

飼料用米の育苗箱全量施肥栽培における牛ふん堆肥の施用効果

Effects of Applying Cattle Manure Compost as a Single Application of Fertilizer in Nursery Boxes for Feed Rice

柴山 豊・柿内 俊輔*・身次 幸二郎

(生産環境研究所)

Yutaka SHIBAYAMA, Shunsuke KAKIUCHI, and Koujiro MITSUGI

(Agro-environmental Research Institute)

要 約

近年、水田作の生産現場では大規模経営体の育成を進めており、米消費の減少に伴う米価低迷から安定的に収入が見込める飼料用米等の新規需要米の生産が増えている。大規模経営体の経営安定のためには省力および低コスト栽培技術の導入が急務であり、飼料用米では省力施肥技術として穂肥を省略できる全量基肥施肥栽培が主流となっているが、主食用米で徐々に普及している育苗箱全量施肥栽培を飼料用米でも用いることができれば、更なる省力化を実現できる。しかし、飼料用米では主食用米に比べて養分吸収量が多く多肥栽培が必要なこと、また、専用肥料には窒素成分のみを含むことにより、リン酸および加里の不足と地力の低下が懸念される。その解決法として、牛ふん堆肥の施用と組み合わせることが有効と考え、飼料用米が安定生産できる適正な育苗箱全量施肥専用肥料の施肥量と牛ふん堆肥の施用量について、熊本県の飼料用米で主流の多収品種「夢あおば」を用いて試験を実施し、収量および生産コストを比較するとともに、土壌の養分収支および可給態窒素に及ぼす影響を検討した。その結果、育苗箱全量施肥の最大施肥量を 1250g/箱として、省力化に必要な不可欠な機械移植に支障のない苗質を得ることができ、収量は、堆肥を施用しないと前年より減収するが、堆肥 2t/10a 以上の施用で、専用肥料の施用量に関わらず前年と同程度の収量を確保できた。しかし、専用肥料を 900g/箱施用（窒素 7.2kg/10a）から 1250g/箱（窒素 10kg/10a）に増肥しても収量は同等であった。また、生産コストの試算では、牛ふん堆肥 2t/10a と専用肥料 900g/箱を組み合わせる場合、慣行の全量基肥施肥に比べて生産量当たりの施肥コストが約 16% 低下し、費用対効果が最も高くなった。さらに、養分収支は、専用肥料の施肥量に関わらず堆肥 0t/10a では窒素、リン酸および加里ともマイナスとなるが、堆肥を 2t/10a 以上施用することでプラスとなった。一方、栽培跡地土壌の可給態窒素量は、堆肥を施用しないと毎年低下するのに対し、堆肥を 2t/10a 以上施用すると堆肥の施用量に従い低下量は小さくなった。これらのことから、飼料用米「夢あおば」の育苗箱全量施肥栽培では、専用肥料 900g/箱と牛ふん堆肥 2t/10a 施用することで生育および収量が安定し、最も省力化および低コスト化の効果を得られることが明らかになった。

キーワード：育苗箱全量施肥栽培，飼料用米，牛ふん堆肥，省力化，低コスト化，可給態窒素

I 緒言

近年、水田作の生産現場では高齢化等による担い手不足が加速化しており、その対策として熊本県では大規模経営体の育成や法人化を進めており、持続可能な生産組織への再編が各地で行われている。しかし、米消費の減少に伴う米価の低迷から、水稻経営は独自販売力を持つ経営体以外に主食用米のみの栽培では経営が成り立たなくなっており、一部の経営体では国や地方自治体の交付金（水田活用交付金，産地交付金等）を得られる新規需要米（飼料用米，米粉用米，加工用米，飼料用稲）を導

入し経営の安定化を図る事例が増えている。特に、飼料用米品種「夢あおば」は、早生系であるため二毛作栽培体系に取り入れやすく、また新規需要米の多収品種のなかで栽培期間が短く、トビイロウンカの世代数が少なくなりやすい¹⁾。これらのことから、本品種は栽培面積が拡大しており、玄米生産だけでなく粗飼料や粃米サイレージ用としても有望である。

また、大規模経営体の経営安定のため、省力および低コスト栽培技術の導入が求められており、飼料用米の施肥技術では穂肥施用を省略することができる肥効調整型

* 現 熊本県農林水産部生産経営局農業技術課

肥料を利用した全量基肥施肥栽培が主流となっているが、さらに省力化が可能な技術として、水稻の播種時に水稻一作分の肥料を育苗箱中に施肥する育苗箱全量施肥栽培が開発されている²⁾。この技術は、播種時の育苗箱中に施肥した水稻一作分の育苗箱全量施肥専用肥料（以下、専用肥料）を移植時に苗と一緒に土壌中へ入れることで本田への施肥を省略できるため、省力化および低コスト化につながる技術である³⁾。この専用肥料は、速効性の窒素肥料を含まず、初期の溶出を抑制した高窒素のシグモイド型被覆尿素肥料であり、接触施肥が可能で肥料が局所的に根元に存在できるため、窒素の溶脱が極めて少なく、作物の窒素利用率が高まることで大幅な減肥が可能となり、環境への窒素負荷の低減につながる肥料である⁴⁾。主食用米では東北地方を中心に普及しており、熊本県においても省力技術として徐々に普及している。この技術を飼料用米でも用いることができれば、さらなる省力化を実現できる。

西南暖地で育苗箱全量施肥栽培を行う場合、育苗期間の気温が高く、僅かではあるが専用肥料から窒素溶出があり、それが影響して苗の徒長およびルートマット強度の低下が問題となる⁵⁾。一方、主食用米の水田苗床育苗で900g/箱施肥した場合に、遮根シート等による遮根処理で苗質が大幅に改善することが報告されている⁶⁾。飼料用米では多収品種を用いるため、主食用米に比べて養分吸収量が1.5倍程度多く⁷⁾、多肥栽培が必要となる。育苗箱全量施肥栽培で多肥にするには、一箱あたり施肥量を増やさなければならないが、その分培土量が少なくなり、保水性の低下による高温障害を受けやすくなること、育苗期間中の専用肥料からの窒素溶出量も多くなり、ルートマット強度が弱くなりやすいこと等の問題が出やすい⁸⁾。そのため施肥量には上限があり、通常サイズの育苗箱では1500g/箱程度が限界と思われ、窒素施肥量の不足が懸念される。また、専用肥料には窒素成分のみでリン酸および加里を含んでいないため、養分吸収量が多く、稲わらも持ち出す飼料用米では、土壌中のリン酸および加里の減少と地力の低下が懸念される。

