

鶏糞堆肥の多量施用による

飼料用多収稲品種モミロマンの高位生産技術の確立

2015年

有澤 岳

## 目次

第1章 緒言	1
第2章 研究概要	8
第3章 研究結果および考察	12
第1節 鶏糞堆肥の多量施用がモミロマンの生育に及ぼす影響	12
第1項 モミロマンの草丈，茎数，葉色値の推移	12
材料と方法	12
結果	12
考察	13
第2項 モミロマンの養分吸収および乾物生産	21
材料と方法	21
結果	22
考察	28
第3項 モミロマンの群落構造	45
材料と方法	45
結果	45

考察	50
第2節 鶏糞堆肥の多量施用がモミロマンの収量および飼料成分に及ぼす影響	66
材料と方法	66
結果	66
考察	68
第3節 鶏糞堆肥の多量施用が土壌の化学性に及ぼす影響	75
材料と方法	75
結果	76
考察	79
第4章 総合考察	92
謝辞	106
摘要	107
引用文献	112
Summary	122

## 第 1 章 緒言

日本における米消費量は年々減少し続け、それに伴って水稲作付面積も減少し、生産調整田や耕作放棄地が増加している。これに対し、畜産物の消費は拡大し、それに伴う多量の家畜飼料の供給を輸入に依存してきた。特に、粗繊維が少なく、可消化養分含量が多い穀類、ぬか類、粕類などの濃厚飼料の自給率は 12%(農林水産省 2014)と低くなっている。また、近年のバイオ燃料との競合や、高温、乾燥などの異常気象の影響による生産量の減少から、穀物等の国際価格は高騰し、2014 年現在、2006 年頃に比べ品目により 1.4 倍から 2.0 倍の水準(農林水産省 2014)になっており、国内の飼料生産量を増大させることが喫緊の課題となっている。そのなかで、飼料用水稲は、調整田や耕作放棄地の活用が可能であり、通常の稲作栽培体系と同じ栽培体系であるため取り組みやすく、また、連作障害が少ないなどの栽培上の利点(中野 2011)が多い。そのため、国内の飼料生産として、飼料用水稲栽培が期待されている。

飼料用水稲は、濃厚飼料となる飼料用米と粗飼料となる稲ホールクロップサイレージや稲わらなど用途により分別され、品種が育成されている。粗飼料の自給率は 76%であるのに対して、濃厚飼料の自給率は 12%であり(農林水産省 2014)、自給率向上の観点からは濃厚飼料として利用可能な飼料用米の栽培が必要とされる。また、稲ホールクロップサイレージでは収穫時に稲ホールクロップサイレージ専用の機械が必要であるのに対して、飼料用米では従来の食用米品種の栽培と農機具が共通しており新規投資が不要である(中野 2011)。さらに、粳の鶏への給餌について、トウモロコシの 30%と代替

して粃を給与した採卵鶏の産卵および卵質の成績は、トウモロコシを全量給与した場合と同程度であり、粃への代替は可能であった(平原・信岡 2013)。そのため、収穫した子実の利用法として粃のままでの鶏へ給餌が可能であり、加工、調整作業およびコストの軽減に繋がる。このような利点から、農家が飼料用水稲の栽培を新たに行う場合、粃の利用を目的とした飼料用米品種の栽培が有効であると考えられる。1970年代から飼料用米栽培を推進する動きはあったが、国内の生産費と輸入飼料穀物価格との間に大きな格差があったため、飼料用米の生産はあまり進展がみられなかった。その後、2008年頃に急激に起こった国際的な穀物の価格高騰により、飼料用米が再び注目を集めるようになり、2009年に米穀の新用途への利用の促進に関する法律が施行され、国内での飼料用米栽培の拡大が図られている。日本の飼料用米の栽培面積は、2004年には45haであったが、2012年には3.5万haと大きく増加した(農林水産省 2014)。栽培面積が大幅に増加した要因として、2010年から行われている戸別所得補償モデル対策の水田利活用自給力向上事業により、飼料用米の収量に応じて5.5~10.5万円/10aの高い補助金の交付が行われているためと考えられた。一方で、飼料用米の価格は食用米と比較すると相当安価であり、飼料用米生産による収入は、補助金に頼る部分が多く、今後も同水準の補助金交付を続けられるのかも不透明である。2020年の濃厚飼料自給率の目標は19%であり、それに合わせて飼料用米の栽培面積が8.8万ha、生産量が70万tを目標としている(農林水産省 2010)。この目標を達成するためには、収入源を補助金に依存した状態を脱却し、安定した収入を得られることが重要である。そのためには、飼料用米の単収増加が必要とされ、低コスト栽培や単収向上技術の確立が求められている。また、

飼料用米は餌として家畜に与えられた後に、その産物である肉・卵や乳製品が消費されることで、間接的に食料自給率の上昇に寄与することになる。よって、飼料用米が直接消費される小麦や大豆と同程度以上の自給率向上効果を得るためには、800~900kg/10a程度の収量が必要であると試算されている(信岡・小栗 2009)。このような要因からも、飼料用米栽培において安定した高位生産技術の確立が求められている。

このような背景から、近年、各地で育成された多収性品種を中心に、食用米の平均収量の80%増となる900~1000kg/10aを目標として研究が行われている(林ら 2012, 中野ら 2012, 西田ら 2012, 太平ら 2012, 長田 2012, 吉永 2012)。飼料用米が粗玄米収量900kg/10aの高生産を達成するには、水稻地上部の全窒素吸収量が20kg/10a必要であり、多肥栽培が不可欠と考えられる(吉永 2009)。しかし、化学肥料による多量の窒素投入は、コストの増加や環境への負荷が懸念され、化学肥料から堆肥に代替することでそれを抑えることが可能であると考えられる。また、家畜排泄物による全窒素排出量は74万t/年であり、国内の全排出量の28%にも達しており(日本草地畜産種子協会 2010)、これらを利用する必要がある。しかし、大量の輸入飼料に依存した畜産では、排出された膨大な家畜排泄物の全てを農地に還元することはできず、近年、家畜排泄物の利用は減少し、廃棄量は増えている(三島・神山 2009)。そのため、堆肥の積極的な利用が求められており、作物栽培においては化学肥料に替え、極力家畜の廃棄物を堆肥化して活用することが望まれる。従って、本研究では、化学肥料を削減し、堆肥を施用することで土壌への有機物の還元を基準とし、収穫した粳の鶏への給餌とそれにより排出される鶏糞を堆肥化して利用するという循環型農業を想定し、飼料用米を栽培した。

これまで堆肥の有効活用の観点から水田での堆肥利用について様々な検討がなされている。堆肥施用について、複数年以上連年施用することにより水稻収量が増加する(前田・平井 2002, 三浦 2007, 大山ら 1998, 上之菌・長友 1998)との報告があり、堆肥施用水田においても化学肥料施用と同程度以上の収量を得られると考えられる。さらに、堆肥施用時期による影響(原ら 2008, 大家ら 2013), 長期連用の効果(靱井・伊澤 2007, 住田ら 2002, 吉澤ら 2011),  $^{15}\text{N}$  標識による堆肥由来窒素の詳細な水稻への吸収動態(Matsushita ら 2000, 上之菌ら 2004), リン酸やカリなどの窒素以外の土壌化学性(伊藤ら 2005, 金田ら 2005, 前田ら 2005, 佐藤 1989)などの様々な検討が行われている。しかし、これらの研究の多くは、食用米栽培に関するものであり、飼料用米栽培における堆肥施用に関する知見は少ない。食用米品種の栽培では、品質や食味の向上を図るための肥培管理が行われているが、飼料用米品種の栽培では、代謝エネルギーなどの飼料価値や多収を重要視する肥培管理が図られている。また、飼料用米品種の品種特性は従来 of 食用米品種と大きく異なり、特に養分要求量は食用米品種と比べ多い(本松ら 1988)とされる。そのため、飼料用米栽培において、化学肥料を堆肥に代替する場合、食用米品種に比べ多量の堆肥施用が必要であると考えられ、飼料用米の収量や飼料価値などを勘案し、適切な堆肥施用量を検討する必要がある。さらに、堆肥の肥効率は化学肥料より低いため、化学肥料に比べ多量の養分投入が要求される。しかし、それにより、窒素やリンなどが土壌へ蓄積したり農地外へ流出し、水質の汚濁を招く(大家ら 2007)などの環境負荷に繋がると推測されるが、飼料用米品種は食用米品種に比べ養分吸収量が多いため(本松ら 1988), 多量の堆肥施用による環境負荷が軽減される可能性も考えられ

る。よって、化学肥料から堆肥に代替した場合、堆肥の飼料用米への養分供給への影響を明らかにする必要がある。そのため、堆肥施用による土壌中の養分動態や飼料用米品種の養分吸収について調査することで、飼料用米栽培における適切な堆肥施用量の検討を行った。

また、多収性の飼料用米品種は、食用米品種と異なる性質があり、その多収要因についても品種ごとに異なる特性を示している。そのため、飼料用米栽培において、その多収要因を明らかにすることは収量増加を図る上で重要である。本試験で用いた飼料用米品種モミロマンは、収量性の向上を目標として国際稲研究所の IR65598-112-2 を一回親とし、多収の西海 203 号を戻し交配して育成された飼料用米品種である。モミロマンの出穂期は中生に属するが、登熟期間が長く成熟期では晩生に属し、稈長は日本晴並みで、穂数は少なく、草型は“極穂重型”であり、粗玄米収量は日本晴より 38%高い多収性品種である(農林水産省 2009)。また、モミロマンは、耐倒伏性が強く(酒井ら 2011)、緩効性肥料の全量基肥施用で窒素施肥量 24kg/10a の極多肥条件の栽培において、粗玄米収量がタカナリを超える高収量(873kg/10a)を示し(平林ら 2010)、多肥栽培に適していると考えられ、窒素供給量の増加による増収の可能性を示している。これまで多収性品種の多収要因について様々な検討がなされており、その中で、複数の多収性品種の多収要因として、登熟期間中の、乾物生産能(本松ら 1988, 王ら 1998, 斎藤ら 1990, 蔣ら 1988)、茎葉から穂への転流(本松ら 1988, 宋ら 1990b, 建部ら 1998, 除ら 1997)および受光態勢(平岡ら 1992, 斎藤ら 1990, 宋ら 1990a, 建部ら 1998, 除ら 1997)に特徴が見られると報告されている。モミロマンにおいても、収量の増加にはソース能の増大(吉永 2009)



や追肥による登熟歩合の向上(平林ら 2010)が必要であると報告されており、登熟期間中の生育が収量に及ぼす影響は大きいと考えられる。本研究においては、化学肥料のかわりに、化学肥料に比べ遅効性である鶏糞堆肥を多量施用することにより、登熟期間中の全窒素吸収を維持・向上させ、乾物同化量の増加が期待される。また、鶏糞堆肥の多量施用は、モミロマンの飼料価値にも影響を及ぼすものと考えられる。品種により粗繊維などの飼料成分含量は異なり、飼料用米品種は食用米品種に比べ粳米に含まれる粗繊維含量が多い(浅井ら 2009, 澤口ら 2011)ことが報告されている。飼料米の粳の鶏への給餌を想定した場合、代謝エネルギーを増加させるためには、消化不可能な粗繊維の含量を極力低減し、他の成分を増加させる必要がある。飼料用米品種の粳は、粳殻の割合が多いため粗繊維含有率が高くなるとされ(澤口ら 2011)、登熟の改善により相対的に粳殻の割合が小さくなり、粗繊維含有率を低く抑えることが可能であると考えられる。また、粳の全窒素濃度は粗タンパク質含有率と正の相関があり、窒素施肥量の増加により全窒素吸収量が増加し、粳米のタンパク質含量の増加に繋がる(浅井ら 2009)とされている。そのため、飼料価値の向上には全窒素吸収量の増加が不可欠であり、鶏糞堆肥の多量施用は飼料成分の増加に繋がると予測される。さらに、乳熟期の葉身の全窒素濃度および葉色値と玄米のタンパク質含有率との正の相関(黄・澤田 1999)や穂揃期の葉色と玄米の全窒素濃度との正の相関(岡本・堀野 1994)が報告されており、このような観点からも、モミロマンの登熟期間中の生育が飼料成分に及ぼす影響は大きいと考えられる。以上より、モミロマンの登熟期間中の全窒素吸収および乾物生産を中心とした多収要因の検討が必要であり、また、鶏糞堆肥の施用がそれらに及ぼす影響を明らかにする

ことも重要である.

そこで本研究においては, 鶏糞堆肥の多量施用がモミロマンの生育および収量に及ぼす影響を, 登熟期間中の全窒素吸収と乾物生産および鶏への給餌を想定した籾収量と飼料成分について熟期の近い日本晴と比較して, 検討した. さらに, 土壌および土壌溶液の養分動態を調査することで, 堆肥施用による水田環境への影響を明らかにした. 以上から, 適切な堆肥施用量を検討し, 鶏糞堆肥の多量施用による飼料用水稲品種モミロマンの高位生産技術の確立を図った.

## 第 2 章 研究概要

本試験は、2009 年および 2010 年に神奈川県厚木市東京農業大学棚沢水田において飼料用水稲品種モミロマンおよびそれと熟期の近い日本晴を供試し、移植栽培とした。試験水田は、2007 年より塩化リン安 086 を 60kg/10a(成分量として全窒素 6.0kg/10a, リン酸 10.8kg/10a, カリウム 9.6kg/10a)連年施用した「化学肥料(化肥)区」、鶏糞堆肥を 1.8tDM/10a 連年施用した「慣行堆肥区」および 3.6tDM/10a 連年施用した「多量堆肥区」をそれぞれ 20m×50m の区画に 3 反復設け、モミロマンを栽培した。2009 年度より、各試験区内にモミロマンに加え日本晴も栽培した。本試験に供試した堆肥は、県内の養鶏場の糞を原料とする鶏糞堆肥である。なお、養鶏場では、本試験水田で栽培したモミロマンの籾を餌として一部利用している。鶏糞堆肥の全窒素濃度は、2009 年および 2010 年ともに乾物あたり 2.1%、C/N 比について 2009 年は 11.7、2010 年は 11.9 であった。2010 年の鶏糞堆肥について、水分は 23%であり、乾物あたりの成分でリン酸が 8.4%、カリウムが 5.4%であった(第 2-1 表)。化学肥料および堆肥施用量は、関東における飼料稲の施肥基準(神奈川県環境農政局 2008, 埼玉県農林部経営普及課 1989, 茨城県農業総合センター 2007), 棚橋・矢野(2004)の鶏糞堆肥の水田施用における肥効率, 堆肥連年施用水田による蓄積, 降雨および流水からの窒素の流入(水田 2001)を考慮し決定した。化学肥料および鶏糞堆肥による年間での 10a あたり施用成分量は、化学肥料区では全窒素 8.0kg, リン酸 10.8kg, カリ 9.6kg, 慣行堆肥区では全窒素 39.8kg, リン酸 151.2kg, カリ 97.2kg, 多量堆肥区では全窒素 77.6kg, リン酸 302.4kg, カリ 194.4kg

であった。

2009年の栽培概要は次のとおりである。慣行堆肥区および多量堆肥区では3月11日に鶏糞堆肥を土壌表面に散布し、化肥区では4月26日に化学肥料を施用した。慣行堆肥区および多量堆肥区には、基肥としての化学肥料を施用しなかった。試験水田は4月18日に耕起を行い、5月8日および5月21日に代掻きした。モミロマンおよび日本晴は、4月15日にイセキ育苗培土を床土として1.65kg充填した育苗箱に、浸種した粃を育苗箱あたり180g/播種し、イセキ育苗培土を1.0kg覆土した。5月22日に21.2株/m<sup>2</sup>の栽植密度で移植した。移植時の苗の葉齢は、モミロマンが4.1、日本晴が3.5であった。追肥は全区において7月20日に、尿素を窒素成分で2kg/10a施用した。除草は、歩行型動力除草機を用いて行い、除草剤および病虫害防除の薬剤は使用しなかった。モミロマンの出穂期は化肥区では8月18日、慣行堆肥区および多量堆肥区では8月19日であり、成熟期は化肥区では10月15日、慣行堆肥区および多量堆肥区では10月16日であった。日本晴の出穂期は全区で8月19日、成熟期は全区で10月3日であった。収穫日は立毛乾燥によりモミロマンの粃水分率が15%以下となった時点とし、両品種ともに10月24日であった。両品種ともに地際で収穫し圃場外に持ち出したので、茎葉部を圃場に還元しなかった。

2010年の栽培方法は2009年に準じた。慣行堆肥区および多量堆肥区は、1月18日に堆肥を散布し、化学肥料区は、5月20日に化学肥料を施用した。試験水田は、4月18日に耕起し、5月7日および5月20日に代掻きした。モミロマンおよび日本晴は、4月15日に播種し、5月22日に移植した。追肥は7月18日に行った。モミロマンの出穂期

は化肥区および慣行堆肥区では8月18日、多量堆肥区では8月20日であり、成熟期は化肥区および慣行堆肥区では10月15日、多量堆肥区では10月17日であった。日本晴の出穂期は全区で8月18日、成熟期は全区で10月2日であった。収穫は10月25日に行った。

2009年および2010年の本試験地に最も近いAMeDAS観測値(海老名)(気象庁)を第2-2表に示した。2009年の年平均気温は15.8℃、年降水量は1822mm、月平均日照時間は148時間であった。さらに、7月～9月の月平均気温は22.5～26.2℃、月日照時間は89～157時間であった。2010年の年平均気温は15.9℃、年降水量は2067mm、月平均日照時間は167時間であった。7月～9月の月日照時間は174～244時間、月平均気温は24.3～28.5℃であった。2009年では、9月の降水量が平年より少なく、日平均気温は平年程度、6～8月の日照時間が平年より短かった。2010年では、8月の降水量は平年より少なく、9月は多かった。日平均気温は6～9月で平年より高く、日照時間も5～9月で平年より長かった。また、日本晴の多量堆肥区では、2009年10月8日および2010年9月25日の強風により、広範囲に倒伏がみられた。モミロマンの多量堆肥区でも2010年9月25日の強風により一部、倒伏した。これら以外の試験区では倒伏は見られなかった。なお、2010年9月25日の調査(第3章第2節および第3節に記述)は倒伏前に行われた。病虫害による影響は全区で見られなかった。

第2-1表 施用堆肥の成分(2010).

T-N	T-C	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	含水率
2.1	25.0	8.4	5.4	20.0	23.0

成分は乾物あたりの値

%

第2-2表 試験水田の天候.

月	降水量(mm)			日平均気温(°C)			日照時間 (h)		
	2009	2010	平年値	2009	2010	平年値	2009	2010	平年値
1	183	14	61	5.4	5.2	4.6	166	213	174
2	79	138	68	7.1	5.7	5.3	130	120	158
3	122	231	141	9.2	8.9	8.6	154	139	155
4	169	223	152	14.7	12.1	13.8	222	137	170
5	200	112	151	19.2	17.9	18.2	166	190	164
6	207	160	189	21.9	22.9	21.5	101	150	122
7	145	133	181	25.2	27.1	25.1	89	210	151
8	185	95	193	26.2	28.5	26.5	157	244	183
9	53	391	244	22.5	24.3	23.0	143	174	126
10	244	248	205	17.7	18.3	17.4	146	82	129
11	159	90	109	12.4	12.0	11.9	128	162	143
12	80	235	58	7.8	8.2	7.0	175	189	172

平年値は1981年～2010年の平均をもとに算出

### 第 3 章 研究結果および考察

#### 第 1 節 鶏糞堆肥の多量施用がモミロマンの生育に及ぼす影響

##### 第 1 項 モミロマンの草丈，茎数，葉色値の推移

本項では，モミロマンおよび日本晴の草丈，茎数，葉色値について，継時的に調査することにより，日本晴との比較からモミロマンの基本的な生育に鶏糞堆肥施用が及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

##### 材料と方法

2009 年と 2010 年に，草丈，茎数および葉色について 1 区あたり連続した 15 株を 3 か所，計 45 株について，2 週間に一度調査した。葉色値は葉緑素計 SPAD502(MINOLTA)を用い，最上位葉を 3 回計測し，その平均値を葉色値とした。

##### 結果

第 3-1-1-1 図に 2009 年，第 3-1-1-2 図に 2010 年の草丈の推移をそれぞれ示した。2009 年のモミロマンの草丈は，7 月 4 日までは化肥区で高く推移し，7 月 18 日以降は慣行堆肥区および多量堆肥区で高かった。また，両品種を同一施用区間で比較すると，7 月 18 日以降，日本晴に比べてモミロマンで高く推移した。2010 年のモミロマンの草丈も，7 月 2 日までは化肥区で高く，7 月 30 日以降は慣行堆肥区および多量堆肥区で高かった。また，両品種を同一施用区間で比較すると，7 月 16 日以降，日本晴に比べてモミロマンで高く推移した。

第 3-1-1-3 図に 2009 年，第 3-1-1-4 図に 2010 年の茎数の推移をそれぞれ示した。両年ともに，調査期間を通して，品種では日本晴，施用区間では多量堆肥区が多かった。8 月中旬における多量堆肥区のみミロマンの茎数は，両年ともには 270 本/m<sup>2</sup>程度であった。8 月中旬の多量堆肥区の茎数を化肥区と比較すると，2009 年はみミロマンで 1.48 倍，日本晴で 1.43 倍，2010 年はみミロマンで 1.95 倍，日本晴で 1.86 倍であった。堆肥施用による増加割合は，品種間では日本晴に比べみミロマンで大きく，また年次による差が大きかった。

第 3-1-1-5 図に 2009 年，第 3-1-1-6 図に 2010 年の葉色値の推移をそれぞれ示した。両年ともに，施用区間では多量堆肥区で高く推移した。両品種を同一施用区間で比較すると，2009 年の 7 月 18 日以降において，日本晴に比べみミロマンで高くなる傾向がみられたが，それ以外では一定の傾向はみられなかった。また，両品種ともに，2009 年は 7 月 4 日，2010 年は 7 月 2 日に最大値を示し，その後減少する傾向がみられた。みミロマンは 2010 年では 8 月 28 日以降，みミロマンの多量堆肥区で最も高く推移し，時期による減少割合が小さかった。2010 年の 8 月 28 日から 9 月 25 日の減少割合は，多量堆肥区のみミロマンで最も小さかった。

## 考察

みミロマンの基本的な生育的特徴を明らかにし，鶏糞堆肥施用がそれらに及ぼす影響について考察し，以下に示した。

みミロマンの草丈は，移植 5 週目である 7 月初旬までは化肥区でもっとも高かった(第



3-1-1-1 図, 第 3-1-1-2 図). 化肥区では, 移植前の化学肥料施用により生育初期の草丈が大きく増加したと考えられた. しかし, 水田における基肥窒素のアンモニア態窒素は, 温度により移植から 4~6 週程度で消失するとされており(安藤 2004), 本試験においても 7 月初旬以降は慣行堆肥区および多量堆肥区に比べ, 化肥区で低く推移しており, 化学肥料の肥効は低下していたと考えられた. 草丈, 茎数および葉色値の積は窒素吸収量と相関があり, 草丈の増加は窒素吸収量増加の指標となる(末信ら 1994)とされており, 7 月初旬以降において, 化肥区に比べ草丈が高く推移した慣行堆肥区および多量堆肥区では, 鶏糞堆肥の窒素供給が維持されていたと推測された. モミロマンの茎数についても草丈と同様に, 化肥区に比べ堆肥施用を行った両区で大きく(第 3-1-1-3 図, 第 3-1-1-4 図), 堆肥施用により茎数が増加する傾向がみられた. 上述の通り, 草丈, 茎数および葉色値の積は, 窒素吸収量と相関があり(末信 1994), 堆肥施用を行った両区における茎数の増加は, 窒素吸収量が増加したためと推察される. モミロマンの葉色値は, 7 月上旬以降, 両品種ともに減少傾向にあった(第 3-1-1-5 図, 第 3-1-1-6 図)が, モミロマンの減少割合は日本晴に比べ小さく, 特に慣行堆肥区および多量堆肥区では減少割合が小さかった. 日本晴に比べモミロマンは夏期以降も葉色値を高く維持し, その傾向は堆肥施用により強まった. 葉色値は, 葉中窒素濃度と正の相関があり, 堆肥施用を行った両区では登熟期間中も葉中窒素濃度を高く維持していたと推察される. 葉色値の調査は, 最上位葉の調査であり, 植物体全体を捉えたものではないため, 時期ごとに層別刈り取りを行い, 層位別の窒素濃度を明らかにし(第 3 項), 土壌中の窒素濃度(第 3 節)を調査することで, 総合考察において鶏糞堆肥施用が葉中窒素濃度に及ぼす影響およびモ

ミロマンの葉中窒素濃度が乾物生産量に及ぼす影響について詳細な検討を行った。

本研究において、モミロマンの草丈は日本晴より高く、さらに鶏糞堆肥施用によりさらに草丈が増加する傾向がみられた。水稻の草丈の増加は倒伏に繋がるとされている(吉良ら 1991, 山本ら 1996)。また、茎数も鶏糞堆肥施用により増加しており、茎数の極端な増加は過繁茂や無効分げつの増加に繋がり、倒伏の可能性が高まる。本研究において多量堆肥区の日本晴では、他区と比較して茎数が多く、草丈も高かったことが、乾物生産の増加に寄与していたと推察されるものの、一方で、倒伏に繋がり収量低下要因になっていたと考えられる。モミロマンの耐倒伏性は高く、立毛乾燥中も維持される(酒井ら 2011)が、モミロマンを用いた栽培試験で倒伏(石川 2012)が報告されている。本試験においてもモミロマンは、最も草丈が高く、茎数が多かった多量堆肥区では、日本晴と比較して軽度であったが倒伏しており、堆肥を多量施用した場合、倒伏について注意すべきである。また、飼料用米は、食用米との作業の分散やコスト低下のために、立毛乾燥が行われている。本研究においても立毛乾燥を想定し、水分含有率 15%以下になった 10 月 25 日に収穫しており、収穫までの期間が長いため、このような点からも倒伏に注意が必要である。本研究で軽度の倒伏がみられた多量堆肥区における堆肥施用量(3.6tDM/10a, N:72kg/10a)以上の堆肥施用は、倒伏の可能性という観点からは好ましくなく、収量の低下につながると推察される。しかし、松葉ら(2000)は、生育前期を少肥条件で経過させて、生育中期に窒素を吸収させることで、下位節間伸長が短くなり、上位葉身が長くなることで、倒伏の可能性を低減し、生育後期の生産能を維持する草姿になるとしている。本試験において、堆肥施用を行った両区の草丈は、7 月初旬までは化

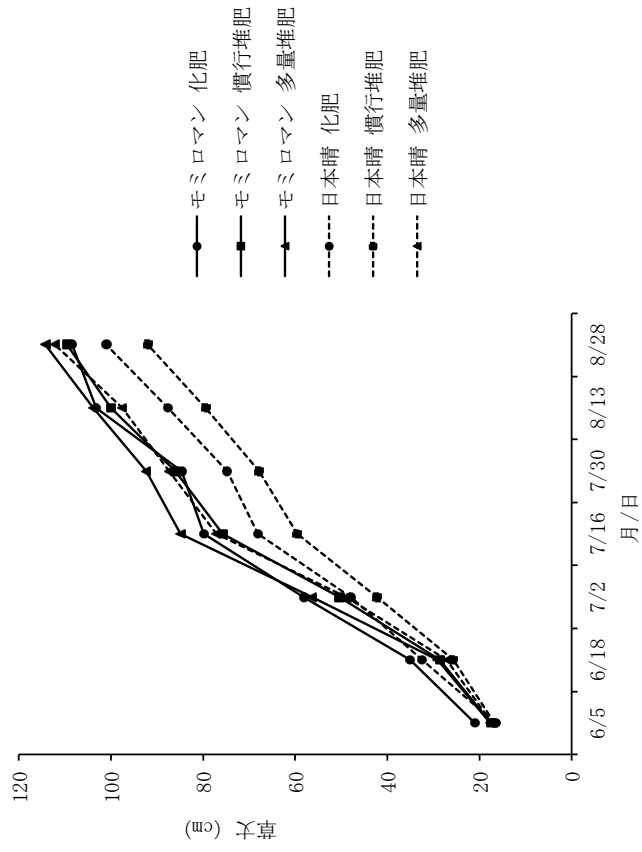
肥区に比べ低かったものの、その後は高く推移したことから、上述と同様の草姿になっていると推察された。そのため、堆肥施用によるモミロマンの栽培は、生育初期の生育が促進される化学肥料施用栽培に比べ、倒伏の可能性を低減させ、生育後期の生産能を高く維持すると考えられ、草丈や葉面積が大きく増加する多肥栽培に適していると推察される。

