

## 東北地域における多収性水稻品種「いわいだわら」の収量と 玄米タンパク質含有率に及ぼす豚ふん堆肥施用と窒素施用法の影響

大平 陽一<sup>\*1)</sup>・西田 瑞彦<sup>\*1)</sup>・福重 直輝<sup>\*1)</sup>・持田 秀之<sup>\*2)</sup>・石川 洋<sup>\*3)</sup>  
勝部 忠志<sup>\*3)</sup>・斎藤 真二<sup>\*4)</sup>・菊池 公一<sup>\*4)</sup>・小野 洋<sup>\*5)</sup>・白土 宏之<sup>\*1)</sup>  
伊藤 景子<sup>\*1)</sup>

**抄 録**：東北中南部の飼料用米生産に適した多収性水稻品種として「いわいだわら」が育成された。

本研究では、耕畜連携によって豚ふん堆肥（以下、堆肥）を活用する場面において、堆肥の肥効と、「いわいだわら」の収量・玄米タンパク質含有率を効果的に高める窒素施用法を検討した。「いわいだわら」と既存の多収品種「ふくひびき」を秋田県大仙市で5月下旬～6月上旬に移植栽培すると、4月下旬施用した堆肥の肥効が移植後1カ月過ぎから水稻の生育に現れ、幼穂形成期にかけて莖数、草丈、葉色を高めた。「いわいだわら」では、堆肥0.8～1.6t 10a<sup>-1</sup>施用により、粗玄米重が堆肥・窒素無施用処理よりも176～245kg 10a<sup>-1</sup>高くなった。また、基肥窒素を施用しなくても、生育中期からの堆肥の肥効および窒素施用によりシンク容量が「ふくひびき」より高まりやすく、穂揃い期の窒素追肥（実肥）で登熟歩合や粗玄米重が向上した。一方、「ふくひびき」は、堆肥施用の有無にかかわらず基肥窒素量を高めないと収量が高まらない傾向にあり、また、実肥は粗玄米重の増加に寄与しなかった。「いわいだわら」では、玄米タンパク質含有率（乾物）は堆肥0.8t 10a<sup>-1</sup>を施用しても無施用との差はほとんどなく、1.6t 10a<sup>-1</sup>施用で0.6～1.2ポイント増加した。「いわいだわら」では、「堆肥＋実肥」あるいは「堆肥＋穂肥＋実肥」の体系により、堆肥無施用で「基肥＋穂肥」の慣行窒素施用体系と同等以上の粗玄米重（737～905kg 10a<sup>-1</sup>）および慣行より高い玄米タンパク質含有率（7.8～9.3%）の両立が可能であった。豚ふん堆肥はリン酸の含有率が高いことから、今後は土壤養分維持の観点も含めた最適な堆肥施用量と窒素施用量の判断技術が必要と考えられた。

**キーワード**：いわいだわら、耕畜連携、飼料用米、水稻、多収、タンパク質含有率、窒素施用、豚ふん堆肥

**Effect of Swine Compost Application and the Nitrogen Application Method on Grain Yield and Protein Content in Brown Rice of the High-Yielding Rice Cultivar 'Iwaidawara' in the Tohoku Region**: Youichi OHDAIRA<sup>\*1)</sup>, Mizuhiko NISHIDA<sup>\*1)</sup>, Naoki FUKUJYU<sup>\*1)</sup>, Hideyuki MOCHIDA<sup>\*2)</sup>, Hiroshi ISHIKAWA<sup>\*3)</sup>, Tadashi KATSUBE<sup>\*3)</sup>, Shinji SAITOH<sup>\*4)</sup>, Kouichi KIKUCHI<sup>\*4)</sup>, Hiroshi ONO<sup>\*5)</sup>, Hiroyuki SHIRATSUCHI<sup>\*1)</sup> and Keiko ITO<sup>\*1)</sup>

**Abstract**: "Iwaidawara" is a recently developed high-yielding rice cultivar suitable for rice feed grain bred in the middle and southern parts of the Tohoku region. In order to fully demonstrate the potential of "Iwaidawara" when utilizing swine compost in cooperation with livestock farmers, we examined the fertilizing effect of swine compost and the nitrogen fertilizer application method, which effectively provides high yield and protein content of rice grain. When "Iwaidawara" and "Fukuhibiki" (a high-yielding cultivar been popular in cold regions) were transplanted in late May to early June in Daisen City, Akita Prefecture, the fertilizing effect of swine compost began to appear more than a month after

\* 1) 農研機構東北農業研究センター (Tohoku Agricultural Research Center, NARO, Daisen, Akita 014-0102, Japan)  
\* 2) 現・農研機構生物系特定産業技術研究支援センター (Bio-oriented Technology Research Advancement Institution, NARO, Saitama, Saitama 331-8537, Japan)  
\* 3) 元・一関市北部農業技術開発センター (Ichinoseki City Hokubu Farming Technique Development Center, Ichinoseki, Iwate 029-0523, Japan)  
\* 4) 株式会社フリーデン (Frieden Co., LTD., Hiratsuka, Kanagawa 259-1201, Japan)  
\* 5) 現・日本大学 (Nihon University, Fujisawa, Kanagawa 252-0880, Japan)  
2017年5月25日受付、2017年8月28日受理

transplanting and increased the number of stems, plant height, and leaf color through the panicle formation stage. The grain yields of "Iwaidawara" under the application of 0.8 to 1.6 t 10a<sup>-1</sup> of swine compost increased 176 to 245 kg 10a<sup>-1</sup> compared to "Iwaidawara" without swine compost and nitrogen application. In "Iwaidawara", the fertilizing effect of swine compost and/or a topdressing of nitrogen fertilization from the middle growth stage was found to provide larger sink capacity than that of "Fukuhibiki" without basal nitrogen fertilization. In addition, nitrogen application at the full heading stage (NAF) increased the percentage of ripened grains in addition to grain yield. On the other hand, in "Fukuhibiki", grain yield tended to be low except under high basal nitrogen fertilization, regardless of the application of swine compost. In addition, NAF did not contribute to any increase in grain weight. The protein content of rice grain under the 0.8 t 10a<sup>-1</sup> swine compost treatment did not differ from that under no swine compost treatment in either cultivar, while that in rice grain under the 1.6 t 10a<sup>-1</sup> swine compost treatment was increased 0.6 to 1.2 points compared to that under no swine compost treatment. In "Iwaidawara", under "swine compost + NAF" or "swine compost + nitrogen application at the panicle formation stage (NAP) + NAF", it was possible to obtain high grain yields (737 to 905 kg 10a<sup>-1</sup>) equal to or greater than those obtained under the traditional system (no swine compost, basal nitrogen fertilization + NAP), as well as higher protein content in rice grain (7.8 to 9.3%) than that under the traditional system. Given the high content of phosphoric acid in swine compost, the optimal amount of swine compost and nitrogen must be determined in the near future with an eye to maintaining appropriate soil nutrients.

**Key Words** : Iwaidawara, Cooperation between arable and livestock farming operations, Forage rice, *Oryza Sativa* L, High yielding, Protein contents, Nitrogen fertilization, Swine compost

## I 緒 言

近年、主食用米の需要は減少を続けており、米の生産量が需要を上回って米価が下落し、水稻生産農家の経営に大きな影響を及ぼしている（農林水産省 2016a）。また、単に稲の作付けを行わない生産調整や耕作放棄は国土の有効利用の観点に沿わず、また景観や水源の涵養といった水田の多面的機能の消失につながる。こうした日本の水稻作における諸問題への対応および食料自給率・飼料自給率の向上を目的として、水稻の玄米や粳、稲わらの飼料への利用、稲ホールクロップサイレージの利用が国策として進められてきた。特に、飼料用米は潜在的な需要が多く見込まれるとともに、水稻生産者にとっても主食用米生産から転換を図る上で取り組みが容易である。2015年3月31日に閣議決定された食料・農業・農村基本計画では、2025年の飼料用米の生産努力目標として110万t（2015年は約42万t）が掲げられ、行政の支援が拡充されつつある。

飼料用米の生産で高収量を得るためには、主食用品種ではなく専用の多収品種を作付けることが望ましい。これまでに、飼料用米向けの多収品種が育成されており（農研機構 2017）、総窒素施用量16kg

10a<sup>-1</sup>の極多肥栽培による収量ポテンシャルは、寒冷地では粗玄米重900kg 10a<sup>-1</sup>を超える（福罵ら 2009、大平ら 2012）。また、主食用米への飼料用米の混入を防ぐための方策がマニュアル（農林水産省 2016b、農研機構 2017）を通して広く周知されるとともに、多収品種の種子供給体制の強化が図られており、生産上の問題は少なくなっている。さらに、行政面では多収品種を利用することで12,000円 10a<sup>-1</sup>の産地交付金が配分されており、今後、多収品種の利用は一層高まることが想定される。

家畜への給与において、飼料用米は輸入トウモロコシの代替であることから、成分が輸入トウモロコシ並みになることが望ましい。タンパク質に着目すると、日本標準飼料成分表（2009年版、中央畜産会 2009）では、飼料用の玄米のタンパク質含有率は現物で7.5%（乾物で8.8%）とされ、トウモロコシの7.6%（乾物で8.9%）とほぼ同等である。しかし、同等とみなして配合設計を行った飼料の実際の分析値の具体例（農研機構 2017）では、玄米を70%配合した飼料のタンパク質含有率が12.2%（水分不明）に対して、対照のトウモロコシを用いた飼料では14.3%（水分不明）と1.9ポイントの差が生じた。その要因としては、トウモロコシは産地によって成

分が異なること、および玄米は施肥や品種により成分が異なることが推察されている（農研機構 2017）。勝俣ら（2013）は、日本各地の現場で生産された25点の飼料用米の分析を行い、乾物当たりのタンパク質含有率は、最大で12.2%、最小で6.9%であり、約5%の差があったことを報告している。例えば豚では、肥育後期に玄米を50～70%配合しても飼養成績に差は生じないことが確認されているが、離乳期・肥育前期のようなタンパク質要求量の高い時期では、玄米を配合した飼料のタンパク質含有率が要求量を満たしているか確認することが望ましいとされている（農研機構 2017）。このような飼料の自家配合を行う経営体では、タンパク質含有率の低い飼料用米を用いた場合、飼料のタンパク質量を補正するために価格の高い濃厚飼料の割合を増やすことになる。市販の配合飼料を用いる経営体では、玄米を配合すると、配合割合に応じて飼料のタンパク質含有率は低下する（小林ら 2010）。こうしたことから、飼料用米のタンパク質含有率を高めることが実需者から求められている。

近年、化学肥料の価格は高騰傾向にあり、飼料用米の生産コスト抑制のために化学肥料の施用量を抑制することが多かった。その結果、飼料用米品種の持つ収量ポテンシャルを十分に発揮させた事例は少なく、なおかつ飼料用として主食用品種が多く作付けされていることもあり、2012年・2013年における飼料用米の平均収量は $500\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ に満たず、主食用米の平均収量以下となっている（農林水産省 2016a）。また、窒素肥料の抑制条件下では米のタンパク質含有率は低くなり、飼料としての品質も低いことが推察される。2014年からは、飼料用米に対する助成金は収量に応じて交付されることになり、今後単収の増加は見込まれるが、化学肥料多施用による高コスト体質定着の危険がある。将来的に助成金への依存度を低下させ、飼料用米生産者と飼料用米を給与する畜産側の双方に利益を生み出すためには、質の高い飼料用米の多収を持続的に実現する技術の確立とその普及・定着が重要である。家畜排泄物由来の肥料を飼料用米生産に活用することは、化学肥料の使用を削減しながら多収を得るための有効な手段であるとともに、飼料用米生産→家畜への給与→家畜排泄物の飼料用米生産への利用という耕畜連携による循環型農業の構築につながる。これまでに、鶏糞を用いた飼料用米生産に関する報告は多々

なされている。一方、飼料用米の利用が鶏に次いで多い畜種である豚については、排泄物利用は現場で試行されているが（農研機構 2017）、詳細な試験区を設けた上で、豚ふん堆肥の肥効が収量性・玄米タンパク質含有率に及ぼす影響について窒素肥料の施用法との組み合わせを含めて詳細に検討した研究は少ない（Hayashi 2015）。

農研機構東北農業研究センターは、2013年に飼料用米の生産に適した寒冷地向けの多収品種「いわいだわら」を育成した（福寫ら 2014）。本品種は、東北地域で古くから多収を記録してきた「ふくひびき」（東ら 1994）と比較して、穂数は少ないが一穂粒数が多く、育成地である秋田県大仙市では「ふくひびき」並みの多収を示し、普及地域である岩手県南部では「ふくひびき」の収量を上回る（福寫ら 2014）。しかし、豚ふん堆肥と窒素施用法との組み合わせが「いわいだわら」の収量性・玄米タンパク質含有率に及ぼす影響は未解明である。本報告では、豚ふん堆肥を活用した「いわいだわら」向けの肥培管理技術構築を目指して、既存品種「ふくひびき」と比較しながら、豚ふん堆肥施用と窒素施用条件が「いわいだわら」の収量性・玄米タンパク質含有率に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

