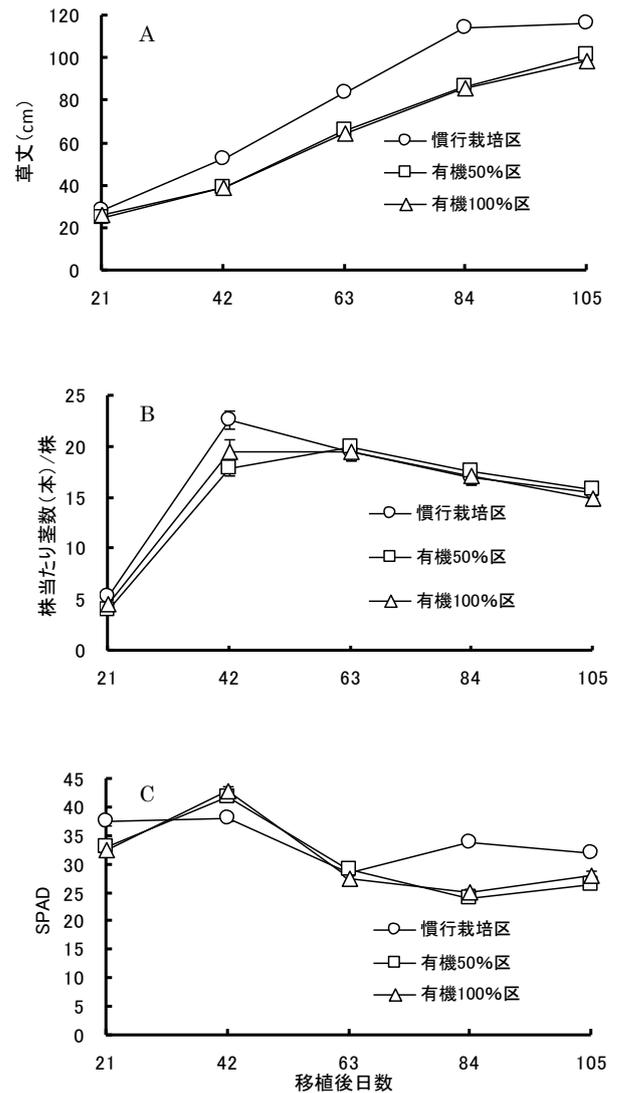


図3 慣行栽培および特別栽培における生育の比較 (2011)

表3 慣行栽培および特別栽培圃場における成長形質の比較

処理区	栽培年	最高茎数 (本/株)	有効茎数 (本/株)	有効茎歩合 (%)	稈長 (cm)	穂長 (cm)
慣行栽培区	2010	25.2	14.4	59.9	86.7	19.1
	2011	23.2	15.1	64.4	87.6	18.3
	平均	24.2	14.8	62.2	87.2	18.7
有機50%区	2010	23.2	15.7	68.0	78.2	19.1
	2011	20.9	15.2	67.0	79.3	17.3
	平均	22.1	15.5	67.5	78.8	18.2
有機100%区	2010	18.9	11.9	63.3	73.1	17.8
	2011	22.2	14.4	65.4	77.1	16.8
	平均	20.6	13.2	64.4	75.1	17.3
分散分析						
処理区		***	***	*	***	**
年		NS	NS	NS	NS	**
年×処理区		**	*	NS	NS	NS

注) *, **, ***は分散分析によりそれぞれ5%、1%、0.1%で有意であることを示す。また、NSは有意でないことを示す。

数がいずれも特別栽培で少ないことによるものであった。1穂当たり籾数は有機100%区67.0、有機50%区75.5、慣行栽培区85.5と、特に有機100%区で著しく少なかった(表4)。

4. 玄米品質

食味値は玄米の食味評価値をポイントで示した。70から74は普通、75から79はやや良、80から84は良、85以上は極上と分類される(米粒食味計RCTA11A (1)取扱説明書、(株)サタケ)。いずれの栽培区でも「良」とされる80以上であっ

たが、有機100%区が84と最高点であった(表5)。アミロース含有率には特別栽培と慣行栽培に差はみられなかった。玄米タンパク質含有率は有機100%区で6.8%と最も低く、慣行栽培区が7.2%と有機100%区よりも高かった。水分含有率は特別栽培区でやや低かった(表5)。脂肪酸度は特別栽培区でやや高かった(表5)。