それらの問題を解決する手段として、熊本県で推奨している耕畜連携による堆肥と稲わらの交換が有効と考えられる。県内で最も飼養規模が大きい畜種は牛（乳用牛および肉用牛）で、堆肥の生産量も多い。牛ふん堆肥は、豚ふん堆肥や鶏ふん堆肥に比べて窒素、リン酸および加里の含有率は低いが、有機物含有率は高いため、肥料的効果は低いがその分物理性改良効果が高く⁹⁾、耕種基準量の1～2t/10a施用した場合には、リン酸および加里の不足分を補うことが可能と思われ、飼料用米における育苗箱全量施肥栽培の問題解決に有効と考えられる。

そこで、本研究では、県内で最も耕畜連携が進んでいる牛ふん堆肥と稲わらの交換を想定し、飼料用米が安定生産できる適正な育苗箱全量施肥専用肥料の施肥量と牛ふん堆肥の施用量について、飼料用米で主流となっている多収品種「夢あおば」を用いて試験を実施した。

試験は、収量および生産コストを比較するとともに、土壌の養分収支および可給態窒素量に及ぼす影響を検討し、堆肥施用と育苗箱全量施肥を組み合わせた安定多収技術の確立を目的とした。

II 材料および方法

1 試験の概要

試験はH29年（2017年）とH30年（2018年）の2か年で実施した。供試圃場は熊本県農業研究センター（合志市）試験水田で、供試圃場の土壌条件は農耕地土壌分類第3次案改訂版¹⁰⁾に基づき「多腐植質厚層多湿黒ボク土」に分類された。また、前作も水稻で稲わらはすべて持ち出した。

栽培試験には飼料用米の多収品種「夢あおば」を用い、水稻育苗箱は通常サイズ（内寸：縦28cm×横58cm×高さ3cm）の中苗用育苗箱を使用した。H29年では種籾が肥料に直接触れないように専用肥料を箱底に入れ、種籾と肥料の間に床土を入れる施肥法である箱底施肥にて栽培した。一方、H30年ではより栽培条件の厳しい実際の現場での普及性を考慮し箱底に床土を入れ、専用肥料の直上に種籾を入れる施肥法である層状施肥にて栽培した。播種および施肥については第1表に、育苗については第2表にそれぞれ詳細な条件を示した。また、移植は2か年とも栽植密度を18.5株/m²とし、いずれの年も6月21日に機械移植した。

第1表 播種および施肥方法

年次	区名	播種日	育苗箱	遮根処理	播種量 (乾籾)
H29	対照区 (慣行栽培)	5月22日	中苗用	無	120g
	試験区 (育苗箱全量施肥栽培)	6月1日		有	
H30	対照区 (慣行栽培)	5月22日	中苗用	無	120g
	試験区 (育苗箱全量施肥栽培)	6月1日		有	

年次	区名	培土	肥料	施肥方法	育苗期間
H29	対照区 (慣行栽培)	—	—	—	30日
	試験区 (育苗箱全量施肥栽培)	人工造粒土 ^{*1}	専用肥料 ^{*2}	箱底施肥	20日
H30	対照区 (慣行栽培)	—	—	—	30日
	試験区 (育苗箱全量施肥栽培)	人工造粒土 ^{*1}	専用肥料 ^{*2}	層状施肥	20日

*1 「ひのくに床土」（菱東肥料）N成分0.6g/箱

*2 「苗箱まかせN400-120」（ジェイカムアグリ、25℃定温水中で約40日、全Nの10%まで溶出を抑制）

第2表 育苗方法

育苗方法	催芽	出芽	被覆	灌水	移植日
畑育苗	種子消毒 含め 浸種4日間	ブルーシート 梱包農舎内 3日間	アルミ蒸着シート ^{*3} 2日間	散水チューブ ^{*4} 1時間×3回/日	6月21日 (H29,30年 とも)

*3 「本州太陽シート」（旭洋、遮光率80%）

*4 「エバフロー」（三菱ケミカルアグリドリーム、φ20mm、散水量0.2L/m²・min）

2 試験区の構成

試験区の構成は、1区 36m² (15m×2.4m) の3連で、本田へ施用する堆肥の施用量を10a当たり 0t, 2t, 4t の3水準、育苗箱へ施肥する専用肥料の施肥量を1箱当たり 0g, 900g, 1250g の3水準設け、対照として堆肥 2t/10a + 全量基肥で窒素 11kg/10aとなるよう全層施肥区を設置した。肥料は試験区の育苗箱全量施肥栽培では専用肥料 N400-120 (NPK=40-0-0, 120日タイプ) を播種時に同時施用し、対照区の全量基肥栽培では LP コート入り複合 2566-DE65 (NPK=25-6-6, 120日タイプ:「多収米ひとふり」(ジェイカムアグリ株)) を H29 年は代かき同日に、H30 年は代かきの1日前に本田へ全層施肥した。なお、代かきはいずれの年も移植の3日前に行った。

堆肥は、市販の牛ふん堆肥「まんま堆肥」(JA 菊池) を連用した。育苗箱全量施肥区の窒素量は、各区 10a 当たり 20箱移植したときの窒素量を設定値としており、専用肥料の施肥量 900g/箱の場合で 7.2kg/10a, 1250g/箱の場合で 10kg/10a である(第3表)。

第3表 試験区の構成

試験区名	堆肥 t/10a	肥料タイプ	施肥量	窒素量 kg/10a	育苗 期間
0t-0		—		0	
0t-900	0	専用肥料N400-120	900g/箱	7.2	20日
0t-1250		専用肥料N400-120	1250g/箱	10.0	
対照区		全量基肥(全層施肥)	44kg/10a	11.0	
2t-0	2	—		0	20日
2t-900		専用肥料N400-120	900g/箱	7.2	
2t-1250		専用肥料N400-120	1250g/箱	10.0	
4t-0		—		0	
4t-900	4	専用肥料N400-120	900g/箱	7.2	20日
4t-1250		専用肥料N400-120	1250g/箱	10.0	

3 調査および分析

苗質調査は、本田移植用として育苗した9箱のうち達観で生育中庸と思われる1箱を選び行った。調査項目は、苗のルートマット強度、苗丈、葉齢、根量で、それぞれ移植日に試料を採取した。調査方法として、ルートマット強度は、苗マットの中央を 28cm×10cm に切り出し、両短辺にクリップ(幅 10cm 以上)で固定した後にクリップを引っ張り、断裂したときの力(N/cm)をバネ秤(ブッシュプルテスターMP-100N:株アトニック製)を用いて2反復計測した(「引っ張り法」)。苗丈および葉齢は、苗を 5cm 四方(25cm²)に切り出し、水道水で洗浄後、苗丈の中庸 20 個体を選び、水稻調査基準に基づき苗丈と葉齢を測定した。また、根量は、ルートマットを 5cm 四方(25cm²)に切り出し、培土等を水道水できれいに洗浄後、すべての根を 60℃で 2,3 日間通風乾燥し風乾物を得て、風乾物を 105℃で 1 昼夜乾燥させることで乾物重を測定した。