本研究の遂行に当たり、栽培管理や調査に当たっては、東北農業研究センターの佐藤寿氏、佐藤義弘氏ならびに業務第3科の諸氏と水田作研究領域水田作グループのスタッフにご協力をいただきました。記して感謝の意を表します。

## Ⅱ 材料と方法

2013～2015年に水稲品種「いわいだわら」（福寫ら 2014、旧系統名「奥羽409号」）と「ふくひびき」（東ら 1994）を東北農業研究センター大仙研究拠点内の水田（秋田県大仙市、北緯 $39^{\circ} 29'$ ・東経 $140^{\circ} 29'$ 、標高30m、細粒灰色低地土）で栽培した。水田土壌の特性として、全窒素：0.21～0.25%、全炭素：2.55～3.21%、可給態窒素：湿潤土10週： $6.4\sim 9.8\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ 、風乾土4週： $16.3\sim 19.3\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ 、pH：5.8～6.1、可給態リン酸：20.7～38.2mg- $\text{P}_2\text{O}_5$   $100\text{g}^{-1}$ であった（2014年の作付け前土壌の分析結果）。種子はイブコナゾール銅水和剤で消毒した後、浸種、催芽して水稲用育苗培土を詰めた育苗箱に5月1～8日に播種した（表1）。播



表1 作業日および出穂期

	2013年	2014年	2015年
堆肥施用	4月30日	4月24日	4月27日
苗箱播種	5月 6日	5月 1日	5月 8日
入水	5月22日	5月22日	5月27日
基肥・代かき	5月24日	5月23日	5月29日
移植	5月28日	5月27日	6月 2日
中干し開始	6月27日	6月25日	7月 3日
入水	7月 9日	7月 2日	7月10日
穂首分化期追肥	—	7月 3日	—
幼穂形成期追肥	7月13日	7月14日	7月14日
減数分裂期追肥	—	7月21日	—
穂ばらみ期追肥	—	7月27日	—
いわいだわら出穂期	8月 5日	8月 3日	8月 5日
ふくひびき出穂期	8月 7日	8月 4日	8月 8日
穂揃い期追肥	8月 7日	8月 5日	8月 8日

出穂期は、同一品種でも堆肥施用あるいは窒素施用処理によって1日程度前後し、表には平均日を示した。2014年と2015年の穂揃い期追肥と2015年の幼穂形成期追肥は、処理による出穂期の違いを考慮して1日前後させ、表には平均日を示した。

表2 豚ふん堆肥の性質

年次	水分 (%)	全窒素 (%)	全炭素 (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
2013	31.5	2.85	22.2	7.76	3.64
2014	32.1	2.60	23.1	6.88	2.43
2015	26.7	3.11	24.8	7.26	4.10

種量は乾粃で120～140g 箱<sup>-1</sup>とした。不完全葉を第1葉として計測した葉齢3.2～3.6の苗を5月27日～6月2日に手植えた(表1)。なお、この移植時期は、食用米の後に飼料用米を作付けする生産現場の実態に準じて設定した。いずれの年次も条間30cm、株間15cm、1株3本植えとした。豚ふん堆肥((株)フリーデン社製、大地くん)の施用は、いずれの年次も4月24～30日とし(表1)、施用当日もしくは翌日に耕起して堆肥を土壌に混和した。また、堆肥無施用処理も同日に耕起した。用いた堆肥の水分は26.7～32.1%、全窒素含有率は2.6～3.1%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>は6.9～7.8%、K<sub>2</sub>Oは2.4～4.1%であった(表2)。以下、堆肥の量は現物を示す。2013年は、堆肥0.8t 10a<sup>-1</sup>施用(1年目)と無施用の2処理を設けた。2014年は、堆肥0.8t 10a<sup>-1</sup>施用(2年目)と1.6t 10a<sup>-1</sup>施用(1年目)および無施用の3処理を設けた。2015年は、堆肥0.8t 10a<sup>-1</sup>施用(3年目)と堆肥1.6t 10a<sup>-1</sup>施用(2年目)および無施用の3処理を設けた。堆肥と化学肥料の施用量、施用時期

を表3に示す。2013年は11処理、2014年は16処理、2015年は10処理を設けた。また、表3中の各年次の最上段は慣行窒素施用体系とみなした。基肥でN、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>Oの数値が同じ場合は複合肥料(くみあい硫加磷安11号)を用い、異なる場合は硫安、PK複合肥料(くみあいPK40号)を用いた。また、追肥は全て硫安を用いた。基肥は代かき直前に施用した。雑草防除、病虫害防除は慣行の方法にしたがった。中干しは表1に示す日に行った。試験区は12～19m<sup>2</sup>とし、堆肥施用を主区、品種と施肥を副区として2反復の分割ブロック法で配置した。

生育期間中、適宜、1試験区当たり7株について茎数、草丈を調査するとともに、出穂前は第2葉、出穂後は止葉の葉色を葉緑素計(コニカミノルタ社、SPAD-502)で測定した。また、出穂後約20日目に稈長を調査した。出穂後の積算気温1013～1149℃・日に1試験区当たり2.2m<sup>2</sup>の稲株を刈り取り、収量と収量構成要素を楠田(1995)に準じて調査した。なお、本報告では粒厚1.8mm以上の玄米について千粒重を調査するとともに、千粒重と粗玄米重は水分15%換算値として表示した。登熟歩合は、比重1.06の塩水で粃を選別した後、粒数を計数して算出した。シンクサイズを検討するためにシンク容量(=千粒重/1000×m<sup>2</sup>当たり粒数)を算出した。「いわいだわら」について、幼穂形成期と出穂期に1試験区当たり10株を抜き取り、80℃で3日以上乾燥した後、重量を測定してm<sup>2</sup>当たりの乾物重を算出した。また、2株を粉碎機(CMT社、TI-100)で粉碎し、80℃で3日以上乾燥した後、元素分析装置(エレメンタル社、vario MAX CN)で燃焼法によって稲体の窒素含有率を測定した。窒素吸収量は稲体の窒素含有率にm<sup>2</sup>当たりの乾物重を乗じて算出した。2013年と2014年は、上記と同様に成熟期の窒素吸収量を調査した。2015年は、収量調査の脱穀後のワラと粃を粉碎機(CMT社、TI-100)で粉碎し、80℃で3日以上乾燥した後、元素分析装置(エレメンタル社、vario MAX CN)でそれぞれの窒素含有率を測定し、ワラと粃それぞれのm<sup>2</sup>当たりの乾物重に乘じて成熟期の窒素吸収量を算出した。

玄米タンパク質含有率は、非破壊による透過型近赤外分析装置(フォス・ジャパン社、Infratec 1241 Grain Analyzer)で測定した。測定値である乾物当たりのタンパク質含有率を玄米のタンパク質換算係数5.95(文部科学省 2015)で除した後、飼料のタ

表 3 化学肥料の施用処理

年次	堆肥 (t 10a <sup>-1</sup> )	基肥			幼穂形成期 (kgN 10a <sup>-1</sup> )	穂揃い期 (kgN 10a <sup>-1</sup> )	窒素施用 処理の表記
		N (kgN 10a <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kgN 10a <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (kgN 10a <sup>-1</sup> )			
2013	無	6	6	6	2	—	6-2-0
		—	6	6	—	—	0-0-0
		—	6	6	—	4	0-0-4
		—	6	6	2	—	0-2-0
		—	6	6	2	4	0-2-4
	0.8	—	—	—	—	—	0-0-0
		—	—	—	—	4	0-0-4
		—	—	—	3	—	0-3-0
		—	—	—	3	4	0-3-4
		—	—	—	6	—	0-6-0
		—	—	—	6	4	0-6-4
	1.6	—	—	—	—	—	0-0-0
		—	—	—	—	—	0-0-0
		—	—	—	—	—	0-0-0
		—	—	—	—	—	0-0-0
		—	—	—	—	—	0-0-0
		—	—	—	—	—	0-0-0
2014	無	6	6	6	4	—	6-4-0
		—	6	6	—	—	0-0-0
		4	6	6	—	—	4-0-0
		—	6	6	4	—	0-4-0
		—	6	6	—	4	0-0-4
	0.8	—	—	—	—	—	0-0-0
		4	—	—	—	—	4-0-0
		—	—	—	4	—	0-4-0
		—	—	—	—	4	0-0-4
	1.6	—	—	—	—	—	0-0-0
		4	—	—	—	—	4-0-0
		—	—	—	4	—	0-4-0
		—	—	—	—	4	0-0-4
		—	—	—	—	—	0-0-0
		—	—	—	—	—	0-0-0
2015	無	6	6	6	4	—	6-4-0
		—	6	6	—	—	0-0-0
		—	6	6	4	—	0-4-0
		—	6	6	—	4	0-0-4
	0.8	—	—	—	—	—	0-0-0
		—	—	—	4	—	0-4-0
		—	—	—	—	4	0-0-4
	1.6	—	—	—	—	—	0-0-0
		—	—	—	4	—	0-4-0
		—	—	—	—	4	0-0-4
	2.4	—	—	—	—	—	0-0-0
		—	—	—	—	—	0-0-0
		—	—	—	—	—	0-0-0
	3.2	—	—	—	—	—	0-0-0
		—	—	—	—	—	0-0-0
		—	—	—	—	—	0-0-0

2014 年は上記の他に、堆肥 1.6t 10a<sup>-1</sup> で穂首分化期、減数分裂期、穂ばらみ期のいずれかに窒素を 4kg 10a<sup>-1</sup> 施用する処理を設けた。

ンパク質換算係数6.25（中央畜産会 2009）を乗じて乾物当たりの飼料用米のタンパク質含有率として表示した。

気象データは、東北農業研究センター大仙研究拠点内に設置されている気象庁のアメダスによって測定されたデータベースを用いた。

収量性と玄米タンパク質含有率に及ぼす品種、豚ふん堆肥、穂揃い期追肥（実肥）の効果を明確にするために各年次で分散分析を行った。品種の効果を検討する上では、表3に示す堆肥と窒素施用処理の全ての組み合わせを対象とした。堆肥の効果を検討

する上では、窒素施用処理に共通でないものも含んでいることから、各年次で堆肥処理の中の共通の窒素施用処理を対象とした。同様に、実肥の効果を検討する上では、実肥の施用以外が共通の処理を対象とした。

### Ⅲ 結 果

#### 1 3か年の気象概況

図1に6月から9月の日平均気温（以下、気温）、日平均日照時間（以下、日照時間）および積算降水量（以下、降水量）を旬ごとに示した。2013年から

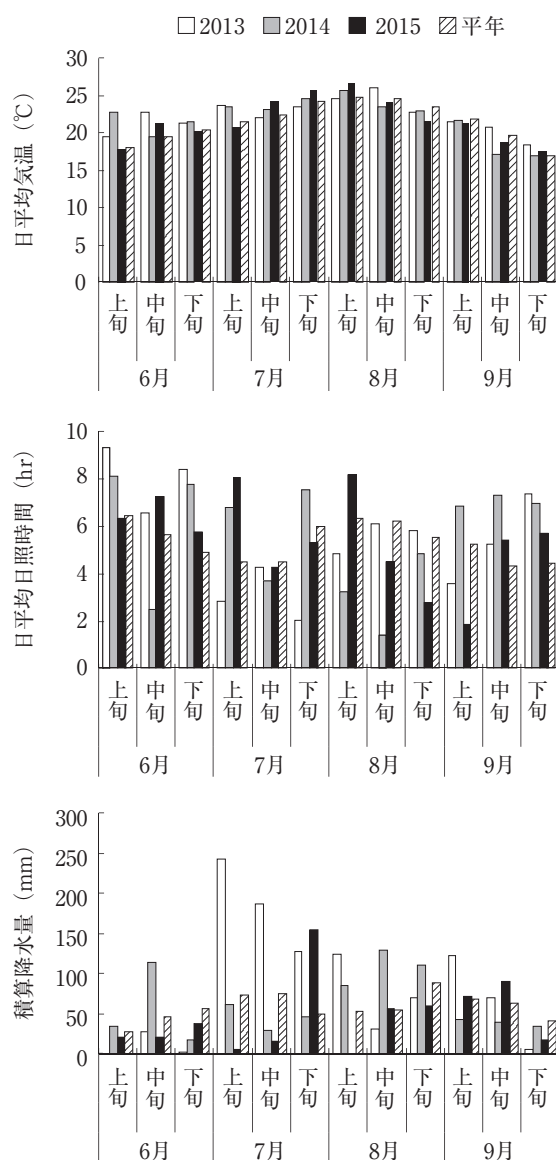


図1 6～9月の旬ごとの気温、日照時間および降水量

平年値は、気温と降水量が1981～2010年、日照時間が1987～2010年の平均値。

2015年のいずれの年次も、本田栽培期間中に低温障害、高温障害を生じる気温になることはなかった。2013年と2014年の気温は、6月上旬から7月上旬にかけて平年よりも高い傾向にあり、その後は2013年の8月中旬以外平年と大きく変わらなかった。2015年の気温は、6月上旬・下旬と7月上旬に平年並みであり、7月中旬から8月上旬にかけて平年より高かった。その後の登熟期間の気温は平年と同等かやや低い程度であった。