以上のように、堆肥施用による草丈や茎数の増加は倒伏の可能性が懸念されるが、茎数の増加に伴う過繁茂や無効分げつの増加は、そのことが倒伏や受光態勢の悪化を引き起こさなければ、乾物生産の阻害要因にならない(向山ら 2012)と報告されており、草丈および茎数の増加が収量の増加に寄与する点も多くあった。茎数や草丈の増加は、窒素吸収量増加の指標となる(末信ら 1994)とされており、茎部への多量の養分蓄積が靱に転流し、靱の飼料成分の増加に寄与することが可能であった点や茎数の増加により葉面積が増加した状態において草丈の増加が受光態勢の改善に繋がった点、さらに穂数の増加によるシンク容量の増加などである。これらについては、次項以降において、部位別乾物重、葉面積分布、収量などを検討し、それらと合わせて総合考察に詳細な検討を示した。

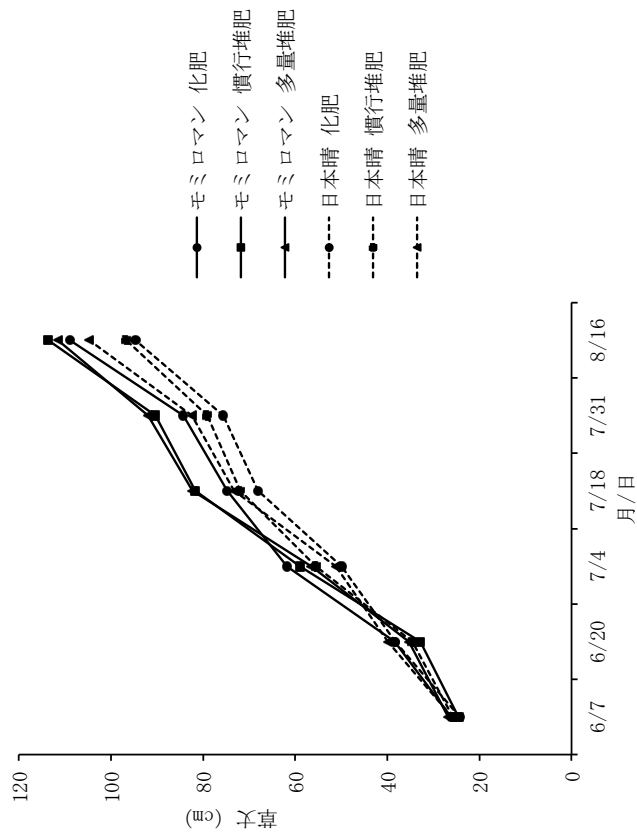
また、堆肥施用による茎数の増加割合は、日本晴に比べモミロマンで大きかったが、品種間での差は小さく、年次による差は品種間差に比べ大きかった。本試験では、化肥区および慣行堆肥区において、2009年に比べ2010年で茎数は低下していたが、多量堆肥区では同程度であった。2009年の6~8月の日平均気温(海老名)(気象庁)は、平年値と同程度で推移していた(第2-2表)。一方で、2010年は平年値より高く推移していた。

堆肥施用により低温による収量の低下を抑えられ、堆肥施用水田は化学肥料施用水田に比べ、気温の変化に対して収量が安定するとしている(望月ら 2006, 韓 1988, 津野 1987)。また望月らは、平均気温が平年値と比べ低いまたは高い場合、化学肥料連年施用と比べ堆肥連年施用により、茎数が増加するとしている。本試験においても、多量堆肥区では平年並みの年次(2009年)および高温の年次(2010年)ともに茎数の安定を図ることが可能であった。一方で、慣行堆肥区では高温年であった 2010 年に茎数が低下しており、堆肥施用による茎数増加効果はみられなかった。

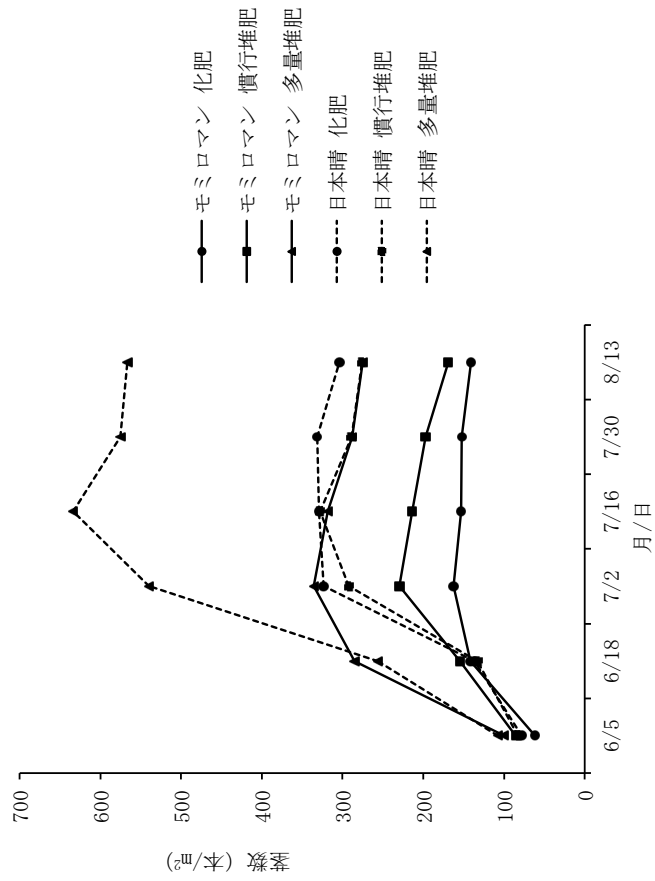
以上より、モミロマンは、日本晴に比べ、草丈が高く、茎数が少なく、葉色値は両品種で一定の傾向はみられなかった。また、モミロマンは堆肥施用により草丈、茎数、葉色値の増加を図ることが可能であった。次項以降において、堆肥施用によるこれらの増加が乾物生産にどの程度寄与するのかについて、受光態勢や養分吸収の点から検討した。一方で、草丈や茎数の増加は倒伏に繋がる可能性があり、堆肥施用栽培においてこの点について考慮した施用量の検討が必要である。



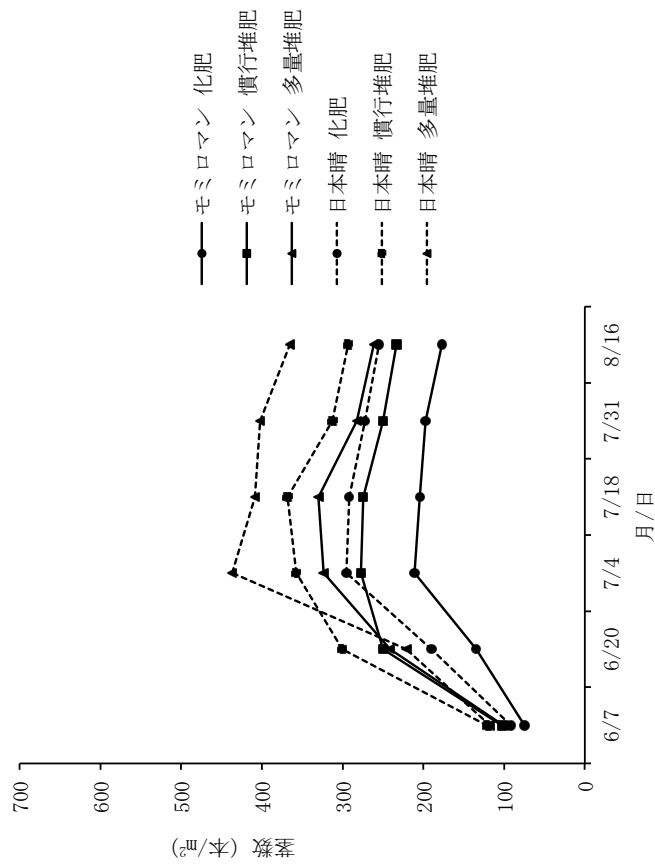
第3-1-1-2図 草丈の推移(2010).



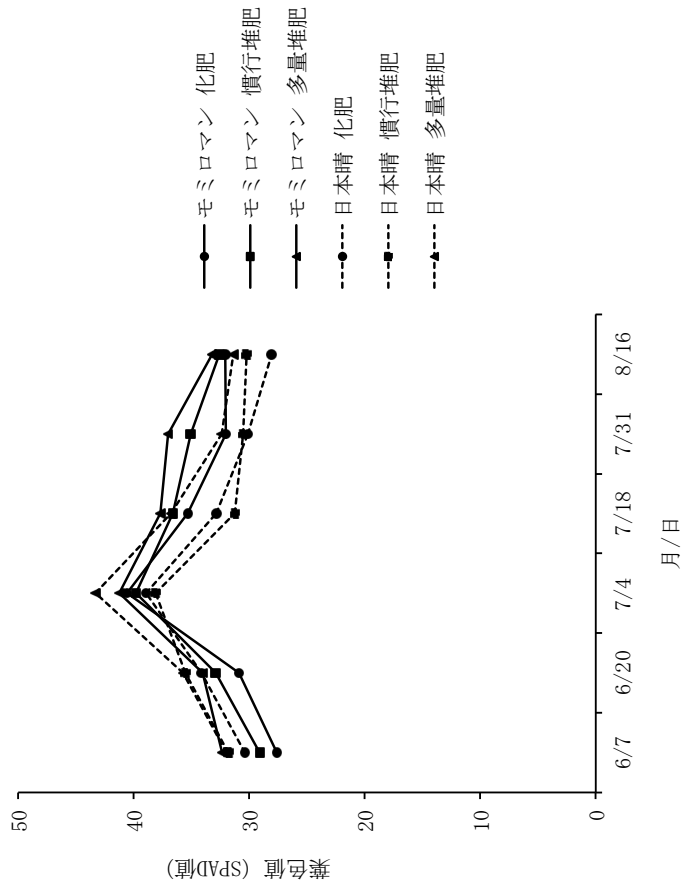
第3-1-1-1図 草丈の推移(2009).



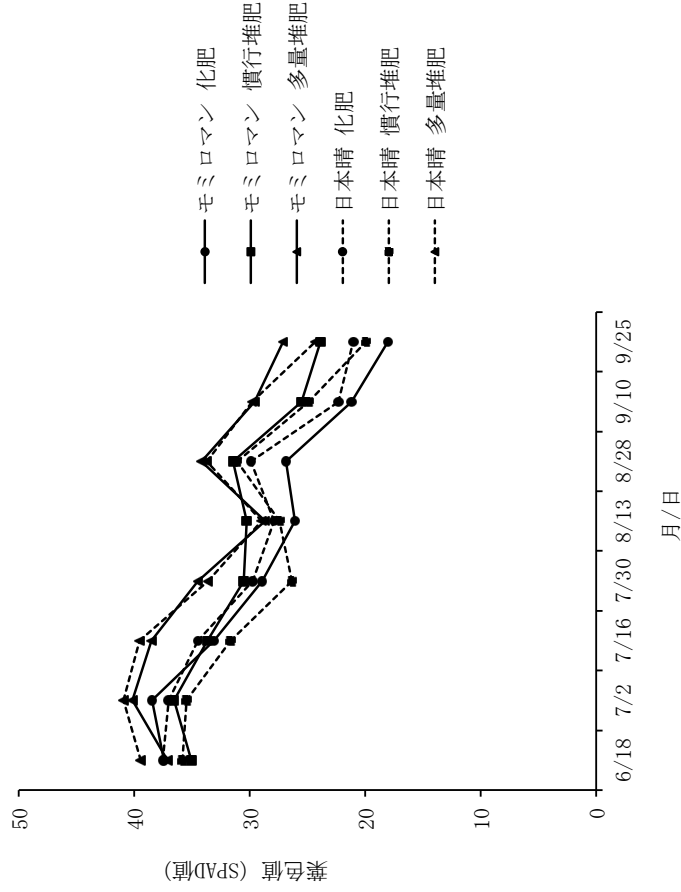
第3-1-1-4図 茎数の推移(2010).



第3-1-1-3図 茎数の推移(2009).



第3-1-1-5図 葉色値の推移(2009).



第3-1-1-6図 葉色値の推移(2010).

## 第2項 モミロマンの登熟期間中の養分吸収および乾物生産

多収性の飼料用米品種は、食用米品種と異なる性質があり、その多収要因についても品種ごとに異なる特性を示している。そのため、飼料用米栽培において、その多収要因を明らかにすることは収量増加を図る上で重要である。その中で、モミロマンにおいても、収量の増加にはソース能の増大(吉永 2009)や追肥による登熟歩合の向上(平林ら 2010)が必要であると報告されており、登熟期間中の生育が収量に及ぼす影響は大きいと考えられる。本項では、堆肥多量施用が登熟期間中の全窒素吸収と乾物生産に及ぼす影響を中心に、モミロマンの多収要因について検討した。

### 材料と方法

2009年9月25日、2010年7月25日、8月25日および9月25日に、各反復から連続した10株を無作為に選び、各株の草丈および莖数を測定し、中庸な2株を選び、各区6株を選抜し、以下の調査を行った。地際から20cmごとの層位別にモミロマンおよび日本晴を刈り取り、葉鞘と稈、葉身ならびに穂の3部位に分別し、さらに葉身は生葉と枯葉に分別した。その後、80℃で48時間乾燥後に部位別に乾物重を計測した。粉碎し、1mm目で篩った後、C/Nコーダー(MT-700 ヤナコ分析工業社製)で全窒素濃度を測定し、それぞれの部位および層位の全窒素濃度と乾物重から全窒素含量を求めた。また、2010年9月25日に刈り取ったものについて、分光光度法でリン酸を、原子吸光法でカリウム、マグネシウム、カルシウムの濃度を測定し、全窒素含量と同様に含量を求めた。



## 結果

第 3-1-2-1 表に、2009 年の 9 月 25 日(黄熟期)のモミロマンおよび日本晴の部位別乾物重を示した。各部位の乾物重は、施肥処理間で有意な差があり、多量堆肥区で大きく、品種間では一定の傾向はみられなかった。葉鞘と稈および葉身の乾物重は、両品種ともに慣行堆肥区で小さかったが、穂および地上部の乾物重は、モミロマンでは化肥区で、日本晴では慣行堆肥区でそれぞれ最も少なく、品種間で異なる傾向がみられた。

第 3-1-2-2 表に、2009 年の 9 月 25 日(黄熟期)のモミロマンおよび日本晴の部位別全窒素濃度を示した。葉鞘と稈および葉身の全窒素濃度は、モミロマンでは化肥区と多量堆肥区で同程度であり、慣行堆肥区で低かった。日本晴では多量堆肥区で最も高く、次いで慣行堆肥区、化肥区の順であった。葉鞘と稈および葉身の全窒素濃度を同一施用区間で比較すると、全窒素濃度は日本晴に比べモミロマンで顕著に高かった。穂の全窒素濃度は、有意差はなかったものの日本晴の慣行堆肥区および多量堆肥区で高く、それ以外の区では同程度であった。

第 3-1-2-3 表に、2009 年の 9 月 25 日(黄熟期)のモミロマンおよび日本晴の部位別全窒素含量を示した。全窒素含量は、各部位について施肥処理間で有意な差があり、多量堆肥区で多かった。また、葉鞘と稈および葉身の全窒素含量は、日本晴に比べモミロマンで多かった。穂および地上部の全窒素含量は、モミロマンでは化肥区で、日本晴では慣行堆肥区でそれぞれ最も少なく、乾物重と同様に品種間で異なる傾向がみられた。

第 3-1-2-4 表に、2010 年の 7 月 25 日、8 月 25 日(穂揃期後)および 9 月 25 日(黄熟期)

のモミロマンおよび日本晴の部位別乾物重の推移を示した。また、「7月25日から8月25日」および「8月25日から9月25日」における乾物重の増減量を示し、増減量を7月25日および8月25日の値を100%とした百分率で示し、増減割合とした。モミロマンの各部位の乾物重は、全調査日において、多量堆肥区で大きく推移した。また、モミロマンでは各部位の乾物重について、化肥区に比べ慣行堆肥区で顕著に多く、穂では2倍以上であったが、日本晴では化肥区と慣行堆肥区の差は小さかった。葉鞘と稈の乾物重では、全区で7月25日から8月25日に大きく増加し、その増加量は多量堆肥区で多く、8月25日から9月25日の増減量は全区で小さかった。葉身の乾物重の7月25日から8月25日の増加量は、日本晴の多量堆肥区で多く、その増加割合も高かった。8月25日から9月25日では、モミロマンの慣行堆肥区以外の全ての区で減少しており、モミロマンの多量堆肥区、日本晴の化肥区および多量堆肥区で減少量が多かった。穂の乾物重の8月25日から9月25日の増加量は、モミロマンの多量堆肥区で最も多く、ついでモミロマンの慣行堆肥区であった。また、その増加割合は、モミロマンでは全区で同程度であったのに対して、日本晴では化肥区に比べ堆肥施用した区で小さく、同一施用区間で比較すると日本晴に比べモミロマンで大きかった。そのため、慣行堆肥区と多量堆肥区の穂の乾物重は、8月25日ではモミロマンに比べ日本晴が多かったが、9月25日では日本晴に比べモミロマンで多くなった。地上部全体の乾物重の増加量は、両品種において多量堆肥区で多く、8月25日から9月25日の増加割合は、堆肥施用した区で大きくなる傾向がみられたが、日本晴では施肥処理間で差はみられなかった。また、モミロマンの慣行堆肥区および多量堆肥区では、7月25日から8月25日の増加量と8

月 25 日から 9 月 25 日の増加量は同程度であったが、日本晴では 7 月 25 日から 8 月 25 日の増加量に比べ 8 月 25 日から 9 月 25 日の増加量は少なかった。

第 3-1-2-5 表に、2010 年の 8 月 25 日(穂揃期後)および 9 月 25 日(黄熟期)のモミロマンおよび日本晴の全窒素濃度を示した。葉鞘と稈の全窒素濃度は、全調査日において、両品種ともに多量堆肥区で大きく推移していた。モミロマンの多量堆肥区における葉身の全窒素濃度の減少割合は、7 月 25 日から 8 月 25 日および 8 月 25 日から 9 月 25 日ともに小さく、葉身の全窒素濃度は高く維持された。一方で、日本晴の多量堆肥区では、7 月 25 日では高い値を示したが、7 月 25 日から 8 月 25 日の減少割合が他区に比べ大きく、8 月 25 日から 9 月 25 日の減少割合も日本晴の化肥区に次いで大きかった。穂の全窒素濃度は、8 月 25 日および 9 月 25 日ともに、両品種において多量堆肥区で高く、同一施用区間で比較すると両品種で同程度であった。また、穂の全窒素濃度は、8 月 25 日から 9 月 25 日までには、全区で大きな増減はみられなかった。

第 3-1-2-6 表に、2010 年の 7 月 25 日、8 月 25 日(穂揃期後)および 9 月 25 日(黄熟期)のモミロマンおよび日本晴の全窒素含量の推移を示した。「7 月 25 日から 8 月 25 日」および「8 月 25 日から 9 月 25 日」における全窒素含量の増減量を示し、増減量を 7 月 25 日および 8 月 25 日の値を 100%とした百分率で示し、増減割合とした。全窒素含量は各部位について、全調査日において、モミロマンでは多量堆肥区で最も多く、次いで慣行堆肥区、化肥区の順であった。また、9 月 25 日の全窒素含量は、モミロマンでは各部位について化肥区に比べ慣行堆肥区で顕著に多く、穂および地上部では 2 倍以上であったが、日本晴では化肥区と慣行堆肥区の差は少なかった。葉鞘と稈の全窒素含量は、

モミロマンの慣行堆肥区では8月25日と9月25日で同程度の値を示しており、多量堆肥区では増加していた。一方で、日本晴は8月25日から9月25日までに全区で減少しており、異なる傾向であった。葉身の全窒素含量の8月25日から9月25日までの減少量および減少割合を同一施用区間で比較すると日本晴に比べてモミロマンで少なく、9月25日の慣行堆肥区および多量堆肥区の全窒素含量は、8月25日では日本晴とモミロマンで同程度であったが、9月25日では日本晴に比べモミロマンが多かった。慣行堆肥区および多量堆肥区の地上部全体の全窒素含量について、日本晴では7月25日から8月25日に比べ8月25日から9月25日の増加量が少なかったのに対して、モミロマンでは7月25日から8月25日の増加量が多く、異なる傾向がみられた。8月25日から9月25日までの増減割合を同一施用区間で比較すると、モミロマンが日本晴に比べ多かった。また、モミロマンでは化肥区に比べ堆肥施用区で大きくなる傾向がみられ、施用区間での差は日本晴に比べモミロマンで大きかった。

第3-1-2-4表に示す部位別の乾物重および第3-1-2-6表に示す全窒素含量から2010年の穂の乾物重および全窒素含量の登熟期間中の増加ならびに他部位からの移行量を算出し、第3-1-2-7表に示した。8月25日から9月25日までの穂の乾物重および全窒素含量の増加量をそれぞれ「穂乾物重増加量」および「穂全窒素含量増加量」とした。また、8月25日から9月25日までの地上部全体の乾物重および全窒素含量の増加量を「登熟期間中の増加分」とした。穂乾物重増加量および穂全窒素含量増加量からそれぞれの登熟期間中の増加分を差し引いたものは、それまでに穂以外の部位に蓄積されたものが穂に移行してきたと考えられ、「他部位からの移行分」とした。モミロマンの穂乾物重増

加量は多量堆肥区で最も大きく、慣行堆肥区も化肥区の2倍以上であった。一方、日本晴の穂乾物重増加量も多量堆肥区で大きかったが、化肥区と慣行堆肥区では同程度であった。穂乾物重増加量に登熟期間中の増加分が占める割合は、日本晴に比べモミロマンで大きく、両品種ともに、化肥区に比べ慣行堆肥区および多量堆肥区で大きかった。全窒素含量についても乾物重と同様の傾向を示した。モミロマンの穂全窒素含量増加量は、化肥区に比べそれぞれ慣行堆肥区では2倍、多量堆肥区では3倍以上であった。一方で、日本晴の穂全窒素含量増加量は、化肥区と慣行堆肥区で同程度であり、多量堆肥区は化肥区の2倍程度であった。登熟期間中の増加分が占める割合は日本晴に比べモミロマンで大きく、両品種ともに化肥区に比べ慣行堆肥区および多量堆肥区で大きく、特にモミロマンの慣行堆肥区および多量堆肥区では80%以上と大きな割合を占めていた。

第3-1-2-9表に、モミロマンおよび日本晴の部位別の各養分濃度を示した。葉鞘と稈のリン酸濃度は、両品種ともに多量堆肥区で最も高い値を示し、同一施用区間で比較すると日本晴に比べモミロマンで高かった。葉身では、両品種ともに施肥による差は小さく、日本晴に比べモミロマンで高かった。穂のリン酸濃度は、モミロマンでは多量堆肥区で最も高く、次いで慣行堆肥区であったが、日本晴では化肥区で最も高く異なる傾向であった。カリウム濃度は、葉鞘と稈および葉身に比べて穂で低い値を示した。葉鞘と稈のカリウム濃度は、モミロマンの多量堆肥区で高く、それ以外の区では同程度であった。葉身では、両品種ともに多量堆肥区で高く、同一施用区間で比較すると、モミロマンと日本晴は同程度であった。穂のカリウム濃度は、モミロマンでは化肥区で最も高い値を示し、日本晴では施用区間での顕著な差はみられなかった。カルシウム濃度は、葉

身および穂では低く、葉鞘と稈で高くなる傾向が見られた。葉鞘と稈のカルシウム濃度は両品種ともに多量堆肥区で低い値を示した。葉身では、両品種ともに慣行堆肥区で高く、モミロマンでは多量堆肥区で低かった。穂では、全区で値が低く、モミロマンでは多量堆肥区で最も低かったが日本晴では多量堆肥区で高かった。葉鞘と稈のマグネシウム濃度は、モミロマンでは全区で同程度であり、日本晴に比べモミロマンで高かった。葉身ではモミロマンの多量堆肥区で高く、穂では全区で同程度であった。

第 3-1-2-10 表にモミロマンおよび日本晴の部位別養分含量を示した。両品種ともに全部位で、全ての項目において多量堆肥区で最も多かった。地上部全体でも同様の傾向がみられ、いずれの項目においてもモミロマンでは多量堆肥区で最も多く、化肥区に比べて 2 倍以上の値を示していた。また、モミロマンでは化肥区に比べて慣行堆肥区が多かったが、日本晴の慣行堆肥区は化肥区と同程度か化肥区より少ない傾向がみられた。この傾向は、リン酸では全部位で、カリウムとマグネシウムでは葉鞘と稈および葉身でみられた。

第 3-1-2-11 表にモミロマンおよび日本晴の乾物重および養分の部位別の分配率を示した。第 3-1-2-4 表、第 3-1-2-6 表および第 3-1-2-10 表に示した各部位の乾物重および養分含量が地上部全体に占める割合を分配率として示した。乾物重では、両品種ともに穂の分配率が最も高く、ついで葉鞘と稈で、葉身の分配率が最も低かった。全窒素では、両品種ともに穂の分配率が高かった。また、葉鞘と稈および穂は、日本晴では施肥区間の差が小さかったが、モミロマンでは慣行堆肥区と多量堆肥区での差が大きく、異なる傾向がみられた。施肥処理間で比較すると、両品種ともに穂の分配率は多量堆肥区で

最も低かった。リン酸は、モミロマンの化肥区では葉鞘と稈の分配率が最も高かったが、それ以外の区では穂の分配率が最も高かった。カリウムは、葉鞘と稈の分配率が高かった。また、葉身の分配率は、両品種ともに化肥区および慣行堆肥区に比べ多量堆肥区で高かった。カルシウムは、葉鞘と稈の分配率がきわめて高く、穂および葉身の分配率は低かった。葉鞘と稈の分配率は、モミロマンでは他区に比べて多量堆肥区で高かったが、日本晴の多量堆肥区では、他区に比べ低い値を示していた。マグネシウムは、葉鞘と稈および穂の分配率が高く、葉身および穂の分配率は低かった。また、モミロマンは、日本晴に比べて、葉鞘と稈の分配率が高く、葉身および穂の分配率が低くなる傾向がみられた。

#### 考察

2010年の株あたり全窒素含量(第 3-1-2-6 表)から単位面積あたりの全窒素吸収量を推定した結果、モミロマンの化肥区では 5.2 kg/10 a, 慣行堆肥区では 10.6 kg/10 a, 多量堆肥区では 21.8 kg/10 a, 日本晴の化肥区では 7.2 kg/10 a, 慣行堆肥区では 7.9 kg/10 a, 多量堆肥区では 19.4 kg/10 a であった。水稻の全窒素含量は、両品種ともに窒素施用量の最も大きい多量堆肥区で大きく、次いで慣行堆肥区, 化肥区の順であったが、登熟期間中の全窒素吸収や乾物生産には品種間で異なる傾向がみられた。

日本晴は、モミロマンに比べ登熟期間以前に高い乾物生産を行い、登熟期間中である 8 月 25 日から 9 月 25 日までの乾物重増加割合は、全区で 25%程度とモミロマンに比

