

# 堆肥連年施用水田と化学肥料連年施用水田における低農薬栽培した水稻収量の年次変動とその要因

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者名	前田,忠信
発行元	日本作物學會
巻/号	70巻4号
掲載ページ	p. 525-529
発行年月	2001年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 堆肥連年施用水田と化学肥料連年施用水田における低農薬栽培した 水稲収量の年次変動とその要因

前田忠信\*

(宇都宮大学)

**要旨:** 本田初期に除草剤1回とイネミズゾウムシ防除の殺虫剤1回の農薬使用という低農薬水稲栽培条件で、1991年～2000年の10年間、堆肥連年施用(以下、堆肥連用)水田と化学肥料連年施用(以下、化肥連用)水田で、水稲品種コシヒカリを用いて収量の年次変動を検討した。施肥条件は堆肥連用水田においては化肥無施用区と化肥少肥区、化肥連用水田では化肥少肥区と化肥多肥区である。実験は同一施肥条件圃場を継続して使用し、堆肥の累積効果も検討した。収量の年次変動は堆肥連用・化肥無施用区が最も小さく、また収量も10年間の平均で38.3 kg/aと低かった。これは堆肥の累積効果が穂数には現れず、穂数不足が低収の要因であった。堆肥連用・化肥少肥区は変動はやや大きいものの、高収量をあげる場合が多かった。一方、化肥連用水田では、当初、実験開始前に投入された堆肥の効果が見られ、少肥区で収量が高かったが、1993年以降は穂数が天候に関係なく一定の割合で減少し、地力低下と見られ収量も低くなった。化肥多肥区では窒素過多で、倒伏、穂いもちの多発で、登熟歩合が低下し、収量が低かった。地力が低下した1996年以降は、堆肥連用・化肥少肥区とほぼ同様の高い収量水準になった。これらの結果から、200 kg/a程度の堆肥連用水田における、化学肥料の無施用では穂数不足で低収となるため、化学肥料を窒素成分で0.5 kg/a程度を加えることによって穂いもちの発生も少なく、コシヒカリを比較的多収で低農薬栽培を継続できることが明らかとなった。

**キーワード:** コシヒカリ, 収量の年次変動, 水稲, 堆肥連年施用, 低農薬栽培, 穂いもち。

生産者米価格の低下が連年続くという、現在の水稲生産の置かれている状況から、農薬使用回数をできる限り少なくすることはコスト低減のため重要である。しかし労力の多投入は避け、さらに収量性は維持又は向上させねばならない。また主食としての米は良質、良食味、安全性が求められ、生産者も有機栽培、無農薬栽培、低農薬栽培等の特別栽培米としての生産に取り組む必要性が高くなった。これらの栽培法では堆肥等の有機物施用が前提になるが、片野ら(1983)、上野ら(1978)、大山(1985)は堆肥等有機物の連年施用が水稲の生育収量への影響について検討し、地上部や根が登熟期後半まで健全な生育をし、耐冷性や耐病性が向上するとしている。根を含む稲体を収穫期まで健全に生育させることは耐病虫性の基本であることは明らかで、そのための手段としては有機物の連年施用が考えられる。有機栽培や無農薬栽培では、除草方法に関して機械除草、有機物マルチ、再生紙マルチ、コイ除草等いろいろ検討されているが(宇根1998、大場ら1998、鈴木ら1994、山本・野本1996)、現在の技術ではいずれも労力又はコスト増となり部分的普及にとどまっている。ここでは当面、除草剤使用を前提とし、殺菌剤、殺虫剤をできる限り使わない低農薬条件を考え、堆肥を連用した水田と、稲藁還元のみで化学肥料を連用した水田において、水稲コシヒカリの収量性がどのように推移するか、その変動の要因を収量構成要素と、穂いもちの発生程度から検討した。