日照時間は年次によって傾向が異なった。平年の1/2もしくはそれ以下になったのは、2013年は7月

下旬、2014年は6月中旬・8月上旬と中旬、2015年は8月下旬と9月上旬であった。

中干しを2013年は6月27日～7月9日、2014年は6月25日～7月2日、2015年は7月3日～10日行った(表1)が、2013年はこの時期に降雨が多く、2015年は少なかった。

## 2 豚ふん堆肥施用および窒素施用条件が生育、窒素吸収量に及ぼす影響

水稻の生育に対する豚ふん堆肥(以下、堆肥)の影響を明確にするために、2014年の試験の中から複数の処理を抽出して茎数、草丈、葉色の推移を図2に示した。まず、窒素肥料無しの場合で堆肥の効果を見ると、穂首分化期(移植後37日目、出穂前30～33日)における堆肥1.6t・窒素0-0-0処理の茎数は、「いわいだわら」と「ふくひびき」のそれぞれで335本  $m^{-2}$ と394本  $m^{-2}$ であり、堆肥無施用・窒素0-0-0処理の茎数297本  $m^{-2}$ と360本  $m^{-2}$ よりわずかに多かった。また、幼穂形成期(移植後47～48日目、出穂前20～22日)には堆肥1.6t・窒素0-0-0処理の茎数は、「いわいだわら」と「ふくひびき」のそれぞれで383本  $m^{-2}$ と414本  $m^{-2}$ となり、堆肥無施用・窒素0-0-0処理との差は大きくなる傾向にあった。その後、出穂期にかけて堆肥無施用・窒素0-0-0処理と堆肥1.6t・窒素0-0-0処理の茎数は類似した低下傾向を示した。草丈は、堆肥無施用・窒素0-0-0処理より堆肥1.6t・窒素0-0-0処理が長く、その差は穂首分化期以降に顕著になった。葉色は、堆肥無施用・窒素0-0-0処理より堆肥1.6t・窒素0-0-0処理が穂首分化期には「いわいだわら」で1.8ポイント、「ふくひびき」で2.4ポイント高かった。幼穂形成期にはさらにその差が3.1～4.0ポイントに広がり、堆肥施用処理で葉色は濃くなった。その後は、葉色の差を同程度に保ちながら推移した。観察の結果からも、3カ年ともに、移植後1カ月程度で堆肥施用区の葉色が堆肥無施用区よりわずかに高まり始めた。

次に、慣行窒素施用体系である堆肥無施用・窒素6-4-0処理と窒素肥料無しの堆肥施用処理とを比較すると、穂首分化期における「いわいだわら」と「ふくひびき」の茎数は堆肥無施用・窒素6-4-0処理でそれぞれ478本  $m^{-2}$ と533本  $m^{-2}$ であり、ともに堆肥1.6t・窒素0-0-0処理の1.4倍であった(図2)。幼穂形成期には、堆肥無施用・窒素6-4-0処理と堆肥1.6t・窒素0-0-0処理との茎数の差が「いわいだわら」では縮まったが、その後出穂期にかけて、「い

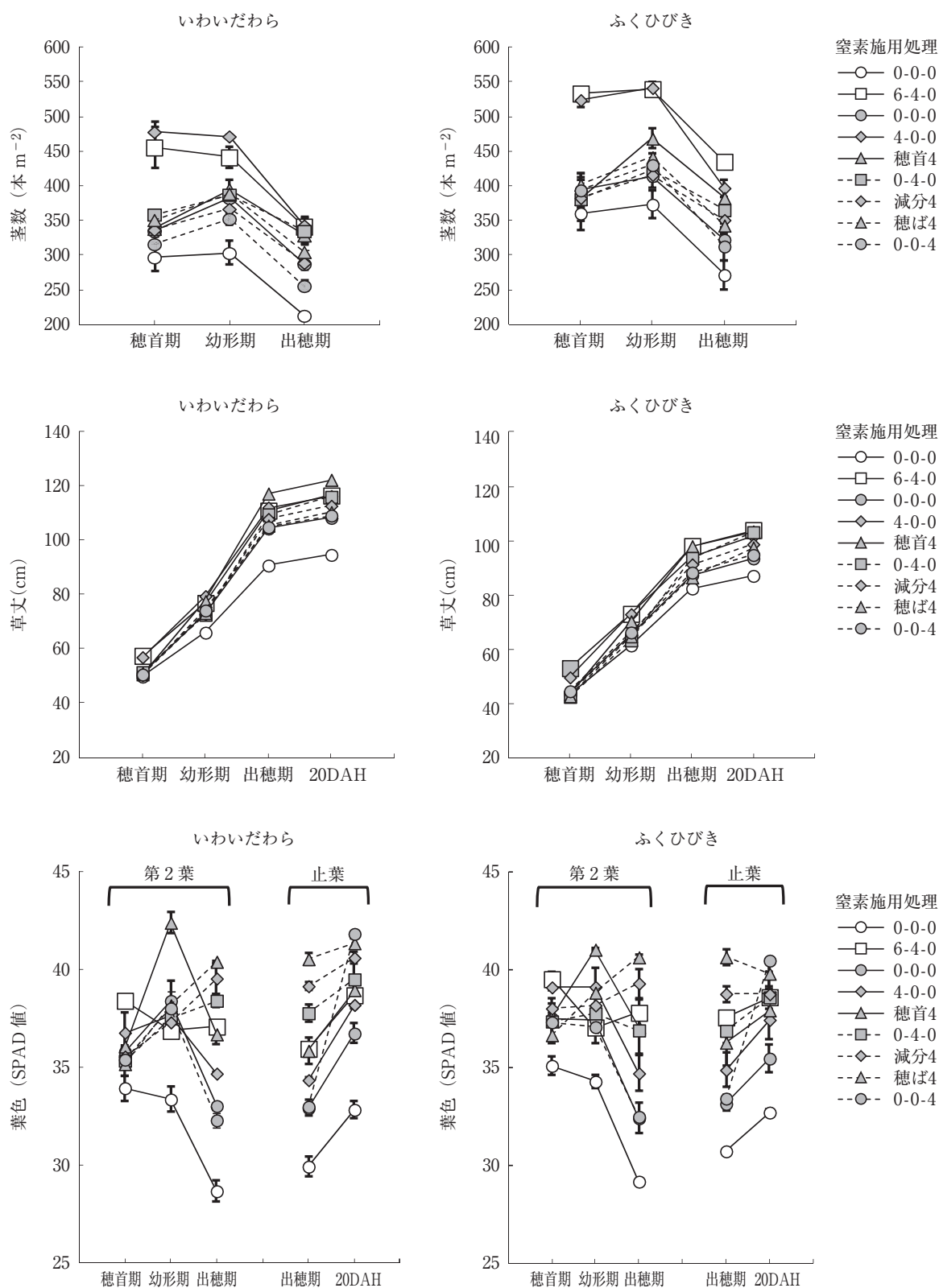


図2 茎数、草丈および葉色の推移 (2014年)

白色のシンボルは堆肥無施用、灰色のシンボルは堆肥  $1.6t\ 10a^{-1}$  処理を示す。窒素施用処理は基肥－穂肥（幼穂形成期）－実肥（穂揃い期） $kgN\ 10a^{-1}$  を示す。

「穂首4」、「減分4」、「穂ば4」は、それぞれ穂首分化期、減数分裂期、穂ばらみ期にのみ  $4kgN\ 10a^{-1}$  の窒素施用を示す。

「DAH」は「出穂後日数」を示す。垂線は標準誤差を示す。草丈の標準誤差はシンボルよりも小さかったために省略した。

わいだわら」、「ふくひびき」ともに茎数の差を維持したまま推移した。草丈は、穂首分化期の時点で堆肥無施用・窒素6-4-0処理が堆肥1.6t・窒素0-0-0処理よりも「わいだわら」で6 cm、「ふくひびき」で9 cm高く（図2）、それ以降も草丈は堆肥無施用・窒素6-4-0処理が堆肥1.6t・窒素0-0-0処理よりも高く推移した。葉色は、穂首分化期の時点において、茎数や草丈のように堆肥無施用・窒素6-4-0処理が堆肥1.6t・窒素0-0-0処理より高かったが、幼穂形成期には同等となった（図2）。このように、堆肥を1.6t 10a<sup>-1</sup>施用しても窒素肥料を施用しない場合には、堆肥無施用で慣行の窒素施用体系よりも生育が劣った。

堆肥1.6t 10a<sup>-1</sup>施用条件で出穂期の生育状況が慣行の堆肥無施用・窒素6-4-0処理と同等となる窒素施用処理を検討した。基肥、穂首分化期あるいは幼穂形成期のいずれかに4 kg 10a<sup>-1</sup>の窒素を施用することで、堆肥無施用・窒素6-4-0処理と比較して、出穂期の茎数は「わいだわら」では同等、「ふくひびき」ではやや劣る程度、草丈は両品種ともほぼ同等となった（図2）。出穂期の葉色は、堆肥1.6t 10a<sup>-1</sup>施用で基肥に4 kg 10a<sup>-1</sup>の窒素施用をしても、「わいだわら」、「ふくひびき」ともに堆肥無施用・窒素6-4-0処理と比較して劣った（図2）。堆肥1.6t 10a<sup>-1</sup>施用で穂首分化期あるいは幼穂形成期のいずれかに4 kg 10a<sup>-1</sup>の窒素を施用することで、出穂期の葉色の値は、「わいだわら」では堆肥無施用・窒素6-4-0処理と同等もしくは高くなり、「ふくひび

き」では堆肥無施用・窒素6-4-0処理より低いが、その差は2ポイント以内に留まった。

生育の品種間差として、堆肥施用の有無にかかわらず、「わいだわら」は「ふくひびき」より茎数が少なく推移する一方、草丈は高く推移した（図2）。また、葉色は、「わいだわら」の方が穂首分化期頃までは低いが、幼穂形成期以降は同等であった。

最終草丈と稈長を、堆肥無施用・窒素6-4-0処理および堆肥1.6t 10a<sup>-1</sup>施用条件とで比較すると、「わいだわら」では堆肥1.6t 10a<sup>-1</sup>施用で穂首分化期の窒素追肥処理が最も長かった（図3）。「わいだわら」と「ふくひびき」ともに、堆肥1.6t 10a<sup>-1</sup>施用条件では、減数分裂期以降、窒素追肥時期が遅いほど草丈が短くなった。

倒伏は「わいだわら」と「ふくひびき」ともに3カ年通してほとんどなく、2014年の堆肥1.6t 10a<sup>-1</sup>施用で穂首分化期追肥処理の「わいだわら」のみ稲体の上部がなびいた程度であった（データ省略）。

堆肥1.6t 10a<sup>-1</sup>施用処理の問題点として、連用2年目の2015年は、移植後に葉身が内側に巻いた状態となる稲が多く観察され、その後に枯死する個体もわずかに認められた。また、移植後初期の分けつも抑制されていた。こうした傾向は「わいだわら」で顕著であった。なお、堆肥0.8t 10a<sup>-1</sup>施用処理では、連用3年目でもこうした現象は認められなかった。

次に、稲体の窒素吸収について述べる。図4に「わいだわら」の生育ステージ毎の稲体窒素吸収量を示した。3カ年通して、堆肥無施用・窒素0-0-

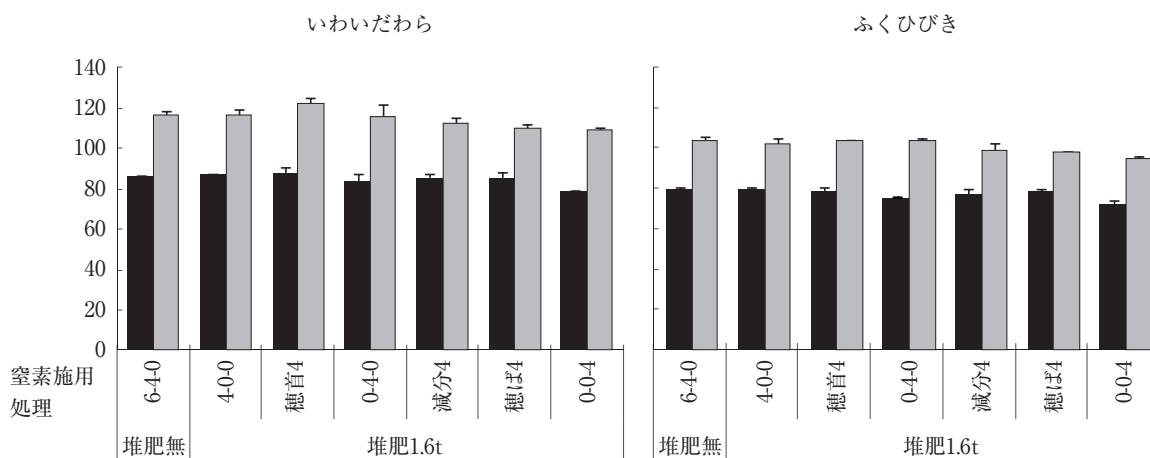


図3 稈長と最終草丈 (cm) (2014年)