生育調査は、水稻調査基準に基づいて、最高分けつ期頃に各区で連続する 20 株(2条×10株)の草丈、茎数を計測し、成熟期に各区生育調査と同一株で稈長、穂長、穂数を計測した。

収穫は、各区で隣接する 50 株(5条×10株)を手刈りし、雨よけハウス内で掛け干し風乾後、脱穀、脱芒、唐箕、籾摺り、篩(1.8mm)の順で精玄米まで調製を行った。また、各区穂数が平均的な代表株 3 株を採取し、掛け干しを行い、風乾物を得た。収量調査は、水稻調査基準に基づき、わら重、粗粳重、粗玄米重、千粒重(精玄米)、籾数、登熟歩合を計測した。

作物体調査は、収量調査した試料の一部を抜き取り、わらおよび籾を採取し、粉碎して分析試料とした。分析方法は常法に従い、各試料を 2 連として、窒素(N)はケルダール法で、リン酸(P₂O₅)および加里(K₂O)は湿式分解後、リン酸はバナドモリブデン法により吸光光度計(V-630:日本分光株製)で、加里は原子吸光光度計(AAS3300:PERKIN ELMER 製)で測定した。養分収支は、水田への持ち込みを肥料および堆肥とし、持ち出しを水稻(わらおよび籾)の養分吸収量とし、灌漑水からの持ち込みや田面水溶脱等による持ち出しを考慮していない。よって、養分収支は、肥料の成分量+堆肥の成分量-水稻の養分持出量(わらおよび籾の成分量)で求めた。

各区の土壌はそれぞれ収穫と同じ日に採取した。採取方法は、対角線採土法¹¹⁾に従い、各区で手刈りした場所の作土を対角線に 5 か所から地表から 15cm 程度まで採土した。その 5 か所の土壌をよく混合しその 1~2kg を分析試料とした。分析方法は、可給態窒素は各区試料を 3 連とし、湛水 30℃で 4 週間静置培養する保温静置法¹¹⁾により、無機態窒素(アンモニア態窒素および硝酸態窒素)をディスクリート方式(ディスクリートアナライザーAQ2+:ピーエルテック株製)で測定した。

4 生産コストの試算

生産コストは、施肥コストとして堆肥代と肥料代、堆肥および肥料の散布代を合計し、生産量当たりのコストとして飼料用米の収量(粗玄米) 60kg 当たりのコストを試算した¹²⁾。肥料代は肥料使用量と JA 末端想定価格(消費税等込み)から算出した。また、堆肥の費用は、畜産農家との耕畜連携により 10a 当たり牛ふん堆肥 1~2t と稲わらとの無償交換が行われる場合もあるが、JA 堆肥センター等の一般的な販売額は、耕種農家の購入額で 4,000~5,000 円/t 程度、個人の畜産農家が販売する場合で 3,000 円/t 程度であるため、4,000 円/t で試算した。なお、散布代は、集落営農組織の肥料散布の平均的作業賃金から、

ここでは熊本県菊池管内集落営農法人の平均的単価である 10a 当たり 1 回 1,185 円(堆肥 4t/10a の場合は 2 回分)を用いて計上した。

III 結果

1 移植苗の苗質

本田移植に使用した苗の苗質について、育苗箱全量施肥栽培用の苗(以下、施肥苗)のルートマット強度は、「施肥 0g」「施肥 900」では、H29,30 年とも対照区の慣行栽培の苗(以下、慣行苗)よりも大きかった。「施肥 1250」では、H29 年は慣行苗と同等であったが、H30 年は慣行苗よりも強度が小さく、根量も少なかった。一方、苗丈は、施肥苗(育苗期間 20 日)では、慣行苗(育苗期間 30 日)と比べていずれも高かったが、施肥量の違いによる差はなかった。葉齢は、慣行苗が最も大きく、施肥苗の中では施肥量が多いと葉齢が大きくなる傾向だった。根量は、慣行苗と施肥苗の差は判然としなかったが、「施肥 900」の方が「施肥 1250」よりも根量が多く、ルートマット強度でも両者に差がみられた(第 4 表)。

第 4 表 育苗方法及び施肥量が苗質に及ぼす影響

年次	区名	施肥量	施肥方法	育苗日数	苗丈(cm)	葉齢(葉)	ルートマット強度(N/cm)	根量(mg/c㎡)
H29	対照	—	—	30日	13.8	3.4	2.8	23.9
	施肥0	—	—	—	15.4	2.3	4.8	16.6
	施肥900	900g/箱	箱底	20日	15.3	2.5	3.7	21.8
	施肥1250	1250g/箱	施肥	—	15.5	2.5	2.7	15.3
H30	対照	—	—	30日	13.5	3.6	2.1	19.1
	施肥0	—	—	—	15.5	2.7	3.2	19.6
	施肥900	900g/箱	層状	20日	17.0	2.9	4.8	17.6
	施肥1250	1250g/箱	施肥	—	16.7	3.1	1.5	12.5

2 生育および収量

供試した牛ふん堆肥「まんま堆肥」(JA 菊池)の成分量は以下のとおりであった(第 5 表)。

第 5 表 堆肥の成分量 (現物当たり (%))

年次	水分	TN	TC	P2O5	CaO	MgO	K2O
H29	50.4	1.15	20.6	1.75	1.06	0.71	2.71
年次	水分	TN	TC	P2O5	CaO	MgO	K2O
H30	49.0	1.02	20.1	1.63	1.37	0.65	1.75

※ H29年は4月13日, H30年は4月3日施用

本田での機械移植時に栽植密度、使用した苗の面積と移植面積を測定し、そこから使用した苗箱数を算出して実際の窒素施肥量を求めた。その結果、設定値との比率が H29 年は 107%, H30 年は 113~116% だった(第 6 表)。

第 6 表 育苗箱全量施肥区の窒素施肥量 (左: H29年, 右: H30年)

試験区名	H29年			H30年		
	栽植密度 株/㎡	施肥量 N kg/10a	比率 %	栽植密度 株/㎡	施肥量 N kg/10a	比率 %
対照	18.6	—	—	対照	18.3	—
900	18.6	7.7	107	900	18.3	8.3
1250	18.6	10.7	107	1250	18.5	11.3