低農薬条件で堆肥の連年施用および穂いもち発生程度と水稲収量の相互関係を稚苗機械移植栽培の実用規模で試験

した例は見あたらない。病害虫の発生は天候に影響され大きく変動することから、不良天候年を含む長期間にわたって検討することが必要であると考え、1991年より試験を継続してきたが、2000年で10年間を経過したのでここで報告することとした。本試験の開始は全国大学附属農場協議会の共同研究であり、1991～1994年は栽植密度の影響と病虫害への耐性獲得の機構を解明するために、水稲の生育、乾物生産、窒素等の養分吸収、病虫害の発生程度と収量及び収量構成要素を調査しており、1995年以降は土壌の変化との関係でほぼ同様の調査を行っているが、これらについては別に報告する。

### 材料と方法

実験は1991年～2000年の10年間、品種はコシヒカリを用いて、栃木県真岡市の宇都宮大学農学部附属農場の水田40aで行った。この水田の土壌は黒ぼく土で、1981年に開田し、翌82年より水稲の作付けを行っており、1990年まで堆肥を150～300 kg/a、熔成燐肥を5 kg/a ほぼ毎年施用してきた。栽培法は稚苗機械移植栽培で、4月下旬播種、育苗期間は約20日、播種量は1992年まで箱当たり乾籾120 g、1994年まで100 g、1995年以降80 gであった。種子消毒を含め育苗期間中農薬は使用しなかった。移植は5月中旬、6条乗用施肥田植機で1株苗数3本程度で移植し、除草剤は1回処理剤で、1994年まではクサカリン3 kg 粒剤、1995年以降はキックパイ1 kg 粒剤を使用し移植後5～7日に散布した。イネミズゾウムシは1985年

第1表 化学肥料窒素成分施肥量および施肥方法。

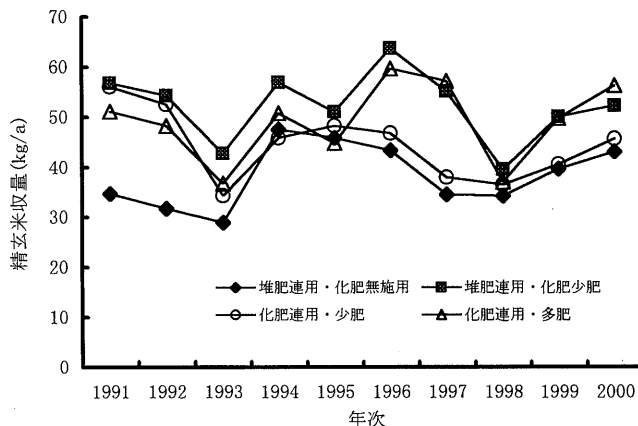
年次	基肥 (kg/a)						追肥 (kg/a)		合計 (kg/a)	
	側条		深層速効性		深層緩効性		少肥	多肥	少肥	多肥
	少肥	多肥	少肥	多肥	少肥	多肥				
1991~1992	0.1	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4	0	0	0.5	1.0
1993~1994	0.1	0.2	0.1	0.4	0.2	0.4	0	0	0.4	0.8
1995~1997	0.1	0.2	0.2	0.4	0	0	0.2	0.4	0.5	1.0
1998	0.1	0.2	0.2	0.4	0	0	0.1	0.2	0.4	0.8
1999~2000	0.1	0.2	0.2	0.4	0	0	0.2	0.4	0.5	1.0

少肥は堆肥連用・化肥少肥区と化肥連用・少肥区を，多肥は化肥連用・多肥区を示す。追肥は2回，出穂25日前と15日前に各半量を施用。1998年は追肥1回，出穂25日前。側条は5・20・20化成，深層速効性は5・20・20化成，1995年以降は10・18・16化成，緩効性はLP70で施用。2000年の深層速効性は全層速効性。