■: 稈長、□: 草丈。窒素施用処理は図2注釈と同様。垂線は標準誤差を示す。



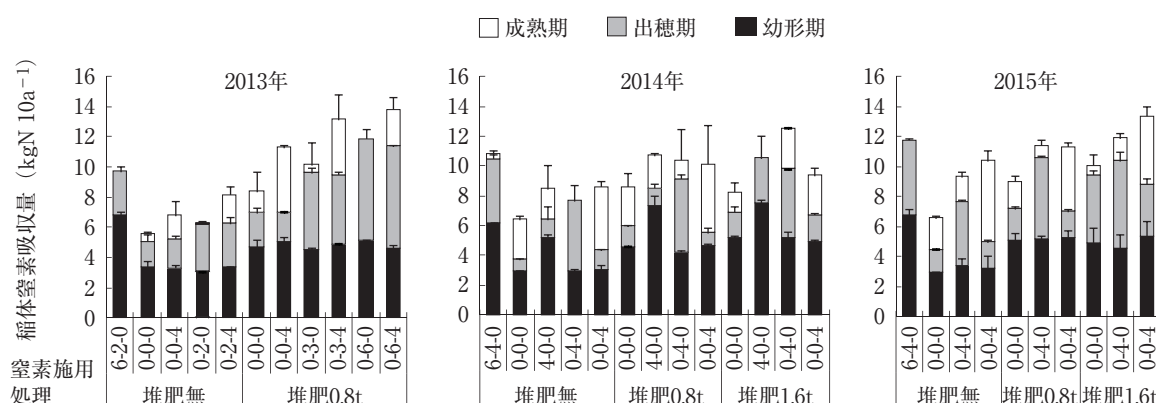


図4 稲体窒素吸収量に及ぼす堆肥施用と窒素施用法の影響

品種は「いわいだわら」。窒素施用処理は基肥－穂肥（幼穂形成期）－実肥（穂揃い期）kgN 10a<sup>-1</sup>を示す。垂線は標準誤差を示す。

0処理では、窒素吸収量は幼穂形成期が2.9～3.3kgN 10a<sup>-1</sup>、出穂期が3.7～5.1kgN 10a<sup>-1</sup>、成熟期が5.6～6.6kgN 10a<sup>-1</sup>であった。これに対して堆肥0.8t・窒素0-0-0処理では、窒素吸収量は幼穂形成期が4.6～5.1kgN 10a<sup>-1</sup>、出穂期が5.9～7.2kgN 10a<sup>-1</sup>、成熟期が8.4～9.0kgN 10a<sup>-1</sup>と高くなった。また、堆肥1.6t・窒素0-0-0処理では、各ステージの窒素吸収量が堆肥0.8t・窒素0-0-0処理と同等か高かった。しかし、慣行窒素施用体系の堆肥無施用・窒素6-2-0もしくは6-4-0処理と比較すると、堆肥0.8t・窒素0-0-0処理および堆肥1.6t・窒素0-0-0処理の窒素吸収量はいずれの生育ステージにおいても低かった。

堆肥0.8t 10a<sup>-1</sup>を連用しても、窒素吸収量が年々増加していく傾向は明瞭には認められなかった（図4）。

### 3 豚ふん堆肥施用および窒素施用条件が収量性に及ぼす影響

#### 1) 粗玄米重に対する堆肥、窒素施用、品種の効果

分散分析の結果、粗玄米重に対する堆肥の効果は3カ年通して有意に認められた（表4～6）。2013年と2014年は、粗玄米重に対する品種の効果が認められた（表4、5）が、2015年は5%水準で有意でなかった（表6）。粗玄米重に対する穂揃い期追肥（以下、実肥）の効果は2015年に1%水準で認められ（表6）、2013年は実肥の効果と品種・堆肥・窒素施用（幼穂形成期まで）の効果との交互作用、2014年は実肥の効果と品種・堆肥の効果との交互作用が5%水準で有意であった（表4、5）。

堆肥1.6t 10a<sup>-1</sup>施用条件で窒素施用時期の影響を

検討した2014年の試験では、粗玄米重、収量構成要素のいずれに対しても、品種の効果と窒素施用時期の効果が1、0.1%水準で有意であり、粗玄米重に対しては0.1%水準で交互作用も認められた（表7）。

窒素肥料無しの場合で堆肥の粗玄米重に対する影響を具体的にみていくと、堆肥無施用・窒素0-0-0処理の粗玄米重は、「いわいだわら」で547～555kg 10a<sup>-1</sup>、「ふくひびき」で503～530kg 10a<sup>-1</sup>であった（表4～6）。これに対して、堆肥0.8t・窒素0-0-0処理の粗玄米重は、「いわいだわら」で724～736kg 10a<sup>-1</sup>、「ふくひびき」で623～722kg 10a<sup>-1</sup>であり、増加分は「いわいだわら」で170～190kg 10a<sup>-1</sup>、「ふくひびき」で120～190kg 10a<sup>-1</sup>であった。また、堆肥1.6t・窒素0-0-0処理の粗玄米重は、「いわいだわら」で751～800kg 10a<sup>-1</sup>、「ふくひびき」で657～764kg 10a<sup>-1</sup>と堆肥施用量に応じて粗玄米重は高くなった。

次に、窒素肥料無しの堆肥施用処理と堆肥無施用の慣行窒素施用体系とを比較すると、「いわいだわら」の堆肥1.6t・窒素0-0-0処理の粗玄米重は、堆肥無施用・窒素6-2-0もしくは6-4-0処理と同等であった（表4～6）。一方、「ふくひびき」では、堆肥1.6t・窒素0-0-0処理の粗玄米重が、堆肥無施用・窒素6-2-0もしくは6-4-0処理と比較して同等か低かった（表4～6）。

品種間差として、2013年と2014年は、堆肥施用処理における粗玄米重が「ふくひびき」より「いわいだわら」で高い傾向にあった（表4、5）。2015年は、堆肥施用処理における粗玄米重が「いわいだわら」

表4 堆肥施用量と窒素施用処理の違いが収量性および玄米タンパク質含有率に及ぼす影響 (2013年)

品種	堆肥 施用量 (t 10a <sup>-1</sup> )	窒素 施用処理 (kgN 10a <sup>-1</sup> )	粗玄米重 (kg 10a <sup>-1</sup> )	収数 (千粒 m <sup>-2</sup> )	穂数 (本 m <sup>-2</sup> )	一穂収数 (粒)	千粒重 (g)	登熟歩合 (%)	シンク 容量 (kg 10a <sup>-1</sup> )	玄米タン パク質含 有率(%)	
いわいだわら	無	0-0-0	547±29	21.5±1.3	178±18	121±5	27.4±0.1	88.8±2.0	587±34	6.5±0.2	
		0-0-4	552±20	20.9±1.1	183±1	114±5	28.2±0.2	88.7±1.0	590±26	8.3±0.0	
		0-2-0	652±34	25.8±2.0	207±8	124±5	27.5±0.2	82.2±2.6	709±50	6.4±0.1	
		0-2-4	725±13	27.2±0.8	221±6	123±0	28.7±0.2	89.6±0.1	778±15	8.2±0.1	
		6-2-0	763±9	35.4±0.9	252±12	140±3	26.4±0.3	70.6±3.9	935±14	6.7±0.1	
	0.8	0-0-0	736±12	31.4±0.8	239±6	131±0	26.2±0.1	75.2±1.2	822±25	6.7±0.1	
		0-0-4	801±11	32.7±0.4	236±9	139±7	26.9±0.1	83.0±0.4	879±15	8.1±0.2	
		0-3-0	792±14	37.2±0.0	258±3	144±2	26.3±0.4	65.0±2.4	978±14	7.4±0.1	
		0-3-4	843±19	36.9±0.5	256±10	144±4	26.8±0.3	75.6±0.2	986±26	8.7±0.2	
		0-6-0	809±9	39.8±0.4	293±8	136±5	27.0±0.5	61.2±2.7	1074±7	8.1±0.0	
		0-6-4	851±35	38.5±2.4	278±12	139±3	27.6±0.6	66.3±0.5	1063±41	9.3±0.1	
		ふくひびき	無	0-0-0	503±26	20.1±1.0	231±4	87±5	25.6±0.4	95.9±0.5	514±32
	0-0-4			504±24	20.2±0.9	242±10	83±0	26.0±0.1	95.8±0.4	525±25	8.6±0.3
	0-2-0			653±11	26.2±0.5	289±3	91±1	26.0±0.2	94.3±0.3	680±7	7.0±0.2
0-2-4	650±25			25.7±1.1	283±9	91±1	26.0±0.1	95.5±0.1	669±26	8.7±0.2	
6-2-0	770±42			33.8±1.4	350±16	97±1	24.6±0.1	88.5±0.5	833±29	7.2±0.1	
0.8	0-0-0		626±58	25.4±2.5	287±20	89±3	25.5±0.2	94.5±1.1	647±58	6.8±0.0	
	0-0-4		658±4	26.5±0.1	292±3	91±1	25.6±0.1	95.7±0.3	680±2	8.4±0.1	
	0-3-0		756±3	32.2±0.0	332±0	97±0	25.2±0.1	89.5±2.0	812±2	7.3±0.1	
	0-3-4		764±8	31.3±0.2	324±18	97±6	25.2±0.2	94.7±1.8	790±12	8.8±0.1	
	0-6-0		815±13	35.0±0.6	342±4	103±0	25.0±0.1	88.8±2.8	876±18	7.8±0.1	
0-6-4	833±26	35.4±1.3	361±4	98±5	24.9±0.1	88.7±0.9	883±31	8.9±0.3			
分散分析											
品種の効果			**	**	*	*	*	*	**	*	
堆肥・窒素施用の効果			***	***	***	***	***	***	***	***	
交互作用			***	***	ns	ns	**	***	***	*	
分散分析 (0-0-0と0-0-4対象)											
堆肥の効果			**	**	*	*	*	**	**	ns	
品種・実肥の効果			**	**	**	**	***	***	**	**	
交互作用			*	*	ns	*	ns	*	*	ns	
分散分析 (6-2-0を除く)											
実肥の効果			ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	
品種・堆肥・窒素 (幼形期まで) の効果			***	***	***	***	***	***	***	***	
交互作用			*	ns	ns	ns	***	*	*	ns	

窒素施用処理は基肥－穂肥 (幼穂形成期)－実肥 (穂揃い期) kgN 10a<sup>-1</sup> を示す。\*、\*\*、\*\*\* はそれぞれ 5、1、0.1%水準で有意であり、ns は 5%水準で有意でないことを示す。± は標準偏差を示す。

ら」と「ふくひびき」とで同等であった (表6)。

堆肥1.6t 10a<sup>-1</sup>施用条件における窒素施用時期の影響を検討した2014年の試験では、「いわいだわら」の粗玄米重はいずれの処理も846～905kg 10a<sup>-1</sup>と高い収量レベルにあった (表7)。一方、「ふくひびき」では、穂ばらみ期と穂揃い期の窒素施用処理の粗玄米重が699～740kg 10a<sup>-1</sup>であり、基肥および穂首分化期～減数分裂期の窒素施用処理の粗玄米重801～829kg 10a<sup>-1</sup>よりも低かった。

粗玄米重に対する幼穂形成期の追肥 (以下、穂肥) と実肥の影響を具体的に検討する。窒素肥料無

しの処理に対して、穂肥として窒素2～4kg 10a<sup>-1</sup>施用することによる粗玄米重の増加分は、2013年、2014年、2015年のそれぞれで「いわいだわら」では42～172、52～129、70～221kg 10a<sup>-1</sup>、「ふくひびき」では105～150、145～205、97～175kg 10a<sup>-1</sup>であった。一方、実肥として窒素4kg 10a<sup>-1</sup>施用することによる粗玄米重の増加分は、2013年、2014年、2015年のそれぞれで「いわいだわら」では42～72、59～104、12～59kg 10a<sup>-1</sup>であり、「ふくひびき」では3～18、21～42、32～42kg 10a<sup>-1</sup>であった (表4～6)。実肥による増収効果は「ふくひびき」より