本田での生育について、最高分けつ期頃(H29 年は 7 月 26 日, H30 年は 7 月 31 日)における草丈は、H29,30 年とも「2t-900」「2t-1250」「4t-0」「4t-900」「4t-1250」区は対照区と有意な差はなく、それ以外の区は対照区よりも小さかった。茎数は、育苗箱全量施肥区では対照区と比較して H29 年は「4t-900」「4t-1250」区で、H30 年は「2t-900」「2t-1250」「4t-0」「4t-900」「4t-1250」区で有意な差はなかった。また、堆肥の施肥量が同じ場合、専用肥料の施肥量 0g は 900g, 1250g に比べ茎数が少ない傾向がみられるが、900g, 1250g に差はなかった。一方、成熟期(H29 年は 9 月 28 日, H30 年は 10 月 2 日)の稈長は、H29 年は「2t-1250」「4t-900」「4t-1250」区で対照区と差がなく、H30 年は「2t-900」「2t-1250」「4t-900」「4t-1250」区で対照区と差がなかった。穂長は、H29 年は対照区と試験区とで差はみられなかったが、H30 年は堆肥の施肥量に関わらず専用肥料の施肥量 0g で対照区と比べ小さくなった。また、穂数は、H29 年では「2t-1250」「4t-900」「4t-1250」区で対照区と差がなく、H30 年では「2t-900」「2t-1250」「4t-0」「4t-900」「4t-1250」区で対照区と差がなかったが、それ以外の区は対照区よりも少なかった。有効茎歩合は、年次間差が大きく、堆肥および専用肥料の施肥量の違いによる差はみられなかった。一方、出穂期は、H29 年では「2t-900」「2t-1250」区で対照区と比べ 1 日早く、「4t-900」「4t-1250」区で 2 日早くなったのに対して、「0t-900」「0t-1250」区では対照区と比べ 1 日遅く、「0t-0」区で 2 日遅くなった。また、H30 年では「0t-1250」, 堆肥 2t 区, 「4t-0」「4t-900」区で対照区と比べ 1 日早く、「4t-1250」区で 2 日早くなった(第 7 表)

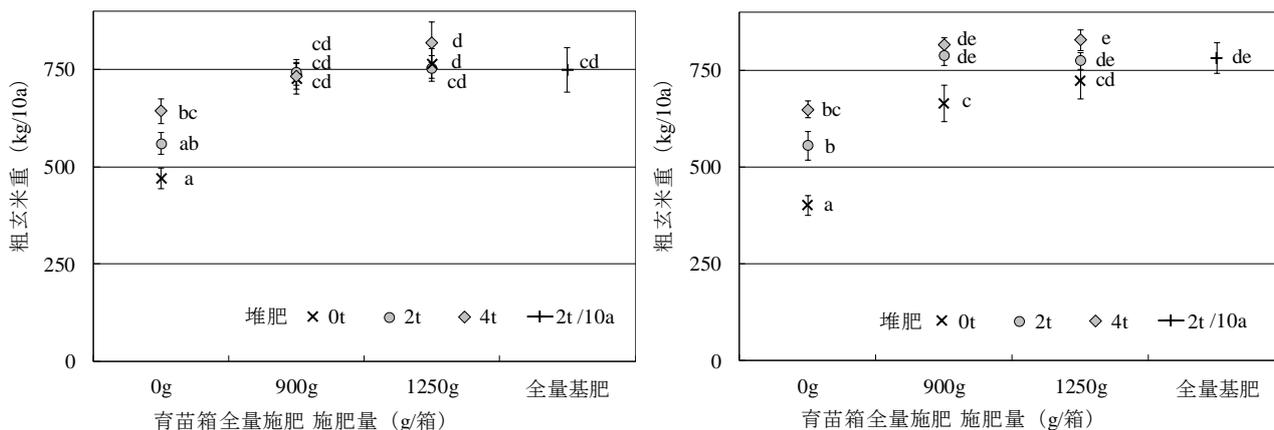
収穫は、H29 年は 10 月 12 日, H30 年は 10 月 9 日に実施した。収量(粗玄米重)については、専用肥料の施肥量 0g 区では、H29 年の堆肥 4t 区を除き対照区よりも有意に低くなった。一方、施肥量 900g 区では、H30 年の「0-900」区を除き対照区と有意な差はみられず、施肥量 1250g 区は、すべての区で対照区と有意な差はみられなかった(第 1 図)。

わら重、粗粒重および収量構成要素については、わら重では対照区の慣行栽培が最も大きく、H29,30 年とも「4t-900」「4t-1250」が対照区と同等であった。粗粒重は、専用肥料の施肥量 0g 以外は対照区と差がなかった。千粒重は、各区で差はみられなかった。また、㎡当たり粒数は、堆肥の施肥量が同じ区の場合、専用肥料の施肥量 0g が明らかに少ないが、施肥量 900g 区と 1250g 区では差がみられなかった。一方、対照区と比較すると、H29 年では「2t-1250」「4t-900」「4t-1250」区で有意な差はなく、H30 年では「2t-900」「2t-1250」「4t-900」「4t-1250」区で有意な差はなかった(第 8 表)。

第7表 堆肥の施用量および施肥量が生育に及ぼす影響 (上: H29年, 下: H30年)

年次	試験区名	7月26日			出穂期	9月28日			有効茎歩合 %
		草丈 cm	茎数 本/m ²	出穂期		稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	
H29	0t-0	57.0 a	195 a	8/24	63.5 a	19.5 ab	174 a	89.3 ab	
	0t-900	59.6 ab	255 bc	8/23	74.5 b	20.5 ab	249 bd	97.9 b	
	0t-1250	61.0 ab	235 ab	8/23	79.5 bd	21.3 b	233 bc	99.2 b	
	対照区	73.9 de	344 e	8/22	85.3 d	20.7 ab	299 d	86.8 a	
	2t-0	63.8 bc	249 b	8/22	67.7 a	19.0 a	205 ab	82.5 a	
	2t-900	68.5 cd	243 ab	8/21	75.9 bc	20.5 ab	236 bc	97.3 b	
	2t-1250	69.5 d	278 bcd	8/21	79.3 bd	20.1 ab	261 cd	93.6 ab	
	4t-0	68.6 cd	258 bc	8/22	74.8 b	19.5 ab	231 bc	89.9 ab	
	4t-900	73.6 de	306 ce	8/20	82.0 cd	20.0 ab	279 cd	91.3 ab	
4t-1250	76.0 e	317 de	8/20	84.8 d	21.1 b	283 cd	89.4 ab		
年次	試験区名	7月31日			出穂期	10月2日			有効茎歩合 %
		草丈 cm	茎数 本/m ²	出穂期		稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	
H30	0t-0	59.4 a	248 a	8/23	57.1 a	18.1 a	194 a	78.0 ab	
	0t-900	65.3 b	325 bcd	8/23	67.9 bc	19.4 ac	248 bc	76.3 ab	
	0t-1250	65.1 b	304 ac	8/22	71.6 cd	20.6 c	238 ac	78.4 ab	
	対照区	76.1 ce	405 ef	8/23	78.1 d	20.3 c	327 df	80.9 b	
	2t-0	65.1 b	294 ab	8/22	62.2 ab	18.9 ab	221 ab	75.2 ab	
	2t-900	71.7 c	377 ce	8/22	72.6 cd	20.0 bc	310 de	82.1 b	
	2t-1250	73.6 cd	397 def	8/22	73.1 cd	20.0 bc	323 df	81.4 b	
	4t-0	71.6 c	415 ef	8/22	68.9 bc	18.7 ab	279 cd	67.3 a	
	4t-900	77.5 de	471 f	8/22	77.7 d	19.7 bc	361 f	76.7 ab	
4t-1250	79.1 e	445 ef	8/21	77.9 d	20.3 c	334 ef	75.1 ab		

