

Strategy for maximizing sustainable rice yields in paddy field through environmental management

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Kujira, Yukio メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00034804

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



KAKEN

2002

32

金沢大学

水田の環境保全と水稲の超多収を実現させるための戦略

(課題番号：11660015)

平成11年度～平成14年度文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C)-(2))

研究成果報告書

平成15年3月

金沢大学附属図書館



0300-02137-2

研究代表者 鯨 幸夫

(金沢大学教育学部)

水田の環境保全と水稲の超多収を実現させるための戦略

(課題番号：11660015)

平成11年度～平成14年度 文部科学省科学研究費補助金
(基盤(C)-(2)) 研究成果報告書

平成15年3月

研究代表者 鯨 幸夫
(金沢大学教育学部)

研究組織

研究代表者（総括） 鯨 幸夫
(金沢大学教育学部 教授)

研究経費

平成11年度	2,300 千円
平成12年度	500 千円
平成13年度	500 千円
平成14年度	500 千円
計	3,800 千円

研究発表

(平成11年)

鯨 幸夫、冨澤佳代、中島裕司、佐野智子、内浜 朗、吉村紘美、狩野 紫、有機栽培を行ったコシヒカリの根乾重階層構造および収量構成要素、第13回根研究集会講演要旨集：9、2000年6月。

鯨 幸夫、内浜 朗、吉村紘美、佐野智子、中島裕司、狩野 紫、畑中博英、橋本良一、コシヒカリの不耕起移植栽培と湛水土中打込み点播栽培— 根系生育、溢泌液量および収量構成要素、第13回根研究集会要旨、2000年6月。

鯨 幸夫、狩野 紫、葭田隆治、水稻の出液中に含まれるサイトカイニン(t-ZR)含有量と各種生育量、北陸作物学会報、36(別号)：3、2000年7月。

鯨 幸夫、佐野智子、中島裕司、内浜 朗、遠藤直生、土屋 猛、F1水稻の乾田不耕起直播栽培— 地上部生育、押し倒し抵抗値および収量構成要素と品質—、北陸作物学会報、36(別号)：12、2000年7月。

鯨 幸夫、中島裕司、佐野智子、吉村紘美、遠藤直生、土屋 猛、乾田不耕起直播栽培したF1品種の根系生育、出液速度および根系からのRb吸収量、日本作物学会紀事、69(別2)：18-19、2000年10月。

鯨 幸夫、吉村紘美、梅本英之、内浜 朗、佐野智子、中島裕司、狩野 紫、冨澤佳代、水稻根の乾重分布と根の生理的機能としてのRb吸収量との関連性、日本作物学会紀事、69(別2)：22-23、2000年10月。

鯨 幸夫、梅本英之、内浜 朗、佐野智子、狩野 紫、冨澤佳代、中島裕司、有機質資材の連続施用がコシヒカリの生育および根系の構造と機能に及ぼす影響、日本作物学会紀事、69(別2)：20-21、2000年10月。

(平成12年)

鯨 幸夫、澤田正恵、長屋 均、越村英世、前田裕二郎、福岡隆子、中島裕司、北田敬宇、連続した施肥管理がコシヒカリの生育および収量構成要素に及ぼす影響、北陸作物学会報、37(別号)：3、2001年7月。

鯨 幸夫、中島裕司、遠藤直生、土屋 猛、LP肥料を用いた水稻F1品種の乾田不耕起直播栽培、日本作物学会紀事、70(別2)：79-80、2001年9月。

鯨 幸夫、中村秋乃、福岡隆子、前田裕二郎、長屋 均、中島裕司、越村英世、北田敬宇、土壌からのRb吸収量を指標とした水稻根の生理活性評価、日本作物学会紀事、70(別2)、2001年9月。

(平成13年)

(平成 13 年)

鯨 幸夫、橋本和幸、新屋美紀、奥野志津枝、前田裕二郎、三上敦子、折谷隆志、宮川 修、多収コシヒカリの要因解析— 長野県伊那市および富山県入善町の場合—、日本作物学会紀事、71 (別 1) :14-15, 2002 年 4 月、