表5 堆肥施用量と窒素施用処理の違いが収量性および玄米タンパク質含有率に及ぼす影響（2014年）

品種	堆肥 施用量 (t 10a <sup>-1</sup> )	窒素 施用処理 (kgN 10a <sup>-1</sup> )	粗玄米重 (kg 10a <sup>-1</sup> )	粳数 (千粒 m <sup>-2</sup> )	穂数 (本 m <sup>-2</sup> )	一穂粳数 (粒)	千粒重 (g)	登熟歩合 (%)	シンク 容量 (kg 10a <sup>-1</sup> )	玄米タン パク質含 有率(%)	
いわいだわら	無	0-0-0	555±48	23.2±2.0	211±12	110±3	26.3±0.2	79.1±1.0	612±58	5.9±0.0	
		4-0-0	699±16	30.7±0.6	267±1	115±3	26.7±0.0	72.6±2.5	819±16	6.1±0.1	
		0-4-0	684±47	34.1±4.5	269±11	127±12	27.3±0.4	55.9±5.8	932±138	6.7±0.7	
		0-0-4	614±31	23.5±1.6	216±9	109±2	27.9±0.0	87.8±0.3	655±42	7.9±0.3	
		6-4-0	776±17	42.1±0.6	314±1	134±1	27.3±0.4	56.7±1.7	1150±1	7.1±0.1	
	0.8	0-0-0	731±8	33.3±0.7	255±8	131±1	26.1±0.3	72.6±0.8	867±27	6.3±0.0	
		4-0-0	812±5	40.8±0.7	285±12	143±4	25.7±0.4	58.6±0.3	1049±32	6.9±0.1	
		0-4-0	854±25	43.9±0.9	298±25	148±9	26.8±0.5	54.6±0.8	1176±48	7.4±0.1	
		0-0-4	803±8	33.8±0.3	253±1	133±2	26.3±0.1	77.9±1.0	891±4	7.8±0.3	
	1.6	0-0-0	800±58	39.0±3.5	279±21	140±2	26.2±0.2	60.4±0.9	1021±100	7.0±0.1	
		4-0-0	887±2	46.1±1.6	321±14	144±1	26.1±0.2	57.1±4.0	1207±35	7.5±0.3	
		0-4-0	852±9	47.7±0.4	317±6	150±1	27.0±1.0	50.5±4.4	1287±35	7.9±0.2	
		0-0-4	905±27	39.9±1.2	291±6	137±2	26.3±0.3	68.1±1.0	1049±22	8.0±0.0	
	ふくひびき	無	0-0-0	508±26	21.2±0.6	253±6	84±0	25.3±0.0	91.9±0.2	535±15	6.4±0.1
			4-0-0	679±12	28.7±0.4	322±9	89±1	25.4±0.0	89.5±1.6	727±10	6.5±0.2
			0-4-0	713±84	30.4±4.3	325±27	94±6	26.0±0.0	84.7±4.3	791±111	6.8±0.5
0-0-4			545±38	22.3±1.2	296±22	76±10	26.1±0.0	92.4±4.0	582±31	8.4±0.1	
6-4-0			845±34	40.0±1.4	397±17	101±1	24.9±0.3	75.1±0.2	996±46	7.3±0.1	
0.8		0-0-0	623±54	26.4±2.4	296±13	89±4	25.2±0.0	92.6±1.6	665±60	6.4±0.0	
		4-0-0	784±28	35.8±1.7	372±21	96±1	24.4±0.1	81.7±2.4	876±39	6.9±0.1	
		0-4-0	816±16	36.4±1.1	354±4	103±4	25.1±0.1	82.6±0.1	912±24	6.9±0.1	
		0-0-4	644±19	26.6±1.0	315±12	85±6	25.7±0.3	93.9±0.1	684±20	8.3±0.0	
1.6		0-0-0	657±11	27.4±0.6	317±19	87±3	25.5±0.2	93.2±1.0	698±18	6.6±0.1	
		4-0-0	829±18	37.1±1.6	379±10	98±2	24.8±0.6	85.4±0.4	921±19	7.0±0.4	
		0-4-0	801±21	34.8±0.8	361±9	96±5	25.3±0.4	83.6±3.4	881±4	7.2±0.1	
		0-0-4	699±7	28.4±0.2	323±3	88±0	25.9±0.2	93.4±1.0	736±1	8.0±0.1	
分散分析											
品種の効果			*	*	*	**	**	***	*	ns	
堆肥・窒素施用の効果			***	***	***	***	***	***	***	***	
交互作用			***	***	ns	***	**	***	***	**	
分散分析（6-4-0を除く）											
堆肥の効果			**	**	*	*	ns	ns	*	*	
品種・窒素施用の効果			***	***	***	***	***	***	***	***	
交互作用			**	**	ns	***	ns	***	**	*	
分散分析（0-0-0と0-0-4対象）											
実肥の効果			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***	
品種・堆肥の効果			***	***	***	***	***	***	***	**	
交互作用			*	ns	ns	ns	*	*	ns	*	

窒素施用処理については表4注釈と同様。\*、\*\*、\*\*\*はそれぞれ5、1、0.1%水準で有意であり、nsは5%水準で有意でないことを示す。±は標準偏差を示す。

も「いわいだわら」で大きい傾向にあった。

## 2) 粗玄米重と収量構成要素との関係および品種間差

両品種とも粗玄米重は籾数と正の相関関係を示し（図5A）、籾数は穂数および一穂籾数のそれぞれと正の相関関係を示した（図5B、C）。穂数は、「ふくひびき」が231～410本 m<sup>-2</sup>であったのに対し、「いわいだわら」は178～325本 m<sup>-2</sup>であり、回帰直

線の傾きは「いわいだわら」の方が大きかった（図5B）。一方、一穂籾数は、「ふくひびき」が76～103粒であったのに対し、「いわいだわら」は97～150粒であり、回帰直線の傾きは「いわいだわら」の方が小さかった（図5C）。

籾数と粗玄米重との関係を実肥の有無で検討すると、「いわいだわら」では約30000粒以上の籾数レベルにおいて、同一籾数でも実肥有りの方が実肥無し

表6 堆肥施用量と窒素施用処理の違いが収量性および玄米タンパク質含有率に及ぼす影響 (2015年)

品種	堆肥 施用量 (t 10a <sup>-1</sup> )	窒素 施用処理 (kgN 10a <sup>-1</sup> )	粗玄米重 (kg 10a <sup>-1</sup> )	収数 (千粒 m <sup>-2</sup> )	穂数 (本 m <sup>-2</sup> )	一穂収数 (粒)	千粒重 (g)	登熟歩合 (%)	シンク 容量 (kg 10a <sup>-1</sup> )	玄米タン パク質含 有率(%)
いわいだわら	無	0-0-0	547±18	20.5±0.5	211± 1	97± 2	28.2±0.2	89.6±0.1	578±17	6.4±0.1
		0-4-0	768±42	29.8±1.4	259± 4	115± 4	27.7±0.2	84.9±1.1	826±44	6.4±0.1
		0-0-4	606±62	23.3±2.3	233± 5	100± 4	28.6±0.1	86.3±0.3	667±63	8.3±0.2
		6-4-0	814±24	34.5±1.9	325±16	106±11	26.9±0.0	76.8±6.9	929±52	7.0±0.1
	0.8	0-0-0	724±50	28.0±2.3	248± 2	113± 9	27.7±0.2	84.4±1.8	775±58	6.5±0.1
		0-4-0	794±43	35.6±1.2	284±23	125± 3	27.4±0.1	70.5±2.2	975±28	7.1±0.0
		0-0-4	737±29	27.6±1.4	230± 4	120± 7	28.3±0.4	90.3±0.2	780±30	8.1±0.1
	1.6	0-0-0	751±71	29.5±3.4	226±21	131± 5	27.5±0.3	84.2±2.6	812±84	6.9±0.3
		0-4-0	832±24	35.7±0.7	295± 6	121± 3	27.1±0.4	74.9±1.9	967± 5	7.2±0.4
0-0-4		809±47	31.7±1.7	236±20	134± 3	27.7±0.2	84.9±0.1	877±41	8.5±0.4	
ふくひびき	無	0-0-0	530±31	21.7±1.5	266±17	82± 0	25.4±0.0	93.3±0.6	552±37	6.4±0.1
		0-4-0	704±36	30.3±1.5	350±14	87± 0	24.8±0.1	91.4±0.2	749±33	6.6±0.1
		0-0-4	568±52	24.6±2.5	274±14	90± 3	25.8±0.1	90.4±0.6	634±62	8.4±0.2
		6-4-0	790±15	35.2±0.3	410±15	86± 4	24.5±0.2	87.4±1.0	863±12	7.1±0.0
	0.8	0-0-0	722±12	29.7±0.1	327± 2	91± 0	25.7±0.1	91.4±0.5	761± 6	6.8±0.1
		0-4-0	823±23	36.1±1.4	394±11	92± 1	24.9±0.1	86.8±0.9	898±29	7.2±0.0
		0-0-4	754±26	30.3±1.4	330± 8	92± 2	26.1±0.1	93.1±1.9	789±38	8.0±0.1
	1.6	0-0-0	764±52	31.8±2.9	329±27	97± 2	25.9±0.1	91.0±0.9	825±73	7.4±0.3
		0-4-0	861±25	39.4±0.8	405± 8	97± 1	25.0±0.7	83.2±4.8	986± 7	7.7±0.1
0-0-4		805± 1	32.9±0.1	342±11	96± 4	25.9±0.0	89.6±1.3	853± 2	8.4±0.1	
分散分析										
品種の効果			ns	ns	*	*	**	ns	ns	ns
堆肥・窒素施用の効果			***	***	***	***	***	***	***	***
交互作用			ns	ns	*	ns	**	*	ns	ns
分散分析（6-4-0を除く）										
堆肥の効果			*	*	ns	**	ns	ns	*	*
品種・窒素施用の効果			**	***	***	***	***	***	***	***
交互作用			*	ns	*	***	*	***	ns	**
分散分析（0-0-0と0-0-4対象）										
実肥の効果			**	ns	ns	*	*	ns	*	*
品種・堆肥の効果			***	***	***	***	***	***	***	*
交互作用			ns	ns	ns	*	ns	**	ns	**

窒素施用処理については表4注釈と同様。\*、\*\*、\*\*\*はそれぞれ5、1、0.1%水準で有意であり、nsは5%水準で有意でないことを示す。±は標準偏差を示す。

よりも粗玄米重が高い傾向にあった (図5D)。一方、「ふくひびき」では、そうした実肥の効果が明瞭でなく、実肥有りの回帰直線の傾きと実肥無しの回帰直線の傾きとの違いが「いわいだわら」よりも小さかった (図5E)。両品種とも収数と登熟歩合とは負の相関関係を示した (図5F、G)。ただし、「ふくひびき」は登熟歩合が概ね80%以上であったのに対して、「いわいだわら」は50~90%と変動が大きかった。また、「いわいだわら」では同一収数でも実肥有りの方が実肥無しよりも登熟歩合が高い傾向にあった (図5F) が、「ふくひびき」ではそうした関係が明瞭でなかった (図5G)。収数と千粒重との関係は、両品種ともに有意な相関関係が認

められなかった (図表省略)。

品種間の大きな違いとして、「いわいだわら」の方が「ふくひびき」よりシンク容量が高い傾向にあり、粗玄米重が安定して高かった (図6)。特に堆肥0.8もしくは1.6t 10a<sup>-1</sup>施用で穂肥として窒素を3~6 kgN 10a<sup>-1</sup>施用すると、「ふくひびき」のシンク容量は800~1000kg 10a<sup>-1</sup>であったが、「いわいだわら」は950~1300kg 10a<sup>-1</sup>であった。「ふくひびき」の粗玄米重は、堆肥無施用で慣行窒素施用体系の窒素6-2-0もしくは6-4-0処理では「いわいだわら」と同程度であったが、堆肥施用条件では、基肥や穂肥として窒素を施用しないとシンク容量および粗玄米重が「いわいだわら」の同一処理と比較して低い傾



表7 窒素施用時期の違いが収量性および玄米タンパク質含有率に及ぼす影響（2014年、堆肥施用量1.6t 10a<sup>-1</sup>）

品種	窒素 施用 時期	粗玄米重 (kg 10a <sup>-1</sup> )	稈数 (千粒 m <sup>-2</sup> )	穂数 (本 m <sup>-2</sup> )	一穂稈数 (粒)	千粒重 (g)	登熟歩合 (%)	シンク容量 (kg 10a <sup>-1</sup> )	玄米タン パク質含 有率(%)
いわいだわら	基肥	887± 2	46.1±1.6	321±14	144± 1	26.1±0.2	57.1±4.0	1207± 35	7.5±0.3
	穂首	893± 0	49.4±0.8	336± 6	147± 0	25.1±0.9	55.5±1.3	1241± 22	7.5±0.1
	幼形	852± 9	47.7±0.4	317± 6	150± 1	27.0±1.0	50.5±4.4	1287± 35	7.9±0.2
	減分	846±16	44.0±4.6	297± 4	148±14	26.9±0.3	52.1±6.0	1186±108	7.9±0.1
	穂ば	889±26	40.0±2.7	294±14	136± 3	26.4±0.3	64.2±5.2	1053± 59	8.1±0.1
	穂揃	905±27	39.9±1.2	291± 6	137± 2	26.3±0.3	68.1±1.0	1050± 22	8.0±0.0
ふくひびき	基肥	829±18	37.1±1.6	379±10	98± 2	24.8±0.6	85.4±0.4	922± 19	7.0±0.4
	穂首	823± 4	37.2±0.8	390±14	95± 5	24.4±0.1	85.2±3.1	907± 23	6.9±0.2
	幼形	801±21	34.8±0.8	361± 9	96± 5	25.3±0.4	83.6±3.4	881± 4	7.2±0.1
	減分	806±15	35.4±1.9	354± 8	100± 8	26.0±0.6	78.3±3.8	921± 30	7.5±0.1
	穂ば	740±25	30.0±2.1	337±14	89± 3	26.4±0.3	93.1±0.9	791± 46	7.9±0.0
	穂揃	699± 7	28.4±0.2	323± 3	88± 0	25.9±0.2	93.4±1.0	736± 1	8.0±0.1
分散分析									
品種の効果		***	***	***	***	**	***	***	**
窒素施用時期の効果		**	***	***	**	**	***	***	**
交互作用		***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

各時期の窒素施用量はいずれも 4kgN 10a<sup>-1</sup>。\*、\*\*、\*\*\*はそれぞれ 1、0.1%水準で有意であり、ns は 5%水準で有意でないことを示す。± は標準偏差を示す。