べ小さく、施用区間での差は小さかった(第 3-1-2-4 表)。また、葉身の全窒素含量が大きく減少し(第 3-1-2-6 表)、全窒素濃度はモミロマンに比べて低くなっていた(第 3-1-2-5 表)。そのため、日本晴の光合成生産能は低下し、登熟期間の乾物生産能はモミロマンに比べ減少していたと推察された。水稻は、出穂期までに高い乾物生産を行うと、その植物体を維持するために呼吸量が増大し、登熟期間中の生長効率が低下する(齊藤ら 2000)とされており、多量堆肥区の日本晴は、葉身の乾物重が高く維持されていたが、登熟期間中の乾物重の増加は少なく、乾物生産効率は大きく低下していると推察された。しかし、登熟期間中の乾物および全窒素含量の穂への他部位からの移行量は、モミロマンより多く、登熟期間中の穂の乾物および全窒素含量の増加量に占める割合も大きかった(第 3-1-2-7 表、第 3-1-2-8 表)ことから、登熟期間中の葉身の全窒素含量や葉面積の減少は、穂へ転流しているためと考えられた。そのため、日本晴は登熟期間以前の乾物生産が収量に及ぼす影響は大きく、反対に登熟期間中の乾物生産が収量に及ぼす影響は小さいと考えられた。

一方で、モミロマンは日本晴とは異なる傾向を示した。モミロマンの 8 月 25 日から 9 月 25 日までの乾物重増加割合は、日本晴より大きく、化肥区より慣行堆肥区や多量堆肥区で大きかった(第 3-1-2-4 表、第 3-1-2-7 表)。さらにモミロマンの登熟期間中の穂重増加は、それまでに同化部位に蓄積した分を用いた割合が小さく、慣行堆肥区および多量堆肥区では 90%以上が登熟期間中の増加分によって占められていた(第 3-1-2-7 表)。複数の多収性品種の多収要因として、登熟期間中の乾物生産量が大きいこと(蔣ら 1988, 斎藤ら 1990) があげられているが、モミロマンも同様に登熟期間中の乾物生産量が



大きく、そのことが穂重の増加に繋がっており、モミロマンの登熟期間中の乾物生産量が収量に及ぼす影響は大きいと考えられた。

日印交雑の多収性品種である水原 287 と水原 290 では、登熟期間中の全窒素吸収量がコシヒカリなどの日本型品種と比べ大きく、葉の老化が遅く、葉面積が維持されていたとされ(和田ら 2002)、登熟期間中の生育に特徴がみられた。本試験でモミロマンは、登熟期間中の窒素吸収量が多く(第 3-1-2-6 表, 第 3-1-2-8 表)、葉身の全窒素濃度は、高く維持されていた(第 3-1-2-2 表, 第 3-1-2-5 表)。葉身の全窒素濃度は、個葉光合成速度(CER)に密接な正の相関がある(黒田・玖村 1990)とされ、さらに、登熟期間中に窒素吸収が多いと光合成量が増し、全乾物重は増加すると報告されており(前田・平井 2002)、モミロマンは日本晴に比べ登熟期間中も個葉の光合成能力を高く維持していたと推察された。それにより、多量堆肥区のモミロマンは日本晴に比べ、登熟期間中の葉身の乾物重が小さかったものの、8月25日から9月25日の地上部乾物重の増加量が大きく、登熟期間中の葉身の乾物重あたりの乾物生産効率は日本晴より高かったといえる。

上述の通り、モミロマンは、登熟期間中の全窒素含量の増加量が大きく、窒素吸収能が高く維持されており、登熟期間中の窒素吸収が穂の全窒素含量の増加に寄与する割合も日本晴に比べ大きかった(第 3-1-2-6 表, 第 3-1-2-8 表)。また、モミロマンは、堆肥施用を行った両区で化肥区に比べ、登熟期間中の全窒素含量の増加量が大きく、穂の全窒素含量の増加に寄与する割合も大きかった(第 3-1-2-8 表)。このことから、モミロマンは堆肥施用により登熟期間中の窒素吸収量を増加させ、穂の全窒素含量の増加に繋げることが可能であると推察された。一方で、飼料成分として重要な要素である粗タンパク

質と相関のある穂の全窒素濃度は、穂揃期後である8月25日と黄熟期の9月25日で同程度であり、登熟期間中の全窒素濃度の増減は小さかった。つまり、堆肥施用による登熟期間中の全窒素吸収量の増加は、穂の全窒素濃度の増加には繋がっておらず、高い値を維持するにとどまったといえる。また、穂の全窒素濃度は、モミロマンに比べ日本晴で高い傾向がみられた。日本晴は登熟期以前の全窒素吸収量が多かったことと登熟期間中の穂の全窒素濃度の増減は小さかったことから、穂の全窒素濃度を増加させるためには、登熟期間中の全窒素吸収に比べ登熟期以前の全窒素吸収が重要であると推察される。また、地上部全体の全窒素含量に対する穂への分配率は、日本晴では全区で差は小さかったがモミロマンでは施用区間での差が大きく、多量堆肥区で最も低かった。

モミロマンの多量堆肥区は、葉鞘と稈への分配率が他区に比べて高かったため、相対的に穂への分配率が低下していたと考えられる。籾の利用を想定した場合、葉鞘と稈に蓄積された全窒素を積極的に穂に移行させることが望ましい。全窒素のモミロマンの穂への分配率は、日本晴に比べて施肥区間での差が大きかったことから、耕種的な手法でこの点についてある程度改善することが可能であると考えられる。鶏糞堆肥施用により全窒素吸収量を増加させることが可能であったが、効率的に穂に全窒素が充填されることでよりその効果は高まると推察され、今後の検討課題としたい。また、本試験では籾利用を想定しているが葉鞘と稈の全窒素含量が多かったことから、粗飼料としての利用も考慮すべきである。

以上より、日本晴に比べ、モミロマンの登熟期間中の窒素吸収能力は高く、穂に十分な窒素を蓄積させるとともに、登熟期間中も葉中の全窒素濃度を高く維持させることが

可能であった。その結果、登熟期間中の同化量の増加をもたらし、穂重増加に寄与すると考えられた。また、鶏糞堆肥の多量施用は、同化部位を増大させるだけでなく、高い窒素供給によりモミロマンの全窒素吸収量を増加させ、葉身の全窒素濃度を高めることで、光合成能を高めていたと推察される。さらに、モミロマンの収量に大きな影響を及ぼす登熟期間中においても鶏糞堆肥の多量施用によるこれらの効果は高く維持されていた。

鶏糞堆肥施用により、全窒素吸収量を増加させたことが収量の増加に寄与していることが明らかとなったが、全窒素以外の成分の施用量も化肥区と比較して多く、それら成分の吸収量についても収量に影響を及ぼすと考えられる。また、ミネラルとして飼料価値に影響するという側面もあり、検討が必要である。以下に、モミロマンの各成分の吸収量や分配率の品種特性と鶏糞堆肥施用がそれらに及ぼす影響について示した。

鶏糞堆肥はリン酸の含有率が高いため、堆肥によるリン酸施用量も多く、鶏糞堆肥施用により、モミロマンの地上部全体のリン酸含有量は増加していた(第 3-1-2-10 表)。リン酸施用量の増加が穂数の増加に繋がると報告されており(米川ら 2001)、本試験においても堆肥施用によるリン酸施用量の増加が穂数の増加に影響した可能性が考えられた。一方で、堆肥施用が水稻のリン酸濃度に影響を及ぼすことはなく、茎数は堆肥施用によるリン酸の供給力に影響されないという報告(吉澤ら 2011)や鶏糞堆肥施用による土壤中の可給態リン酸の増加は収量へ影響を及ぼさないという報告(水口ら 2007)もある。本試験において、葉鞘および稈のリン酸濃度は両品種ともに多量堆肥区で高かったが、化肥区に比べてリン酸施用量の多い慣行堆肥区では、化肥区よりリン酸含有量は増

加したもののリン酸濃度の増加はみられなかった。そのため、鶏糞堆肥施用によるリン酸施用量の増加が水稻の茎数および穂数に及ぼす影響については、本試験内では一定の傾向がみられておらず、茎数の増加がリン酸の影響によるものと断定することはできなかった。

北陸 129 号などの複数の多収性品種において、出穂期以後の茎葉でカリウム濃度が著しく高く維持されており、そのことが積極的な物質輸送に繋がると報告されている(諸岡・鈴木 1986, 本松ら 1988, Patrick 1987)。モミロマンにおいても慣行堆肥区および多量堆肥区の葉鞘と稈のカリウム濃度が高かった。そのため、高いカリウム濃度が登熟期間中の穂の転流に寄与しており、穂の乾物重増加要因の一つであったと推察される。さらに、鶏糞堆肥施用により地上部全体のカリウム含有量が増加し、多量堆肥区では葉鞘と稈および葉身のカリウム濃度が高くなっていったことから、鶏糞堆肥の多量施用はその効果を高めていたと推察された。また、本試験では、飼料としての粃の利用を想定しているが、稲わらについては多岐の利用法が考えられ、カリウム含量の観点から検討した。まず、稲わらを水田に還元する場合、稲わらは土壌へのカリウム供給量が多く、水稻への吸収効率が高く、カリウム含量も増加すると報告されている(高橋 2009, 吉澤 2011)。鶏糞堆肥施用により地上部全体のカリウム含量を増加させ、葉鞘と稈および葉身のカリウム濃度が高くなっており、土壌へのカリウム供給源としての稲わら利用が可能であると考えられる。一方で、粗飼料としての利用を考えた場合、高いカリウム濃度が問題となる。一般的に、飼料中のカリウム含量の増加は、給餌された乳牛の罹病の可能性が高まることや尿量の増加による環境負荷に繋がるとされている。稲わらに粃を含めた

ホールクroppサイレージの場合であるが、一般的に 2%以下であることが望ましいとされる。本試験における地上部全体のカリウム含量と乾物重からカリウム濃度を求めるとモミロマンの化肥区では 1.89%、慣行堆肥区では 1.71%であったのに対して、多量堆肥区では 2.22%であった。ホールクroppサイレージは、一般的な給与をした場合、他の飼料と併用されるため、カリウム濃度の増加により粗飼料として利用出来なくなるわけではないが、鶏糞堆肥の多量施用栽培において、モミロマンのカリウム濃度に注意が必要であると考えられる。

また、モミロマンでは、鶏糞堆肥施用によりカルシウム吸収量は増加していたが、穂のカルシウム濃度は低下していた(第 3-1-2-9 表, 第 3-1-2-10 表)。卵鶏への給餌を想定した場合、多量のカルシウムが要求されるが、多量堆肥区のモミロマンのカルシウム濃度は低下しており、飼料価値の低下であると考えられた。しかし、全区においてカルシウム濃度が低く差が小さかったことと、穀類全般でカルシウム濃度が低いため、カルシウムを飼料に添加することが一般的となっていることから、カルシウム濃度低下による飼料価値への影響は小さいと推察された。

水稻へのマグネシウム施用により登熟初期の転流速度が速く、葉身の葉色を高くし、生育後期まで十分な乾物生産力を維持することが出来る(有野 2010)と報告されている。モミロマンの慣行堆肥区および多量堆肥区では、葉身のマグネシウム濃度が高かったことから、鶏糞堆肥施用により登熟期間中の葉身の葉色を高く維持し、乾物生産量の増加の要因の一つとして、葉身のマグネシウム濃度の増加が考えられた。さらに、モミロマンの葉鞘と稈のマグネシウム濃度が高かったことが、登熟期間中の穂への転流量の

増加に寄与したと考えられた。

以上のように、鶏糞堆肥施用により多くの成分の含量および濃度を増加させたことが、モミロマンの登熟期間中の乾物生産に寄与しており、籾収量の増加に繋がっていると推察された。一方で、鶏糞堆肥施用は、カリウム濃度の増加によって飼料価値の低下に繋がる可能性があり、注意が必要であることやリン酸含有量の増加が生育や飼料価値に及ぼす影響など検討すべき課題も多くある。

第3-1-2-1表 モミロマンおよび日本晴の部位別乾物重(2009).

品種	施肥	葉鞘+稈 (g/株)	葉身 (g/株)	穂 (g/株)	地上部 (g/株)
モミロマン	化肥	19.2	8.7	29.6	57.5
	慣行堆肥	18.9	9.6	38.3	66.7
	多量堆肥	27.9	15.8	46.6	90.4
日本晴	化肥	23.8	10.8	30.8	65.4
	慣行堆肥	17.8	9.0	26.0	52.9
	多量堆肥	27.5	16.3	41.4	85.1
有意差	品種	ns	ns	ns	ns
	施肥	**	**	*	**
	交互作用	ns	ns	*	*

両品種とも、2009年9月25日に刈り取った。

\*\*, \*, nsはそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしであることを示す。

第3-1-2-2表 モミロマンおよび日本晴の部位別全窒素濃度(2009).

品種	施肥	葉鞘+稈 (%)	葉身 (%)	穂 (%)
モミロマン	化肥	0.78	1.04	0.98
	慣行堆肥	0.55	0.85	1.00
	多量堆肥	0.75	1.10	1.02
日本晴	化肥	0.35	0.58	1.02
	慣行堆肥	0.46	0.64	1.11
	多量堆肥	0.59	0.86	1.15
有意差	品種	**	**	ns
	施肥	*	*	ns
	交互作用	*	*	ns

両品種とも、2009年9月25日に刈り取った。

\*\*, \*, nsはそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしであることを示す。

第3-1-2-3表 モミロマンおよび日本晴の部位別全窒素含量(2009).

品種	施肥	葉鞘+稈 (g/株)	葉身 (g/株)	穂 (g/株)	地上部 (g/株)
モミロマン	化肥	149.8	90.3	290.8	530.9
	慣行堆肥	103.2	81.6	383.1	567.9
	多量堆肥	209.3	174.5	475.7	859.6
日本晴	化肥	84.1	62.5	314.3	460.9
	慣行堆肥	82.3	57.9	288.1	428.3
	多量堆肥	162.1	140.0	477.0	779.0
有意差	品種	*	*	ns	*
	施肥	*	**	*	*
	交互作用	ns	ns	*	*

両品種とも、2009年9月25日に刈り取った。

\*\*, \*, nsはそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしであることを示す。



第3-1-2-4表 モミロマンおよび日本晴の部位別乾物重の推移(2010).

品種	葉鞘+稈 (g/株)						葉身 (g/株)								
	7月25日	増減量(増減割合)	8月25日	増減量(増減割合)	9月25日	7月25日	増減量(増減割合)	8月25日	増減量(増減割合)	9月25日	増減量(増減割合)	8月25日	増減量(増減割合)	9月25日	
モミロマン	4.5	11.7 (+ 259)	16.2	-1.7 (- 11)	14.4	4.7	1.1 (+ 24)	5.8	-0.7 (- 13)	5.1	5.1	-0.7 (- 13)	5.1		
慣行堆肥	11.2	11.5 (+ 103)	22.7	0.7 (+ 3)	23.3	8.7	-0.5 (- 6)	8.2	0.3 (+ 4)	8.5	8.5	0.3 (+ 4)	8.5		
多量堆肥	19.2	14.6 (+ 76)	33.8	1.5 (+ 5)	35.4	15.4	1.1 (+ 7)	16.5	-2.9 (- 18)	13.6	13.6	-2.9 (- 18)	13.6		
日本晴	11.2	10.0 (+ 90)	21.2	-1.2 (- 6)	20.0	10.1	0.4 (+ 4)	10.4	-2.6 (- 25)	7.8	7.8	-2.6 (- 25)	7.8		
慣行堆肥	7.6	13.6 (+ 179)	21.2	-1.7 (- 8)	19.5	7.9	1.2 (+ 15)	9.1	-1.6 (- 18)	7.5	7.5	-1.6 (- 18)	7.5		
多量堆肥	10.5	21.7 (+ 206)	32.3	-1.5 (- 5)	30.7	12.9	6.4 (+ 49)	19.3	-2.5 (- 13)	16.8	16.8	-2.5 (- 13)	16.8		
品種	ns		ns		ns	ns		*		*	*		*		
有意差	ns		*		**	*		*		**	**		**		
交互作用	*		*		*	*		*		**	**		**		
	穂 (g/株)														
品種	7月25日	増減量(増減割合)	8月25日	増減量(増減割合)	9月25日	7月25日	増減量(増減割合)	8月25日	増減量(増減割合)	9月25日	7月25日	増減量(増減割合)	8月25日	増減量(増減割合)	9月25日
モミロマン	-	6.2 (- )	6.2	11.7 (+ 189)	17.9	9.2	19.0 (+ 207)	28.2	9.3 (+ 33)	37.5	9.2	25.2 (+ 57)	43.9	25.2 (+ 57)	69.2
慣行堆肥	-	13.1 (- )	13.1	24.2 (+ 185)	37.3	19.9	24.1 (+ 121)	43.9	25.2 (+ 57)	69.2	19.9	24.1 (+ 121)	43.9	25.2 (+ 57)	69.2
多量堆肥	-	14.8 (- )	14.8	29.3 (+ 198)	44.1	34.6	30.5 (+ 88)	65.1	27.9 (+ 43)	93.0	34.6	30.5 (+ 88)	65.1	27.9 (+ 43)	93.0
日本晴	-	8.2 (- )	8.2	13.0 (+ 158)	21.2	21.2	18.6 (+ 88)	39.9	9.2 (+ 23)	49.1	21.2	18.6 (+ 88)	39.9	9.2 (+ 23)	49.1
慣行堆肥	-	10.6 (- )	10.6	13.8 (+ 130)	24.4	15.5	25.4 (+ 164)	40.9	10.5 (+ 26)	51.4	15.5	25.4 (+ 164)	40.9	10.5 (+ 26)	51.4
多量堆肥	-	20.4 (- )	20.4	21.1 (+ 103)	41.5	23.4	48.5 (+ 207)	72.0	17.1 (+ 24)	89.0	23.4	48.5 (+ 207)	72.0	17.1 (+ 24)	89.0
品種			ns		ns	ns		ns		ns	ns		ns		ns
有意差			**		**	ns		*		**	ns		*		**
交互作用			ns		ns	*		*		**	*		*		**

\*\*, \* , nsはそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしであることを示す.

第3-1-2-5表 モミロマンおよび日本晴の部位別全窒素濃度の推移(2010).

		葉鞘+稈(%)				
品種	施肥	7月25日	増減量(増減割合)	8月25日	増減量(増減割合)	9月25日
モミロマン	化肥	0.68	-0.22 (-32)	0.46	-0.11 (-25)	0.35
	慣行堆肥	0.62	-0.21 (-34)	0.41	0.00 (-1)	0.40
	多量堆肥	0.94	-0.16 (-17)	0.78	0.09 (+11)	0.86
日本晴	化肥	0.78	-0.30 (-39)	0.48	-0.09 (-19)	0.39
	慣行堆肥	0.60	-0.16 (-27)	0.44	-0.02 (-5)	0.41
	多量堆肥	1.16	-0.46 (-40)	0.70	0.00 (-0)	0.69
有意差	品種	ns		ns		ns
	施肥処理	*		*		*
	交互作用	ns		ns		ns
		葉身(%)				
品種	施肥	7月25日	増減量(増減割合)	8月25日	増減量(増減割合)	9月25日
モミロマン	化肥	2.12	-0.91 (-43)	1.21	-0.24 (-20)	0.97
	慣行堆肥	2.06	-0.78 (-38)	1.28	-0.36 (-28)	0.93
	多量堆肥	2.62	-0.72 (-28)	1.89	-0.35 (-18)	1.55
日本晴	化肥	2.32	-1.05 (-45)	1.27	-0.50 (-40)	0.76
	慣行堆肥	1.97	-0.87 (-44)	1.10	-0.25 (-23)	0.84
	多量堆肥	3.06	-1.43 (-47)	1.64	-0.51 (-31)	1.12
有意差	品種	ns		ns		ns
	施肥	*		*		*
	交互作用	ns		ns		ns
		穂(%)				
品種	施肥	7月25日	増減量(増減割合)	8月25日	増減量(増減割合)	9月25日
モミロマン	化肥	-	(-)	0.83	-0.01 (-1)	0.82
	慣行堆肥	-	(-)	0.94	-0.06 (-6)	0.88
	多量堆肥	-	(-)	1.18	-0.01 (-1)	1.17
日本晴	化肥	-	(-)	0.89	0.08 (+9)	0.96
	慣行堆肥	-	(-)	1.02	-0.08 (-8)	0.93
	多量堆肥	-	(-)	1.19	0.04 (+3)	1.23
有意差	品種			ns		ns
	施肥			*		*
	交互作用			ns		ns

\*\*, \*, nsはそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしであることを示す.

第3-1-2-6表 モミロマンおよび日本晴の部位別全窒素含量の推移(2010).

品種	葉鞘+稈 (g/株)							葉身 (g/株)																							
	7月25日	増減量(増減割合)	8月25日	増減量(増減割合)	9月25日	増減量(増減割合)	7月25日	増減量(増減割合)	8月25日	増減量(増減割合)	9月25日	増減量(増減割合)	8月25日	増減量(増減割合)	9月25日																
モミロマン	30.6	43.9 (+ 144)	74.5	-24.3 (- 33)	50.3	99.6	-28.8 (- 29)	70.7	-21.4 (- 30)	49.4	68.8	23.2 (+ 34)	92.0	2.0 (+ 2)	94.0	179.5	-74.4 (- 41)	105.1	-26.1 (- 25)	79.1	180.1	82.4 (+ 46)	262.5	42.5 (+ 16)	305.0	403.1	-90.8 (- 23)	312.3	-101.8 (- 33)	210.5	
日本晴	86.5	14.4 (+ 17)	100.9	-23.8 (- 24)	77.2	233.3	-100.9 (- 43)	132.4	-72.5 (- 55)	59.9	45.5	47.2 (+ 104)	92.7	-12.0 (- 13)	80.7	155.7	-55.6 (- 36)	100.0	-37.1 (- 37)	62.9	122.0	102.2 (+ 84)	224.2	-11.4 (- 5)	212.8	395.6	-79.7 (- 20)	315.9	-126.8 (- 40)	189.1	
有意差	ns		ns		ns	ns		ns		ns	ns		*	*	*	*	*	*	**	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ns	
交互作用	*		*		*	*		*		*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	ns	
穂 (g/株)																															
モミロマン	-	( - )	51.5	96.1 (+ 186)	147.6	130.2	66.6 (+ 51)	196.8	50.5 (+ 26)	247.2	-	( - )	122.7	205.5 (+ 167)	328.2	248.3	71.6 (+ 29)	319.9	181.4 (+ 57)	501.3	-	( - )	174.0	339.9 (+ 195)	514.0	583.2	165.7 (+ 28)	748.9	280.7 (+ 37)	1029.5	
日本晴	-	( - )	73.0	131.3 (+ 180)	204.2	319.9	-13.6 (- 4)	306.3	35.0 (+ 11)	341.3	-	( - )	108.0	120.0 (+ 111)	228.0	201.1	99.5 (+ 49)	300.7	70.9 (+ 24)	371.6	-	( - )	242.9	267.7 (+ 110)	510.6	517.6	265.3 (+ 51)	783.0	129.5 (+ 17)	912.5	
有意差	ns		*		ns	ns		ns		ns	ns		*	**	*	ns	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ns
交互作用	*		**		*	*		*		*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

\*\*, \*, nsはそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしであることを示す.

第3-1-2-7表 穂の乾物重の登熟期間中の増加ならびに蓄積移行量(2010).

品種	施肥	穂乾物重 増加量 (g/株)	登熟期間中の 増加分(g/株)	他部位からの 移行分(g/株)
モミロマン	化肥	11.7	9.3 ( 79 )	2.5 ( 21 )
	慣行堆肥	24.2	25.2 ( 104 )	-1.0 ( -4 )
	多量堆肥	29.3	27.9 ( 95 )	1.4 ( 5 )
日本晴	化肥	13.0	9.2 ( 71 )	3.8 ( 29 )
	慣行堆肥	13.8	10.5 ( 76 )	3.3 ( 24 )
	多量堆肥	21.1	17.1 ( 81 )	4.0 ( 19 )

8月25日から9月25日までの穂の乾物重の増加量を穂乾物重増加量とした。

8月25日から9月25日までの地上部乾物重の増加量を登熟期間中の増加分とした。

穂乾物重増加量から登熟期間中の増加分を差し引いたものを他部位からの移行分とした。

括弧内の数値は穂乾物重増加量を100として、それぞれの値が占める割合を比率で示した。

第3-1-2-8表 穂の全窒素含量の登熟期間中の増加ならびに蓄積移行量(2010).

品種	施肥	穂全窒素 含量増加量 (mg/株)	登熟期間中の 増加分(mg/株)	他部位からの 移行分(mg/株)
モミロマン	化肥	96.1	50.5 ( 53 )	45.6 ( 47 )
	慣行堆肥	205.5	181.4 ( 88 )	24.1 ( 12 )
	多量堆肥	339.9	280.7 ( 83 )	59.3 ( 17 )
日本晴	化肥	131.3	35.0 ( 27 )	96.2 ( 73 )
	慣行堆肥	120.0	70.9 ( 59 )	49.1 ( 41 )
	多量堆肥	267.7	129.5 ( 48 )	138.2 ( 52 )

8月25日から9月25日までの穂の全窒素含量の増加量を穂全窒素含量増加量とした。

8月25日から9月25日までの地上部全窒素含量の増加量を登熟期間中の増加分とした。

穂全窒素含量増加量からそれぞれの登熟期間中の増加分を差し引いたものを他部位からの移行分とした。

括弧内の数値は穂乾物重増加量および穂全窒素含量増加量を100として、それぞれの値が占める割合を比率で示した。

第3-1-2-9表 モミロマンおよび日本晴の部位別養分濃度(2010).

品種	施肥	リン酸(%)			カリウム(%)			カルシウム(%)			マグネシウム(%)		
		葉鞘+稈	葉身	穂	葉鞘+稈	葉身	穂	葉鞘+稈	葉身	穂	葉鞘+稈	葉身	穂
モミロマン	化肥	0.20	0.32	0.15	2.64	2.65	1.07	0.87	0.17	0.15	0.59	0.39	0.54
	慣行堆肥	0.19	0.28	0.23	2.72	3.01	0.78	0.88	0.25	0.12	0.58	0.42	0.49
	多量堆肥	0.24	0.33	0.30	3.22	4.01	0.87	0.76	0.11	0.10	0.59	0.53	0.49
日本晴	化肥	0.15	0.16	0.24	2.76	2.55	0.75	0.76	0.13	0.09	0.33	0.40	0.48
	慣行堆肥	0.16	0.15	0.19	2.51	2.86	0.78	0.89	0.22	0.10	0.30	0.35	0.55
	多量堆肥	0.21	0.19	0.21	2.82	4.01	0.75	0.69	0.19	0.13	0.44	0.36	0.53
有意差	品種	*	**	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	
	施肥	*	*	*	*	**	ns	*	*	*	ns	*	ns
	交互作用	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	*	*	*	*	ns

両品種とも, 2010年9月25日に刈り取った.

\*\*, \*, nsはそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしであることを示す.

第3-1-2-10表 モミロマンおよび日本晴の部位別養分含量(2010).

品種	施肥	リン酸(mg/株)			カリウム(mg/株)				
		葉鞘+稈	葉身	穂	地上部全体	葉鞘+稈	葉身	穂	地上部全体
モミロマン	化肥	29	16	27	72	381	135	192	707
	慣行堆肥	44	24	87	155	635	256	290	1181
	多量堆肥	86	45	131	262	1138	545	385	2068
日本晴	化肥	29	13	52	94	553	200	159	911
	慣行堆肥	31	11	45	87	489	213	190	892
	多量堆肥	64	33	88	185	867	674	310	1851
有意差	品種	*	*	ns	*	ns	ns	*	ns
	施肥	**	*	*	*	*	*	**	*
	交互作用	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns
マグネシウム(mg/株)									
品種	施肥	カルシウム(mg/株)			マグネシウム(mg/株)				
		葉鞘+稈	葉身	穂	地上部全体	葉鞘+稈	葉身	穂	地上部全体
モミロマン	化肥	126	9	26	160	85	20	96	201
	慣行堆肥	206	22	44	272	134	36	183	353
	多量堆肥	270	14	46	330	208	72	216	496
日本晴	化肥	152	10	18	180	65	32	102	199
	慣行堆肥	173	16	26	215	58	26	133	217
	多量堆肥	213	32	52	297	135	60	220	416
有意差	品種	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	*
	施肥	*	*	*	**	*	*	**	*
	交互作用	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

両品種とも, 2010年9月25日に刈り取った.