※ 表中の同年, 同列の異符号間で, Tukey検定の5%水準で有意差が認められることを示す。以下同じ。



第1図 堆肥の施用量および施肥量が粗玄米重に及ぼす影響 (左: H29年, 右: H30年)

※ 図中の同年, 同列内の異符号間で, Tukey検定の5%水準で有意差が認められることを示す。エラーバーは標準偏差を表す

第8表 わら重, 粗粒重および収量構成要素 (左: H29年, 右: H30年)

試験区名	わら重 kg/10a	粗粒重 kg/10a	千粒重 g	粒数 ×100/m ²	登熟歩合 %
0t-0	460 a	490 a	25.7 a	171 a	87.4 c
0t-900	642 c	809 c	25.6 a	291 bc	81.6 bc
0t-1250	680 cd	873 cd	26.1 a	290 bc	78.6 ac
対照区	763 e	949 de	26.8 a	368 d	68.6 ab
2t-0	562 b	685 b	26.0 a	228 ab	87.4 c
2t-900	696 cd	971 de	25.8 a	367 d	78.6 ac
2t-1250	672 cd	950 de	25.7 a	359 cd	66.6 ab
4t-0	644 c	785 bc	26.1 a	270 b	83.4 bc
4t-900	738 de	1,003 e	26.1 a	400 d	69.9 ac
4t-1250	745 de	1,015 e	26.0 a	387 d	63.0 a
試験区名	わら重 kg/10a	粗粒重 kg/10a	千粒重 g	粒数 ×100/m ²	登熟歩合 %
0t-0	365 a	563 a	25.5 ab	201 a	76.7 c
0t-900	552 cd	864 cd	26.2 b	338 bc	73.8 bc
0t-1250	579 de	918 d	26.3 b	319 bc	69.3 ac
対照区	659 e	904 d	25.6 ab	368 cd	61.4 ac
2t-0	409 ab	663 ab	24.7 a	273 ab	67.8 ac
2t-900	541 cd	878 d	25.3 ab	337 bc	63.4 ac
2t-1250	560 cd	890 d	25.6 ab	360 cd	55.7 a
4t-0	484 bc	756 bc	25.8 b	294 bc	73.8 bc
4t-900	576 ce	890 d	25.6 ab	372 cd	58.0 ab
4t-1250	608 de	966 d	25.9 b	420 d	62.8 ac

3 生産コストの試算

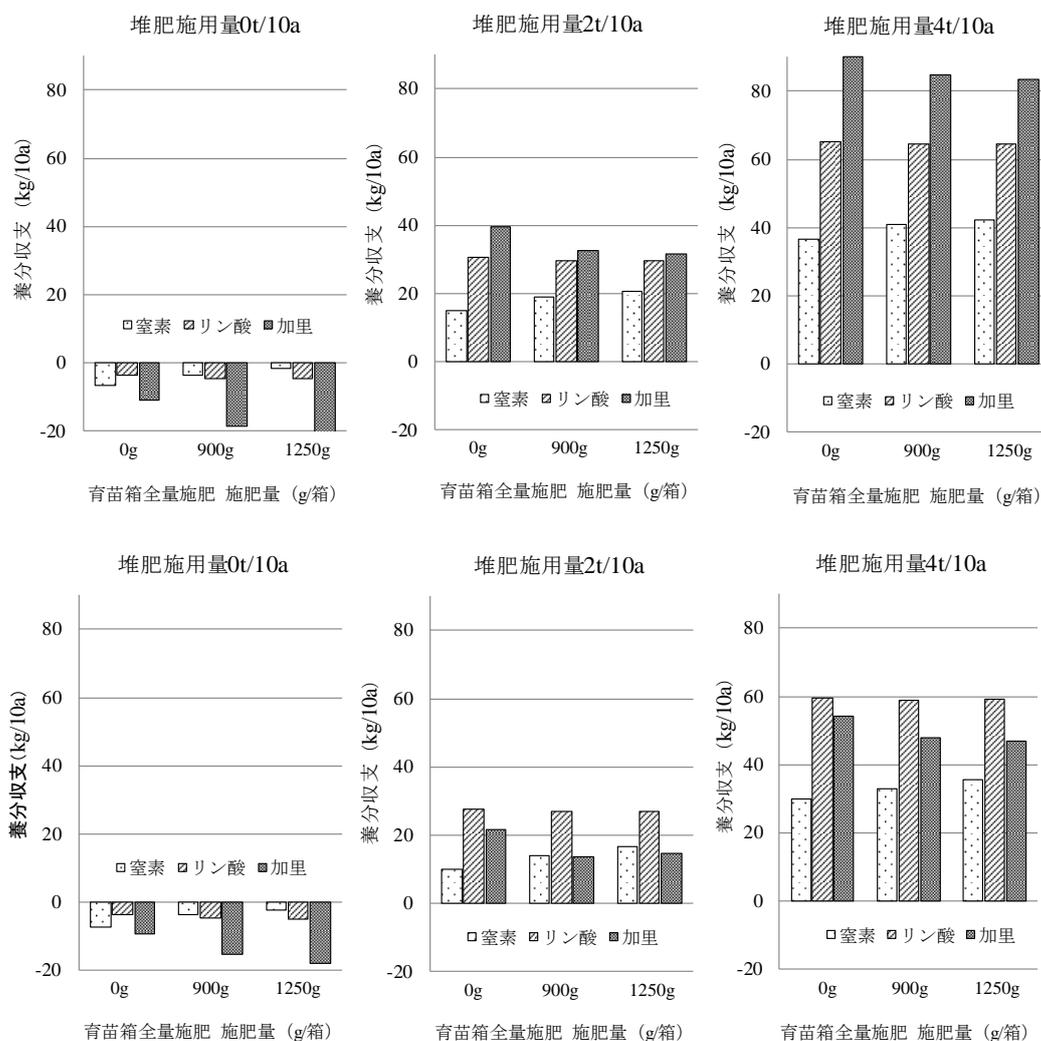
生産コストは、H29,30年の2年間、収量（粗玄米重）で対照区と有意差がない「2t-900」「2t-1250」「4t-900」「4t-1250」区で比較した。粗玄米重60kg当たりの施肥コストは対照区（堆肥2t+全量基肥：窒素11kg/10a）に