向にあった。

#### 4 豚ふん堆肥施用と窒素施用条件が玄米タンパク質含有率に及ぼす影響

分散分析の結果、玄米タンパク質含有率に対して、品種の効果は2013年のみ 5 %水準で有意であり、その他の年次は有意ではなかった（表4～6）。堆肥の効果は2014年と2015年が 5 %水準で有意であり、2013年は有意ではなかった。実肥の効果は 3 年通して有意に認められた。

玄米タンパク質含有率は堆肥無施用・窒素0-0-0処理で「いわいだわら」が5.9～6.5%、「ふくひびき」が6.4～7.0%であった（表4～6）。また、堆肥無施用・窒素6-2-0もしくは6-4-0処理の慣行窒素施用体系では、「いわいだわら」が6.7～7.1%、「ふくひびき」が7.1～7.3%であり、堆肥無施用・窒素0-0-0処理に比較して同等かわずかに上回った。

堆肥を0.8t 10a<sup>-1</sup>施用しても窒素無施用の条件では、玄米タンパク質含有率は「いわいだわら」が6.3～6.7%、「ふくひびき」が6.4～6.8%であり、玄米タンパク質含有率の向上にほとんど影響していなかった（表4～6）。堆肥を1.6t 10a<sup>-1</sup>施用すると、「いわいだわら」が7.0%、「ふくひびき」が6.6～7.4%であり、玄米タンパク質含有率はわずかながら高くなる傾向にあった。一方、堆肥を0.8t 10a<sup>-1</sup>施用して穂肥に窒素 3～4 kg 10a<sup>-1</sup>を施用する条件

では、玄米タンパク質含有率は「いわいだわら」が7.1～7.4%、「ふくひびき」が6.9～7.3%であり、堆肥と窒素の無施用条件に比較して同等かわずかに上回った。また、堆肥を1.6t 10a<sup>-1</sup>施用すると、玄米タンパク質含有率は「いわいだわら」が7.3～7.9%、「ふくひびき」が7.2～7.7%と高くなった。

実肥のみ窒素 4 kg 10a<sup>-1</sup>を施用する処理の玄米タンパク質含有率は、堆肥施用の有無にかかわらず「いわいだわら」が2013年は8.1～8.3%、2014年は7.8～8.0、2015年は8.1～8.5%、「ふくひびき」が2013年は8.4～8.6%、2014年は8.0～8.4、2015年は8.0～8.4%であり、概ね8.0%を超えていた（表4～6）。さらに、堆肥を0.8t 10a<sup>-1</sup>施用した上で、穂肥に窒素 3～6 kg 10a<sup>-1</sup>、実肥に窒素 4 kg 10a<sup>-1</sup>を施用した2013年の試験では、「いわいだわら」で8.7～9.3%、「ふくひびき」で8.8～8.9%と高い数値を示した。

同一の堆肥・窒素施用処理について、横軸に「ふくひびき」、縦軸に「いわいだわら」の玄米タンパク質含有率を表示した散布図（図7）では、概ね 1:1 の回帰直線上にシンボルがプロットされ、玄米タンパク質含有率に大きな品種間差異は認められなかった。

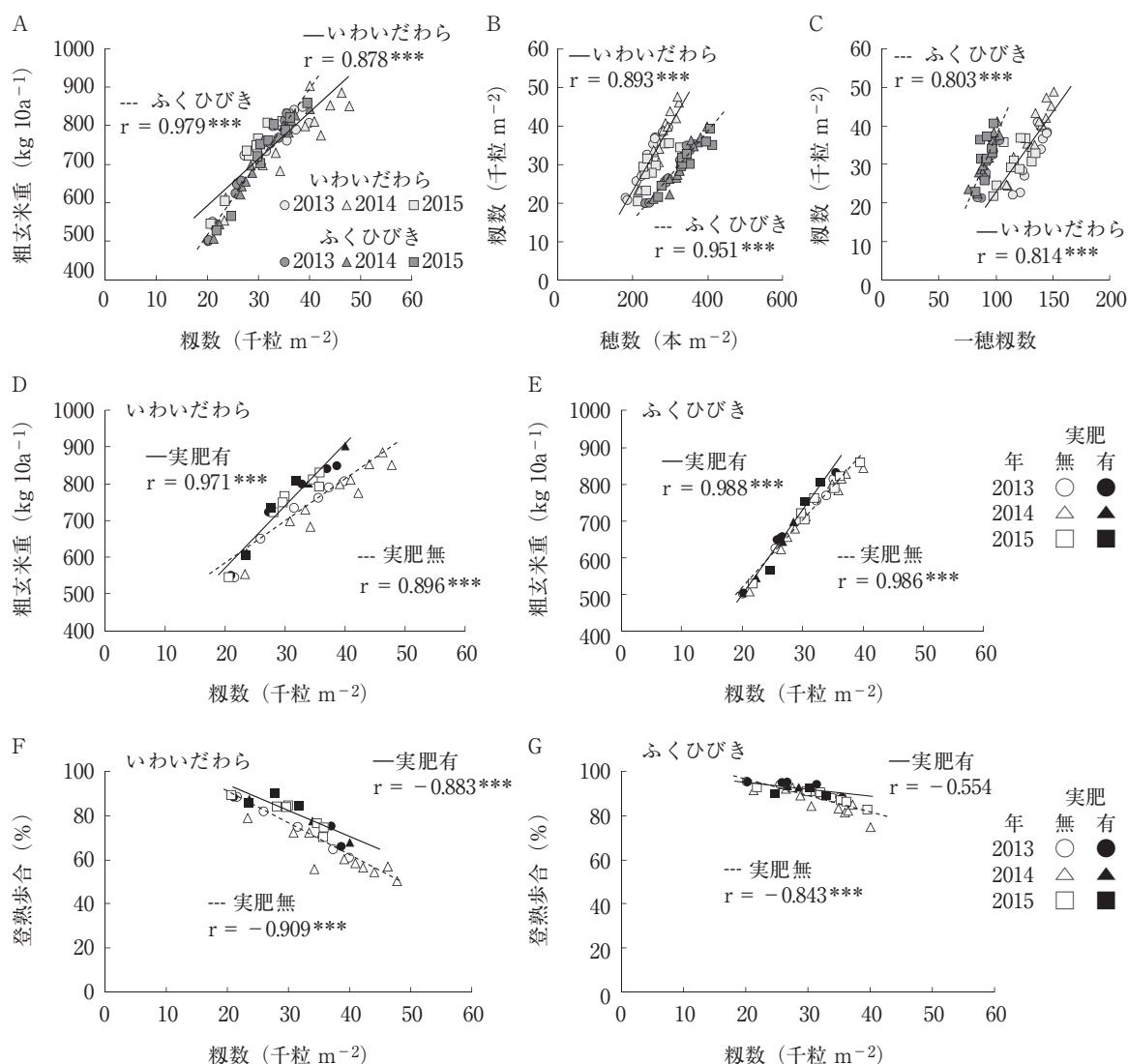


図5 粗玄米重および収量構成要素間の相関関係

実肥は穂揃い期に  $4\text{kgN } 10\text{a}^{-1}$  施用。\*\*\*は 0.1% 水準で相関係数が有意であることを示す。共分散分析の結果、A～G の各 2 つの回帰直線は、傾きが A : 0.1%, B・E : 1%, C・D・G : 5% 水準で有意に異なり、切片は A～G : 0.1% 水準で有意に異なった。

## IV 考 察

### 1 収量性に及ぼす豚ふん堆肥と窒素施用条件の影響

本研究の結果、東北地域において春先に豚ふん堆肥  $0.8\text{t } 10\text{a}^{-1}$  (窒素で  $21\sim 25\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ ) を水田に投入し、飼料用米の生産に適した水稻品種を栽培しても、窒素肥料を施用しない場合には十分な収量を得ることができなかった。本研究に用いた豚ふん堆肥は、副資材の混入はなく、水分は 30% 前後、窒素含有率は現物で 3% 前後である。「飼料用米の生産・給与技術マニュアル (2016 年版)」(農研機構 2017) によると、本研究で用いた堆肥の肥効率の目安は

50% となり、仮に必要な窒素量を  $12\text{kgN } 10\text{a}^{-1}$ 、代替率を 100% とした場合、堆肥施用量は約  $0.8\text{t } 10\text{a}^{-1}$  となる。なお、「いわいだわら」の育成に関する報告 (福寫ら 2014) では、「いわいだわら」と「ふくひびき」で粗玄米重  $800\text{kg } 10\text{a}^{-1}$  を超える多収を得るためには総窒素施用量  $12\text{kgN } 10\text{a}^{-1}$  (基肥  $7\text{kgN}$  - 穂肥  $5\text{kgN}$ ) が必要である。本研究初年目の 2013 年は、堆肥施用量を  $0.8\text{t } 10\text{a}^{-1}$  としたが、堆肥のみで窒素肥料を追加しない場合の粗玄米重は「いわいだわら」が  $736\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ 、「ふくひびき」が  $626\text{kg } 10\text{a}^{-1}$  であった (表 4)。また、堆肥無施用・慣行窒素施用体系 (総窒素施用量  $8\text{kgN } 10\text{a}^{-1}$ 、基肥  $6\text{kgN}$  - 穂肥  $2\text{kgN}$ ) と比較すると「いわいだわら」では同

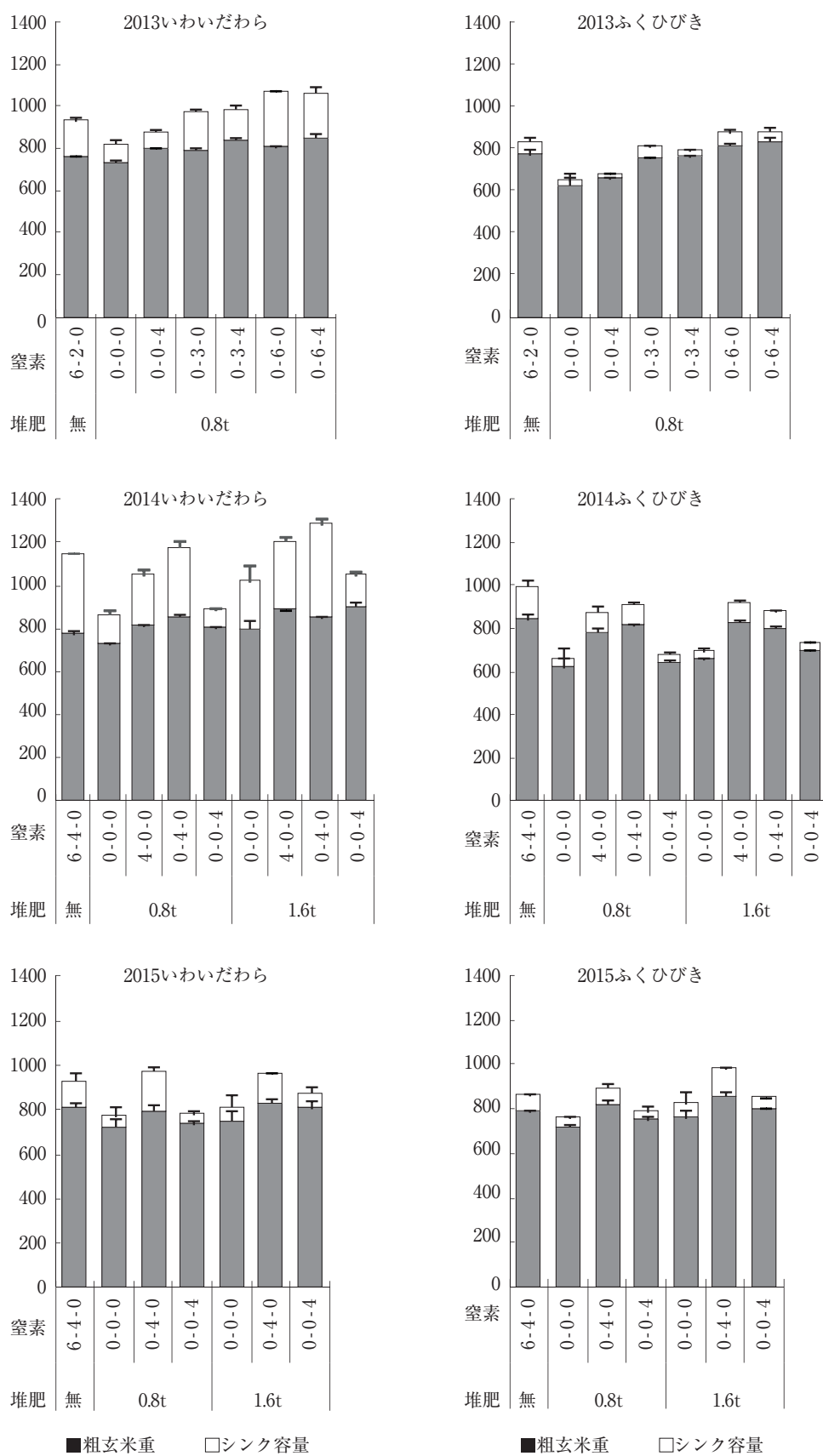


図6 粗玄米重とシンク容量 (kg 10a<sup>-1</sup>)