鯨 幸夫、奥野志津枝、宮川 修、新屋美紀、橋本和幸、前田裕二郎、三上敦子、連続した栽培管理がコシヒカリの根系生育、土壌の肥沃度および収量構成要素に及ぼす影響、日本作物学会紀事、71 (別 1) :16-17, 2002 年 4 月。

鯨 幸夫、前田裕二郎、三上敦子、宮川 修、橋本和幸、新屋美紀、奥野志津枝、折谷隆志、水稻根系からの Rb 吸収量と栽培条件および収量構成要素との関連性、北陸作物学会報、38 (別号) :6, 2002 年 7 月。

鯨 幸夫、橋本和幸、葭田隆治、新屋美紀、奥野志津枝、前田裕二郎、栽培管理が異なる水稻の出液中に含まれるサイトカイニン (t-ZR) 含有量、北陸作物学会報、38 (別号) :5, 2002 年 7 月。

橋本和幸、鯨 幸夫、東 英男、新屋美紀、前田裕二郎、奥野志津枝、沢田耕一、山田信明、水稻栽培でリンまたはカリの施用は必要か— 19 年間の水稻三要素継続試験から—、日本作物学会紀事、71 (別 2) :24-25, 2002 年 8 月。

目次

緒言	1
石膏の育苗箱施用がコシヒカリ苗の生育に及ぼす影響	3
乾田不耕起直播した F1 水稻品種の地上部生育、押し倒し抵抗値 および収量構成要素と品質	7
水稻根系からの出液中に含まれるサイトカイニン (t-ZR) 含有量と 栽培条件との関連性	13
連続した施肥管理がコシヒカリの生育、根系生育および収量構成要素 に及ぼす影響	17
栽培管理が異なる水稻出液中に含まれるサイトカイニン (t-ZR) 含有量	21
栽培管理が異なるコシヒカリ根系からの Rb 吸収量と収量構成要素との関連	28
再生紙マルチを利用して有機栽培を行ったコシヒカリ BL の根系生育、 収量および根の生理活性	35
水稻栽培における 8 葉期中干しが根系生育と根の伸長角度に及ぼす影響	36
水稻の無農薬栽培で植物資材を利用した Weed コントロールは可能か?	37
コシヒカリの不耕起移植栽培と湛水土中打込み点播栽培	39
有機栽培を行ったコシヒカリの根乾重階層構造および収量構成要素	40
ポカシ肥料を用いた有機栽培が水稻の根系、溢泌液量、収量、 収量構成要素および玄米の品質に及ぼす影響	41
乾田不耕起直播栽培した F1 品種の根系生育、出液速度および根系からの Rb 吸収量	45
有機資材の連続施用がコシヒカリの生育、収量および根系の構造と機能 に及ぼす影響	47
水稻根の乾物重分布と根の生理的機能としての Rb 吸収量との関連性	49
LP 肥料を用いた水稻 F1 品種の乾田不耕起直播栽培	51
土壌からの Rb 吸収量を指標とした水稻根の生理活性評価	53
多収コシヒカリの要因解析—長野県伊那市および富山県入善町の場合—	55
連続した栽培管理がコシヒカリの根系生育、土壌の肥沃度および 収量構成要素に及ぼす影響	57
水稻栽培でリンまたはカリの施用は必要か — 19 年間の水稻三要素継続試験から —	59

伊那市（長野県）で栽培される多収コシヒカリの根系構造と根の活力-----	61
多収を示す水田の土壌温度、水温の季節的変化と土壌の三相分布-----	63
馬糞の堆肥化に及ぼす数種の発酵菌およびミミズとワラジムシの影響-----	65
まとめ-----	67

緒 言

地球的規模での環境破壊が問題となっている現在、作物の生産を目的とした研究に加えて環境保全を目的とした農業の実践が社会的に要求されている。また、国内においては、良食味と安全なコメを求める一般的な風潮を背景として、有機栽培を行った農産物へのニーズが高まって来ている。