比べ、堆肥2t+施肥900g/箱で約84%、堆肥2t+施肥1250g/箱で約87%に抑えられた。一方、堆肥4t/10a施用では、堆肥自体の価格が16,000円/10aとなり、当然コストや散布労力が大きくなった（第9表）。

第9表 生産コストの試算

試験区名	施用量 (堆肥+肥料)	堆肥代 ^{※1} (/10a)	肥料代 ^{※2} (/10a)	散布代 ^{※3} (/10a)	施肥コスト 合計(/10a)	単収 ^{※4} (/10a)	コスト/ 生産量 (/60kg)	比率 (対照区を 100とする)
対照区	堆肥2t+全量基肥N10kg	8,000円	5,960円	2,370円	16,330円	760kg	1,289円	100
2t-900	堆肥2t+施肥900g/箱	8,000円	3,965円	1,185円	13,150円	731kg	1,079円	84
2t-1250	堆肥2t+施肥1250g/箱	8,000円	5,508円	1,185円	14,693円	722kg	1,123円	87
4t-900	堆肥4t+施肥900g/箱	16,000円	3,965円	2,370円	22,335円	735kg	1,823円	141
4t-1250	堆肥4t+施肥1250g/箱	16,000円	5,508円	2,370円	23,878円	778kg	1,841円	143

- ※1 堆肥代は、JA堆肥センター等一般的な販売額を4,000円/tとして計上
- ※2 肥料代（2018年4月 JA末端販売価格）
 - ・飼料用専用LPコート入り複合2566-DE65 2,711円/20kg袋
 - ・育苗箱全量施肥専用肥料 N400-120 2,203円/10kg袋
- ※3 作業賃金（散布代）は、熊本県菊池管内集落営農法人の平均的単価1,185円/回/10a（堆肥4tは、2t×2回分）
- ※4 単収（粗玄米重）は、H29,30年（2年間）の平均値



第2図 育苗箱全量施肥の施肥量および堆肥施用量と養分収支（上：H29年，下：H30年）

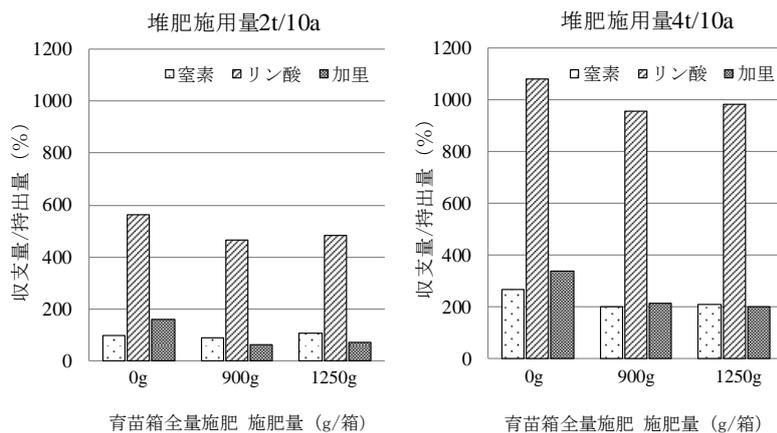
4 作物体養分吸収および土壌化学性

H29,30年の2年間、飼料用米の育苗箱全量施肥栽培で、堆肥を施用しないと土壌の養分収支が窒素、リン酸および加里いずれもマイナスとなったが、堆肥を施用することでプラスとなり、堆肥の施肥量が多いほど窒素、リン酸および加里いずれもプラス幅は大きくなった(第2図)。

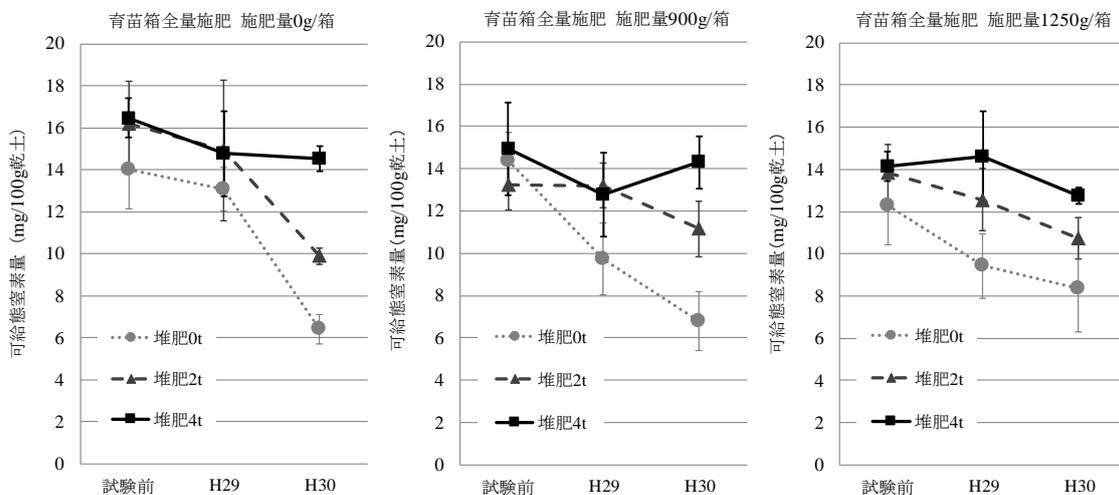
一方、牛ふん堆肥の投入量について2t施用と4t施用を比較すると、H30年において、2t施用では窒素で年間持出量の90~110%、リン酸で470~560%、加里で60~160%が収支で残り、4t施用では窒素で年間持出量の200