窒素施用処理は表4注釈と同様。垂線は標準誤差を示す。

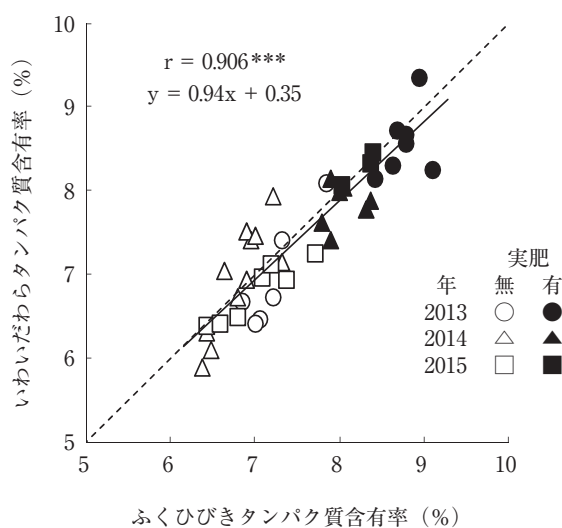


図7 玄米タンパク質含有率の品種間差

\*\*\*は 0.1%水準で相関係数が有意であることを示す。点線は 1:1 を示し、実線は回帰直線を示す。

等以下、「ふくひびき」では約 $140\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ 低くなり、多収を得る上で堆肥の肥効は不十分であった。成熟期の稲体窒素吸収量に関しては、堆肥 $0.8\text{t} \cdot$ 窒素 $0-0-0$ 処理が堆肥無施用・窒素 $6-2-0$ 処理の9割程度であった(図4)。以下、この要因を考察する。まず、マニュアル(農研機構 2017)の肥効率はあくまで目安であり、本研究に用いた堆肥は肥効率が低かったことが考えられる。次に、堆肥由来窒素の肥効の発現時期について、茎数や葉色の推移から、本研究では移植後約1カ月頃から目に見えて現れ始め、穂首分化期から幼穂形成期にかけて顕著と考えられた。この時期の窒素の肥効は、本研究の作期で「いわいだわら」と「ふくひびき」を栽培した場合には分けつの無効化を抑制して穂数を高止まりさせるとともに、一穂粒数を増加させる。このことが単位土地面積当たりの粒数(以下、粒数)を高めることに寄与する。一方、堆肥の肥効は移植後初期の分けつ増加にわずかしき寄与していなかった(図2)。したがって、特に収量が穂数に制限される品種の場合は、堆肥を多投入しても、基肥や分けつ期追肥として窒素肥料を一定量施用しないと茎数および穂数は少なくなりやすく、多収を得る上で粒数や窒素吸収量が安定して十分にならないと考えられた。

「いわいだわら」の多収に適した窒素施用方法を考案する上で、本研究結果から品種特性に関して重要な知見が得られた。すなわち、「いわいだわら」は生育初期の分けつが劣る場合でも、堆肥の肥効や

生育中期の窒素追肥によって一穂粒数を大きく高めることができ、このことが粒数ひいてはシンク容量を高めることにつながった。さらに、穂揃い期追肥(以下、実肥)によって登熟歩合を高めることで多収を得ることが可能と考えられた。「いわいだわら」は「ふくひびき」よりも穂数は少ないが一穂粒数が多く(図5B、C)、一穂粒数は最大で150粒であり、「ふくひびき」よりもシンク容量が高い傾向にあった(表4～6、図6)。また、堆肥 $1.6\text{t } 10\text{a}^{-1}$ 施用処理を最初に設けた2014年は、「いわいだわら」の粗玄米重が窒素無施用で $800\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ 、実肥施用で $905\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ と高い数値を記録した(表5)。一方、同堆肥施用条件における2014年の「ふくひびき」の粗玄米重は、窒素無施用で $657\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ 、実肥施用で $699\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ と「いわいだわら」より大幅に低かった。これらのことから、「いわいだわら」は「ふくひびき」よりも生育途中からの窒素供給で一穂粒数が増えやすく、粒数を高めることでシンク容量を高めやすい形質を持つと考えられた。一般に、シンク容量が高まると登熟歩合は低下する。「いわいだわら」の登熟歩合は「ふくひびき」よりも低い傾向にあり、なおかつその変動は大きかった(表4～6、図5F、G)。しかし、実肥の施用によって「いわいだわら」の登熟歩合は「ふくひびき」より高まりやすく(図5F、G)、収量の増加に貢献することが本研究で明らかになった。一方、従来品種の「ふくひびき」は、「いわいだわら」よりも登熟歩合が安定して高いが、実肥を施用しても登熟歩合ならびに収量の向上には明瞭に貢献しなかった(表4～6、図5F、G)。また、「ふくひびき」の収量を効率的に高めるためには、従来型の生育初期の窒素の肥効により十分な穂数を確保し、粒数を高めることが重要であり、多収のための肥培管理が「いわいだわら」と「ふくひびき」とでは異なると考えられた。

粒数は収量と極めて密接に関係した(図5)。同一の処理で比較すると、「いわいだわら」の2015年における粒数は2013年や2014年と比較して低く、その結果粗玄米重も低かった。また、粒数レベルが低かったのは一穂粒数が少ないためであった。一穂粒数が低かった要因としてまず推察されるのは土壌の水分条件である。2015年は7月3日～10日の中干し期間中ほとんど降雨がなく(図1)、7月上旬の土壌は著しく乾燥した状態にあった。一方、2013年は中干し期間中の降雨が多く、土壌はわずかしき乾燥し



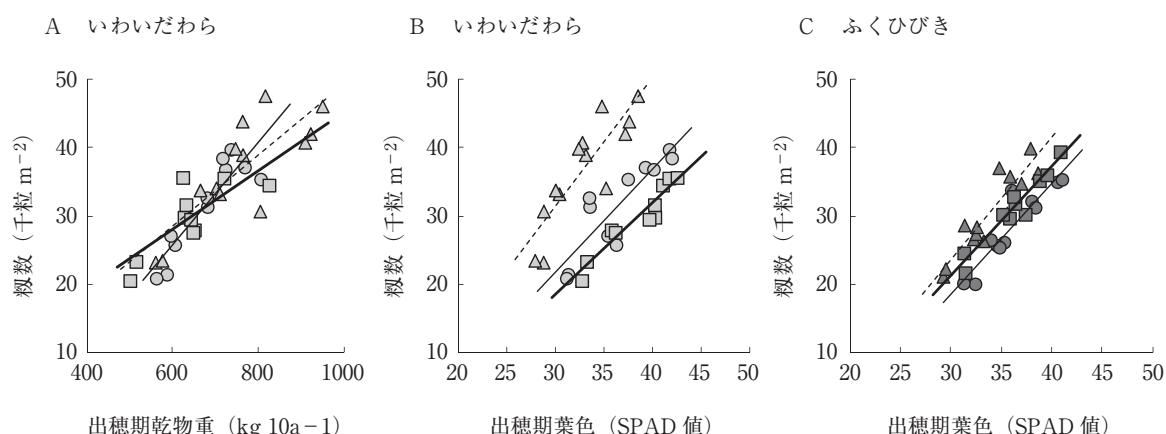


図8 穂数と出穂期乾物重、出穂期第2葉葉色との関係

○：2013年、回帰直線— A： $y=0.076x+19.58$   $r=0.900^{***}$ 、B： $y=1.51x-23.46$   $r=0.873^{***}$ 、C： $y=1.63x-30.35$   $r=0.926^{***}$ 。  
 △：2014年、回帰直線— A： $y=0.052x-2.90$   $r=0.811^{***}$ 、B： $y=1.89x-25.14$   $r=0.862^{***}$ 、C： $y=1.78x-29.86$   $r=0.912^{***}$ 。  
 □：2015年、回帰直線— A： $y=0.043x+2.22$   $r=0.786^{**}$ 、B： $y=1.35x-22.10$   $r=0.955^{***}$ 、C： $y=1.61x-27.31$   $r=0.963^{***}$ 。  
 \*\*、\*\*\*はそれぞれ1、0.1%水準で相関係数が有意であることを示す。共分散分析の結果、A～Cの年次ごとの回帰直線の傾きは5%水準で有意差がなく、切片は0.1%水準で有意に異なった。

なかった。2014年は、穂首分化期の窒素追肥処理を行うために中干し開始と終了が2013年と2015年より早く、また中干し期間も短くなり、この期間の降雨により土壌はわずかし乾燥しなかった。このように、2015年は穂首分化期頃から幼穂形成期前にかけて土壌が著しく過乾燥となり、水稻の水分・養分吸収が一時的に妨げられた結果、幼穂の分化が妨げられ、一穂穂数が他の年次より低下したと推察された。また、その影響は、「ふくひびき」より一穂穂数の多い「いわいだわら」で顕著であった可能性がある。今後は、中干しの期間・土壌の乾燥程度と一穂穂数との関係を明らかにして、適切な水管理につなげることが課題と考えられる。

堆肥を $1.6t\ 10a^{-1}$ 施用する条件で追肥時期が稈長に及ぼす影響を検討すると、穂揃い期追肥の稈長が最も低かった(図3)。「いわいだわら」は食用品種と比較すると耐倒伏性に優れる(福嶋ら2014)が、「ふくひびき」と比較して稈長が長く、多肥条件で倒伏しやすい(土屋ら2013)。耐倒伏性と登熟歩合の向上を図る上では、穂揃い期追肥が減数分裂期や穂ばらみ期の追肥よりも効果的と考えられた。

「いわいだわら」に対する実肥の増収効果は2013年と2014年の試験で認められたが、2015年は認められなかった(図5D)。その要因を考察してみる。2015年は、実肥による登熟歩合の向上が認められないというよりも、同一の穂数で比較したときに、実肥無施用処理の登熟歩合が他の年次よりも高い傾向

表8 登熟期間の気象の年次間差

年次	平均日照時間 (hr day <sup>-1</sup> )	日平均気温 (℃)	気温の日格差 (℃)
2013	4.8	23.7	8.4
2014	3.2	23.2	7.7
2015	3.8	22.7	8.0

品種「いわいだわら」を対象として出穂後40日間について示した。気温の日格差は、日最高気温から日最低気温を差し引いた値を平均した。

にあった(図5F)。そこで、登熟歩合との関連が予想される形質である出穂期乾物重と葉色について穂数との関係を検討した。「いわいだわら」では、同一の穂数において2015年の出穂期葉色値が他の年次よりも高い傾向にあった(図8)。一方、出穂期乾物重には明瞭な年次間差が認められなかった。こうした稲体の形質の他に、気象条件についても考察する。登熟歩合は一般的に登熟期間の日照の影響を受けることから、出穂後40日間の平均日照時間を検討したところ、「いわいだわら」では2013年は4.8時間、2014年3.2時間、2015年は3.8時間であった(表8)。2015年の登熟期の日照時間は2013年よりは短かったが、2014年よりは長く、2015年のみ登熟歩合が高かったことと合致しなかった。ただし、2015年は登熟初期に当たる8月上旬の日照時間は長かったが、登熟中期以降に当たる8月下旬・9月上旬の日照時間が平年および2013年・2014年と比較して短く(図1)、このことが登熟歩合の年次間差に影響した可能性がある。次に、日本型水稻の収量性を高める

上で登熟に適した気温（出穂前10日～出穂後30日もしくは出穂後40日間の平均気温）は、21.1～21.9℃とされている（村田 1964、長田ら 2016）。本研究では、出穂後40日間の平均気温が2013年は23.7℃、2014年は23.2℃、2015年は22.7℃であり（表8）、いずれの年次も最適登熟気温よりわずかに高い程度であった。また、日最高気温から日最低気温を差し引いた日格差を出穂後40日間で平均すると、2013年は8.4℃、2014年は7.7℃、2015年は8.0℃であり（表8）、2015年のみ登熟歩合が高かった要因には該当しなかった。したがって、登熟期の気温は登熟歩合の年次間差に影響しなかったと考えられた。この他に、籾数が少ないほど登熟歩合は高く（図5F）、「いわいだわら」の2015年における籾数は、同一の処理で比較すると2013年や2014年より少なかったことおよびその要因は中干し程度による可能性を前述した。これらを総合すると、出穂期において既に確定しているシンクを満たす上で必要な窒素栄養状態にある場合、登熟期が低日照の場合、籾数レベルが低い場合には、実肥を施用しても登熟歩合並びに収量の向上には結び付きにくいことが推察された。

結果の2で記載したように、堆肥1.6t 10a<sup>-1</sup>の連用2年目では、移植後の初期に生育障害が観察された。最終的な粗玄米重は、窒素施用処理が同じであれば堆肥1.6t 10a<sup>-1</sup>が堆肥無施用や堆肥0.8t 10a<sup>-1</sup>より高かったが、収量の安定性の観点からは好ましくない。したがって、堆肥の投入量を過剰にしない必要性が示唆された。