に初発生し，以来毎年発生が多く1989年には幼虫による根部被害もみられたため，1991年以降，6月上旬に成虫発生数を調査し，発生が多い場合のみ本田への殺虫剤散布することとしたが，結果的には毎年発生し，1992年まではバイジットサンサイド3kg粒剤，1993年以降トレボン2kg粒剤を6月上旬に散布した。本実験での低農薬条件とは，本田初期の除草剤1回，殺虫剤1回の使用である。

栽植密度は1991~1994年の4年間は密植で約25株/m<sup>2</sup>，疎植で約17株/m<sup>2</sup>の2処理区で試験を行ったが，ここではその平均値について報告する。1995~2000年は栽植密度を一定の約20株/m<sup>2</sup>とした。施肥処理は，堆肥連年施用（以下，堆肥連用）水田20a，化学肥料連年施用（以下，化肥連用）水田20aで，同一圃場で10年間行った。堆肥連用区は牛糞，落葉，籾殻，稲藁，麦藁による完熟堆肥を1991~1994年は500kg/aを4年間施用し，1995~2000年は200kg/aを6年間施用した。用いた堆肥は水分率75%，窒素2.17%，リン酸2.19%，加里2.82%であった。化肥連用区は1991年までは，同じ堆肥150~300kg/aが施用されていた水田で，1992年以降は前年の稲藁還元だけである。化学肥料は乗用側条・深層施肥田植機の施肥機を用い，側条は各条の側3cm深さ5cmへ，深層は隔条の条間中央の深さ15cmに施用した。1991~1994年は，側条へ5-20-20化成を用い，深層には5-20-20化成と緩効性肥料（被覆尿素LP70）を使用し，追肥を行わなかった。1995~1999年は緩効性肥料の使用を中止し，深層へ10-18-16化成を，2000年は深層施肥を中止し全層施肥とした。追肥は1995年は硫安で，1996年以降は18-0-16NK化成で2回行ったが，1998年は極端な不良天候で2回目を中止し1回追肥とした。各施肥処理区の面積は10aで，窒素施肥量を第1表に示す。

収量調査は各区3反復で1条10株4条40株を刈り取り，粒厚1.8mm以上で水分率15%に換算し精玄米収量とした。収量構成要素は穂数，玄米千粒重は40株の坪刈りより，1穂穂数，登熟歩合は坪刈り地点周辺より平均穂数株5株の平均穂20~30穂で調査した。穂いもちの調査は1992~2000年に行い，各年出穂後30日以降，各区50株3箇所150株について，各穂の穂首以上に明らかないもち



第1図 収量の年次変動。

ち病斑があり，穂上の50%以上の籾が不稔である穂数を数え，総穂数で割り穂いもち発生率とした。

## 結果

### 1. 育苗および生育の概要

育苗は種子消毒を含め無農薬であるが，苗立枯病，苗いもち病の発生はなかった。馬鹿苗病がわずかに発生した年もあったが，10年間ほぼ育苗は順調で，約20日間の育苗で葉齢3.2~3.8の苗を移植した。1993年は大冷害年で，1998年は7，8月極端な日照不足の不良天候年であったが，その他は好天候年が多かった。本田での病虫害の発生状況については，イネミズゾウムシ以外の害虫発生はウンカ・ヨコバイ類，イナゴ，イネツトムシ等が見られたが，生育への影響はなかった。いもち病の発生は多かった年があるが，紋枯病等いもち病以外の病害の発生はなかった。雑草発生は除草剤に強いホタルイ，イボクサがわずかに発生する程度であった。出穂期及び成熟期の年次による変動は最大で15日あったが，同一年次内の処理区間差は2，3日程度であった。