\*\*, \*, nsはそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしであることを示す.

第3-1-2-11表 モミロマンおよび日本晴の部位別分配率(2010).

品種	施肥	乾物重			全窒素		
		葉鞘+稈	葉身	穂	葉鞘+稈	葉身	穂
モミロマン	化肥	38.5	13.6	47.9	20.3	20.0	59.7
	慣行堆肥	33.7	12.3	53.9	18.8	15.8	65.5
	多量堆肥	38.0	14.6	47.4	29.6	20.4	49.9
日本晴	化肥	40.8	16.0	43.2	22.6	17.6	59.8
	慣行堆肥	38.0	14.5	47.5	21.7	16.9	61.4
	多量堆肥	34.5	18.9	46.6	23.3	20.7	56.0
品種	施肥	リン酸			カリウム		
		葉鞘+稈	葉身	穂	葉鞘+稈	葉身	穂
モミロマン	化肥	40.4	22.7	36.9	53.8	19.1	27.1
	慣行堆肥	28.6	15.5	55.9	53.7	21.7	24.6
	多量堆肥	32.9	17.1	50.0	55.0	26.3	18.6
日本晴	化肥	31.4	13.5	55.1	60.6	21.9	17.4
	慣行堆肥	35.1	12.9	51.9	54.8	23.9	21.3
	多量堆肥	34.7	17.6	47.7	46.9	36.4	16.7
品種	施肥	カルシウム			マグネシウム		
		葉鞘+稈	葉身	穂	葉鞘+稈	葉身	穂
モミロマン	化肥	78.5	5.3	16.2	42.3	9.8	47.9
	慣行堆肥	75.9	7.9	16.2	38.1	10.2	51.8
	多量堆肥	81.7	4.3	13.9	42.0	14.5	43.5
日本晴	化肥	84.4	5.5	10.1	32.7	15.9	51.4
	慣行堆肥	80.6	7.6	11.9	26.5	12.1	61.4
	多量堆肥	71.7	10.8	17.5	32.5	14.6	52.9

両品種とも、2010年9月25日に刈り取った。

%

### 第3項 モミロマンの登熟期間中の群落構造

本項では、時期別に層別刈り取りを行い、層位別の相対光強度、葉面積分布および葉中全窒素濃度を調査することで、モミロマンの群落構造を明らかにし、そのことがモミロマンの登熟期間中の乾物生産にどのように寄与しているのか検討した。

#### 材料と方法

2009年9月25日、2010年7月25日、8月25日および9月25日に、各区あたり連続した10株を無作為に3か所選び、計30株について、各株の草丈および茎数を測定し、中庸な株を6株選抜した。完全に枯死した葉以外を生葉とし、選抜した株の生葉数を測定した。20cmごとの層位別に葉身を刈り取り、生葉と枯葉に分別した後、生葉の面積を測定した。さらに、2010年では、最上位葉の葉色値(SPAD値)を測定し、プラントキヤノピーアナライザー(LAI-2000 Li-cor 製)の光量子センサーを用いて、地際から20cmごとの各層位および全天下の光強度を同時に測定し、各層位の相対光強度を求めた。さらに、粉碎し、1mm目で篩った後、C/Nコーダー(MT-700 ヤナコ分析工業社製)で葉身の全窒素濃度を測定した。

#### 結果

第3-1-3-1表に2009年9月25日(黄熟期)の生育状況を示した。草丈は、モミロマンでは多量堆肥区で最も高かったのに対して、日本晴では慣行堆肥区で最も高く、多量堆肥区は最も低かった。同一施用区間で比較すると、日本晴に比べモミロマンで高かった。



茎数、生葉数および葉面積は施肥処理間で有意差があり、両品種ともに多量堆肥区で大きかった。同一施用区間で比較すると、茎数および生葉数は、モミロマンに比べ日本晴で多かった。葉面積は、品種間で一定の傾向はみられなかった。

第 3-1-3-2 表に、2010 年の 7 月 25 日、8 月 25 日(穂揃期後)および 9 月 25 日(黄熟期)の生育状況を示した。また、各項目について、「7 月 25 日から 8 月 25 日」および「8 月 25 日から 9 月 25 日」における増減量を示し、増減量を 7 月 25 日および 8 月 25 日の値を 100%とした百分率で示し、増減割合とした。全ての調査項目において、施用処理間で有意差がみられ、多量堆肥区で大きかった。また、草丈はモミロマンで、茎数および生葉数は日本晴でそれぞれ大きく推移した。茎数および葉面積は、モミロマンでは化肥区に比べ慣行堆肥区で大きかったが、日本晴の慣行堆肥区は、化肥区と同程度かそれ以下の値を示し、品種間で異なる傾向がみられた。増加量を比較すると、モミロマンの草丈は、日本晴に比べ、7 月 25 日から 8 月 25 日の増加量が大きく、増加割合も高くなっていた。茎数は、全区において 7 月 25 日から 8 月 25 日で大きく減少し、その後の増減はわずかであった。生葉数は、7 月 25 日から 8 月 25 日において、多量堆肥区の日本晴では減少しなかったが、それ以外の区では 32~48%と大きく減少していた。モミロマンの 8 月 25 日から 9 月 25 日の減少割合は、化肥区では 28%、慣行堆肥区では 7%、多量堆肥区では 11%であり、堆肥施用した両区で生葉数の残存率は高かった。一方で、日本晴の生葉数の減少割合はいずれの区も同様であり、同一施用区間で比較するとモミロマンより大きかった。葉色値は、7 月 25 日および 8 月 25 日では品種間で有意な差はなかったが、8 月 25 日から 9 月 25 日の減少割合は日本晴に比べモミロマンで小さく、モ

ミロマンの葉色値は化肥区に比べ慣行堆肥区および多量堆肥区で高く維持された。そのため、9月25日の慣行堆肥区および多量堆肥区の葉色値は日本晴に比べモミロマンで高かった。同様に、8月25日の葉面積は日本晴で大きく、9月25日でも化肥区と多量堆肥区は日本晴で大きかったが、葉面積の減少割合はモミロマンに比日本晴で大きかった。

第3-1-3-3表に2009年9月25日の株あたりの層位別葉面積、第3-1-3-1図に層位別葉面積分布割合をそれぞれ示した。2009年9月25日の層位別葉面積分布割合において、最も大きな割合を占めた層は、モミロマンの多量堆肥区では80~100cmの層で、それ以外の区では60~80cmの層であった。モミロマンの多量堆肥区は草丈が高く、他区に比べ、上層に葉面積が分布する傾向が見られた。また、最も大きな割合を占める層の葉面積分布割合は、モミロマンの化肥区では38.6%、慣行堆肥区では35.3%、多量堆肥区では36.9%であったのに対して、日本晴の化肥区では45.6%、慣行堆肥区では41.3%、多量堆肥区では44.8%であり、同一施用区間で比較するとモミロマンに比べ日本晴で大きかった。

第3-1-3-4表に2010年の7月25日、8月25日および9月25日の株あたりの層位別葉面積、第3-1-3-2図に層位別葉面積分布割合および相対光強度をそれぞれ示した。株あたりの層位別葉面積(第3-1-3-2表)に対する20cmごとの各層位の葉面積(第3-1-3-4表)の割合を層位別の葉面積分布割合とした。7月25日の層位別葉面積割合において、最も大きな割合を占めていた層は、モミロマンの化肥区で20~40cm、慣行堆肥区で20~40cmであり、40~60cmも同程度となっており、多量堆肥区で40~60cmの層であり、

慣行堆肥区および多量堆肥区は化肥区に比べ上層に葉面積が分布していた。8月25日の層位別葉面積割合において、最も大きな割合を占めていた層は、モミロマンの化肥区で20~40cm、慣行堆肥区で40~60cm、多量堆肥区で60~80cmの層であった。7月25日と同様に、慣行堆肥区および多量堆肥区は化肥区に比べ上層に葉面積が分布する傾向がみられた。また、最も大きな割合を占める層の葉面積分布割合は、モミロマンでは全区で37%程度であったのに対して、日本晴の化肥区で40.5%、慣行堆肥区では50.2%、多量堆肥区では41.1%であり、同一施用区間で比較するとモミロマンに比べ日本晴で大きかった。最も大きな割合を占める層と次いで大きな層の合計を同一施用区間で比較した場合も、モミロマンに比べ日本晴で大きかった。9月25日でも同様の傾向がみられ、最も大きな割合を占めていた層の葉面積割合は、モミロマンの化肥区で39.1%、慣行堆肥区では36.7%、多量堆肥区では35.0%であったのに対して、日本晴の化肥区で50.2%、慣行堆肥区では46.6%、多量堆肥区では43.3%であり、同一施用区間で比較するとモミロマンに比べ日本晴で大きかった。最も大きい割合を占める層と次いで大きな層の合計を比較した場合も同様に、モミロマンに比べ日本晴で大きかった。そのため、8月25日および9月25日において、モミロマンは日本晴に比べ、一つの層に葉面積が集中することなく幅広い層に分布する傾向がみられた。

7月25日の0~20cmおよび20~40cmの相対光強度は、両品種ともに多量堆肥区が他区より低かった。8月25日における、相対光強度が40%以下の層の葉面積割合は、モミロマンの化肥区では39.0%、慣行堆肥区では1.4%、多量堆肥区では73.4%、日本晴の化肥区では44.4%、慣行堆肥区では33.2%、多量堆肥区では90.2%であり、相対光強

度 40%以下の層の葉面積割合は、両品種ともに化肥区および慣行堆肥区に比べて多量堆肥区で大きくなる傾向がみられ、同一施用区間で比較すると、モミロマンは日本晴に比べて相対光強度が 40%以下の層の葉面積割合が小さかった。また、相対光強度が 80%以上の層の葉面積割合は、モミロマンの化肥区では 26.4%、慣行堆肥区では 40.7%、多量堆肥区では 26.6%、日本晴の化肥区では 15.2%、慣行堆肥区では 16.6%、多量堆肥区では 9.8%であり、同一施用区間で比較すると、モミロマンは日本晴に比べて相対光強度 80%以上の層の葉面積割合が大きかった。9月25日における、相対光強度が 40%以下の層の葉面積割合は、モミロマンの化肥区では 21.8%、慣行堆肥区では 47.1%、多量堆肥区では 31.0%、日本晴の化肥区では 0%、慣行堆肥区では 25.5%、多量堆肥区では 84.1%であり、化肥区および慣行堆肥区ではモミロマンで、多量堆肥区では日本晴で大きくなる傾向がみられた。

第 3-1-3-5 表に、2010 年の 7 月 25 日、8 月 25 日(穂揃期後)および 9 月 25 日(黄熟期)の吸光係数を示した。個体群の受光態勢を表す吸光係数は、積算葉面積指数と相対光強度から(Monsi,M.Saeki,T. 1953, 及川 2009)算出した。モミロマンの多量堆肥区では、7月25日は 0.63, 8月25日で 0.58, 9月25日で 0.71 であり、モミロマンの化肥区および慣行堆肥区に比べ、小さい値を維持した。日本晴では 7 月 25 日および 9 月 25 日において、化肥区で最も小さい値を示した。

第 3-1-3-3 図に、2010 年の 8 月 25 日(穂揃期後)および 9 月 25 日(黄熟期)のモミロマンおよび日本晴の層位別の葉身全窒素濃度を示した。層位別の葉身全窒素濃度は、全区で上層から下層にいくにつれて低くなる傾向がみられたが上層と下層の葉身の全窒素濃

度の差は、日本晴に比べモミロマンで小さかった。また、8月25日に比べ9月25日では全区で全窒素濃度は減少しているが、その減少割合は日本晴に比べモミロマンで小さく、9月25日の全窒素濃度も同一施用区間で比較するとモミロマンで大きく、特にモミロマンの多量堆肥区では全層で1.4%以上を維持しており、他区に比べ顕著に大きかった。

第3-1-3-4図に2010年の8月25日(穂揃期後)および9月25日(黄熟期)の層位別の葉身の全窒素含量を、第3-1-3-5図にその層位別分布割合を示した。葉身全窒素含量の全層の合計量は、両品種ともに多量堆肥区が多かった。同一施用区間で比較すると、化肥区では日本晴が多く、慣行堆肥区ではモミロマンが多く、多量堆肥区ではモミロマンと日本晴で同程度であった。0~20cm および 20~40cm の葉身全窒素含量の合計を同一施用区間で比較すると、両日ともにモミロマンと比べ日本晴で同程度以上の値を示していた。また、0~20cm および 20~40cm の葉身全窒素含量の分布割合を同一施用区間で比較すると、8月25日ではモミロマンに比較して日本晴で大きく、9月25日では慣行堆肥区ではモミロマンで大きく、他の区では両品種で同程度であった。さらに、相対光強度(第3-1-3-4表)が80%以上の層の葉身窒素含量を同一施用区間で比較すると、9月25日の化肥区では日本晴が多かったが、慣行堆肥区および多量堆肥区では両日ともにモミロマンで大きく、特に多量堆肥区のモミロマンの葉身窒素含量は多く、その傾向が顕著であり、分布割合についても同様の傾向がみられた。

考察

本試験において、モミロマンの生葉数および葉面積は、日本晴より小さい値であったが、登熟期間中の減少割合は小さかった(第 3-1-3-1 表, 第 3-1-3-2 表). また, 葉身の全窒素濃度は日本晴に比べモミロマンで高く維持され(第 3-1-3-3 図), 慣行堆肥区および多量堆肥区では, 葉色値の登熟期間中の減少割合は小さかった(第 3-1-3-2 表). 葉身の全窒素濃度は, 個葉光合成速度(CER)に密接な正の相関がある(黒田・玖村 1990)とされ, モミロマンの登熟期間中の個体光合成能力は低下せず, 乾物生産能力も維持されたと推察された.

宋ら(1990)は, 中国産ハイブリットライスにおいて, 層位別の葉面積分布が乾物生産に影響を及ぼし, 多収要因の一つであるとしている. 葉面積の増加は光合成生産量の増加に寄与するが, 一方で葉面積の過剰な増加は, 過繁茂となり, 葉面積あたりの光合成生産能が低下し, 光合成生産量の増加に繋がらない場合もある. 葉面積が大きく増加した場合において, 光合成生産に影響を及ぼす制限要因となるものとして, 「群落内の二酸化炭素供給」および「受光態勢」が考えられ, 群落構造がそれらに影響を及ぼすとされており, このような要因から層位別の葉面積分布が乾物生産において重要であると推察される.

本研究において, モミロマンの葉面積分布は, 日本晴と異なる傾向を示し, 登熟期間中の層位別の葉面積分布について特徴がみられた. 8 月 25 日(穂揃期後)および 9 月 25 日(黄熟期)ともに, モミロマンは, 日本晴に比べ草丈が高く推移しており, 葉面積が一つの層に集中することなく, 幅広い層に分布していた(第 3-1-3-1 表, 第 3-1-3-2 表, 第 3-1-3-1 図, 第 3-1-3-3 表, 第 3-1-3-4 表, 第 3-1-3-2 図). 黒田ら(1989)は, 葉面積分布が

一つの層に集中しにくい個体群構造について「葉面積密度が低い個体群構造」であるとされている。植物体が光合成を行うことによって大気中の二酸化炭素が消費され、酸素が供給されるため、群落内の大気中の二酸化炭素濃度が減少した状態となる。このような現象は、光合成を行う葉の表面で生じ、葉面境界層とよばれる。光合成において、二酸化炭素の供給は重要であり、葉面境界層が厚くなることで、光合成生産の低下に繋がるとされている。そのため、光合成生産において、葉面境界層を薄く維持することが重要である。風速が大きくなるほど、葉面境界層が薄くなるとされており、葉面境界層を薄く維持するためには、葉面境界層周辺の大気の循環が必要であると考えられる(矢吹ら 1970, 矢吹・宮川 1970, 原菌・矢吹 1982)。葉面積の増加に伴い、光合成による二酸化炭素の吸収量が増加し、個体群内の二酸化炭素濃度は減少するが、葉面積密度が低い個体群構造では、個体群内部から大気中への水蒸気が拡散しやすく、大気から個体群内部への二酸化炭素の供給が行われやすく、個体群内各層の二酸化炭素濃度の低下を防ぐことが可能であるとしている(黒田ら 1989, 武田ら 1983)。そのため、登熟期間中のモミロマンは、日本晴に比べ葉面積密度が低く、個体群内部の二酸化炭素濃度が低下しにくい群落を持っていると推察される。堆肥施用により、葉面積が増加するとともに、草丈が増加することで、葉面積が幅広い層に分布することに繋がり、葉面積密度が増加しにくくなり、二酸化炭素濃度が減少することなく大気と同程度の二酸化炭素濃度を維持することが可能であったと考えられた。

受光態勢が多収性品種に及ぼす影響として、日印交雑の多収性品種である密陽 23 号において、出穂期以後の乾物生産量が大きく、そのことに受光態勢が大きく影響してい

ること(斎藤ら 1990)や、多収性を持つ他の品種においても登熟期間中の受光態勢が乾物生産に影響を及ぼすこと(宋ら 1990a, 建部ら 1998, 除ら 1997)などが報告されている。8月25日のモミロマンは、日本晴に比べ、相対光強度が40%以下の層の葉面積割合が小さく、反対に相対光強度が80%以上の層の葉面積割合が大きくなっており(第3-1-3-2図)、株あたりの光利用効率が高いと推察された。一方で、9月25日において、化肥区および慣行堆肥区では、相対光強度が40%以下の層の葉面積割合がモミロマンに比べ日本晴で小さく、下層の相対光強度はモミロマンに比べ日本晴で高い傾向がみられた。しかし、この傾向は、化肥区および慣行堆肥区の日本晴の葉数および葉面積が大きく低下していたためであり、乾物生産の増加には結びつかなかった。両品種ともに多量堆肥区では、化肥区および慣行堆肥区に比べ葉面積は大きかったが、相対光強度が40%以下の層の葉面積割合が大きく、光利用効率が低下していると考えられた。しかし、多量堆肥区のモミロマンは、8月25日および9月25日ともに日本晴と比べると相対光強度が40%以下の層の葉面積割合が小さく、反対に相対光強度が80%以上の層の葉面積割合が大きく、それらの層の葉身全窒素濃度も高かったため(第3-1-3-2図, 第3-1-3-3図)、日本晴に比べ株あたりの光利用効率が高かったと推察される。モミロマンおよび日本晴の穂と葉身の位置関係については、本実験では20 cm ごとの刈り取りであったため、詳細な位置関係を捉えることは難しかった。斎藤ら(1990)は、穂による遮光程度が品種によって異なることを報告しているが、モミロマンは日本晴に比べて穂数が少なかったため、モミロマンの穂による被覆程度は小さかったと推察され、特に日本晴の穂数の増加が顕著であった多量堆肥区ではその差が大きかったと考えられる。また、モミロ



マンは日本晴に比べて草丈が高く(第 3-1-3-1 表, 第 3-1-3-2 表), 層位別の葉面積分布割合について一つの層に分布する割合が小さく, 幅広い層に均等に分布する傾向がみられる(第 3-1-3-1 図, 第 3-1-3-2 図), 下層への光の透過が日本晴に比べ良好であったと推察され, このことが多量堆肥区での両品種の受光態勢の差異に繋がったと考えられた. 水原 258 号などの多収性品種において, 出穂後においても全窒素含有率が高く維持されている上位葉が乾物生産を行うとしており(建部 1990), また, 相対照度の高い群落構造に葉面積あたりの葉身全窒素量の多い葉身が多く分布することで玄米重が増加する(金ら 2006)と報告されている. 本試験において, モミロマンの上層の葉の全窒素濃度は日本晴より高く維持されており, 特に多量堆肥区のモミロマンは高い値であった(第 3-1-3-3 図). さらに, 相対光強度が 80%以上の層の, 葉面積分布割合や葉身の全窒素含量および全窒素含量分布割合は, モミロマンで大きく(第 3-1-3-4 表, 第 3-1-3-2 図, 第 3-1-3-4 図, 第 3-1-3-5 図), 乾物生産や玄米重の増加に有利な群落構造であると考えられた. また, モミロマンは層位別の葉身全窒素濃度の最も高い層と低い層の葉身全窒素濃度の差が日本晴に比べ小さく(第 3-1-3-3 図), 上層と下層の光合成能の差が小さいと考えられた. よって, 下層の葉についても日本晴に比べ乾物生産能が高かったと推察された. 一方で, 下位葉は乾物生産への寄与は少なく, 下位葉における同化産物および吸収養分の積極的な籾への転流が籾収量の増加には必要である(建部ら 1998)としている. 多量堆肥区のモミロマンは, 幅広い層に葉面積が分布する傾向があり, 下層の葉身全窒素濃度は高く維持されていたが, 下層の葉身全窒素含量の分布割合は日本晴と同程度であり(第 3-1-3-5 図), 下層に全窒素が過剰に蓄積していないと考えられた. また, 日本晴で

は広範囲で倒伏がみられたが、モミロマンは日本晴に比べてわずかな倒伏であり、このことも多量堆肥区の受光態勢および乾物生産能の差異に影響したと考えられた。

以上より、モミロマンは、登熟期間中も葉面積および葉身の全窒素濃度を高く維持しており、堆肥の多量施用によりその値も大きくなった。さらに、モミロマンは葉面積および葉身窒素含量の分布割合が、相対光強度の高い上層で高くなっており、光利用効率の高い構造であった。また、モミロマンは草丈が高く、葉面積が密集しにくい構造であったことにより、群落内の二酸化炭素供給が行われやすく、下層への光の透過が良好になると考えられた。モミロマンは、このような性質を持つ群落構造であることにより、堆肥の多量施用により葉面積が大きく増加した場合でも、過繁茂にならず、葉面積あたりの乾物生産効率が低下しにくくなっていたと推察された。そのため、モミロマンは、堆肥の多量施用に対して有利な群落構造であるといえる。

第3-1-3-1表 9月25日(黄熟期)の生育(2009).

品種	施肥	草丈 (cm)	茎数 (本/株)	生葉数 (枚/株)	葉面積 (cm <sup>2</sup> /株)
モミロマン	化肥	106.7	11.3	29.0	735
	慣行堆肥	113.3	9.3	31.3	1040
	多量堆肥	117.3	14.3	44.7	1474
日本晴	化肥	95.7	16.3	45.3	829
	慣行堆肥	101.3	12.0	37.0	830
	多量堆肥	93.0	23.0	65.0	1525
有意差	品種	*	**	*	ns
	施肥	ns	*	*	*
	交互作用	*	*	*	*

\*\*、\*、nsはそれぞれ1%水準で有意、5%水準で有意、有意差なしであることを示す。

第3-1-3-2表 7月25日, 8月25日(穂揃後)および9月25日(黄熟期)の生育(2010).

品種	草丈 (cm)				茎数 (本/株)				生葉数 (枚/株)						
	7月25日	8月25日	9月25日	増減量(増減割合)	7月25日	8月25日	9月25日	増減量(増減割合)	7月25日	8月25日	9月25日	増減量(増減割合)			
施肥															
モミロマン	72.8	36.9 ( 51)	109.7	-3.0 ( - 3)	106.8	7.5	-2.3 ( - 30)	5.3	-0.5 ( - 10)	4.8	36.0	-11.5 ( - 32)	24.5	-6.8 ( - 28)	17.8
慣行堆肥	76.9	36.2 ( 47)	113.0	5.0 ( 4)	118.0	14.5	-7.0 ( - 48)	7.5	2.0 ( 27)	9.5	63.8	-30.3 ( - 47)	33.5	-2.5 ( - 7)	31.0
多量堆肥	93.2	41.1 ( 44)	134.3	-6.0 ( - 4)	128.3	20.5	-8.5 ( - 41)	12.0	1.5 ( 13)	13.5	103.5	-46.0 ( - 44)	57.5	-6.3 ( - 11)	51.3
日本晴	74.3	18.0 ( 24)	92.3	1.5 ( 2)	93.8	25.5	-13.5 ( - 53)	12.0	-0.5 ( - 4)	11.5	110.5	-53.5 ( - 48)	57.0	-23.8 ( - 42)	33.3
慣行堆肥	68.6	19.8 ( 29)	88.4	2.7 ( 3)	91.0	21.3	-8.5 ( - 40)	12.8	-1.0 ( - 8)	11.8	101.3	-36.8 ( - 36)	64.5	-27.5 ( - 43)	37.0
多量堆肥	80.0	33.8 ( 42)	113.9	0.2 ( 0)	114.0	24.3	-2.3 ( - 9)	22.0	-1.5 ( - 7)	20.5	116.5	0.8 ( 1)	117.3	-48.8 ( - 42)	68.5
品種	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
施肥	*	**	**	**	**	*	**	**	*	*	*	**	**	**	**
交互作用	*	ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns

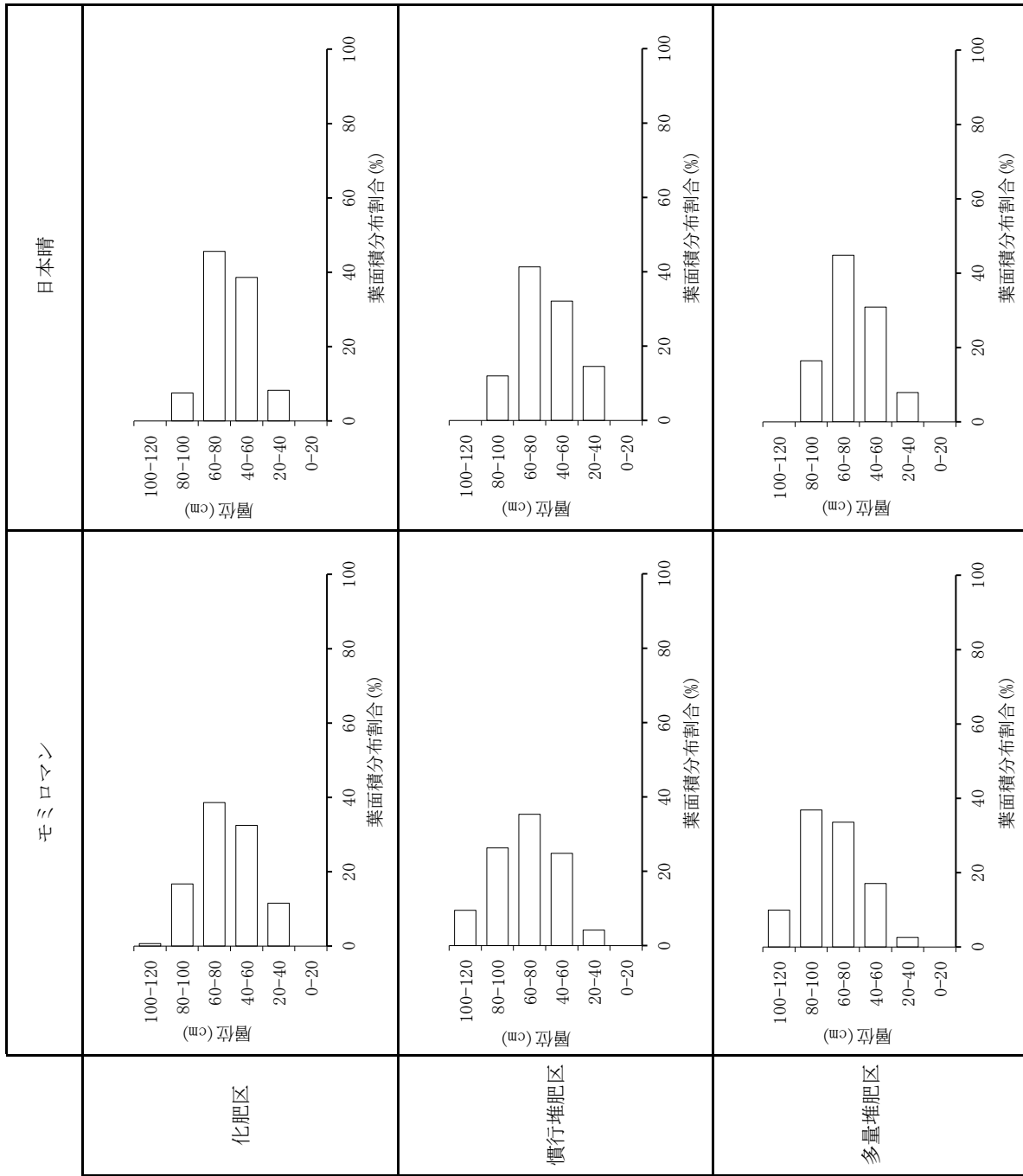
品種	葉色値 (SPAD値)				葉面積 (cm <sup>2</sup> /株)					
	7月25日	8月25日	9月25日	増減量(増減割合)	7月25日	8月25日	9月25日	増減量(増減割合)		
試験区										
モミロマン	29.6	0.5 ( 2)	30.1	-10.0 ( - 33)	20.0	844	-74.0 ( - 9)	770	-271.4 ( - 35)	498
慣行堆肥	31.8	-0.3 ( - 1)	31.5	-6.2 ( - 20)	25.3	1527	-376.4 ( - 25)	1151	-254.9 ( - 22)	896
多量堆肥	36.4	2.5 ( 7)	38.8	-4.9 ( - 13)	33.9	2945	-326.1 ( - 11)	2619	-1015.5 ( - 39)	1604
日本晴	28.5	1.4 ( 5)	29.9	-8.4 ( - 28)	21.5	1992	-686.8 ( - 34)	1305	-639.8 ( - 49)	666
慣行堆肥	27.1	3.5 ( 13)	30.6	-8.7 ( - 28)	21.9	1580	-317.7 ( - 20)	1262	-630.3 ( - 50)	632
多量堆肥	36.7	0.0 ( 0)	36.8	-9.0 ( - 24)	27.8	2711	452.8 ( 17)	3163	-1342.4 ( - 42)	1821
品種	*	ns	ns	ns	ns	*	**	**	**	ns
施肥	*	**	**	**	*	*	*	*	*	*
交互作用	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*	**

\*\* , \* , nsはそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしであることを示す.