~270%、リン酸で950~1080%、加里で200~340%が収支で残る(第3図)。

第4図に試料用米栽培跡地土壌の可給態窒素量の推移を示した。各試験区土壌の可給態窒素量を試験前(H28)~H30年の3年間でみると、育苗箱全量施肥の施肥量に関わらず、堆肥を施用しないと可給態窒素量は年々低下するが、堆肥2t/10a以上の施用で経年変化が小さくなり、低下が抑えられた。また、堆肥の施肥量を2t/10aから4t/10aにすると低下量は小さくなった。



第3図 肥料成分の収支量/持出量 (H30年)



第4図 堆肥の施肥量の違いと栽培跡地土壌の可給態窒素量の推移 (試験前: H28~30年)

※ エラーバーは標準偏差を表す

IV 考察

1 移植苗の苗質

西南暖地における普通期水稻の育苗箱全量施肥栽培では、苗の徒長やルートマット形成が弱い⁵⁾ことが普及の妨げとなっているが、遮根処理をすることによりそれらを改善できることを明らかにし、主食用米を中心に省力および低コスト技術として推進している。

苗質の参考値として、苗丈は10~25cm、ルートマット強度は1.8N/cm以上を機械移植作業に適する目安としている¹³⁾。苗丈は国内各農機メーカーの田植機設定値である10cm以上であれば機械移植作業は可能であるが、苗丈が小さいほど高度な均平や浅水管理が要求され、スクミリンゴガイの被害軽減も考慮すると、苗丈はある程度大きい方が望ましいと考えられる。一方、25cm以上にな

ると田植機の苗送り部で苗が引っかかるため、苗丈 20cm 前後が適度な高さであると思われる。施肥苗は慣行苗と比べて生育が早く、播種後 20 日で機械移植作業に適した高さに達しており、いずれの試験区でも適度な高さであった。

ルートマット強度 1.8N/cm は、苗自身の重量に耐えられる必要強度であり、苗取りボードなしで両手持ちしても崩れない程度の強度である。H29 年は箱底施肥であり、すべての施肥苗でルートマット強度は 1.8N/cm を超え、機械移植作業に支障のない強度であったが、H30 年は層状施肥であったため、施肥 1250g/箱ではルートマット強度が 1.8N/cm よりも低い値を示し、根量も慣行苗より少なかった。なお、この苗は実際の移植作業において両手持ちできるものであり、機械移植作業の許容範囲だったが、苗質にムラがあったと思われるため、施肥量 1000g 以上では箱底施肥が望ましいと考えられる。

これらの結果から、本研究で用いた多収品種「夢あおば」において育苗箱全量施肥栽培した場合、畑を苗床とし、遮根処理をすることにより、20 日間の育苗期間で慣行苗（育苗期間 30 日）と同等以上の苗丈およびルートマット強度が確保できるが、施肥量が 1000g/箱を超える場合は、箱底施肥を条件にする必要があると考えられる。さらに、施肥苗の苗丈は 15~17cm で機械移植作業できる範囲に収まっており、慣行苗よりも 2cm 程度高いことはスクミリンゴガイの被害軽減の観点からは有利であると思われ、西南暖地の「夢あおば」の育苗箱全量施肥栽培においても、機械移植作業に支障のない苗を得られると考えられた。

2 生育および収量

牛ふん堆肥の施用量と育苗箱全量施肥の施肥量との組み合わせによる効果をみると、施肥 0g/箱は H29 年では堆肥 4t 施用区を除き、H30 年では堆肥を 4t/10a 施用しても粗玄米重は有意に低くなった。そのため、以後は施肥 900g/箱と施肥 1250g/箱の場合について比較して述べることにする。

最高分けつ期頃の草丈の比較では、堆肥 2t 区では施肥量 900g/箱以上で、堆肥 4t 区はすべての区で対照区の慣行栽培（堆肥 2t+全量基肥：窒素 11kg/10a）と比べ有意な差はなかった。また、同時期の茎数の比較では、H29 年では対照区が最も大きく、「4t-900」区以上で対照区と同等だったが、H30 年では「2t-900」区以上で対照区と同等だった。なお、出穂期は、堆肥の施用量や専用肥料の施肥量の増加に伴い、早くなる傾向がみられた。

専用肥料の施肥量 900g/箱を基準に 2 年間を比較すると、「0t-900」区では前年より大きく減収したが、「2t-900」

「4t-900」区では前年と同等の収量を得られた。一方、堆肥の施用量 2t/10a を基準に比較すると、堆肥を施用しないと前年に比べ減収したが、「2t-900」「2t-1250」区では、前年に比べ低下せず、対照区と同等の収量を得られた。

千粒重は、各区で差はみられなかった。m²当たり粒数は、堆肥の施用量が同じ区の場合、専用肥料の施肥量 900g 区と 1250g 区では有意な差はみられなかった。一方、登熟歩合は、堆肥の施用量が同じ区の場合、専用肥料の施肥量が少ない方が高かった。登熟の低下を招いた理由として、肥料成分の過多によって粒数が多くなり、不稔粒や未熟粒の発生が増えることで減収したと考えられ、堆肥 4t 区では面積当たりの粒数が多くなり過ぎて増収に結び付かなかったと思われる。専用肥料の施肥量の違いを比較すると、堆肥 0t 区を除き施肥量 900g 区と 1250g 区で収量に大きな差がないことが分かった。ただし、収穫期に堆肥 4t 施用区で H29,30 年とも紋枯病の発生を遠視で確認しており、堆肥 4t/10a 施用では紋枯病など病虫害の発生を助長する危険性もあり、増収につながらない可能性が考えられた。

3 生産コストの試算

生産コストは、資材費を抑えなおかつ作業労賃も減るため、大規模経営においてはより大きなメリットがある。よって、収量が同等程度であれば、省力化と併せて多収品種での導入効果は十分あると思われる。また、生産効率からすると、生産量当たりの施肥コストが最も小さい堆肥 2t/10a+施肥量 900g/箱で費用対効果が最も高いと考えられた。

4 作物体養分吸収および土壌化学性

養分収支で、窒素成分のみの育苗箱全量施肥だけでは、堆肥を投入しないとリン酸および加里の不足を補えないだけでなく、窒素も不足していることが明らかになった。堆肥を施用せずに専用肥料を 1250g/箱施用した場合には対照と同等の収量を得られ、堆肥分のコストも低くなると考えられるが、養分収支がマイナスになること、可給態窒素の低下がみられることから、専用肥料だけでは持続的な安定生産は望めないと考えられる。

一方、牛ふん堆肥の投入量について、4t 施用では窒素で年間持出量の 2~2.7 倍、リン酸で 9.5~10.8 倍、加里で 2 倍~3.4 倍が圃場に残るため、過剰な施用になっていると考えられる。