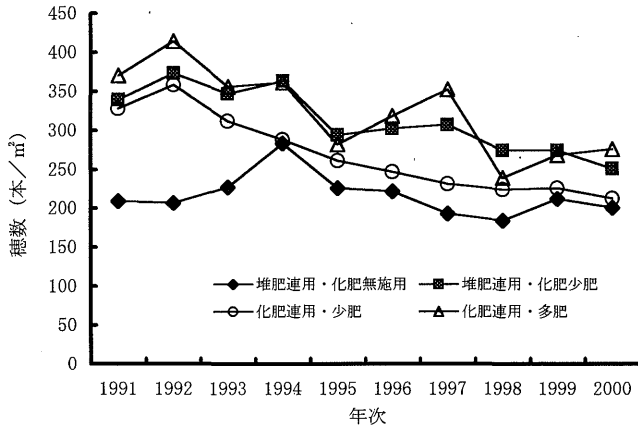
### 2. 収量の年次変動

収量の年次変動を第1図に，10年間の平均値と標準誤差を第2表に示した。堆肥連用・化肥無施用区の変動が最も小さかったが，収量は10年間の平均で38.3kg/aと最

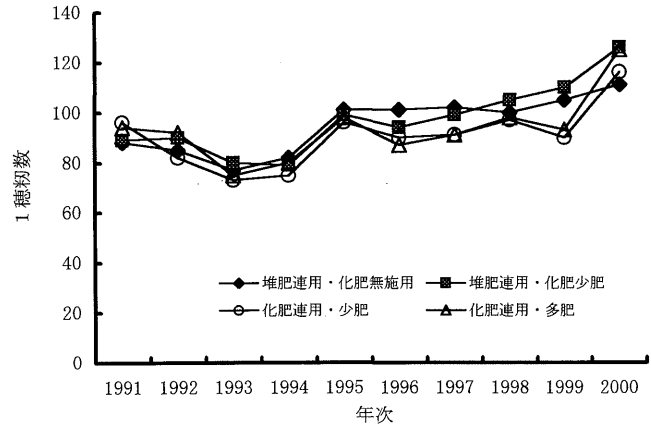
第2表 収量, 収量構成要素および穂いもち発生率の10年間の平均値と標準誤差.

処理区	収量 (kg/a)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	1穂粒数	登熟歩合 (%)	玄米千粒重 (g)	穂いもち 発生率(%)
堆肥連用・化肥無施用	38.3 ± 2.0	216 ± 9	95.2 ± 3.6	89.0 ± 0.9	20.94 ± 0.24	0.48 ± 0.15
堆肥連用・化肥少肥	52.2 ± 2.2	312 ± 13	97.1 ± 4.5	81.4 ± 2.1	20.96 ± 0.29	5.37 ± 1.28
化肥連用・少肥	44.4 ± 2.2	269 ± 16	90.6 ± 3.9	85.1 ± 1.8	21.30 ± 0.31	2.52 ± 0.76
化肥連用・多肥	49.1 ± 2.5	324 ± 18	93.3 ± 4.2	77.1 ± 3.0	20.90 ± 0.44	8.57 ± 1.83

±SEを示す。穂いもち発生率は9年間。



第2図 穂数の年次変動.

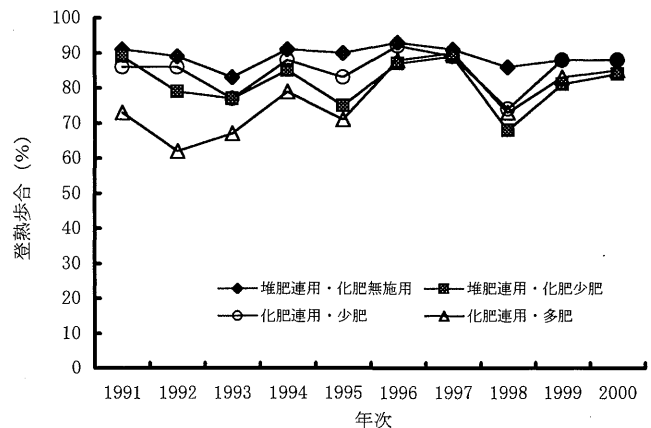


第3図 1穂粒数の年次変動.