第3-1-3-3表 9月25日(黄熟期)の株あたりの層位別葉面積(2009).

品種	施肥	0-20cm	20-40cm	40-60cm	60-80cm	80-100cm	100-120cm
モミロマン	化肥		85	239	283	123	5
	慣行堆肥		43	258	367	273	99
	多量堆肥		38	251	495	544	146
日本晴	化肥		68	320	378	63	
	慣行堆肥		121	267	343	100	
	多量堆肥		120	471	684	251	

cm<sup>2</sup>/株

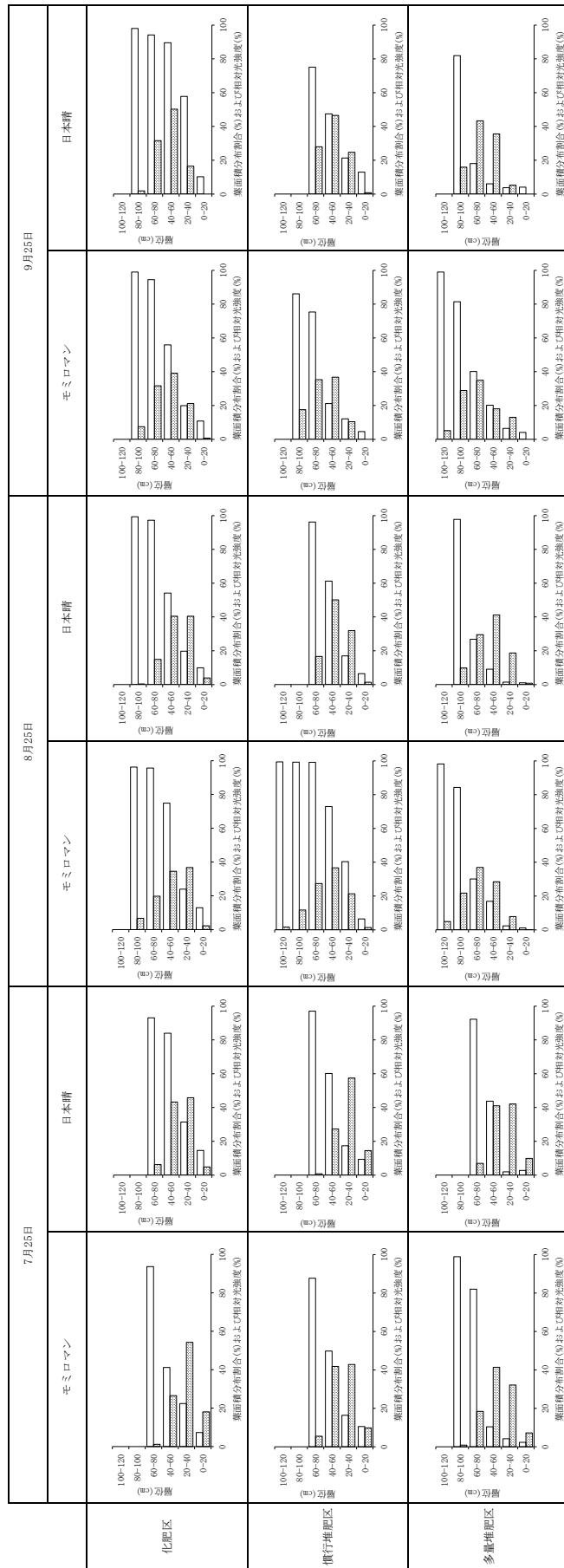


第3-1-3-1図 9月25日(黄熟期)の層位別の葉面積分布割合(2009).

第3-1-3-4表 株あたりの層位別葉面積(2010).

		品種	施肥	0-20cm	20-40cm	40-60cm	60-80cm	80-100cm	100-120cm
7月25日	モミロマン		化肥	153	457	224	10		
			慣行堆肥	151	654	639	84		
			多量堆肥	212	946	1218	543	25	
	日本晴		化肥	95	912	861	124		
			慣行堆肥	229	907	431	12		
			多量堆肥	268	1141	1112	189		
8月25日	モミロマン		化肥	17	283	266	152	51	
			慣行堆肥	16	245	422	315	134	19
			多量堆肥	4	205	745	968	569	127
	日本晴		化肥	51	528	528	194	4	
			慣行堆肥	17	402	633	209		
			多量堆肥	25	592	1302	934	311	
9月25日	モミロマン		化肥	4	105	195	158	37	
			慣行堆肥		93	329	316	157	
			多量堆肥		209	289	561	463	82
	日本晴		化肥		109	334	210	12	
			慣行堆肥	5	156	294	177		
			多量堆肥		95	648	789	290	

cm<sup>2</sup>/株



第3-1-3-2図 7月25日, 8月25日(穂揃期後)および9月25日(黄熟期)の層位別の葉面積分布割合ならびに相対光強度(2010).

□葉面積分布割合    ▨相対光強度

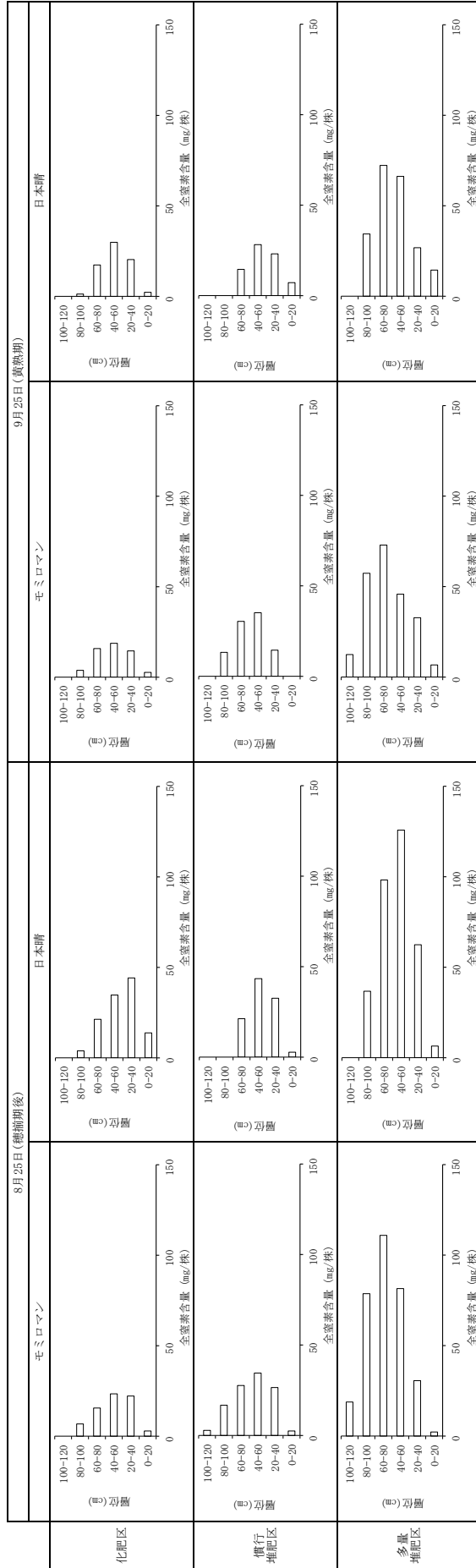


第3-1-3-5表 7月25日, 8月25日(穂揃期後)および9月25日(黄熟期)の吸光係数(2010).

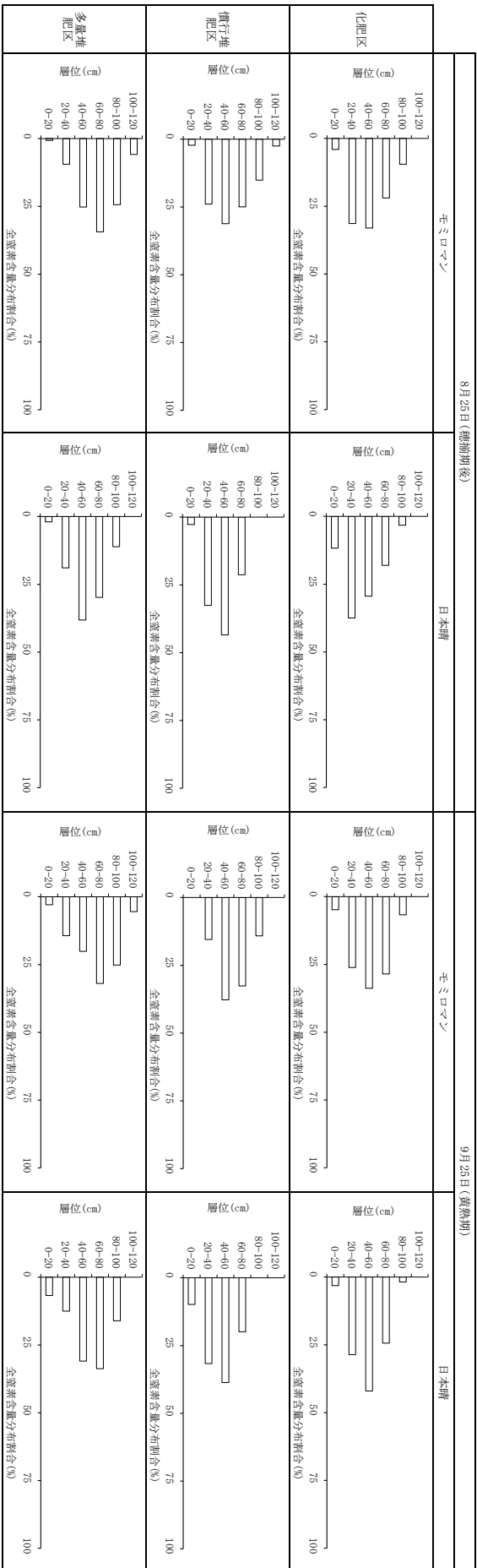
品種	施肥	7月25日	8月26日	9月25日
	化肥区	1.24	0.93	1.48
モミロマン	慣行堆肥区	0.68	0.58	1.14
	多量堆肥区	0.62	0.58	0.71
	化肥区	0.45	0.68	0.74
日本晴	慣行堆肥区	0.68	0.74	1.20
	多量堆肥区	0.76	0.60	0.81

8月25日(穂前期後)		9月25日(黄熟期)	
モミロマン		モミロマン	
日本晴		日本晴	
化肥区			
慣行堆肥区			
多量堆肥区			

第3-1-3-3図 8月25日(穂前期後)および9月25日(黄熟期)の層位別の葉身の全窒素濃度(2010)。



第3-1-3-4図 8月25日(穂抽期後)および9月25日(黄熟期)の層位別の葉身の全窒素含量(2010)。



第3-1-3-5図 8月25日(穂揃期後)および9月25日(黄熟期)の層位別の葉身の全窒素含量分布割合(2010).

## 第 2 節 多量の堆肥施用がモミロマンの収量および飼料成分に及ぼす影響

飼料米生産では、重量ベースの収量だけでなく、飼料としてのエネルギー量による収量も重要である。モミロマンは、養分吸収も豊富であるため、多量の堆肥施用により重量ベースの収量が増加するとともにエネルギー生産量についても増加することが期待される。本節では、多量の堆肥施用がモミロマンの収量および飼料成分に及ぼす影響について検討した。

### 材料と方法

収穫日(2009年10月24日および2010年10月25日)に各区あたり連続した10株を無作為に3か所選び、計30株について地上部全体を地際から刈り取り、わら重、穂数、籾数、籾重を測定した後、比重1.06で塩水選を行い、登熟歩合を算出した。さらに、2010年の粗籾について、粗タンパク質、粗脂肪、粗繊維および粗灰分を飼料分析法(飼料分析基準研究会 2010)に従い測定した。代謝エネルギーは、分析成分組成値に日本標準試料分析表(農業・食品産業技術総合研究機構 2010)の鶏の籾米の消化率を乗じて算出した。

### 結果

第3-2-1表に、2009年および2010年のモミロマンおよび日本晴の籾収量構成要素を示した。

2009年の穂数、粗粒数および粗粒重は施用処理間で有意差があり、多量堆肥区で大きく、次いで慣行堆肥区、化肥区の順であった。一方で、一穂粒数、粗粒千粒重および登熟歩合は施用処理間で有意な差はみられなかった。また、穂数および登熟歩合は日本晴で、一穂粒数、粗粒数および粗粒重はモミロマンでそれぞれ大きかった。

2010年の穂数、粗粒数および粗粒重は、2009年と同様に多量堆肥区で最も大きく、次いで慣行堆肥区、化肥区の順であった。また、穂数および登熟歩合は日本晴で、一穂粒数および粗粒千粒重はモミロマンでそれぞれ大きかった。慣行堆肥区および多量堆肥区の粗粒重は、日本晴に比べモミロマンで大きく、モミロマンでは化肥区に比べ慣行堆肥区で2倍の値であったが、日本晴の化肥区と慣行堆肥区の差はモミロマンに比べ小さかった。

第3-2-2表に2010年の粗粒の一般飼料成分を示した。粗タンパク質、粗脂肪および粗灰分の含有率は、施肥処理間で有意差があり、両品種ともに粗タンパク質含有率は多量堆肥区で高く、粗脂肪および粗灰分の含有率は多量堆肥区で低かった。また、モミロマンの粗繊維含有率は、モミロマンでは化肥区に比べ慣行堆肥区および多量堆肥区で低かった。モミロマンは、日本晴に比べて粗タンパク質、粗脂肪および粗灰分含有率が低く、粗繊維含有率が高かった。可溶性無窒素物含有率は、有意差がなかった。代謝エネルギーは、単位重量あたりの鶏の利用可能なエネルギー量として、分析成分組成値と日本標準試料分析表(農業・食品産業技術総合研究機構2010)の鶏の粒の消化率から算出した。鶏の粒の消化率は、粗タンパク質で71%、粗脂肪で50%、粗繊維で0%、可溶性無窒素物で91%となっている。算出式は、代謝エネルギー(Mcal/kg)=(4.13×粗タンパク質

$\times 71/100 + 9.39 \times \text{粗脂肪} \times 50/100 + 3.82 \times \text{粗繊維} \times 0/100 + 4.08 \times \text{可溶性無窒素物} \times 91/100) / 100$  であり、代謝エネルギーは全区で同程度であった。代謝エネルギーと粗粒重から単位面積あたりの代謝エネルギー生産量を求めた。単位面積あたりの代謝エネルギー生産量は、両品種ともに多量堆肥区で最も大きく、次いで慣行堆肥区で、化肥区で最も小さかった。同一施用区間で比較すると化肥区では日本晴で大きく、慣行堆肥区および多量堆肥区ではモミロマンで大きかった。モミロマンの多量堆肥区で最も大きく、2645 Gcal/10a であった。

#### 考察

本研究では収穫した子実の鶏への給餌とそれにより排出される鶏糞堆肥の利用を想定している。収穫した子実の利用法として鶏への粃のままでの給餌が可能であり、粃での給餌は加工および調整作業の軽減に繋がる。そのため、本試験では粗粒での収量および飼料成分を収量として求めた。モミロマンの粃収量は、日本晴より大きく、両年ともに多量堆肥区で最も大きく、粃収量を単位面積あたりに換算すると多量堆肥区のモミロマンは、2009年は1085kg/10a、2010年は1003kg/10aであった(第3-2-1表)。モミロマンの多量堆肥区では、代謝エネルギーが他区と有意差がなく、粗粒収量が最も大きかったことから、単位面積あたりの代謝エネルギー生産量も最も大きく2645 Gcal/10 aとなり、鶏糞堆肥の多量施用により収量の増加を図ることが可能であった。

2010年において、日本晴の粗粒数は、他区に比べ多量堆肥区で約2倍であったが、登熟歩合は化肥区および慣行堆肥区に比べ多量堆肥区で低かった。一方で、2010年の

モミロマンの粗粒数も化肥区に比べ慣行堆肥区および多量堆肥区で大きく、化肥区に比べ多量堆肥区で約 2 倍であった(第 3-2-1 表)が、登熟歩合の減少程度は、日本晴に比べ小さかった(第 3-2-1 表)。日本晴はモミロマンに比べ、登熟期以前の乾物生産が収量に及ぼす影響が大きく、多量堆肥区では一穂粒数は大きく増加していたが、それに対して登熟期間中の乾物生産能が低いため、登熟歩合の低下に繋がったと推察された。一方でモミロマンは、登熟期間中も乾物生産能が高く維持されていたため、一穂粒数の増加に対して登熟歩合の低下が小さくなったと推察され、鶏糞堆肥の多量施用による収量の増加要因であると考えられる。しかし、モミロマンは、登熟期間中の乾物生産量が大きくても、日本晴に比べシンク容量も大きいため、モミロマンの登熟歩合は日本晴に比べ低くなったと推察された。そのため、登熟期間中の乾物生産能をさらに高めることで、収量を増加させることが可能であると考えられた。

また、2010 年の株あたり粗粒重は、モミロマンでは化肥区に比べ慣行堆肥区で 2 倍であったが、日本晴ではモミロマンに比べ化肥区と慣行堆肥区の差が小さく、品種間で異なる傾向がみられた(第 3-2-1 表)。その要因として、モミロマンの穂数や粗粒数は、日本晴に比べ化肥区と慣行堆肥区の差が大きかった(第 3-2-1 表)ことが考えられる。モミロマンは、登熟期間中の穂の乾物重の増加割合が全区で同程度であり、穂数や粗粒数の増加に対して生産効率が低下することなく、そのまま粗粒重の増加に繋がると考えられた。そのため、モミロマンの化肥区では、2010 年は 2009 年に比べ、茎数および粗粒数が少ないことが、粗粒重の減少に繋がり、化肥区と慣行堆肥区で差が生じたと推察され、モミロマンの収量増加には、登熟期間中の乾物生産能の維持とともに穂数および



粗粒数の増加が必要であると考えられた。

鶏の粗粒の消化率(農業・食品産業技術総合研究機構 2010)は、粗タンパク質、粗脂肪および可溶性無窒素物で大きく、粗繊維は 0%である。消化率は、そのままエネルギーの利用率となり、消化率 0%である粗繊維のエネルギー利用率は 0%である。そのため、粗繊維が少なく、それ以外の成分が増加することで代謝エネルギーの増加に繋がる。本研究においてモミロマンは、日本晴に比べ粗繊維が多く、粗脂肪が少なかった(第 3-2-2 表)。また、モミロマンの粗タンパク質は多量堆肥区で増加し、粗繊維は慣行堆肥区および多量堆肥区で減少していた(第 3-2-2 表)。各成分の含量に品種間および施用区間で有意な差がみられたが、そのことが代謝エネルギー量の増減につながることはなく、代謝エネルギーは全区で同程度であった。多量堆肥区のモミロマンの一般飼料成分は、粗タンパク質が 7.4%、粗脂肪が 1.7%、粗繊維が 10.3%、粗灰分が 5.2%、可溶性無窒素物が 75.4%であり、鶏代謝エネルギーは 3.10Mcal/kg であり、日本標準飼料分析表に示される粳米の一般飼料成分(農業・食品産業技術総合研究機構 2010)と比較し、粗脂肪および粗灰分が少なく、可溶性無窒素物は多く、代謝エネルギーは同程度であった。また、鶏への給餌を想定した場合、代替元になるトウモロコシの日本標準飼料分析表に示される鶏の代謝エネルギーは 3.83Mcal/kg であり、多量堆肥区のモミロマンは大きく下回った。

乳熟期の葉身の全窒素濃度および葉色値と玄米のタンパク質含有率との正の相関(黄・澤田 1999)や穂揃期の葉色と玄米の全窒素濃度との正の相関(岡本・堀野 1994)が報告されている。モミロマンは、堆肥施用により、登熟期間中の窒素吸収量が多く、葉

身の全窒素濃度が高く推移したため、収穫時の籾の全窒素濃度および全窒素濃度と相関のある粗タンパク質含有率の増加に繋がったと考えられる。鶏の過度の腹腔内脂肪は、食品加工時の廃棄や産卵率の低下や病因となり、鶏の代謝エネルギー摂取量に対する粗タンパク質摂取量の増加に伴い、腹腔内脂肪率は低下する(村上・津留崎 1997, 矢口ら 2002)とされている。本研究の多量堆肥区のみモミロマンは、粗脂肪が他区より小さく、代謝エネルギーが他区と同程度でありながら、粗タンパク質は大きかった(第3-2-2表)。そのため、籾を鶏に給餌した場合、多量堆肥区の籾は化肥区および慣行堆肥区に比べ腹腔内脂肪の増加を抑えたと考えられた。一方で、粗脂肪含有率は、両品種ともに多量堆肥区で最も低く、特にモミロマンでは1.7%であり、日本標準飼料成分における籾米の粗脂肪含有率(農業・食品産業技術総合研究機構 2010)である2.5%と比較しても低く、代謝エネルギーの増加のためには、改善が必要であり今後の検討課題としたい。また、粗繊維含有率は品種間差がある(浅井ら 2009)とされ、本試験においても日本晴に比べモミロマンで高かったが、モミロマンでは化肥区に比べ慣行堆肥区および多量堆肥区で低下しており、堆肥施用により改善を図ることが可能であった。多量の堆肥施用が飼料価値の増加に寄与しており、このような観点からも多量の堆肥施用は有効であると考えられた。

以上より、モミロマンは、多量堆肥区で最も多い籾収量を示し、代謝エネルギーについても他区と同程度であったことから、単位面積あたりの代謝エネルギー生産量が最も大きい値を示した。その要因として、モミロマンは登熟期間中も高い乾物生産を維持しており、堆肥の多量施用により、穂数および粗籾数の増加を図り、登熟期間中の乾物生

産能を高く維持したためと考えられた。また、鶏糞堆肥施用により窒素吸収量が増加することで、粗タンパク質含量の増加に繋がるなど飼料価値の増加にも寄与した。

第3-2-1表 モミロマンおよび日本晴の粗粒収量構成要素.

年次	品種	施肥	穂数 (本/株)	一穂粒数 (粒/本)	粗粒数 (粒/株)	粗粒千粒重 (g/1000粒)	登熟歩合 (%)	粗粒重 (g/株)	単位面積あたり 粗粒重 (kg/10a)	
2009	モミロマン	化肥	8.6	159.4	1363	25.7	75.4	35.0	741.4	
		慣行堆肥	10.9	159.2	1740	24.8	76.1	43.1	912.7	
		多量堆肥	12.6	151.7	1914	26.8	71.0	51.2	1085.3	
	日本晴	化肥	12.3	76.5	943	23.9	94.7	22.6	478.2	
		慣行堆肥	14.4	73.8	1064	25.3	92.1	27.0	571.2	
		多量堆肥	17.9	78.8	1414	23.7	89.6	33.5	709.5	
	有意差	品種	*	**	**	ns	**	**	**	
		施肥	**	ns	**	ns	ns	**	**	
		交互作用	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
	2010	モミロマン	化肥	5.4	142.1	763	25.3	63.5	19.3	408.1
慣行堆肥			11.6	126.3	1463	24.8	69.9	36.3	768.8	
多量堆肥			12.6	147.8	1867	25.4	59.0	47.3	1002.8	
日本晴		化肥	13.9	74.3	1035	22.0	90.9	22.8	482.5	
		慣行堆肥	14.4	75.5	1087	24.2	86.0	26.3	556.0	
		多量堆肥	30.0	70.5	2115	21.1	65.6	44.6	945.0	
有意差		品種	*	**	ns	*	**	*	*	
		施肥	*	ns	*	ns	*	**	**	
		交互作用	ns	ns	*	ns	*	*	*	

粗粒収量構成要素は粒の含水率15%換算値で示す.

\*\*, \*, nsはそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしであることを示す.

第3-2-2表 粗粃の一般飼料成分(2010).