玄米外観品質では特別栽培の整粒割合は42.2~44.9%と慣行栽培49.9%に比べて低かった(表6)。

表4 慣行栽培および特別栽培圃場における収量および収量構成要素の比較

処理区	栽培年	単位面積 当たり穂数 (本/m ²)	1穂籾数 (個/穂)	単位面積 当たり籾数 (個/m ²)	登熟歩合 (%)	玄米千粒重 (g/1000粒)	玄米収量 (g/m ²)
慣行栽培区	2009	306	89.4	27356	92.0	22.8	576 (100)
	2010	316	81.8	25848	88.2	21.8	498 (100)
	2011	327	86.1	28154	82.3	21.4	495 (100)
	平均	317	85.8	27119	87.5	22.0	523 (100)
有機50%区	2009	283	78.0	22074	88.6	22.2	435 (75.5)
	2010	256	79.4	20326	88.3	21.7	389 (78.1)
	2011	286	69.0	19734	80.1	20.5	324 (65.5)
	平均	275	75.5	20711	85.7	21.5	383 (73.2)
有機100%区	2009	245	67.4	16513	91.3	21.9	330 (57.3)
	2010	246	66.2	16285	88.8	21.6	312 (62.7)
	2011	293	67.4	19748	83.0	20.5	340 (68.7)
	平均	261	67.0	17515	87.7	21.3	327 (62.5)
分散分析							
処理区		**	***	***	NS	**	***
年		NS	NS	NS	***	***	*
年×処理区		NS	**	NS	NS	NS	NS

注) *, **, ***は分散分析によりそれぞれ5%、1%、0.1%で有意であることを示す。
また、NSは有意でないことを示す。()内は慣行栽培区の玄米収量に対する特別栽培区の比率。

表5 玄米食味値および関連形質の比較(2011年)

処理区	食味値 (point)	アミロース (%)	タンパク質 (%)	水分 (%)	脂肪酸度 (mg/100g)
慣行栽培区	82 ab	18.4 ab	7.2 a	14.9 a	15.1 b
有機50%区	80 b	18.6 a	7.1 ab	13.9 c	15.8 a
有機100%区	84 a	18.2 b	6.8 b	14.0 b	15.7 a

注) 同一英小文字を付した平均値間にはTukeyの多重範囲検定の結果5%水準で有意でないことを示す。n=3。

表6 玄米外観品質の比較(2011年)

処理区	粒数比(%)					
	整粒	未熟粒	被害粒	死米	着色粒	胴割粒
慣行栽培区	49.9 a	43.5 a	1.6 a	0.9 b	0.1 a	3.9 a
有機50%区	44.9 b	51.4 a	1.5 a	1.5 ab	0.2 a	0.5 b
有機100%区	42.2 b	51.5 a	1.6 a	2.4 a	0.1 a	0.5 b

注) 同一英小文字を付した平均値間にはTukeyの多重範囲検定の結果5%水準で有意でないことを示す。n=3。

考 察

栽培年により変動はあるものの、化学肥料による窒素供給を主とした慣行栽培に比べて、有機質肥料を主とする特別栽培では生育初期から成長に差がみられた(図3)。特に100%有機質肥料による窒素施肥を行った有機100%区では他の圃場に比べて草丈、分げつともに少なく推移し(図3)、その結果、植物体自体が小さく、収穫期における稈長および穂長も短かった(表3)。

このような成長過程を受けて特別栽培の玄米収量は慣行栽培に比べて低かった(表4)。慣行栽培に対する比率をみると有機100%区では2009年57.3%、2010年62.7%、2011年68.7%、有機50%区ではそれぞれ75.5%、78.1%、65.5%となり、収量水準の低い有機100%区では年々やや増加傾向にあるのに対して、有機50%区では2011年に低下した。2011年は東日本大震災の影響により特別栽培圃場は漏水のため除草剤の効果が低下し、雑草との養分競合も低収量の原因の一つと考えられた。また、登熟期にあたる8月中下旬に日射量の低い日が続いたことの影響も考えられた(図2)。

玄米収量を収量構成要素から分析すると、登熟歩合以外の構成要素には処理区間によって差がみられた(表4)。水稻の収量構成要素は大きく分けて、収量の入れ物(収量容器)になる単位面積当たり粒数と、その容器への充実程度を表す登熟歩合と玄米千粒重からなる(松島 1990)。本研究の結果から特別栽培では収量容器である単位面積当たり粒数が少ないことが慣行栽培に比べて収量の低い原因であることが明らかになった。また、単位面積当たり粒数は単位面積当たり穂数と1穂当たり粒数から構成されるが、特別栽培では両者ともに慣行栽培区に比較して少なかった。以上の収量構成要素の分析から、特別栽培では茎数を確保するとともに1穂粒数を維持するための栽培・肥培管理が必要と考えられた。

化学肥料成分を抑えた有機100%区では玄米のタンパク質含有率が低く食味値が高い傾向であったことから、品質上からも付加価値が高まった(上野ら 2011)。また、登熟期の葉色から成熟期の玄米タンパク質含有率を推定する方法が報告されている(松田ら 2010)が、本実験では出穂期前に特別栽培区の葉色値は慣行栽培区より低く推移し(図3)、食味計で計測したタ