も低かった。堆肥連用・化肥少肥区は変動がやや大きいものの、高収量をあげる場合が多く、1996年の63.7 kg/aは10年間での最高収量で、平均収量52.2 kg/aと他の処理区に比べ高かった。一方化肥連用・多肥区は最も変動が大きく、好天候年の1996年は59.6 kg/aと高収量を示すが、倒伏や穂いもちの多発年には被害が甚大で、収量が大幅に低下し、冷害年の1993年には36.7 kg/aで約23 kg/aの差があった。10年間の平均収量は49.1 kg/aと堆肥連用・化肥少肥区に次いで高かった。化肥連用・少肥区は最初2年間、収量が高かったが、1993年以降は堆肥連用・化肥無施用区とほぼ同様の収量の年次変動で、収量水準は1995年以降常に堆肥連用・化肥無施用区より若干高く推移し、10年間の平均は44.4 kg/aであった。試験6年目の1996年以降は、堆肥連用・化肥無施用区と化肥連用・少肥区、堆肥連用・化肥少肥区と化肥連用・多肥区はそれぞれほぼ同様の収量の年次変動と収量水準を示し、好天候年で差が大きく、不良天候年で差が小さかったが、最近の2年間、1999年と2000年は差が小さくなる傾向が見られた。

### 3. 収量構成要素と穂いもち発生の年次変動

穂数の年次変動を第2図に、平均値と標準誤差を第2表に示した。堆肥連用・化肥無施用区は1994年を除き、ほぼ一定の200本/m<sup>2</sup>前後で、変動が最も小さく、また少なかった。堆肥連用・化肥少肥区は、1994年までは350本/m<sup>2</sup>前後でほぼ一定、1995年以降は300前後から250本/m<sup>2</sup>へ漸減する傾向であった。化肥連用・少肥区は2年目の1992年が358本/m<sup>2</sup>と多く、その後は一定の割合で減少し、2000年には213本/m<sup>2</sup>と堆肥連用・化肥無施用区に近

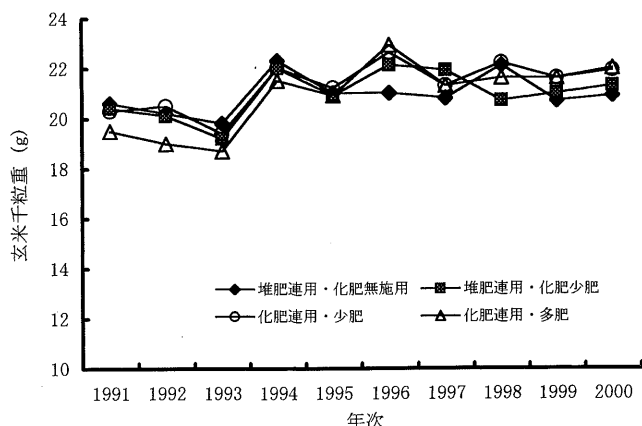


第4図 登熟歩合の年次変動.

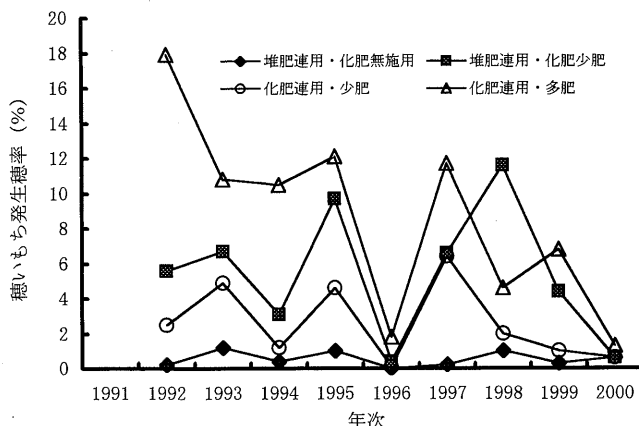
い値になった。化肥連用・多肥区は最も変動が大きかったが、収量の変動に比べれば小さく、2年目の1992年が414本/m<sup>2</sup>と最も多く、1993年以降は1997、1998年を除き堆肥連用・化肥少肥区に近い値となった。