品種	施肥	粗タンパク質 (%)	粗脂肪 (%)	粗繊維 (%)	粗灰分 (%)	可溶性 無窒素物 (%)	代謝 エネルギー (Mcal/Kg)	単位面積あたり生 産代謝エネルギー (Gcal/10a)
モミロマン	化肥	5.2	1.8	12.3	6.0	74.6	3.01	1046
	慣行堆肥	5.6	2.0	10.7	6.0	75.8	3.07	2010
	多量堆肥	7.4	1.7	10.3	5.2	75.4	3.10	2645
日本晴	化肥	6.1	2.7	8.8	6.9	75.5	3.11	1276
	慣行堆肥	5.9	2.8	8.4	6.5	76.5	3.14	1488
	多量堆肥	7.6	2.4	8.7	5.6	75.6	3.14	2529
有意差	品種	*	**	*	*	ns	ns	*
	施肥	**	*	ns	*	ns	ns	**
	交互作用	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*

\*\*、\*、nsはそれぞれ1%水準で有意、5%水準で有意、有意差なしであることを示す。

### 第3節 鶏糞堆肥の多量施用が土壌の化学性に及ぼす影響

堆肥施用栽培で化学肥料施用栽培と同程度の収量を得るためには、化学肥料施用栽培と比較して、堆肥による多量の窒素施用が必要となる。しかし、堆肥の多量施用による知見は少なく、堆肥による多量の窒素施用がモミロマンの生育や飼料価値、さらには環境への負荷などを明らかにする必要がある。また、本研究においては、窒素施用量を基準に堆肥施用量を決定したが、鶏糞堆肥においては、窒素以外の多様な養分が含まれており、リン酸などはその含有率が高い。そのため、窒素と同様に他の成分についても、モミロマンの生育や飼料価値に及ぼす影響について明らかにする必要がある。そのため、本節では、モミロマンを栽培試験中の水田で、土壌および土壌溶液を採取して、各養分の濃度を測定することで養分の動態を明らかにし、堆肥施用が土壌および土壌溶液の化学性に及ぼす影響について検討した。

#### 材料と方法

2009年の2月25日、5月25日および9月20日、2010年の1月11日、2月25日、3月26日、4月25日、5月25日、6月29日、7月31日、8月26日および10月2日に各区あたり8か所を無作為に選び、土壌深度0~10cmおよび10~20cmの2層からそれぞれ約100mlの土壌を採取した。採取した土壌を室温で十分に風乾後、1mm目の篩いを通し、C/Nコーダー(MT-700 ヤナコ分析工業社製)を用いて全窒素を、FIA法を用いて硝酸態窒素およびアンモニア態窒素をそれぞれ測定した。さらに2010年の1月11日、

5月25日、10月2日の土壌については、pH、可給態リン酸、交換性カリウム、交換性カルシウム、交換性マグネシウムを測定した。pHはpHメーターを用いて測定した。可給態リン酸は分光光度法、交換性カリウム、交換性カルシウム、交換性マグネシウムは原子吸光法に則った。

また、2010年に各区において株間8か所を無作為に選び、土壌深度15cmおよび50cmに採水管を埋土した。栽培期間中にそれら採水管および田面水について採水した。採水した溶液をろ過後、硝酸態窒素、アンモニア態窒素についてFIA法で、リン酸について分光光度法でそれぞれ分析した。

## 結果

第3-3-1表に土壌深度別の全窒素濃度の推移を示した。土壌深度0~10cmでは2010年の7月31日において全区で同程度だったが、それ以外では調査期間を通して多量堆肥区で高い値を示した。土壌深度10cm~20cmでは、2009年の2月25日は多量堆肥区で、5月25日は化肥区でそれぞれ高く、9月20日は全区で同程度であり、時期により傾向が異なった。2010年では、1月11日から4月25日までと6月29日および7月31日までは多量堆肥区で高く、5月25日、8月26日および10月2日は、全区で同程度であり、2010年も時期により傾向が異なった。

第3-3-2表に2010年の土壌深度別の硝酸態窒素濃度の推移を示した。土壌深度0~10cmでは、1月11日から3月26日と6月29日から8月26日において、多量堆肥区で高かったが、4月25日および5月25日では化肥区と多量堆肥区の差は小さかった。

土壌深度 10~20cm では、1月 11 日から 3月 26 日までと 6月 29 日から 8月 26 日において多量堆肥区で最も高く、一方で、4月 25 日は全区で同程度であり、5月 25 日および 10月 2 日は化肥区と多量堆肥区で同程度であり、慣行堆肥区で低く、時期により異なる傾向がみられた。

第 3-3-3 表に 2010 年の土壌深度別のアンモニア態窒素濃度の推移を示した。土壌深度 0~10cm では、1月 11 日から 4月 25 日までと 6月 29 日および 7月 31 日において、化肥区で最も高かった。それ以外の時期では、5月 25 日は慣行堆肥区で高く、8月 26 日および 10月 2 日は全区で同程度であった。土壌深度 10~20cm については全期間を通して化肥区が他の区に比べ同程度以上であった。

第 3-3-4 表に 2010 年の 1月 11 日(堆肥施用前)、5月 25 日(移植直後)、10月 2 日(黄熟期)の土壌深度別の各養分濃度を示した。pH は、時期、土壌深度を問わず、多量堆肥区で高く、化肥区で最も低かった。また、pH は両深度ともに 1月 11 日で高く、その後減少し、10月 2 日で最も低くなった。可給態リン酸は、両深度ともに試験区間で顕著な差がみられ多量堆肥区で高く、次いで慣行堆肥区であり、化肥区で最も低かった。全区で 1月 11 日、5月 25 日に比べ 10月 2 日で高かった。交換性カリウムは時期、深度を問わず、多量堆肥区で最も高く、化肥区で最も低かった。全区において 1月 11 日で高く、その後減少する傾向がみられた。交換性カルシウムも多量堆肥区で最も高く推移した。全区において、1月 11 日に比べ 5月 25 日では増加し、10月 2 日では 0~10cm の化肥区を除き減少していた。交換性マグネシウムは、1月 11 日において値が高くなる傾向がみられ、その後全区で値は低くなり、全期間を通して区間に顕著な差はみられな



かった。

第 3-3-5 表に田面水および土壌溶液の硝酸態窒素濃度の推移を示した。田面水は、7 月 11 日および 7 月 25 日において全区で値が低く差はわずかであったが、それ以外では 化肥区で低く、多量堆肥区で高い傾向がみられた。土壌深度 15cm の土壌溶液では、調査期間を通して値は低く 6 月 4 日から 7 月 25 日まででは全区で同程度であり、8 月 8 日では慣行堆肥区で、8 月 22 日および 9 月 5 日では多量堆肥区で高かった。土壌深度 50cm の土壌溶液は、6 月 4 日では化肥区で、6 月 27 日および 8 月 8 日では慣行堆肥区で、9 月 5 日では多量堆肥区でそれぞれ高く、それ以外では全区で同程度であった。また、深度別にみると田面水で高い値を示す傾向がみられ、深度に拘わらず全区で時期により値は大きく変化し、7 月 11 日および 7 月 25 日では低かった。

第 3-3-6 表に田面水および土壌溶液のアンモニア態窒素濃度の推移を示した。田面水は、6 月 4 日および 6 月 27 日では化肥区で、7 月 11 日および 9 月 5 日は慣行堆肥区で、8 月 8 日は多量堆肥区でそれぞれ高く、時期により異なる傾向がみられた。土壌深度 15cm の土壌溶液は、6 月 4 日、6 月 27 日では多量堆肥区で高く、7 月 11 日、7 月 25 日および 9 月 5 日では全区で同程度、8 月 8 日および 8 月 22 日では慣行堆肥区で高く、時期により異なる傾向がみられた。土壌深度 50cm の土壌溶液も土壌深度 15cm と同様に時期により異なる傾向がみられた。

第 3-3-7 表に田面水のリン酸濃度の推移を示した。一貫して多量堆肥区で高い値を示した。慣行堆肥区および多量堆肥区において 8 月 8 日ではそれまでの調査より値が増加していた。

## 考察

土壌中の全窒素濃度は、年次を通して化肥区および慣行堆肥区に比べ多量堆肥区で高い傾向がみられた(第 3-3-1 表). よって、多量の堆肥施用により、土壌中に窒素の集積が図られていた. 2009 年 2 月 25 日の時点で多量堆肥区の全窒素濃度は、他の区に比べ高かったことから、この傾向は、少なくとも連年施用 3 年目の堆肥施用前の時点では生じていたと推察される. また、移植前(2009 年 5 月 25 日, 2010 年 5 月 25 日)の調査において、0~10cm では、化肥区が慣行堆肥区と同程度以上であり、10~20cm では、化肥区が多量堆肥区と同程度の値を示しており、他の時期と傾向が異なっていた. これは化学肥料施用により化肥区の全窒素濃度が増加したためと考えられた. また、堆肥施用前(2009 年 2 月 25 日, 2009 年 1 月 11 日)について、全区で 2009 年に比べ 2010 年で増加しており、全区で窒素の蓄積が図られていたと推察された.

土壌中のアンモニア態窒素濃度は、堆肥施用を行った両区と比較して化肥区で大きい傾向がみられた(第 3-3-3 表). 堆肥施用後の土壌において、2 週間ほどでアンモニア態窒素が硝酸態窒素に変わる(原 2010)と報告されている. そのため、堆肥施用を行った両区ではアンモニア態窒素が硝酸態窒素に変化したため、アンモニア態窒素は濃度の増加には繋がらなかったと推察された. また、堆肥施用を行った両区は、冬期の雑草発生量が増加する傾向が観察された. そのため、雑草による養分吸収量も試験区により差異が生じたと考えられる. 水稻において窒素吸収量の増大に伴い、土壌中の無機態窒素含量は減少する(利谷ら 2012)といった報告もあり、雑草などの植物体の窒素吸収量が土

壤のアンモニア態窒素などの無機態窒素濃度に影響を及ぼすと推察される。しかし、本試験において、詳細な雑草発生量および窒素吸収量について調査を行っておらず、今後の検討が必要である。

上述の通り、堆肥施用後の土壌において、2週間ほどでアンモニア態窒素が硝酸態窒素に変わることから、堆肥施用を行った両区では土壌の硝酸態窒素濃度が増加すると考えられるが、堆肥施用前である1月の調査と比較して2月および3月の調査では堆肥施用の有無に拘わらず、全区で土壌の硝酸態窒素濃度が減少する傾向がみられた。土壌中の硝酸態窒素は、降雨や湛水により水に溶出し、脱窒などにより1~2週間ほどで消失する(原 2000, 河合ら 2009)とされる。本試験において、調査を行った2010年の2~4月の降雨量は平年値の1.5~2倍程度であり、降雨量が多かった(第2表)(気象庁)。さらに、この期間中の短期間の集中した豪雨により、一時水田が湛水状態になっていた。そのため、土壌中の硝酸態窒素は、土壌溶液に溶出し、そのまま脱窒したと考えられる。堆肥施用による無機態窒素の増加を上回る量の脱窒により、土壌中の硝酸態窒素濃度は低下したと推察され、堆肥施用により土壌中に無機態窒素が蓄積されることはなかった。

水稻栽培期間中も同様に硝酸態窒素は消失するとされ、土壌中の硝酸態窒素は水稻の生育に影響を与えていない(河合ら 2009, 塩田ら 1985)と報告されている。本試験においても土壌溶液中の値が全区で低く推移しており、堆肥施用による差はわずかであったが、水稻の窒素吸収量や収量は堆肥施用を行った両区で大きかったことから土壌中の硝酸態窒素濃度は収量に影響を及ぼしてはいないと考えられた。

一方で、土壌中のアンモニア態窒素は、化肥区と比較して多量堆肥区で少なく、堆肥

施用により土壌中のアンモニア態窒素が増加することはなかった。さらに、土壌中のアンモニア態窒素濃度が低いにも拘わらず、堆肥の施用量の増加に伴い、モミロマンおよび日本晴の窒素吸収量は増大していた。堆肥施用により生育初期の土壌溶液中のアンモニア態窒素濃度が増加し、その後、ほぼ 0 となり、それ以降は堆肥から供給されたアンモニア態窒素はすぐに水稻に吸収されたとしている(原 2010)。また、水稻の窒素吸収量の増大に伴い、土壌中の無機態窒素含量は減少する(利谷ら 2012)としている。これらのことから、堆肥施用による土壌中の無機態窒素濃度の増加がみられなくとも、窒素供給量は増加していたと推察され、堆肥施用による水稻の窒素吸収量の増加に繋がったと考えられる。さらに、堆肥は施用後数年にわたり水稻に吸収される(Nishida ら 1999)との報告もあり、堆肥の連年施用により有機態窒素が蓄積したことで有機態窒素の分解量が増加し、水稻への窒素供給量の増加に繋がると考えられる。また、「地下水の水質汚濁に係る環境基準について」(1997)では、環境基本法第 16 条第 1 項による地下水の水質汚濁に係る環境上の条件につき人の健康を保護する上で維持することが望ましい基準を定めており、硝酸態窒素について、10mg/L を基準としている。本試験では、田面水および土壌溶液の硝酸態窒素濃度は、アンモニア態窒素濃度に比べ、全区で値が小さく、調査期間を通して、基準値を下回っており(第 3-3-5 表)、施用区間での差もわずかであり、環境基準からみても堆肥施用による影響も小さいものと考えられた。

以上から、堆肥施用による水稻への窒素供給の増加は収量の増加に繋がっており、連年施用を行うことで十分な窒素供給が可能であり、また栽培期間中に環境基準を上回る溶脱もみられなかったが、一方で堆肥施用から水稻栽培開始までの期間で一定量の窒素

養分が溶脱していると考えられ、土壌に無機態窒素が蓄積されることもないため、堆肥施用時期については検討が必要であると考えられた。

pH は、慣行堆肥区および多量堆肥区で化肥区に比べて高かった(第 3-3-4 表)。また、全区で堆肥施用前(1 月 11 日)に比べ、その後減少していた。前田・平井(2002)は、堆肥連年施用水田において、pH が上昇するとされ、本試験でも同様の傾向がみられた。水稻の生育に適切な pH は、5.0~6.5 の弱酸性であり、アルカリ土壌では、マンガンや鉄などの微量成分が吸収されにくくなるとしている(藤原 2010)。堆肥施用により pH が上昇するため、低 pH 土壌については土壌改良効果となるが、高 pH 土壌では水稻生育への影響について注意が必要である。

可給態リン酸は、水稻移植前(5 月 25 日)の土壌深度 0~10cm において、化肥区では 1.2mg/10a であったのに対して、多量堆肥区では 25.9mg/100g であり、堆肥施用により顕著に増大していた(第 3-3-4 表)。国が定めた地力増進基本指針で示している水田土壌における改善目標(1984)は、6~29mg/100g であり、30mg/100g 以上ではリン酸無施用水準であるとしている。可給態リン酸は、堆肥施用により土壌に蓄積し、堆肥連年施用 4 年目の時点で国の目標基準に達しており、堆肥のみの施用でリン酸の供給が可能であった。一方で、慣行堆肥区では 6.2mg/100g であり、国が定めた地力増進基本指針で示している水田土壌における改善目標の下限である 6mg/100g を達成しているが、慣行堆肥区の可給態リン酸の増加量は、多量堆肥区に比べて小さかった。そのため、堆肥施用のみで目標基準に達するリン酸の供給を達成する場合、連年施用によるリン酸の蓄積を考慮し、堆肥の施用量を 1.8t/10a(慣行堆肥区施用量)~3.6t/10a(多量堆肥区施用量)の範囲で

調節するべきであると考えられた。

交換性カリウムおよび交換性カルシウムは、堆肥施用により増加する傾向がみられた(第 3-3-4 表)。交換性マグネシウムは全区で同程度となり、堆肥施用による増加の傾向はみられなかった(第 3-3-4 表)。国が定めた地力増進基本指針で示している改善目標(1984)では、カリウム：カルシウム：マグネシウムの含有量の当量比は 1：12：4 としている。カリウムに対してカルシウムの当量比は、改善目標である 1：12 に対して、いずれの時期においても全区で、カルシウム量が多い傾向がみられた。施用した鶏糞堆肥はカルシウムも多く含まれており、堆肥施用を行った両区では交換性カルシウムが増加する傾向がみられたが、交換性カリウムも同様に増加しており、当量比でみると化肥区が最もカリウムに対してカルシウムの比率が高くなる結果が得られた。そのため、化肥区に対して堆肥施用を行った両区はカリウムとカルシウムの塩基バランスを改善したともいえるが、いずれの区でも改善目標である 1：12 に対してカルシウム量が多い傾向がみられており改善が必要であった。交換性マグネシウムは全区で同程度であったのに対して交換性カリウムは堆肥施用により増加していた。そのため、カリウムとマグネシウムの当量比は、改善目標とされる 1：4 に慣行堆肥区が最も近く、多量堆肥区では 1：2 程度とマグネシウムの比率が低く、反対に化肥区では 1：6～9 程度でありマグネシウムの比率が高かった。カルシウムとマグネシウムの当量比では、化肥区が最も改善目標に近く、堆肥施用を行った両区ではカルシウムの増加しているため、マグネシウムに対してカルシウムの比率が高い傾向がみられた。以上のように、塩基バランスは、堆肥施用により変化がみられたが、本試験において、これらのことが生育に対して顕著な影響

を及ぼすことはなかった。しかし、堆肥施用によりカリウムやカルシウムが顕著に増加したのに対して、マグネシウムの増加はみられなかったことから、堆肥施用は、特定の養分のみが増加することで塩基バランスに変化が生じると考えられ、注意が必要であるといえる。

第3-3-1表 深度別土壌の全窒素濃度の推移.

土壌深度	施肥	2009							2010						
		2/25	5/25	9/20	1/11	2/25	3/26	4/25	5/25	6/29	7/31	8/26	10/2		
0~10cm	化肥	0.15	0.18	0.21	0.21	0.28	0.18	0.20	0.30	0.31	0.36	0.37	0.20		
	慣行堆肥	0.17	0.15	0.21	0.22	0.24	0.20	0.23	0.28	0.34	0.35	0.37	0.22		
	多量堆肥	0.25	0.21	0.23	0.24	0.31	0.27	0.26	0.34	0.40	0.35	0.43	0.24		
	有意差	**	*	*	**	*	*	*	*	*	ns	*	*		
10~20cm	化肥	0.13	0.16	0.15	0.20	0.26	0.17	0.14	0.26	0.29	0.31	0.34	0.20		
	慣行堆肥	0.12	0.11	0.17	0.18	0.21	0.17	0.14	0.27	0.31	0.31	0.34	0.23		
	多量堆肥	0.21	0.13	0.18	0.23	0.27	0.26	0.21	0.27	0.35	0.36	0.36	0.23		
	有意差	**	*	ns	*	*	*	*	ns	*	*	ns	ns		

乾土換算, %

\*\* , \* , nsはそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしであることを示す.



第3-3-2表 深度別土壌の硝酸態窒素濃度の推移(2010).

土壌深度	施肥	1/11	2/25	3/26	4/25	5/25	6/29	7/31	8/26	10/2
0~10cm	化肥	0.38	0.10	0.10	0.36	0.37	0.23	0.48	0.32	0.50
	慣行堆肥	0.35	0.11	0.20	0.50	0.51	0.27	0.47	0.38	0.27
	多量堆肥	1.17	0.31	0.46	0.40	0.48	0.85	0.68	0.51	0.35
	有意差	*	*	**	*	*	**	*	*	*
10~20cm	化肥	0.46	0.14	0.14	0.23	0.41	0.13	0.42	0.29	0.33
	慣行堆肥	0.37	0.10	0.31	0.22	0.36	0.22	0.50	0.37	0.25
	多量堆肥	0.97	0.36	0.56	0.25	0.42	0.33	0.51	0.52	0.35
	有意差	**	*	**	ns	*	**	ns	*	ns

乾土換算, ppm

\*\*, \* nsはそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしであることを示す.

第3-3-3表 深度別土壌のアモンニア態窒素濃度の推移(2010).

土壌深度	施肥	1/11	2/25	3/26	4/25	5/25	6/29	7/31	8/26	10/2
0~10cm	化肥	7.04	2.04	0.43	1.01	1.03	2.46	1.92	0.67	0.61
	慣行堆肥	4.18	1.21	0.36	0.67	1.37	1.14	1.03	0.62	0.61
	多量堆肥	2.97	1.38	0.26	0.51	0.53	1.26	1.40	0.60	0.64
	有意差	**	*	*	*	*	*	**	ns	ns
10~20cm	化肥	4.29	1.73	0.46	0.57	0.95	1.20	2.74	0.61	0.60
	慣行堆肥	2.62	1.33	0.24	0.36	0.68	0.92	1.17	0.65	0.62
	多量堆肥	2.73	0.99	0.22	0.22	0.29	0.73	1.61	0.38	0.52
	有意差	*	**	*	*	**	**	**	*	ns

乾土換算, ppm

\*\*, \* , nsはそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしであることを示す.

第3-3-4表 深度別土壌の各養分濃度(2010).

土壌深度	施肥	pH			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)					
		1/11	5/25	10/2	1/11	5/25	10/2			
0~10cm	化肥	6.61	5.79	5.97	2.5	1.2	9.7			
	慣行堆肥	7.30	6.84	6.69	8.6	6.2	43.2			
	多量堆肥	7.48	7.38	6.90	26.1	25.9	94.2			
	有意差	*	*	**	**	**	**			
10~20cm	化肥	6.77	6.10	5.94	2.8	1.1	10.6			
	慣行堆肥	7.41	7.02	6.91	6.4	7.0	44.9			
	多量堆肥	7.56	7.41	6.98	23.5	20.3	87.2			
	有意差	**	**	*	**	**	**			
交換性塩基 (mg/100g)										
土壌深度	試験区	K <sub>2</sub> O			CaO			MgO		
		1/11	5/25	10/2	1/11	5/25	10/2	1/11	5/25	10/2
0~10cm	化肥	47	43	25	365	390	376	82	57	57
	慣行堆肥	88	76	58	601	890	502	84	57	45
	多量堆肥	144	104	69	937	1053	655	93	53	50
	有意差	**	**	**	**	**	**	ns	ns	*
10~20cm	化肥	49	38	23	385	460	370	82	56	54
	慣行堆肥	96	57	71	586	830	526	96	58	51
	多量堆肥	157	112	104	910	930	643	103	53	56
	有意差	**	**	**	**	**	**	ns	ns	ns

乾土換算

\*\* , \* , nsはそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしであることを示す.

第3-3-5表 田面水および土壌溶液の硝酸態窒素濃度の推移(2010).

採取位置	施肥	6/4	6/27	7/11	7/25	8/8	8/22	9/5
田面水	化肥	0.15	0.23	0.00	0.01	0.39	0.16	0.90
	慣行堆肥	0.42	0.19	0.00	0.00	0.55	0.16	1.20
	多量堆肥	0.33	0.63	0.01	0.07	0.55	0.26	1.89
	有意差	*	**	ns	*	*	*	**
土壌深度 15cm	化肥	0.01	0.04	0.02	0.01	0.15	0.02	0.15
	慣行堆肥	0.02	0.06	0.01	0.00	0.50	0.04	0.09
	多量堆肥	0.01	0.05	0.01	0.01	0.05	0.05	0.32
	有意差	ns	ns	ns	ns	**	*	**
土壌深度 50cm	化肥	1.67	0.08	0.01	0.01	0.14	0.03	0.15
	慣行堆肥	0.17	0.23	0.01	0.00	0.61	0.04	0.15
	多量堆肥	0.52	0.10	0.01	0.02	0.07	0.04	0.20
	有意差	**	**	ns	ns	**	ns	ns

ppm

\*\*, \*, nsはそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしであることを示す.

第3-3-6表 田面水および土壌溶液のアンモニア態窒素濃度の推移(2010).

採取位置	施肥	6/4	6/27	7/11	7/25	8/8	8/22	9/5
田面水	化肥	0.34	0.38	0.22	0.20	0.26	0.28	0.48
	慣行堆肥	0.31	0.36	0.28	0.19	0.22	0.28	0.60
	多量堆肥	0.29	0.33	0.26	0.18	0.31	0.25	0.44
	有意差	*	**	ns	ns	*	*	**
土壌深度 15cm	化肥	0.36	0.54	0.25	0.18	0.36	0.34	0.38
	慣行堆肥	1.04	0.72	0.19	0.22	0.73	0.46	0.40
	多量堆肥	1.52	0.64	0.23	0.20	0.15	0.25	0.41
	有意差	ns	ns	ns	ns	**	*	ns
土壌深度 50cm	化肥	0.15	0.32	0.18	0.19	0.35	0.37	0.45
	慣行堆肥	0.20	0.44	0.18	0.19	0.37	0.40	0.41
	多量堆肥	0.32	1.51	0.22	0.22	0.13	0.25	0.56
	有意差	**	**	ns	ns	**	*	*

ppm

\*\*, \* , nsはそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしであることを示す.

第3-3-7表 田面水のリン酸濃度の推移(2010).

	6月9日	7月11日	8月8日
化肥	2.9	3.8	3.3
慣行堆肥	2.9	3.0	7.5
多量堆肥	3.7	4.1	10.0

ppm

#### 第4章 総合考察

鶏糞堆肥の多量施用を行い、モミロマンおよび日本晴の栽培試験を行った結果、両品種ともに籾収量は多量堆肥区で最も大きく、堆肥の多量施用により収量増加を図ることが可能であった。モミロマンの粗籾収量は、施肥処理間で有意差があり、両年ともに多量堆肥区で最も大きく、日本晴より大きかった。また、モミロマンの多量堆肥区では一部で倒伏がみられ、堆肥のこれ以上の施用は倒伏の増加による減収の可能性が考えられたが、日本晴に比べて、その程度は小さく、収量への影響もわずかであった。これらのことから、モミロマンの収量は鶏糞堆肥の多量施用により増加が可能と考えられた。さらに、収穫した子実の利用法として、鶏への籾のままの給餌が可能であり、籾での給餌は加工、調整作業やコストの軽減に繋がると考えられる。そこで、本試験では収穫した子実の鶏への給餌とそれにより排出される鶏糞の堆肥利用を想定し、粗籾の飼料成分を求めた。その結果、多量堆肥区では、代謝エネルギーが他区と有意差がなく、粗籾収量が最も大きかったことから、単位面積あたりの代謝エネルギー生産量も最も大きく2645Gcal/10aとなった。以上のように、鶏糞堆肥の多量施用を行うことで収量および単位面積あたりの代謝エネルギー生産量が増加していた。その要因について、モミロマンの登熟期間中の窒素吸収および乾物生産などの多収要因を中心として考察し、以下に示した。

関東の飼料稲の施肥基準などを参考に決定した化肥区の施肥成分量(全窒素 8.0kg/10a, リン酸 10.8kg/10a, カリ 9.6kg/10a)と比較して、多量堆肥区の施肥成分量(全窒素 77.6kg/10a, リン酸 302.4kg/10a, カリ 194.4kg/10a)は、顕著に多く、土壌化学性

に及ぼす影響も大きいと考えられる。そのため、まず、鶏糞堆肥施用が土壌化学性に及ぼす影響を示し、それらがモミロマンの生育に及ぼす影響についてまとめた。

土壌全窒素濃度は、年次を通して化肥区および慣行堆肥区に比べ多量堆肥区で大きい傾向がみられた。よって、堆肥の多量施用により、年次を通して土壌窒素の集積が図られていたと考えられ、この傾向は、少なくとも堆肥連年施用3年目の時点では生じていたと推察される。移植前(2009年5月25日、2010年5月25日)の土壌深度10~20cmの土壌中の全窒素濃度は、化肥区で他の区と比べ同程度以上の値を示しており、他の時期と傾向が異なっており、化学肥料施用の影響と考えられた。土壌中のアンモニア態窒素は、4月25日~7月31日では化肥区で大きく、8月26日以降も全区で同程度であり、堆肥施用による増加は見られず、全窒素とは異なる傾向がみられた。一方で、モミロマンの窒素吸収量は、堆肥施用を行った両区で化肥区に比べ多く、土壌溶液中の無機態窒素濃度と異なる傾向がみられた。堆肥施用により土壌溶液中のアンモニア態窒素濃度の増加は一定期間後、ほぼ0となり、それ以降は堆肥から供給されたアンモニア態窒素はすぐに水稻に吸収されていたとしている(原 2010)ことや、水稻の窒素吸収量の増大に伴い、土壌中の無機態窒素含量は減少する(利谷ら 2012)が報告されている。これらのことから、水稻が一定以上生育することで水稻の窒素吸収量自体が増加し、土壌中から供給された無機態窒素を水稻にすぐに吸収していたと考えられ、堆肥施用による土壌中の無機態窒素濃度の増加がみられなくとも、瞬間的な窒素供給量は増加していたと推察され、堆肥施用による水稻の窒素吸収量の増加が可能であったと考えられる。さらに、堆肥は施用後数年にわたり水稻に吸収される(Nishidaら 2008)との報告もあり、堆肥の



連年施用により有機態窒素が蓄積したことで水稻生育期間中の有機態窒素の分解量が増加し、水稻への窒素供給量を増加させることが可能であると推察される。また、本研究では堆肥施用を冬期に行い、堆肥施用から水稻の栽培まで年次により 2~4 か月の期間があった。冬期の堆肥施用は、従来の食用米の管理との作業の分散化を目的としている。水田条件での鶏糞堆肥の窒素無機化率は、冬期に比べ夏期の方が大きいとされている(中谷ら 2002)。本研究においても、モミロマンの登熟が行われた夏期以降に、堆肥施用を行った両区でモミロマンの窒素吸収量は増加しており、十分な無機態窒素を供給できたと考えられる。そのため、食用米との作業分散のために冬期に堆肥施用を行っても、モミロマンの生育に十分な養分を供給することが可能であったが、一方で堆肥施用から水稻栽培開始までの期間で一定量の窒素養分が溶脱し、土壌に無機態窒素が蓄積されてはいないと考えられた。そのため、環境負荷の観点からは堆肥施用時期についての検討が必要であると考えられた。

また、施用量に対する水稻の吸収量効率が、本試験の堆肥施用量の範囲では施用量の増加により低下することはなかった。そのため、本試験の堆肥施用量の範囲では、堆肥施用量の増加に伴い、養分吸収量の増加を図ることが可能であり、多量堆肥区においても、生育障害などは生じなかった。しかし、堆肥の施用を行った両区において、堆肥による施用窒素量と比較してモミロマンの地上部全体の窒素量は低く、残存した窒素の流出や土壌中への蓄積などが懸念される。水田への窒素の供給は、化学肥料および堆肥の施用の他、天然供給がある。天然供給とは、かんがい水および雨水からの窒素供給によるものである(Kuma 2004)。本試験を行った棚沢水田におけるかんがい水および降雨な

どの天然由来の窒素供給量は、年次による変動は小さく、水稻の成熟期までの総量で9～10kg/10aと見積もられている(上地 2011). このように降雨およびかんがい水からの窒素の流入もあり、実際の窒素残存量はさらに大きいと推察される. これらのことから、窒素供給の観点から考えると、施用年次を重ねることで施用を減少させていくことが必要であると推察された.