ンパク質含有率の値も低かった(表5)。特別栽培での収量向上のためには茎数と1穂粒数の確保が必要であると上述したが、玄米タンパク質含有率が増加しないように施肥法には注意する必要がある(上野ら 2011)。

玄米の外観品質としての整粒割合は有機質肥料を主とした特別栽培区でやや低かったが、今後も栽培を継続し、水稻の生育と玄米品質の変化を調査する必要があると考えられる。

本研究では特別栽培の継続、すなわち有機質肥料の継続的施用の効果は明確ではなかった。今後は生育、収量および品質の継続調査とともに土壌の化学的および物理的特性の調査を行い、生育、収量および品質との関係を検討する必要がある。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、平成23年度科学研究費助成事業(科学研究費助成金(奨励研究))の補助を受けた。当センターの林春美非常勤職員、神郡晴彦非常勤職員には、観察・記録・調査のご協力をいただき、ここに記して感謝を表します。

引用文献

- 茨城県(2008) エコ農業茨城推進基本計画 ～エコで育む、健康・環境・食の安全～
http://www.pref.ibaraki.jp/nourin/econou/eoiba_files/kihonnkeikaku.pdf
 (参照2013年2月4日)
- 伊藤千春・渋谷 岳・林 雅史(2010) 有機肥料施用下での水稻の生育・収量に及ぼす栽植密度の影響. 東北農業研究 63:25-26.
- 近藤栄昭・佐藤徳雄・芳賀文子・小峰洋美・畝野信子(1987) 堆肥・無農薬と慣行法で栽培した米の食味比較. 調理化学 20:75-77.
- 松田 晃・浅野目謙之・遠藤昌幸・柴田康志(2010) 水稻品種「つや姫」の玄米タンパク質含量と食味官能、登熟期葉色の関係. 東北農業研究 63:33-34.
- 松島省三(1990) 収量構成要素からみた多収性の生理. 松尾考嶺ほか編集, 稲学大成第2巻生理編. 農文協. 東京. 583-589.
- 農林水産省(2013) 有機農業の推進に関する基本方針における国並びに地方公共団体が行う施策及びその状況.
http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/eco/e_zyoho/120316/pdf/s100.pdf (参照2013年2月4日)
- 大場伸一・卯月恒安・高橋玲子・原田直樹(2000) 水稻無農薬・無化学肥料栽培の収量性. 東北農業研究 53:69-70.
- 佐藤大和・荒木雅登・川村富輝・石塚明子・福島裕助・井上拓治(2007) 水稻の減農薬・減化学肥料栽培に

特別栽培の継続が水稻の生育，収量および品質に及ぼす影響

おける安定栽培法，福岡県農業総合試験場研究報告
26:79-84.
筑波大学農林技術センター（2009）筑波大学農林技術セ
ンター活動報告書（自己点検資料）第10号，16-18.

上野直也・石井利幸・花形敏男（2011）玄米タンパク
質含有率が食味官能評価に与える影響，日本作物学
会関東支部会報第26号，46-47.
臼井智彦・多田勝郎（2010）水稻特別栽培専用肥料の効果
的な施用方法，東北農業研究 63:43-44.

Effect of Continuous Application of Organic Fertilizer on the Growth, Grain Yield and Grain Quality of Rice

Keiko SUGAWARA^{1*}, Kiyoshi KARUBE¹,
Morio KATO^{1,2} and Hisayoshi HAYASHI^{1,2}

¹ Agricultural and Forestry Research Center, University of Tsukuba,
Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577, Japan

² Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba,
Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan

Abstract

Rice (*Oryza sativa* L., cv. Koshihikari) was cultivated in parts of paddy fields of Agricultural and Forestry Research Center, University of Tsukuba, under the conditions of reduced amount of chemical fertilizer and agricultural chemicals ('special cultivation') from 2005 to 2011. In this report, we analyzed the effect of continuous application of organic fertilizer on the growth, grain yield and grain quality of rice by the data from 2009 to 2011. As a result, plant length, tiller number and SPAD value were lower during growth period in the field fertilized with organic nitrogen fertilizer (special cultivation) than in the field fertilized with chemical nitrogen fertilizer (conventional cultivation). Grain yield was much lower in special cultivation than in conventional cultivation. The lower grain yield in special cultivation was caused by lower panicle number per hill and spikelet number per panicle by the analysis of yield components. Eating quality of brown rice was relatively higher while protein content of brown rice was lower in special cultivation. We need to improve cultivation techniques to increase tiller number and spikelet number per panicle without surplus nitrogen absorption in grains for improving grain yield in special cultivation in the paddy fields of this center.

Key words: Grain quality, Organic fertilizer, Reduced chemical fertilizer cultivation, Rice, Yield

*Corresponding Author: Keiko SUGAWARA Agricultural and Forestry Research Center, University of Tsukuba
Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577, Japan
E-mail: sugawara.keiko.fm@un.tsukuba.ac.jp