1穂粒数の年次変動を第3図に、平均値と標準誤差を第2表に示した。1穂粒数は1995年までは4区ともほぼ同様な変動と値を示したが、1996年以降は堆肥連用区では、化肥無施用区で101から111、化肥少肥区で94から126と、いずれも漸増の傾向であった。化肥連用区では2000年を除き、多肥区少肥区とも同じ値を示し、いずれも堆肥連用区より少なかった。

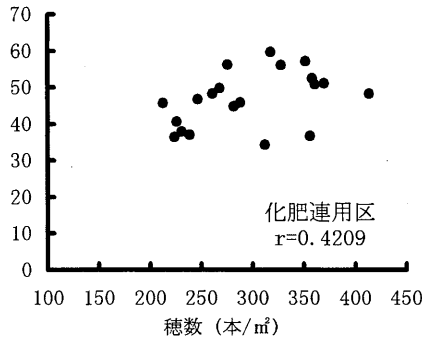
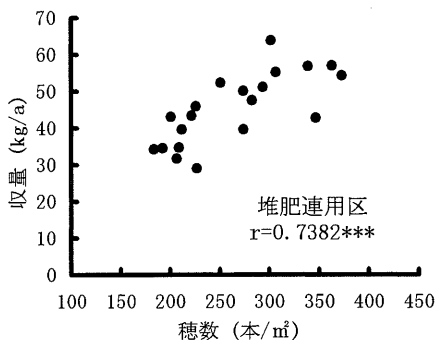
登熟歩合の年次変動を第4図に、平均値と標準誤差を第2表に示した。堆肥連用・化肥無施用区と化肥連用・少肥区は冷害年の1993年と日照不良年の1998年を除きほぼ一定の90%前後であった。堆肥連用・化肥少肥区は、穂いもち



第5図 玄米千粒重の年次変動。



第6図 穂いもち発生穂率の年次変動。



第7図 1991~2000年の10年間における穂数と収量との関係。

\*\*\*:0.1%水準で有意。

の発生がやや多い年には登熟歩合が80%以下に低下したが、その他の年は80~90%と比較的高かった。化肥連用・多肥区は1995年までは倒伏や穂いもちのため低く、1992、1993年は60%台に低下したが、1996年以降は堆肥連用・化肥少肥区とほぼ同様に推移した。

精玄米千粒重の年次変動を第5図に、平均値と標準誤差を第2表に示した。冷害年の1993年のすべての区、および倒伏、穂いもちの激しかった化肥連用・多肥区1992年までは20g未満であったが、1994年以降はすべての区で21g~22g程度と、コシヒカリのほぼ標準的な値になった。

穂いもち発生穂率の年次変動を第6図に、平均値と標準誤差を第2表に示した。堆肥連用・化肥無施用区は天候不良年を含め、収量に影響する穂いもちの発生は見られなかった。1996年、2000年は、いずれの処理区も発生が少なかった。1998年を除き化肥連用・多肥区が最も発生が多く、次いで堆肥連用・化肥少肥区、化肥連用・少肥区の順であった。1998年は堆肥連用・化肥少肥区が最も発生が多かった。

考 察

堆肥連年施用区は10年間で計3200kg/aの堆肥を投入したが、化学肥料を全く使用しないと年次変動は少ないものの、収量は極めて低かった。鈴木ら(1994)は堆きゅう肥の10年連用後の有機栽培を行っているが、堆きゅう肥