可給態リン酸は、水稻移植前(5月25日)の土壤深度0~10cmにおいて、化肥区では1.2mg/10aであったのに対して、多量堆肥区では25.9mg/100gであり、堆肥施用により顕著に増大していた. リン酸は一般的に畑地に比べて、水田環境で可給性がよいとされている(伊藤 1993). また、稲体のリン酸吸収は施用したリン酸よりも土壤からの供給による割合が大きい(伊藤 1993). そのため、土壤に蓄積したリン酸を利用することが可能である. 国が定めた地力増進基本指針で示している水田土壤における改善目標(1984)は、6~29mg/100gであり、30mg/100g以上ではリン酸無施用水準であるとしている. 可給態リン酸は、堆肥施用により土壤に蓄積し、堆肥連年施用4年目の時点で国の目標基準に達しており、堆肥のみの施用でリン酸の供給が可能であった. 一方で、慣行堆肥区では6.2mg/100gであり、国が定めた地力増進基本指針で示している水田土壤における改善目標の下限である6mg/100gを達成している. モミロマンのリン酸の吸収量は化肥区に比べ慣行堆肥区および多量堆肥区で大きく、本試験においても、堆肥施用を行った両区では、化学肥料によるリン酸の施用をすることなく、十分なリン酸の供給を行うことが可能であった. また、堆肥によるリン酸施用量に対して稲体の吸収量は少なく、年次を重ねることで土壤中の蓄積量が増加すると考えられたが、堆肥連年施用3年

目と4年目である本試験においては、リン酸過剰による水稻の生育障害は見られなかった。そのため、リン酸の供給を堆肥施用のみで目標基準を達成する場合、連年施用によるリン酸の蓄積を考慮し、堆肥の施用量を1.8t/10a(慣行堆肥区施用量)~3.6t/10a(多量堆肥区施用量)の範囲で調節するべきであると考えられ、施用年次を重ねることで施用を減少させていくことが必要であると推察された。また、リン酸施用量の増加が穂数の増加に繋がると報告(米川ら 2001)されており、化肥区と比較して地上部全体のリン酸含量が増加していた慣行堆肥区のみでは、化肥区と比較して穂数が増加していたのに対して、地上部全体のリン酸含量が化肥区と慣行堆肥区で同程度であった日本晴では、穂数も同程度であったことから、水稻のリン酸含量の増加は水稻の穂数増加に寄与していたと考えられる。一方で、鶏糞堆肥施用による土壌中の可給態リン酸の増加は収量へ影響を及ぼさないという報告(水口ら 2007)があることや、飼料中のリン酸含量の増加は給餌した家畜の排泄物中に含まれるリンの増加につながり、環境負荷に繋がるといった指摘もある。そのため、堆肥施用によりリン酸吸収量を増加させることは可能であったが、そのことがどの程度収量の増加に寄与しているか、また、飼料価値への影響などについては詳細に検討する必要があると考えられた。

また、モミロマンの葉鞘と稈のカリウム濃度は日本晴と比較し高かった。出穂期以後の茎葉でカリウム濃度が著しく高く維持されたことが積極的な物質輸送に繋がる(諸岡・鈴木 1986, 本松ら 1988, Patrick 1987)と報告されており、高いカリウム濃度が登熟期間中の穂の物質転流に寄与しており、穂の乾物重増加要因の一つであったと推察される。鶏糞堆肥施用による土壌の交換性カリウムの増加により、地上部全体のカリウ

ム含有量が増加し、多量堆肥区では葉鞘と稈および葉身のカリウム濃度が高くなっていたことから、鶏糞堆肥の多量施用はその効果を高めていたと推察された。一方で、モミロマンの葉鞘と稈のカリウム濃度の増加は、収穫後の利用法に影響を及ぼす。稲わらを水田に還元する場合、稲わらは土壌へのカリウム供給量が多く、水稻への吸収効率が高く、カリウム含量も増加すると報告されており(高橋 2009, 吉澤 2011), 土壌へのカリウム供給源としての稲わら利用が可能であると考えられる。しかし、粗飼料としての利用を考えた場合、高いカリウム濃度が問題となる。飼料中のカリウム含量は、稲わらに粃を含めたホールクロップサイレージの場合、一般的に 2%以下であることが望ましいとされ、飼料中のカリウム濃度のそれ以上の増加は給餌された乳牛の罹病の可能性が高まることや尿量の増加による環境負荷に繋がるとされている。そのため、鶏糞堆肥の多量施用栽培において、モミロマンのカリウム濃度の増加に注意が必要であると考えられる。

カリウムと同様に、鶏糞堆肥施用により土壌中の交換性カルシウム濃度が増加していたことで、モミロマンの地上部全体のカルシウム吸収量は増加したと推察される。しかし、多量堆肥区では穂のカルシウム濃度は低下していた。カルシウム濃度の低下は飼料価値の低下につながるが、穀類全般でカルシウム濃度が低いため、カルシウムを飼料に添加することが一般的となっていることから、カルシウム濃度低下による飼料価値への影響は小さいと推察された。

一方で、土壌中の交換性マグネシウム濃度は、カリウムやカルシウムと異なり、全区で同程度であり、堆肥施用による影響はみられなかったが、慣行堆肥区および多量堆肥区では、モミロマンの葉身のマグネシウム濃度が高かった。水稻へのマグネシウム施用

により登熟初期の転流速度が速く、葉身の葉色を高くし、生育後期まで十分な乾物生産力を維持することが出来る(有野 2010)と報告されている。そのため、鶏糞堆肥施用により登熟期間中の葉身の葉色を高く維持し、乾物生産量の増加の要因の一つとして、葉身のマグネシウム濃度の増加が考えられた。さらに、モミロマンの葉鞘と稈のマグネシウム濃度が高かったことが、登熟期間中の穂への転流量の増加に寄与したと考えられた。

また、上記以外の堆肥施用による土壌化学性への影響として、pHの上昇がみられた。水稻の生育に適切な pH は、5.0~6.5 の弱酸性である(藤原 2010)が、堆肥施用を行った両区では 7~7.5 程度であった。そのため、堆肥施用により pH が上昇するため、低 pH 土壌については土壌改良効果となるが、高 pH 土壌では水稻生育への影響について注意が必要であると考えられた。さらに、堆肥施用により交換性カリウムや交換性カルシウムが顕著に増加したのに対して、マグネシウムの増加はみられなかったことから、堆肥施用は、特定の養分のみが増加することで塩基バランスに変化が生じると考えられ、注意が必要であるといえる。

モミロマンにおける黄熟期(9月25日)の地上部乾物重に占める登熟期間中の乾物生産量の割合は、日本晴より大きく、化肥区より慣行堆肥区や多量堆肥区で大きかった(第 2-3-4 表)。さらにモミロマンの登熟期間中の穂重増加は、それまでに同化部位に蓄積した分を用いた割合は小さく、慣行堆肥区および多量堆肥区では 90%以上が登熟期間中の増加分によって占められていた(第 3-3-7 表)。このような結果から、モミロマンの登熟期間中の生産が収量に及ぼす影響は大きかった。

さらに、本試験において、モミロマンは、登熟期間中の全窒素含量の増加量が大きく、窒素吸収能が高く維持されており、登熟期間中の窒素吸収が穂の全窒素含量の増加に寄与する割合も日本晴に比べ大きかった。また、モミロマンは、堆肥施用を行った両区で化肥区に比べ、登熟期間中の全窒素含量の増加量が大きく、穂の全窒素含量の増加に寄与する割合も大きかったことから、堆肥施用により登熟期間中の窒素吸収量を増加させ、籾の全窒素含量の増加に繋げることが可能であると推察された。さらに、葉身の全窒素濃度を高く維持し、9月25日の葉色値も高かった。そのため、モミロマンは日本晴に比べ登熟期間中も個葉の光合成能力を高く維持していたと推察された。また、モミロマンの生葉数および葉面積は日本晴より小さかったが、登熟期間中の減少割合は小さかった。以上よりモミロマンの乾物生産能が登熟期間中も高く維持されていたと考えられた。

また、籾の粗タンパク質含有率は、飼料価値を評価する上で重要な要素であり、また窒素濃度と相関があり、栽培的に最も変動しやすい要素である(松田ら 1997)。一般的に、食用米の場合、籾の窒素濃度の増加は食味の低下に繋がるため、避けるべきであるが、飼料米の場合は食味を考慮する必要がなく、窒素濃度の増加による粗タンパク質含有率の増加は、そのまま代謝エネルギーの増加につながり飼料価値が高まる。また、本試験の多量堆肥区のモミロマンは、粗脂肪が他区より少なく、代謝エネルギーが他区と同程度でありながら、粗タンパク質は多かった(第 3-2-2 表)ことから、籾を鶏に給餌した場合、多量堆肥区のモミロマンの籾は、食品加工時の廃棄や産卵率の低下や病因となる腹腔内脂肪の増加を抑えたと考えられた。よって、モミロマンの栽培においては、極

力籾の窒素濃度を高めることが望まれる。粗タンパク質について、乳熟期の葉身の全窒素濃度および葉色値と玄米のタンパク質含有率との正の相関(黄・澤田 1999)や穂揃期の葉色と玄米の全窒素濃度との正の相関(岡本・堀野 1994)が報告されている。上述の通り、モミロマンは、登熟期間中の窒素吸収能が高く維持され、登熟期間中の窒素吸収が穂の全窒素含量の増加に寄与する割合が大きかった(第 3-1-2-6 表, 第 3-1-2-8 表)。堆肥施用により窒素吸収量が増加するだけでなく、登熟期間中の穂の全窒素含量の増加に寄与する割合も大きくなった(第 3-1-2-8 表)。モミロマンは、堆肥施用により、登熟期間中の窒素吸収量が多く、葉身の全窒素濃度が高く推移したため、収穫時の籾の全窒素濃度および全窒素濃度と相関のある粗タンパク質含有率の増加に繋がったと考えられる。また、追肥由来の窒素は施肥後 1 週間程度の短期間で消失し、水稻が吸収することが出来なくなる(安藤 2004)と報告されている。そのため、登熟期間中の窒素吸収は、追肥由来の窒素ではなく、土壤に蓄積された窒素が大部分を占めていたと考えられる。堆肥施用を行った両区は、堆肥連年施用により土壤中に窒素が蓄積されていると推察され、それらの窒素を利用することで、追肥に頼ることなく、モミロマンの窒素吸収量の増加を図ることが可能であると考えられる。一方で、登熟期間中の全窒素吸収量の増加は、穂の全窒素濃度の増加には繋がっておらず、高い値を維持するにとどまっていた。また、モミロマンと比較して、登熟期以前の全窒素吸収量が多く、登熟期間中の穂の全窒素濃度の増減が小さかった日本晴の穂の全窒素濃度は、モミロマンと比較して高くなる傾向がみられた。よって、穂の全窒素濃度を増加させるためには、登熟期以前の全窒素吸収が重要であると推察される。また、モミロマンの多量堆肥区は、葉鞘と稈への分

配率が他区に比べて高く、相対的に穂への分配率が低下していた。そのため、登熟期以前の窒素吸収量が少なく、登熟期間中の窒素吸収量が多いモミロマンにおいて、籾の窒素濃度をより高めるためには、籾への窒素分配率を高めることが必要であると考えられる。鶏糞堆肥施用により全窒素吸収量を増加させることが可能であったが、効率的に穂に全窒素が移行されることでよりその効果は高まると推察され、今後の検討課題としたい。また、本試験では籾利用を想定しているが葉鞘と稈の全窒素含量が多かったことから、粗飼料としての利用も検討すべきである。

さらに、日印交雑の多収性品種である密陽 23 号において、出穂期以後の乾物生産量が大きく、そのことに受光態勢が大きく影響しており(斎藤ら 1990)、モミロマンの登熟期間の乾物生産能についても受光態勢の影響があると考えられた。そのため、層別別の葉面積分布割合、葉身全窒素濃度および相対光強度から、受光態勢について検討した。8月25日のモミロマンは、日本晴に比べ、相対光強度が40%以下の層の葉面積割合が小さく、反対に相対光強度が80%以上の層の葉面積割合が大きくなっており、株あたりの光利用効率が高いと推察された。一方で、9月25日において、化肥区および慣行堆肥区では、相対光強度が40%以下の層の葉面積割合がモミロマンに比べ日本晴で小さく、下層の相対光強度はモミロマンに比べ日本晴で高い傾向がみられた。しかし、この傾向は、化肥区および慣行堆肥区の日本晴の葉数および葉面積が大きく低下していたためであり、乾物生産の増加には結びつかなかった。両品種ともに多量堆肥区では、化肥区および慣行堆肥区に比べ葉面積は大きかったが、相対光強度が40%以下の層の葉面積割合が大きく、光利用効率が低下していると考えられた。しかし、多量堆肥区のモ



ミロマンは、8月25日および9月25日ともに日本晴と比べると相対光強度が40%以下の層の葉面積割合が小さく、反対に相対光強度が80%以上の層の葉面積割合が大きく、それらの層の葉身全窒素濃度も高かったため、日本晴に比べ株あたりの光利用効率が高かったと推察される。モミロマンおよび日本晴の穂と葉身の位置関係については、本実験では20 cm ほどの刈り取りであったため、詳細な位置関係を捉えることは難しかった。斎藤ら(1990)は、穂による遮光程度が品種によって異なることを報告しているが、モミロマンは日本晴に比べて穂数が少なかったため、モミロマンの穂による被覆程度は小さかったと推察され、特に日本晴の穂数の増加が顕著であった多量堆肥区では被覆程度の差が大きかったと考えられる。また、モミロマンは日本晴に比べて草丈が高く、層位別の葉面積分布割合について一つの層に分布する割合が小さく、幅広い層に均等に分布する傾向がみられ、下層への光の透過が日本晴に比べ良好であったと推察され、このことが多量堆肥区での両品種の受光態勢の差異に繋がったと考えられた。さらに、モミロマンは葉身全窒素濃度が高く維持され、層位別の葉身全窒素濃度の最も高い層と低い層の葉身全窒素濃度の差が日本晴に比べ小さく、上層と下層の光合成能の差が小さいと考えられた。よって、下層の葉についても日本晴に比べ乾物生産能が高かったと推察された。以上がモミロマンの登熟期間中の葉面積あたりの乾物生産効率が日本晴より高かった要因であると推察された。また、日本晴では広範囲で倒伏がみられたが、モミロマンは日本晴に比べてわずかな倒伏であり、このことも多量堆肥区の受光態勢および乾物生産能の差異に影響したと考えられた。

2010年の粗粒重は、モミロマンでは化肥区に比べ慣行堆肥区で2倍であったが、日

本晴ではモミロマンに比べ化肥区と慣行堆肥区の差が小さく、品種間で異なる傾向がみられた。その要因として、モミロマンの穂数や粗粒数は、日本晴に比べ化肥区と慣行堆肥区の差が大きかったことが考えられる。モミロマンは、登熟期間中の穂の乾物重の増加割合が全区で同程度であり、穂数や粗粒数の増加に対して生産効率が低下することなく、そのまま粗粒重の増加に繋がると考えられた。そのため、モミロマンの化肥区では、2010年は2009年に比べ、茎数および粗粒数が少ないことが、粗粒重の減少に繋がり、化肥区と慣行堆肥区で差が生じたと推察され、モミロマンの収量増加には、登熟期間中の乾物生産能の維持とともに穂数および粗粒数の増加が必要であると考えられた。穂数は最高分けつ期の窒素吸収量と正の相関があるとされ(吉澤ら 2011)、鶏糞堆肥施用による窒素吸収量の増加により穂数が増加した可能性が考えられた。一方で、一穂粒数は全区で同程度であった。一般的に、一穂粒数は幼穂形成期の窒素含有率の影響を受けるとされている。そのため、鶏糞堆肥施用により窒素吸収量は増加したが、それに伴い茎数や乾物重も増加し、結果として窒素含有率の増加には繋がらず、一穂粒数が増加することはなかったと推察された。

日本晴は、堆肥の多量施用により茎数および葉面積が大きく増加したが、一方で葉面積が密集し過繁茂となり、群落内の光利用効率は低下し、登熟期間中の葉面積や全窒素濃度の減少および倒伏程度も大きかった。そのため、生産効率が低下し、一株粒数の増加に対して登熟期間中の乾物生産量が小さくなり、登熟歩合の低下に繋がったと推察された。一方で、モミロマンは、堆肥の多量施用により、登熟期間中の全窒素吸収量が大きく、葉身の全窒素濃度および葉面積を高く維持するとともに草丈が高く、倒伏もわず

かであったことにより、受光態勢についても日本晴に比べて良好であった。よって、登熟期間中も乾物生産能が高く維持されており、一株籾数の増加に対して登熟歩合の低下が日本晴より小さくなったと推察され、鶏糞堆肥の多量施用による収量の増加要因であると考えられた。一方で、モミロマンは、登熟期間中の乾物生産量が大きくても、日本晴に比べシンク容量も大きいため、モミロマンの登熟歩合は日本晴に比べ低くなったと推察され、登熟期間中の乾物生産能をさらに高めることで、収量を増加させることが可能であると考えられた。

以上より、多量の堆肥施用は、飼料用水稲品種モミロマンの地上部乾物重および籾収量を増加させることが可能であった。モミロマンは、登熟期間中の葉面積分布が光合成に有利な個体構造を示しており、また登熟期間中の窒素吸収も活発に行われ、登熟期間中の乾物生産能が籾収量に及ぼす影響は大きかった。多量堆肥施用により、モミロマンは穂に十分な窒素を蓄積させるとともに、登熟期間中も葉中の窒素濃度を高く維持させることが可能であった。その結果、登熟期間中の同化量の増加をもたらし、穂重増加に寄与すると考えられた。また、この結果は、堆肥施用による、登熟期間中のシンクとなる籾数の増加による相乗効果であると考えられた。しかし、堆肥の多量連年施用により土壌への養分は蓄積しており、堆肥の多量連年施用を行う場合、土壌養分濃度に注視し堆肥施用量を決定する必要がある。本研究の範囲においては、鶏糞堆肥 3.6t/10a の施用で目標の収量である 900kg/10a 以上を達成し、また 1.8t/10a の施用でも、850kg/10a の収量を上げた。また、3.6t/10a の施用を行った水田において高濃度での養分溶脱はみられなかったものの養分の蓄積が図られており、これ以上の施用量の場合、多大な環境負荷

に繋がる可能性が考えられた。そのため、鶏糞堆肥 1.8t~3.6t/10a 程度の施用が、モミロマンの目標とする収量を達成するとともに、環境負荷に繋がらない最適な施用量であるとした。

## 謝 辞

本論文作成にあたり、終始懇篤なるご指導とご校閲を賜った、東京農業大学大学院農学研究科農学専攻指導教授 森田茂紀博士、元本学大学院農学研究科農学専攻教授 玉井富士雄博士に深い感謝の意を表す。また、これまでご指導を賜った元本学大学院農学研究科農学専攻教授 福山正隆博士、並びに池田良一博士に深謝申し上げます。

本学農学部畜産学科准教授 信岡誠治博士には、飼料用水稻の栽培について専門の畜産学の観点からご指導と助言を賜った。また、これまで多くの有益な助言を賜った本学農学部農学科教授 名越時秀博士、同准教授 平野繁博士、および、本学農学部バイオセラピー学科元教授 廣瀬友二博士、同元准教授 元田義治博士に感謝申し上げます。

水田における調査や管理においては、本学農場元職員 山口輝久氏に多くのご支援を賜り、また、試験の遂行には、山田喜大氏をはじめとした多くの本学卒業生の協力を得た。厚く御礼申し上げます。

本学大学院の先輩であり、数え切れないほど多くのご助言をいただいた松嶋賢一氏、大学院で共に切磋琢磨し、何ものにも代え難い長い時間を過ごした浅井未人氏、内田良太氏には、心より御礼を申し上げます。

最後に、研究遂行から本論文作成まで、粘り強く支援してくれた家族および池井まどか氏には大変感謝している。

## 摘要

日本における米消費量は年々減少し続け、それに伴って水稲作付面積も減少し、生産調整田や耕作放棄地が増加している。一方、畜産物の消費は拡大し、それに伴う多量の家畜飼料の供給を輸入に依存してきた。特に、濃厚飼料の自給率は12%と低く、飼料自給率向上の観点と、近年のバイオ燃料との競合による世界的な穀物価格の高騰の現状から、飼料の国内生産の向上が喫緊の課題となっている。これらのことから、国内の飼料生産の場として、調整田や耕作放棄地の活用、水田の機能性を維持した飼料米生産が期待されている。

飼料米生産においては、低コストかつ安定した高生産が必須条件として求められており、食料自給率向上効果の観点から900~1000 kg/10a程度の収量を目標としている。飼料用米品種モミロマンについて、粗玄米収量900 kg/10aの高生産を達成するには、20 kg/10aの窒素吸収量が必要であり、多肥栽培が不可欠と考えられる。しかし、化学肥料の多量施用は、コストの増加や環境負荷が懸念されており、堆肥への代替が求められている。一方で、大量の輸入飼料に依存した畜産では、排出された膨大な家畜排泄物は農地に全てを還元することができない。これらの要因から、作物栽培においては化学肥料に換え、極力家畜の廃棄物を堆肥化して活用することが望まれる。また、収穫物を家畜へ給餌することと家畜の排泄物を水田に還元することは、循環型農業の観点から有意義である。したがって、飼料用水稲栽培における化学肥料の削減および土壌への有機物の還元を推進する必要がある。

飼料米品種の栽培において、化学肥料を堆肥に代替する場合、食用米品種に比べ多量の堆肥施用が必要となる。しかし、水田への多量の堆肥施用による知見は少なく、堆肥施用による土壌での養分動態や飼料米品種の養分吸収について調査し、適切な堆肥施用量を明らかにする必要がある。さらに、モミロマンの子実生産に関する品種特性を中心に、多収要因を解析するとともに、堆肥施用がそれらの要因に及ぼす影響を明らかにすることで、適切な堆肥施用量を決定し、堆肥多量施用による飼料用水稲品種モミロマンの安定的かつ高位生産技術の確立を図った。

水田に慣行堆肥区(N: 2.1%, 1.8tDM/10a)および多量堆肥区(3.6tDM/10a)ならびに比較として化学肥料区の計3区を設け、2009年(堆肥連年施用3年目)および2010年(同4年目)にモミロマンおよびそれと熟期の近い日本晴の栽培試験を行った。また、本試験は、収穫した子実の鶏への給餌とそれにより排出される鶏糞の堆肥利用を想定した。

その結果、モミロマンの籾収量は、両年ともに多量堆肥区で最も多く、日本晴の多量堆肥区と比べて6~52%多く、1004~1087 kg/10aを示していた。さらに、粗籾の飼料成分を求めた結果、多量堆肥区では、代謝エネルギーが他区と有意差がなく、粗籾収量が最も多かったことから、単位面積あたりの代謝エネルギー生産量も最も多く2645 Gcal/10 aとなった。以上のように、鶏糞堆肥の多量施用を行うことで収量および単位面積あたりの代謝エネルギー生産量が増加していた。堆肥を多量施用することで収量が増加する要因について、登熟期間中の乾物生産および窒素吸収を中心として以下のように考察した。

モミロマンの乾物生産は、出穂前に同化部位に蓄積したものをを用いた割合は小さく、

登熟期間中の同化分の占める割合が大きく、慣行堆肥区および多量堆肥区では特にその傾向が強かった。このことから、モミロマンの収量には、登熟期間中の乾物生産が大きく影響していると推察された。

また、日本晴に比べ、モミロマンの登熟期間中の窒素吸収能力は高く、穂に十分な窒素を蓄積させるとともに、登熟期間中も葉中の全窒素濃度を高く維持させることが可能であった。その結果、登熟期間中の同化量の増加をもたらし、穂重増加だけでなく粗タンパク質含量の増加に繋がるなど飼料価値の増加にも寄与すると考えられた。鶏糞堆肥の多量施用は、同化部位を増大させるだけでなく、高い窒素供給によりモミロマンの全窒素吸収量を増加させ、葉身の全窒素濃度を高めることで、光合成能を高めていたと推察される。さらに、モミロマンの収量に大きな影響を及ぼす登熟期間中においても鶏糞堆肥の多量施用によるこれらの効果は高く維持されていた。そのため、堆肥施用による水稻への窒素供給の増加は収量の増加に繋がっており、連年施用を行うことで十分な窒素供給が可能であった。堆肥の施用による水稻への窒素供給量の増加は、連年施用により有機態窒素が蓄積し、有機態窒素の分解量が増加したためと考えられ、栽培期間中、無機化された窒素は直ちにモミロマンに吸収されていたと推察され、土壌溶液の無機態窒素濃度が環境基準を上回ることはなかった。一方で、冬季の堆肥施用から水稻の移植までの間に、窒素をはじめとした各養分の濃度は減少する傾向がみられ、各養分の溶脱が生じていたと推察され、堆肥施用時期については検討が必要であると考えられた。

さらに、窒素以外の成分についても鶏糞堆肥施用により吸収量が増加したことが、モミロマンの登熟期間中の乾物生産に寄与しており、籾収量の増加に繋がっていると推察



された。一方で、鶏糞堆肥施用による籾のカリウム濃度の増加が飼料価値の低下に繋がる可能性があり、注意が必要であることや水稻のリン酸濃度の増加が生育や飼料価値に及ぼす影響など検討すべき課題も多くある。

上述の通り、モミロマンは、登熟期間中も葉身の全窒素濃度を高く維持しており、堆肥の多量施用によりその値も大きくなった。そのことに加えて、モミロマンは登熟期間中も葉面積を高く維持していた。さらに、モミロマンは、葉面積および葉身窒素含量の分布割合が、相対光強度の高い上層で高くなっていることで光利用効率の高い構造であることや日本晴に比べ草丈が高く、葉面積が一部に密集することなく、葉面積密度が低くなったことで、大気から群落内の二酸化炭素供給が行われやすく下層への光の透過が良好となる構造であることが明らかとなった。モミロマンは、このような性質を持つ群落構造であることにより、堆肥の多量施用により葉面積が大きく増加した場合でも、過繁茂にならず、葉面積あたりの乾物生産効率が低下しにくくなっていたと推察された。そのため、モミロマンは、堆肥の多量施用に対して有利な群落構造であるといえる。

鶏への給餌を想定した場合、モミロマンの籾は、鶏が消化不可能な粗繊維が多く、エネルギー量の大きい粗脂肪が少なかった。堆肥施用により、モミロマンは粗タンパク質が増加し、粗繊維が減少しており、飼料価値を高めることが可能であった。一方で、粗脂肪は堆肥施用により減少する傾向がみられた。堆肥施用により、代謝エネルギーが同程度でありながら高タンパク低脂肪となることは、鶏の産卵率の低下や病因に繋がることで問題とされる腹腔内脂肪を、減少させるといった飼料としての利点があると考えられるが、日本標準飼料成分における籾米の粗脂肪含有率と比較しても低く、代謝エネルギー

ギーの増加のためには、改善が必要であるといえる。

以上より、モミロマンは、登熟期間中の窒素吸収能力が高く、穂に十分な窒素を蓄積させるとともに、登熟期間中も葉中の全窒素濃度を高く維持させることが可能であると考えられた。そのため、日本晴に比べ登熟期間中の乾物生産量が大きく、登熟期間中の生産が籾収量に及ぼす影響も大きかった。鶏糞堆肥の多量施用により、モミロマンは葉面積が増加するとともに、登熟期間中も日本晴に比べ葉身全窒素濃度が高く、生産に有利な構造を維持したため、葉面積あたりの乾物生産効率も大きかった。その結果、登熟期間中の同化量の増加をもたらし、穂重増加に寄与すると考えられた。また、この結果は、堆肥連年施用により籾数を増大させたことによる相乗効果であると考えられる。多量の堆肥施用により登熟歩合および粗脂肪含有率が低下していたが、登熟期間中の全窒素含量の増加が籾の粗タンパク質含有率の増加に繋がり、粗繊維含有率も減少するなど、鶏への給餌を想定した場合、有利に働いた。以上のような要因から、堆肥の多量施用はモミロマンの生育に有効であったと考える。しかし、多量の堆肥連年施用により土壌への養分は蓄積しており、多量堆肥連年施用を行う場合、土壌養分濃度に注視し堆肥施用量を決定する必要がある。本試験の範囲において鶏糞堆肥3.6t/10aの施用で目標の収量である1000kg/10a以上を達成し、1.8t/10aの施用でも、850 kg/10 aの収量を上げていた。3.6t/10aの施用を行った水田において養分の蓄積が図られており、これ以上の施用は、環境負荷に繋がる可能性が考えられた。そのため、年次により鶏糞堆肥1.8t~3.6t/10a程度の施用量を調節することが、モミロマンの目標とする収量を達成するとともに、環境負荷に繋がらない適切な施用方法であると考えられる。

## 引用文献

- 1)安藤豊 2011. 水田土壌における窒素の挙動と水稲栽培への応用に関する研究. 土肥誌 75, 549-552.
- 2)有野祐樹・松山信彦 2010. マグネシウム施与が水稲生理および生育・収量に与える影響. 日作東北支部報 53, 17-18.
- 3)原菌芳信・矢吹万寿 1982. 葉面境界層と作物の物質生産に関する研究 (2) 境界層構造の局所的な差異による個葉の光合成速度分布. 農業気象 38, 231-238.
- 4)原嘉隆 2010. 飼料用水稲大麦二毛作における窒素肥料としての牛糞堆肥の効率的利用. 農業および園芸 85. 723-735.
- 5)原嘉隆・土屋一成・中野恵子・田中章浩 2008. 熟度が異なる牛糞堆肥を飼料イネ栽培前後に施用した水田土ポットにおける冬季の窒素溶脱. 日作九州支部報 74, 14-16.
- 6)韓京龍・李宋鉄・江頭和彦・金福順 1988. 冷害多発地域での水稲安定生産のための有機物施用効果. 土肥誌 69, 256-264.
- 7)林怜史・大下泰生・君和田健二・辻博之・澁谷幸憲 2012. 北海道における多収水稲の品種特性及び収量ポテンシャル. 日作紀 81 別 1, 416-417.
- 8)平岡潔志・建部雅子・米山忠克 1992. 養分の吸収・分配,シンク(穂)の特性からみた関東 146 号(タカナリ)の多収性. 土肥誌 63, 517-523.
- 9)平原敏史・信岡誠治 2013. 採卵鶏への飼料用粳米の給与技術の開発 採卵鶏の育成期からの飼料用粳米給与による産卵性等への影響. 神畜技所研報 2, 22-26.