栽培跡地土壌の可給態窒素量については、堆肥 0t 区では年々減少しており、地力窒素が低下する影響は経年で大きくなっている。一方、堆肥 2t 以上の区では、可給態

窒素量の減少幅は小さくなり、堆肥 2t 施用でも 10mg/100g 乾土程度を維持している。農林水産省が公表している地力増進基本指針¹⁴⁾によれば、水田の基本的な改善目標として可給態窒素含有量は乾土 100g 当たり窒素として 8mg 以上 20mg 以下とされており、今回の結果はこの範囲に入っていた。また、堆肥などの有機質資材を施用して地力窒素を維持、向上させることは大切だが、地力窒素が必要以上に高まると作物への窒素供給の調節が難しくなり、過繁茂や倒伏などを生じ、病害虫の発生を助長させる可能性もある。このため、リン酸および加里の蓄積と地力窒素の多少に応じた堆肥の施用を考えると、牛ふん堆肥 4t/10a 施用は過剰であると思われる、耕種基準 1~2t/10a の施用が妥当であると考えられた。

以上のことから、飼料用米の多収品種を用いた育苗箱全量施肥栽培において、専用肥料 1 箱当たり 900g (10a 当たり窒素 7.2kg 相当) を施肥し、牛ふん堆肥 10a 当たり 2t を施用することで、飼料用米でも持続可能な安定生産が可能になると結論付けた。

V 引用文献

- 1) 松村正哉 (2017) : 「ウンカ防除ハンドブック」. 農文協, 71.
- 2) 郡司掛則昭 (1997) : 育苗箱窒素全量施用による水稲「ヒノヒカリ」の中苗移植栽培法. 熊本県農業研究センター 農業の新しい技術, No. 355.
- 3) 金田吉弘・栗崎弘利・村井 隆 (1994) : 肥効調節型肥料による育苗箱全量施肥法 第 1 報 肥効調節型肥料の層状施肥. 東北農業研究, 47, 115-116.
- 4) 金田吉弘 (1995) : 被覆尿素を用いた水稲育苗箱全量施肥技術-環境保全型施肥技術の新展開-. 農業と科学, 第 446 号, 2-7.
- 5) 荒木雅登・兼子 明・井上恵子・末信真二 (1999) : 暖地の普通期水稲における被覆尿素による育苗箱全量施肥の実用性. 福岡県農業総合試験場研究報告, 18, 17-20.
- 6) 松森 信 (2014) : 水稲育苗箱全量施肥栽培の苗質は水田苗床育苗の場合に遮根処理で改善する. 熊本県農業研究センター 農業の新しい技術, No.672.
- 7) 吉永悟志 (2017) : 飼料用イネの低コスト・多収栽培技術. 日本草地学会誌, 63 (1), 34-37.
- 8) ジェイカムアグリ株式会社 (2014) : 「図解『苗箱まかせ®』を使いこなすためのハンドブック (東北版)」, ジェイカムアグリ株式会社.
- 9) 西尾道徳・藤原俊六郎・菅家文左衛門 (1999) : 「有機物をどう使いこなすか」. 農文協, 95-98.
- 10) 農耕地土壌分類委員会 (1995) : 農耕地土壌分類 第 3 次改訂版. 農業環境技術研究所資料, 17, 18-55.
- 11) 土壤環境分析法編集委員会 (1997) : 「土壤環境分析法」, 博友社.
- 12) 飼料用米生産コスト低減推進チーム (2020) : 「飼料用米生産コスト低減マニュアル」, 農林水産省, 13 【参考】多収によるコスト削減効果試算.
- 13) 柿内俊輔 (2016) : 水稲育苗箱全量施肥での中苗遮根処理育苗における育苗条件と苗ルートマット強度の関係. 熊本県農業研究センター農業研究成果情報, No.731.
- 14) 農林水産省 (2008) : 地力増進基本指針. 農林水産省, II 第 1 1.

Summary

Effects of Applying Cattle Manure Compost as a Single Application of Fertilizer in Nursery Boxes for Feed Rice

Yutaka SHIBAYAMA, Shunsuke KAKIUCHI, and Koujiro MITSUGI

(Agro-environmental Research Institute)

Recently, large-scale management bodies are being cultivated at paddy field production sites, as the production of newly demanded types of rice such as feed rice (which is expected to generate stable income) is increasing due to the decline in rice prices caused by the decrease in consumers' rice consumption. In order to stabilize the management of large-scale management bodies, the introduction of labor-saving and low-cost cultivation technologies is necessary. Labor saving in fertilization can be realized if a single application of fertilizer in nursery boxes (which are gradually becoming more common in the production of main food rice) can be used in the production of feed rice. However, feed rice has higher nutrient absorption than main food rice and requires high fertilizer cultivation, and since the special fertilizer for feed rice contains only nitrogen components, there is concern about a lack of phosphoric acid and potassium and the deterioration of soil fertility. We speculated that it would be effective to combine the fertilizer with cattle manure compost application to address this problem. We conducted a test to determine the appropriate amount of a single application of fertilizer in a nursery box and the appropriate amount of cattle manure compost that can stably produce feed rice, using the high-yielding cultivar 'Yumeaoba', which is the mainstream feed rice

cultivar. The results indicated that the maximum amount of fertilizer applied to the entire nursery box was 1250 g/box, and seedling quality could be obtained that did not interfere with mechanical transplantation, which is indispensable for labor saving. The yield decreased from the previous year if no compost was applied, but the same level of yield as the previous year could be secured by applying compost at the amount ≥ 2 t/10a. However, the yield was the same even when the special fertilizer was increased from 900 g/box (nitrogen 7.2 kg/10a) to 1250 g/box (nitrogen 10 kg/10a). In the trial calculation of production costs, when the cattle manure compost at 2 t/10a and the special fertilizer at 900 g/box were applied in combination, the fertilizer application cost per production amount was reduced by approx.16% compared to the conventional total basal fertilizer application. Thus, the combination was the most cost-effective method. The nutrient balance was negative for nitrogen, phosphoric acid, and potassium at 0 t/10a compost but was positive when the compost was applied at ≥ 2 t/10a. On the other hand, the amount of available nitrogen in the soil after cultivation decreased every year without the application of compost, but when compost was applied at ≥ 2 t/10a, the amount of decrease was suppressed in accord with the amount of compost applied. These results demonstrated that a single application of fertilizer in a nursery box of the feed rice cultivar 'Yumeaoba', provided stabilized growth and yield with the application of 900 g/box of special fertilizer and 2 t/10a of cattle manure compost as the whole fertilizer cultivation, and the most labor-saving and lowered-cost effects are obtained.

Key words: single application of fertilizer in nursery box, feed rice, cattle manure compost, labor saving, low-cost effect, available nitrogen