投入量が100kg/aでは穂数、籾数が確保されず収量は低く、300kg/a以上の連年施用が必要としている。これは本試験の結果とも一致し、500kg/a施用4年目で穂数は増加し、収量も47.5kg/aで無化学肥料での最高収量が得られた。しかし翌年以降、堆肥施用を200kg/aに減らしてから収量も減少した。酒井ら(1999)は牛ふん堆肥は窒素無機化が遅いと報告しており、本試験でも生育初期は窒素不足であった、また堆肥の累積効果が穂数には現れず、穂数はほぼ一定で、穂数不足が低収の要因である。一方、1穂籾数は堆肥連用区で6年目以降一定に増加することから、堆肥の累積効果があるとみられた。分けつ発生期である5、6月は、まだ低温で有機物の分解が遅く、化学肥料が無いと明らかな窒素不足であるが、1穂籾数の決まる7月は高温で土壌中の有機物の分解が進み有機物中の窒素が供給され、1穂籾数を増加させたと考えられる。堆肥連用・化肥少肥区の穂数は化肥無施肥区に比べ平均して約100本多く、これが常に高収量を得た要因である。大山(1987)が報告しているように側条に施用した窒素は生育初期に吸収され、分けつ発生に有効で、前田(1990)が報告したように、その後に深層に施用の窒素が有機物分解窒素に補強的に働き、穂数を確保し籾数を多くしたと考えられる。堆肥連用・化肥少肥区は籾数が多い年も登熟歩合が比較的高く、これも高収量の要因である。第7図に各年次の処理区内の穂数と収量の関係を堆肥連用区と化肥連用区

を別に表示した。堆肥連用区においては有意に穂数の増加により、収量が増加したが、化肥連用区においては、この関係は低く、穂数 300~350 本/m<sup>2</sup> で高収量が得られ、それ以上では収量が低下する場合が多いことが分かった。

化肥連用・少肥区は最初 2 年間穂数が多く、収量が高かったのは実験開始前の約 10 年間投入した堆肥の効果と見られ、その後の穂数は天候に関係なく、一定の割合で減少し収量も低下した。窒素施肥量 0.4~0.5 kg/a の少肥では全体の乾物生産量が小さく、還元稲藁量も少なくなり、1991 年までの投入有機物の分解消失により、地力は年々減少したとみられた。

化肥連用・多肥区は 1995 年まで堆肥の残効と 0.8~1 kg/a の多量の施肥窒素で、明らかに窒素過多であった。穂数は多いが、倒伏や穂いもちのため登熟歩合と玄米千粒重が著しく低くなり、収量は少肥区よりも低いか同程度であった。1996 年以降は地力の低下が考えられるが、多量の施肥窒素で乾物生産量が大きく、還元稲藁量が多いため有機物の分解と補充のバランスが保たれ、収量は堆肥連用・化肥少肥区とほぼ同等に高くなったと思われる。

穂いもちの発生は出穂以降の天候と稲体の窒素含量やケイ酸含量に影響される(馬場 1994, 大山 1985, 住田・大山 1991)。殺菌剤を使用しない低農薬栽培では、不良天候年で雨天、低温、日照不足と穂いもちが複合して障害となり、著しく収量を低下させる。1992~1995 年と 1997 年の化肥連用・多肥区は生育旺盛なところへ、緩効性肥料または追肥により稲体内窒素濃度が高まり、穂いもちの発生が多く、収量が低下し、1995 年と 1998 年堆肥連用・化肥少肥区で穂いもちの発生が多かったが、これは堆肥の累積効果で、有機物由来窒素と少量の追肥窒素が加わり、穂いもちが多く発生したと考えられる。1996, 2000 年はいずれの区も穂いもちの発生が少なく、良天候年であるが、同様に天候が良好な 1994, 1999 年はある程度発生しており、前年が不良年で発生が多いと翌年まで影響すると思われ、発生年は 3, 4 年継続する傾向であった。低農薬栽培では