- 10)平林秀介・根本博・安東郁夫・加藤浩・太田久稔・佐藤宏之・竹内善信・石井卓朗・前田英郎・井邊時雄・出田収・平山正賢・岡本正弘・西村実・八木忠之・梶亮太 2010. 飼料用水稲品種「モミロマン」の育成. 作物研究所研究報告 11, 31-47.
- 11)藤原俊六郎・安西徹郎・小川吉雄・加藤哲郎(編) 2010. 新版土壌肥料用語辞典 農文協
- 12)黄農栄・澤田富雄 1999. いくつかの水稲品種における葉中窒素含有率と葉色・玄米中タンパク質含有率の関係. 兵庫農技研報(農業) 47, 1-5.
- 13)茨城県農業総合センター 2007. 飼料作物栽培基準.  
[http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_sehi\\_kizyun/pdf/101122siryo.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/pdf/101122siryo.pdf)
- 14)石川哲也 2012. 関東地方における飼料用米向け多収性品種の乾物生産. 日作紀 81, 339-342.
- 15)伊藤公成 1993. 岩手県における水稲リン酸施肥の実態とリン酸施肥効果. 東北農業研究 46, 73-74.
- 16)伊藤豊彰・谷川法聖・三枝正彦 2005. 環境保全型水稲生産のためのリン酸ベースでの家畜ふん堆肥施用体系の検討. 東北大学センター報告 21, 33-37.
- 17)蔣才忠・平沢正・石原邦 1988. 水稲多収性品種の生理生態的特徴について-アケノホシと日本晴の比較- 第1報収量および乾物生産. 日作紀 57, 132-138.
- 18)河合憲三・平井康丸・首藤大比古・望月俊宏・山川武夫・濱上邦彦 2009. 水稲のポット栽培による液状堆肥の窒素成分の肥料特性 評価. 九大農芸誌 64, 103-107.
- 19)金田吉弘・高橋まさ子・佐藤孝・村上章・進藤勇人・佐藤寛子・佐藤敦 2005. 3年連用豚ふんペレット堆肥の水稲に対する肥効特性 日作東北支部報 48, 53-55.

- 20)上地由朗 2011. 中津川水系の灌漑水を利用した棚沢水田における窒素の天然供給量.  
東京農大農学集報 56, 183-189.
- 21)神奈川県環境農政局 2008. 平成 21 年度作物別施肥基準.  
<http://www.pref.kanagawa.jp/uploaded/attachment/38433.pdf>
- 22)吉良知彦・石川寿郎・吉田茂敏 1991. 「農林 22 号」の草丈による倒伏予測法. 日作九  
支報 58, 77-80.
- 23)気象庁統計 <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 24)Kuma,K.2004. Paddy soil science. Kyoto university Press,Kyoto and Trans Pacific  
Press 132-168.
- 25)黒田栄喜・玖村敦彦 1990. 水稻個葉の光合成速度における新旧品種間差異:第 1 報 個  
葉光合成速度と気孔伝導度. 日作紀 59, 298-302.
- 26)黒田栄喜・大川奉一郎・石原邦 1989. 草高の異なる水稻品種の乾物生産の相違とその  
要因の解析, とくに個体群内におけるガス拡散に着目して. 日作紀 58, 374-382.
- 27)Matsushita, K., Miyauchi, N., and Yamamuro, S. 2000. Kinetics of  $^{15}\text{N}$ -labeled  
nitrogen from co-compost made from cattle manure and chemical fertilizer in a paddy  
field. Soil Science and Plant Nutrition 46, 355-363.
- 28)松田裕之・藤井弘志・柴田康志・小南力・長谷川愿・大淵光一・安藤豊 1997. 水稻の  
窒素吸収量からみた籾生産効率と精米中のタンパク質含有率の関係: 水稻の窒素吸収パタ  
ーンと精米の食味の関係(第 1 報). 土肥誌 68: 501-507.
- 29)前田忠信・久保二郎・平井英明 2005, 堆肥連年施用水田と化学肥料連年施用水田にお

ける土壌の理化学的特性の変化と低農薬栽培した水稲の根系, 養分吸収, 収量. 日作紀 74, 58-64.

30)前田忠信・平井英明 2002. 堆肥連年施用水田と化学肥料連年施用水田における土壌の理化学的特性の変化と低農薬栽培した水稲の根系, 養分吸収, 収量. 日作紀 71, 506-512.

31)三島慎一郎・神山和則 2011. 近年の日本・都道府県における窒素・リン酸フローと余剰窒素・リン酸の傾向に関する算出方法とデータベースおよび運用.

32)水口晶子・小川仁・梯美仁 2007. おがくず鶏糞堆肥連用時の土壌への影響と水稲・ホウレンソウ体系の適正施用量. 徳島農研報 4, 7-16.

33)水田一枝 2001. 灌漑水による水田への N,P,K の流入量: 福岡県における推定. 日作紀 70, 595-598.

34)三浦吉則 2007. 稲わら堆肥, 稲わら長期連用水田における蓄積地力, 窒素による水稲の増収効果. 農業および園芸 82, 1198-1202.

35)Monsi,M.Saeki,T. 1953. Uber den Lichtfactor in den Pflancengesellschaften und seine Bedeutunk fur die stoffproduction. Jpn.J.Bot. 15, 22-52.

36)諸岡稔・鈴木保宏 1986. 重粘土水田における多収稲の生育と無機養分吸収. 土肥講要 32, 109.

37)望月証・青山喜典・津高壽和 2006. 気象要因が堆肥連用水田の水稲収量に及ぼす影響. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告農業編 54, 1-8.

38)本松輝久・建部雅子・平岡潔志 1988. 多収稲の栄養生理特性 -乾物生産, 養分吸収と分配-. 農研センター報 12, 1-11.

- 39) 籾井隆志・伊澤敏彦 2007. 77年間継続した四要素無施用区と堆肥施用区にみられる  
水稲玄米収量の経年推移と各要素の施用効果. 日作紀 76, 288-294.
- 40) 向山雄大・本林隆・帖佐直・大川泰一郎・古畑昌巳・東城清秀・平沢正 2012. 「エア  
ーアシスト条播機」を用いて湛水直播した多収性水稲品種タカナリの乾物生産と収量一裁  
植様式が湛水直播栽培した水稲の生態生理に及ぼす影響一. 日作紀 81, 414-423.
- 41) 村上徹哉・津留崎正信 1997. 給与飼料の代謝エネルギー水準/蛋白質含量比がブロイ  
ラーの腹腔内脂肪蓄積に及ぼす影響. 福岡農総試研報 16, 113-116.
- 42) 長田健二・佐々木良治・大平陽一 2012. 中国地域における多収水稲の品種特性及び収  
量ポテンシャル. 日作紀 81 別 1, 424-425.
- 43) 中谷洋・市川明・伊藤裕和 2002. 鶏ふん堆肥の窒素肥効特性に対する処理日数及び季節  
の影響. 愛知県農業総合試験場研究報告 34, 239-243.
- 44) 中野真理 2011. 飼料用米の現状と課題. 調査と情報 716.
- 45) 中野洋・森田敏・北川壽・和田博史・高橋幹 2012. 西南暖地における多収水稲品種「ミ  
ズホチカラ」の収量ポテンシャル. 日作紀 81 別 1, 426-427.
- 46) 日本草地畜産種子協会 2010. 自給粗飼料生産による温室効果ガス削減 環境に配慮し  
た草地飼料畑の持続的生産体系調査事業(普及版).
- 47) 西田瑞彦・関矢博幸・吉田光二・土屋一成 2012. 転作後の土壌特性と有機物を活用し  
た水稲の多収栽培. 日作紀 81 別 1, 420-421.
- 48) 信岡誠治・小栗克之 2009. 転作田における飼料米の畜産利用と食料自給率. 農業経営  
研究 47, 57-61.

- 49)農業・食品産業技術総合研究機構編 2010. 日本標準飼料成分表 2009年版. 中央畜産会  
東京. 106-107.
- 50)農林水産省 2009. 新しい多収米品種.  
[http://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/tasyumai/t\\_manual/pdf/panph.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/tasyumai/t_manual/pdf/panph.pdf)
- 51)農林水産省 2010. 食料・農業・農村基本計画.  
[http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k\\_aratana/pdf/kihon\\_keikaku\\_22.pdf](http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/pdf/kihon_keikaku_22.pdf)
- 52)農林水産省 2014. 飼料をめぐる情勢.
- 53)農林水産省 2014. 穀物等の国際価格の動向.  
[http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/j\\_zyukyu\\_kakaku/pdf/kaka\\_905.pdf](http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/j_zyukyu_kakaku/pdf/kaka_905.pdf)
- 54)及川真平 2009. 草本群落の生産構造と群落光合成モデル. 低温科学 67, 103-112.
- 55)岡本正弘・堀野俊郎 1994. 米の窒素含量の品種間差異および栽培条件による変異と葉色との関係. 育種学雑誌 44, 177-181.
- 56)大家理哉・山本章吾・久山弘巳 2007. 不耕起栽培継続田への家畜糞堆肥連用が冬作期間中の無機態リン酸溶脱に及ぼす影響. 土肥誌 78, 237-243.
- 57)大山信雄・片野学・長谷川利拓 1998. 阿蘇黒ボク土水田における有機物連用効果(1). 九州東海大学農学部紀要 17, 9-24.
- 58)大平陽一・福寫陽・長田健二・白土宏之・山口弘道・福田あかり 2012. 東北地域における多収水稻の品種特性及び収量ポテンシャル. 日作紀 81別1, 418-419.
- 59)Patrick, J. W. 1987. Effect of potassium on photosynthate unloading from seed coats of *Phaseolus unglaris* L., Specificity and membrane location. *Ann. Bot.*, 59, 181-190.



- 60)酒井長雄・青木政晴・土屋学 2011. 子実用水稲多収品種の収量性と立毛乾燥を前提とした耐倒伏性. 北陸作物学会報 46, 23-26.
- 61)澤口和宏・山本善太・水野一郎・武内徹郎 2011. 飼料用米栽培・調製試験 (第1報) 品種と窒素施肥量の違いが飼料用米の収量および飼料成分に及ぼす影響. 徳島畜研報 10, 66-70.
- 62)斎藤邦行・下田博之・石原邦 1990. 水稻多収性品種の乾物生産特性の解析 第2報 早生・中生数品種の比較. 日作紀 59, 303-311.
- 63)埼玉県農林部経営普及課 1989. 主要農作物施肥基準.  
[http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_sehi\\_kizyun/pdf/03110109chap2\\_6.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/pdf/03110109chap2_6.pdf)
- 64)齊藤邦行・村木智裕・土居寿幸・黒田俊郎 2000. 水稻品種の乾物生産に及ぼす暗呼吸の影響:日本晴とタカナリの生長効率の比較. 日作紀 69, 194-200.
- 65)佐藤紀男 1989. 水田における有機物と土壤改良資材の施用効果に関する研究(第3報) 深耕が水稻の層位別養分吸収および根の養分吸収力に及ぼす影響. 福島県農業試験場研究報告 28, 52-62.
- 66)塩田悠賀里・長谷川徹・沖村逸夫 1985. 堆肥連用水田土壤の無機態窒素,水溶性有機炭素,酸化還元電位,pH等の推移. 愛知県農業総合試験場研究報告 17, 106-114.
- 67)飼料分析基準研究会編 2010. 飼料分析法・解説(2009). 日本科学飼料協会, 東京. 1-1804.
- 68)宋祥甫・縣和一・川満芳信 1990a. 中国産ハイブリッドライスの物質生産に関する研

- 究 第 2 報収量生産特性. 日作紀 59, 29-33.
- 69)宋祥甫・縣和一・川満芳信 1990b. 中国産ハイブリッドライスの物質生産に関する研究 第 1 報乾物生産特性. 日作紀 59, 19-28.
- 70)末信真二・角重和浩・山本富三 1994. ヒノヒカリの窒素栄養診断 第 2 報草丈・茎数・葉色値からの水稻窒素吸収量の推定. 福岡農試研究報告 13, 5-8.
- 71)住田弘一・加藤直人・西田瑞彦 2002. 寒冷地灰色低地土水田における堆肥長期連用試験からみた化成肥料及び堆肥中の窒素の行方. 東北農研研報 100, 49-59.
- 72)建部雅子・本松輝久・平岡潔志・米山忠克 1998. 多収稲の栄養生理特性-多収をもたらす葉の特性と物質分配-. 農研センター報 18, 69-80.
- 73)高橋茂・脇門英美・新良力也 2009. カリウム施用がコムギ, 水稻の収量およびカリウム吸収に及ぼす影響 -黒ボク土長期肥料連用試験における解析-. 土肥誌 80, 621-625.
- 74)棚橋寿彦・矢野秀治 2004. 鶏ふん堆肥の窒素含量に基づく肥効推定法. 土肥誌 75, 257-260.
- 75)武田友四朗・岡三徳・県和一 1983. 暖地における水稻品種の物質生産に関する研究. 第 1 報 明治期以降の新旧品種の乾物生産特性. 日作紀 52, 299-306.
- 76)Tomoko Nishida, Shunii Kurokawa, Shohei Shibata and Norihisa Kitahara 1999. Effect of heat exposure on upland weed seed viability. J Weed Sci. Tech. 44, 59-66.
- 77)利谷翔平・週勝・下ヶ橋雅樹・寺田昭彦・細見正明 2012. 畜産排水を高窒素負荷で施肥した飼料イネ水田における窒素除去の解明. 化学工学論文集 38, 290-298.
- 78)津野幸人・鳥生誠二 1987. 水稻根の呼吸阻害が光合成作用に及ぼす影響. 日作紀 70,

449-458.

79)上之菌茂・長友誠 1998. 家畜ふん堆肥だけの施用が水稻の収量, 品質に及ぼす影響.

九州農業研究 60, 56.

80)上之菌茂・長友誠・高橋茂・國枝栄二・山室成一 2004. 重窒素標識法による鶏ふん堆

肥およびオガクズ牛ふん堆肥の水稻に対する窒素供給能の評価. 土肥誌 75, 313-319.

81)和田義春・尹祥翼・佐々木裕樹・前田忠信・三浦邦夫・渡辺和之 2002. 日印交雑水稻

品種の畑栽培下での乾物生産と窒素吸収の特徴:日本型水陸稲品種との比較(栽培). 日作紀

71, 28-35.

82)王英典・黒田栄喜・平野貢・村田孝雄 1998. 水稻の1穂当たりシンクサイズと収量生

産量の品種間差. 日作紀 67, 549-554.

83)徐銀発・大川泰一郎・石原邦 1997. 水稻多収性品種タカナリの収量と乾物生産過程の

解析 -1991年から1994年の4年間-. 日作紀 66, 42-50.

84)山本良孝・川口祐男・高橋歩 1996. 穎花数水準が異なる水稻コシヒカリにおける発育

指数対応の生長指標. 日作紀 65, 425-429.

85)矢口弘子・生沼英之・猪狩勉・有賀正人・高橋捷平 2002. 高付加価値鶏卵生産技術の

確立 会津地鶏の卵肉生産技術の確立 (3)高蛋白, 低エネルギー飼料添加の効果. 福島養

鶏試研報 29: 88-93.

86)矢吹万寿・宮川秀夫 1970. 風速と光合成に関する研究(第2報) 風速と光合成との関

係. 農業気象 26, 137-141.

87)矢吹万寿・宮川秀夫・石橋惇 1970. 風速と光合成に関する研究(第1報) 風速と葉面境

界層の厚さとの関係. 農業気象 26, 65-70.

88)吉永悟志 2009. 飼料イネ多収栽培技術の現状と技術開発の方向 (特集 飼料イネ生産技術の現状と課題). 畜産技術 647, 11-15.

89)吉永悟志 2012. 近年育成の水稲多収品種の収量ポテンシャルを探る. 日作紀 81 別 1, 459.

90)吉澤比英子・高沢由美・常見讓史・大島正捨 2011. 黒ボク土水田に連用する有機物の違いが水稲の窒素吸収パターンと収量構成要素に違いをもたらす. 栃木県農試研 66, 27-35.

91)米川和範・今野均・菅原慶子・林久喜・坂井直樹 2001. 黒ボク土における水稲の収量に及ぼす連用施肥の影響. 筑波大農林研報 14, 7-18.

**The establishments of high yield production of forage rice variety  
Momiroman by heavy application of compost**

Gaku Arisawa

**Sammary**

Rice consumption in Japan continues to decrease every year, which also causes decreasing paddy rice acreage and increasing production adjustment of fields and desertion of cultivated land. Moreover, along with expanding consumption of livestock products, large amounts of animal feed have been supplied through imports. Particularly, the self-sufficiency rate of concentrated feed is as low as 12%. From the perspective of feed self-sufficiency rate improvement and present conditions of remarkable rise of global grain prices through competition with biofuels, improvement of domestic production of feed presents an urgent problem. Therefore, feed cultivation using adjusted fields and deserted cultivated land, and maintenance of functionality of rice fields is anticipated as domestic feed production areas.

In feed rice cultivation, low-cost and stable production are demanded as necessary conditions. The ideal yield amount is about 900–1000 kg/10 a from the viewpoint of the food self-sufficiency rate improvement effect. As for

Momiroman, a kind of forage rice, it is thought that large quantities of chemical fertilizers are necessary because 20 kg/ 10 a of nitrogen absorption is indispensable to achieve high production such as 900 kg/ 10 a of gross brown rice yield. However, with respect to large quantities of chemical fertilizer application, increased cost and environment impact are concerns. Therefore, it is necessary to use compost as a substitute. The enormous livestock waste by raising stock is attributable to large quantities of imported feed, which raises environmental problems such as water pollution to rivers, without the ability to return all waste to farmland use. Considering these factors, instead of chemical fertilizers, it is desirable to use compost from livestock waste to the greatest extent possible in crop cultivation. Additionally, feeding of crops to domestic animal and return of excrement of domestic animals have great meaning for the performance of rice fields from the viewpoint of sustainable agriculture. Therefore, it is necessary to promote decreased use of chemical fertilizers and reduction of organic nutrients to soil in forage rice cultivation. Greater quantities of compost application are required compared to that for edible rice if we use compost as a substitute for chemical fertilizers in forage rice cultivation. However, little knowledge exists about large quantities of compost application to rice fields. It is necessary to investigate nutrient changes in soil that take place through

compost application and nutrient absorption of forage rice, and to clarify appropriate quantities of compost applications. For this study, the author cultivated Momiroman with application of compost, with subsequent investigation of nutrient changes of soil and soil solution, in addition to growth, nutrient absorption and the yield of Momiroman. Mainly in relation to properties about grain production of Momiroman, this study analyzed factors for large yields, and ascertained appropriate quantities of compost application by clarifying the influences of compost application on those factors, with planned establishment of stable high yield production of forage rice Momiroman by compost applied in large quantities.

We cultivated a forage rice Momiroman and an ordinary paddy rice Nipponbare in paddy fields with compost or chemical fertilizer in 2009 (third year of compost application) and 2010. Plots of three types were prepared: one with chemical fertilizer (CF); one with small-quantity compost (SC) (N: 2.1%, 1.8 tDM/ 10a); and one with large-quantity compost (LC) (3.6 tDM/ 10a).

Results show that the paddy yield of Momiroman in LC was the greatest in both years. The Momiroman of LC had 6–52% larger yield than that of Nipponbare. It reached 1004–1087 kg/ 10 a. In addition, metabolic energy in LC is on the same level with other plots. Metabolizable energy production

per unit area in LC became 2645 Gcal / 10 a. It is thought that increasing the yield of Momiroman is possible through compost application in large quantities. The author considered mainly the factors of dry matter production and nitrogen absorption of the ripening period.

As for dry matter production of Momiroman, the ratio of using materials accumulated in assimilation parts before the full heading time was small, and the ratio of the assimilation part in the ripening period was large. This tendency was particularly strong in SC and LC. Therefore, it was assumed that the dry matter production ability in the ripening period contributed greatly to the yield of Momiroman. Nitrogen absorption ability during ripening period of Momiroman is high in comparison with the Nipponbare. It was caused to accumulate enough nitrogen of ear and maintain a high nitrogen concentration in the leaves during the ripening period. As a result, it contribute to an increase in dry matter production during the ripening period, an increase of ear weight, and the increase in feed value due to increase in protein content of ear. Heavy application of compost increases the assimilation part. High nitrogen supply by heavy application of compost increases the total nitrogen uptake and the total nitrogen concentration of leaf. These effects of application of poultry manure compost in a large quantity were maintained high at ripening period. Therefore, the increase in



the nitrogen supply from compost annual application had led to an increase in yield. The increase of Decomposition of the organic nitrogen by compost continuous application was led to an increase in nitrogen supply to rice. Nitrogen had been absorbed Momiroman as soon as it is mineralized during the growing season. Inorganic nitrogen concentration of the soil solution did not exceed the environmental standards. On the other hand, the concentration of each nutrient that including nitrogen tended to decrease during the period from compost application to paddy rice transplantation. Therefore, I thought to require studied compost application time.

In addition, absorption amount of the nutrients other than nitrogen by poultry manure compost application that has increased, it has been inferred that have contributed to the increase in dry matter production of ripening period and paddy yield of Momiroman. On the other hand, there is a possibility that the increase in rice of potassium concentration by poultry manure compost application leads to a reduction in feed value. Increase of phosphoric acid concentration of rice is should consider the impact on the growth and feed value. It is necessary to note the above.

As described above, Momiroman maintains a high nitrogen concentration of leaf during ripening period, its value was also increased by a large amount application of compost. In addition, Momiroman was maintaining a high leaf

area during the ripening period. Momiroman has structure of high light utilization efficiency by the distribution ratio of leaf area and leaf nitrogen amount is high at high upper of relative light intensity. The leaf area of Momiroman increased in LC, and the decrease ratio in the ripening period was less than that of Nipponbare. In addition, Momiroman is taller than Nipponbare. Therefore, the leaf area can not crowd in a part and leaf area density is lowered. The CO<sub>2</sub> supply from the air is easily conducted and light is transmitted to the lower layer. Because the leaf area density is low. Even if the leaf area was increased by heavy application of compost, Momiroman difficult to reduced dry matter production efficiency per leaf area.

Therefore, the community structure of Momiroman is advantageous to heavy application of compost.

Paddy rice of Momiroman have many crude fiber and small crude fat. Compost application was reduced the crude fiber and increased the crude protein of Momiroman. It was possible to increase the feed value. On the other hand, compost application was reduced the crude fat. Increase in intra-abdominal fat leads to decrease of egg-laying rate and to increase of illness. Decrease of crude fat by compost application is expected to reduce the abdominal fat. However, Crude fat content of Momiroman is lower as compared to the crude fat content of the paddy rice in Japan Standard feed

ingredients. Increase in metabolic energy requires an increase in crude fat content.

Nitrogen uptake and dry weight were greater in Momiroman than in Nipponbare in both chemical fertilizer and compost plots. The results also showed that the ear weight increases with the increase in assimilation during the ripening period. The leaf area was large and leaf nitrogen concentration high in Momiroman in the large-compost plot, even during the ripening period. Momiroman had longer plant length than Nipponbare, and its leaves were widely distributed from the lower to upper part of the stem; this structure reduced the loss of relative light intensity regardless of the leaf area increase and maintained good radiation interception. Consequently, although Momiroman has a smaller leaf area than Nipponbare, the dry matter production per leaf area and dry matter production are larger in Momiroman than in Nipponbare at the ripening period. From these results, we conclude that application of poultry manure compost in a large quantity increases the assimilation at the ripening period; thus compost in a large-quantity compost can increase the yield and protein of Momiroman. It was inferred that the above-described factors led to the increased yields of Momiroman. However, the nutrients in soil accumulate by annual application of compost in large quantities every year. It is therefore

necessary to watch the soil nutrient density closely to ascertain the quantity of compost application when performing large quantity compost application every year. Higher than 1000 kg/10a was achieved, which was the intended yield by poultry manure compost application of 3.6 t/10a. Even application of 1.8 t/10a gave a yield of 850 kg/10a. Nutrients in paddy fields accumulated by compost application of 3.6 t/10a. The possibility that further application led to environmental loading was considered. Therefore poultry manure compost application of 1.8 t–3.6 t/10a achieved the intended yield. It is a suitable application quantity that does not engender an environmental load.