## 2 玄米タンパク質含有率に及ぼす豚ふん堆肥と窒素施用条件の影響

本研究により、堆肥を0.8～1.6t 10a<sup>-1</sup>施用して実肥を4 kgN 10a<sup>-1</sup>施用すると、実肥を施用しなかった場合と比較して玄米タンパク質含有率は乾物で0.9～1.9ポイント増加することが明らかになった（表4～6）。以下、タンパク質含有率は引用も含めて乾物に換算した数値を示す。これまで、良食味米生産の観点から、玄米タンパク質含有率を低レベルに抑制するための研究が多数行われてきたが、近年育成された飼料用米向け品種の玄米タンパク質含有率が実肥によってどの程度増加するのかについての知見はごくわずかであった。寒冷地向けの多収品種「べこあおば」を用いた研究では、基肥として4 kgN 10a<sup>-1</sup>を施用し、幼穂形成期に4～8 kgN 10a<sup>-1</sup>の穂肥を施用した上で4 kgN 10a<sup>-1</sup>の実肥を施用す

ると、穂肥と実肥を施用しなかった場合と比較して玄米タンパク質含有率は1.2～1.8ポイント高くなったことが報告されている（山口ら 2012）。また、土屋ら（2013）は、本研究と同じ「ふくひびき」と「奥羽409号（後の「いわいだわら」）」を岩手県の現地で栽培し、基肥-穂肥-実肥：8-4-0kgN 10a<sup>-1</sup>の窒素施用体系と比較して、8-0-4もしくは8-4-4kgN 10a<sup>-1</sup>の窒素施用体系により玄米タンパク質含有率は0.7～1.5ポイント高くなったことを報告している。本研究では、山口ら（2012）や土屋ら（2013）の報告と類似した結果が得られた。

日本食品標準成分表2015年版（七訂）（文部科学省 2015）によると、玄米のタンパク質含有率は8.0%、トウモロコシは10.1%となっている。タンパク質含有率の算出に当たっては、改良ケルダール法又は燃焼法（改良デュマ法）によって定量した窒素量に、「窒素－タンパク質換算係数」を乗じており、玄米の換算係数は5.95である。一方、日本標準飼料成分表（2009年版）（中央畜産会 2009）では、玄米のタンパク質含有率は8.8%、トウモロコシは8.9%となっている。そして、「窒素－タンパク質換算係数」は6.25である。本研究では、玄米を飼料として用いることを想定していることから、換算係数は6.25を用いた。食用米の生産では、良食味化のために玄米タンパク質含有率を抑制し、耐倒伏性を考慮して基肥-穂肥の窒素施用体系が一般的である。本研究では、基肥6-穂肥2もしくは4 kgN 10a<sup>-1</sup>の慣行窒素施用体系で「いわいだわら」および「ふくひびき」を栽培すると、玄米タンパク質含有率は6.7～7.3%であった。この数値は換算係数6.25を用いている。換算係数5.95を用いた場合には6.4～6.9%である。このことは、飼料用米向けの多収品種を慣行窒素施用体系で栽培しても、玄米タンパク質含有率が日本標準飼料成分表や日本食品標準成分表よりも1～2ポイント程度低くなることを示唆している。

飼料用米はトウモロコシの代替であることからトウモロコシ並みのタンパク質含有率が家畜飼養業者から求められている。本研究において、玄米タンパク質含有率が最も高かったのは、2013年の堆肥0.8t 10a<sup>-1</sup>施用で窒素施用を基肥0-穂肥6-実肥4 kgN 10a<sup>-1</sup>とした処理であり、「いわいだわら」で9.3±0.1%、「ふくひびき」で8.9±0.3%であった（表4）。このことから、品種「いわいだわら」や「ふ

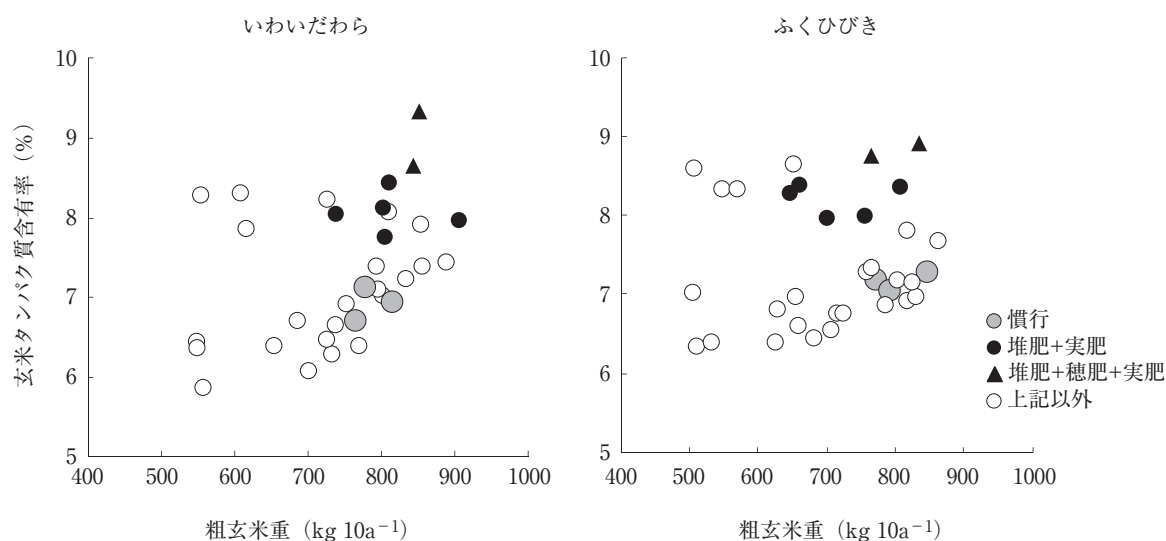


図9 「いわいだわら」と「ふくひびき」の粗玄米重と玄米タンパク質含有率の関係

慣行は堆肥無施用で基肥+穂肥の窒素施用体系。

くひびき」の玄米をトウモロコシ並みのタンパク質含有率にすることは可能と考えられた。その一方で、効果的に玄米タンパク質含有率を高めるためには実肥は欠かせなかった。食用米の栽培に準じた慣行窒素施用体系では、多収品種を用いても玄米タンパク質含有率は7%に満たず、また、転作による助成金を当てにした「捨て作り」の場合はさらに玄米タンパク質含有率が低いことが想定される。現在開発されている飼料用向け多収品種の多くは、食用品種よりも耐倒伏性に優れるため多肥栽培が可能であり、収量と玄米タンパク質含有率を高めやすい。しかし、過剰な施肥は収量を高める上で稲体における肥料成分の利用効率が悪い。また、近年化学肥料の価格は上昇傾向にある。飼料用米生産者と家畜飼養業者の双方が利益を得られるように、収量と玄米タンパク質含有率の双方を高めるためには、品種の特性を把握した上で、堆肥を活用しながら化学肥料の使用を削減し、効率的な施肥法を明らかにすることが重要であり、その点については後述する。

### 3 収量と玄米タンパク質含有率の双方を高める条件および今後の課題

「いわいだわら」は堆肥の肥効や生育中期の追肥によってシンク容量が高まりやすい特性を持つことが本研究で初めて明らかとなった。また、「いわいだわら」は実肥の施用によって登熟歩合が向上することで収量も高まりやすいことから、収量と玄米タンパク質含有率の双方を高める上で、実肥を施用す

る施肥体系が適すると考えられた。粗玄米重と玄米タンパク質含有率との関係を図9に示したが、この図からも、「いわいだわら」の場合は「堆肥+実肥」あるいは「堆肥+穂肥+実肥」の体系により、堆肥を施用しない慣行窒素施用体系と同等もしくはそれ以上の収量を得ながら、高い玄米タンパク質含有率の両立が可能であることが示された。

今後は、目標の収量と玄米タンパク質含有率の値を設定した上で、生育診断に基づいて目標値を達成するための追肥量を示すなどの肥培管理技術の開発が必要であり、現在「いわいだわら」の普及地帯である岩手県南部での現地試験データを収集しながら検討中である。

本研究では、豚ふん堆肥の窒素の肥効に焦点を当てた。しかし、豚ふん堆肥にはリン酸が多く含まれる(表2)。また、堆肥を多施用し続けた場合の土壌養分の分析を現在行っており、0.8t 10a<sup>-1</sup>の施用では土壌中の窒素はさほど増えないが、リン酸が年々増えていくことが明らかになりつつある。このことは土壌養分の持続性や環境に対して問題となる。今後は、土壌養分の持続性を保つ豚ふん堆肥の最適投入量を明らかにし、リン酸とカリは堆肥のみで補い、最低限の窒素肥料を適時施用することで、化学肥料の削減が見込まれる。また、牛ふんや豚ふんの発酵過程で発生するアンモニアガスを硫酸溶液に通すことでアンモニアを回収して、窒素分を含む液体の硫酸を製造する技術が開発されている(阿部

ら 2003、阿部 2006、阿部・福重 2006)。耕畜連携によって堆肥と液体硫酸を活用することで、多収を得ながら最大限可能な地域循環型の飼料用米生産体系が構築可能と考えられる。

## 引用文献

- 1) 阿部佳之. 2006. 家畜排せつ物の堆肥化工程の課題と展望. 日草誌 52 : 50-58.
- 2) 阿部佳之, 福重直輝. 2006. 堆肥化処理に向けた簡易なアンモニアスクラバ. 農業機械学会誌 68 : 29-31.
- 3) 阿部佳之, 福重直輝, 伊藤信雄, 加茂幹男. 2003. 吸引通気式堆肥化処理技術の開発 (第2報) - 吸引通気式堆肥化におけるアンモニア回収の可能性 -. 農業施設 34 : 1-11.
- 4) 中央畜産会. 2009. 日本標準飼料成分表 (2009年版) 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構編. 中央畜産会.
- 5) 福寫 陽, 長田健二, 白土宏之, 山口弘道, 福田あかり, 吉永悟志, 寺島一男, 持田秀之. 2009. 極大粒の水稻品種「べこあおば」は7年間平均で920kg/10aの超多収を記録. 平成20年度東北農業研究成果情報. <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/tarc/2008/tohoku08-19.html> (2017/5/18閲覧)
- 6) 福寫 陽, 太田久稔, 梶 亮太, 津田直人, 中込弘二, 山口誠之, 片岡知守, 遠藤貴司, 田村泰章. 2014. 東北中南部の飼料用米生産に適した水稻品種「いわいだわら」の育成. 東北農研研報 116 : 1-11.
- 7) Hayashi, S. 2015. Comparison of two high-yielding rice varieties, Kita-aoba and Tachijobu, for Hokkaido, northern Japan, and effects of swine compost application on the growth and grain yield of Tachijobu. Plant Production Science 18: 481-490.
- 8) 東 正昭, 斉藤 滋, 池田良一, 春原嘉弘, 松本定夫, 井上正勝, 小山田善三, 山口誠之, 小綿寿志, 横尾政雄. 1994. 超多収品種「ふくひびき」の育成. 東北農試研報 88 : 15-38.
- 9) 勝俣昌也, 石田藍子, 豊田裕子. 2013. 生産現場で収穫した飼料用米の化学組成ならびに保管条件が玄米と粳米の脂肪酸度におよぼす影響. 日豚会誌 50 : 164-172.
- 10) 小林直樹, 辻本賢二郎, 伊達 毅. 2010. 玄米給与割合が肥育豚の発育と肉質に及ぼす影響. 福井県畜試研報 23 : 36-40.
- 11) 楠田 宰. 1995. 水稻の収量及び収量構成要素の調査方法について. 植調 29 : 138-143.
- 12) 文部科学省. 2015. 日本食品標準成分表2015年版 (七訂). [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/syokuhinseibun/1365297.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/1365297.htm) (2017/5/18閲覧)
- 13) 村田吉男. 1964. わが国の水稻収量の地域差に及ぼす日射と温度の影響について. 日作紀 33 : 59-63.
- 14) 長田健二, 大角壮弘, 吉永悟志, 中野 洋. 2016. 水稻多収品種における登熟期気象条件と収量との関係の品種間差. 日作紀 85 : 367-372.
- 15) 農研機構. 2017. 飼料用米の生産・給与技術マニュアル (2016年度版). [http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/pub2016\\_or\\_later/files/ricm2016.pdf](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/pub2016_or_later/files/ricm2016.pdf) (2017/5/18閲覧)
- 16) 農林水産省. 2016a. 飼料用米の推進について. [http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l\\_siryu/attach/pdf/index-31.pdf](http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryu/attach/pdf/index-31.pdf) (2017/5/18閲覧)
- 17) 農林水産省. 2016b. 多収品種に取り組むに当たって - 多収品種の栽培マニュアル - 【平成28年9月改訂版】. [http://www.maff.go.jp/j/seisan/kokumotu/tasyumai\\_manual\\_2809.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kokumotu/tasyumai_manual_2809.pdf) (2017/5/18閲覧)
- 18) 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.
- 19) 土屋一成, 山口弘道, 木村俊之, 福寫 陽. 2013. 飼料用米の実肥施用による玄米蛋白含量向上と鶏卵の機能性成分に及ぼす影響. 日作東北支部報 56 : 9-10.
- 20) 山口弘道, 白土宏之, 大平陽一, 福田あかり. 2012. 飼料用大粒水稻品種「べこあおば」の後期重点施肥に基づく窒素施肥量を削減した多収栽培. 日作紀 81(別1) : 38-39.