穂いもち発生をある程度予測し、穂肥を減量あるいは中止する、特に堆肥連用水田では 7, 8 月の有機物分解窒素の多いことを考慮して、厳しく制限する必要がある。

以上の条件のもとで、年間 200 kg/a 程度の堆肥連用水田において窒素施肥量 0.5 kg/a 程度の少肥条件で、コシヒカリの低農薬栽培を比較的高収量で継続することが可能であることが明らかになった。

## 引用文献

- 馬場尅 1944. 稲の窒素及び珪酸に関する栄養生理的特性と其病虫害抵抗性との関係. 農及園 19: 541-543.
- 片野学・佐藤宏・佐藤種治・佐藤正広 1983. 自然農法水田における水稻栽培に関する研究. 第 1 報 自然農法実施年数を異にする水田の生育, 収量及び根群の形態について岩手県下の一事例. 日作東北支部報 26: 1-4.
- 前田忠信 1990. 側条と深層基肥による水稻の生育調節. 農及園 65: 721-724.
- 大場伸一・鈴木雅光・原田博行 1998. 水稻無農薬栽培におけるコイ利用の水田雑草防除. 山形農試報 32: 21-40.
- 大山信雄 1985. 地力増強, 施肥改善による水稻冷害軽減効果 (1). 農及園 60: 1269-1274.
- 大山信雄 1987. 東北地方における水稻側条施肥の肥効. 農業技術 42: 49-53.
- 酒井憲一・山本富三 1999. 家畜ふん堆肥の窒素無機化予測および被覆肥料の利用による水稻施肥量の削減と環境負荷低減. 土肥誌 70: 185-189.
- 住田弘一・大山信雄 1991. 水稻のケイ酸吸収促進に及ぼす有機物およびケイ酸石灰の施用効果. 土肥誌 62: 386-392.
- 鈴木雅光・長谷川愿・宮野斉・大場伸一 1994. 水稻の無農薬・無化学肥料栽培の基本指標. 山形農試報 28: 39-55.
- 上野正夫・斉藤昭四郎・小南力・斉藤正志・渡辺和夫・鈴木正 1978. 水稻に対する有機物および土壌改良資材の施用効果. 山形農試報 12: 57-86.
- 宇根豊 1998. 除草法の組合わせで無農薬栽培. 農業技術体系 作物編 第 2 巻, 農文協, 東京. 522: 10-13.
- 山本善太・野本陽一 1996. 風乾ヨシの条間敷草が水稻の生育, 収量に及ぼす影響. 徳島農試研報 32: 1-4.

## Rice Yield by the Culture with Minimal Agricultural Chemicals in the Field with Continuous Application of Farmyard Manure or Chemical Fertilizer: Tadanobu MAEDA\* (*University Farm, Utsunomiya Univ., Mooka 321-4415, Japan*)

**Abstract:** From 1991 to 2000, a rice cultivar, Koshihikari, was grown in the field, where either farmyard manure or chemical fertilizer was continuously applied. A minimal amount of herbicide and pesticide were applied only once after transplanting. Grain yield in the field with farmyard manure application alone was low owing to fewer spikes per plant. Farmyard manure may not supply enough nutrients for the production of enough tillers and spikes even by continuous application. Yield in the field with farmyard manure plus a small amount of chemical fertilizer was the highest though it fluctuated year by year. In the field with continuous application of a small amount chemical fertilizer without farmyard manure, spike number gradually decreased after several years, suggesting the lowering of soil fertility. In the field with continuous application of heavy fertilizer without farmyard manure, the yield was as high as that in the field with continuous application of farmyard manure together with a small amount of chemical fertilizer. It is concluded that continuous application of 200kg/a farmyard manure cannot raise the soil fertility enough to produce enough tillers and spikes for a high yield, but if a small amount of chemical fertilizer was applied together, we can obtain a relatively high yield without suffering from heavy panicle blast.

**Key words:** Continuous application of farmyard manure, Culture with minimal agricultural chemicals, Fluctuation of yield, Koshihikari, Panicle blast, Rice.