コメの食味に関しては、日本海地域で栽培されるコメの品質・食味に及ぼす栽培環境の定量的研究として、平成7年度～9年度にかけて検討し有機栽培を行った水稻の根系生育、収量および品質の評価の解析を進めている。この結果、コメの食味に関して、玄米の成分分析に基づいたこれまでの食味評価では説明が難しい良い評価が、有機栽培米に関して存在することが指摘された。

本研究では、水稻の超多収を維持しながらも、農地外の環境に及ぼす負荷をできるだけ小さくする栽培技術を確立するため、圃場調査を中心に検討した。研究対象とした圃場は、

- 1) 1992年に998kg/10aの超多収の実績を持つ、長野県伊那市のコシヒカリの多収水田、
- 2) 長期間にわたり有機資材を連用してコシヒカ리를栽培している、石川県根上町の農家水田、
- 3) 黒部川扇状地に発達した礫層が多く透水性が顕著ながらも多収の実績を示す、富山県入善町の農家水田、
- 4) 石川県野々市町、石川県松任市において、有機資材を用いてコシヒカリの有機栽培を実践している水田、
- 5) F1品種の乾田不耕起直播試験を実施した、石川県野々市町の石川県農業短期大学の圃場
- 6) 富山県農業技術センター農業試験場において、継続した水稻の三要素試験を継続している圃場
- 7) 富山県農業試験場において、コシヒカリ BL 品種を有機栽培している圃場
- 8) 植物資材を用いて雑草の発生を抑制する効果を検討した、金沢大学教育学部角間農場、等である。

現在、水稻栽培において多収を目指す農家の意気込みや、多収のための栽培技術の開発に努力する研究者および農家の姿は少なくなって来ている。「多収

は肥料さえ施用すればいつでも実現可能である」との思い込みに裏打ちされた、品質重視の栽培管理が進行している状況の中、水稻の超多収穫を維持する栽培技術を科学的に解明し、多収を維持するメカニズムを解析することは極めて重要である。また、多収と同時に環境を保全した水稻栽培の技術を確立することは、それ以上に重要である。本研究では、環境負荷を少なくしながら有機資材を施用して超多収穫を維持するための栽培戦略について検討した。

石膏の育苗箱施用がコシヒカリ苗の生育に及ぼす影響

鯨 幸夫*¹⁾・山田優也¹⁾・高橋利征¹⁾・佐藤 匠¹⁾・杭田忠三²⁾
(¹⁾金沢大学教育学部, 石川スズエ販売株式会社)

Effect of Gypsum (Calcium sulphate) Application to the Nursely Bed
on the Growth of Koshihikari cv.

Yukio KUJIRA*¹⁾, Yuya YAMADA¹⁾, Toshiyuki TAKAHASHI¹⁾, Takumi SATO¹⁾ and Chuzo KUIDA²⁾

(¹⁾Faculty of Education, Kanazawa University, Kanazawa 920-1192, Japan,

²⁾Ishikawa Suzue Co. Ltd.)

育苗箱に石膏を施用した場合、コシヒカリ苗の生育にどのような影響を及ぼすかについて検討した。実験は、1998年4月から6月にかけて金沢大学教育学部角間農場のガラス室にて実施した。石膏を施用すると(20g/箱)、草丈の伸長が抑制されたが、生育の進行に伴って草丈の相対生長速度が増加した結果、石膏施用による抑制効果は見られなかった。葉面積の生長に対する石膏施用の影響は小さかったが、播種密度が低い場合には石膏の施用によって葉面積の相対生長速度の増加が期待できる。20g/箱の石膏施用で根乾物重は減少したが、根域制限シートの影響も考えられる。

Effect of gypsum (calcium sulphate) application to the nursely bed on the characteristics of Koshihikari's growth was discussed in the greenhouse experiment, Faculty of Education, Kanazawa University in 1998. Plant length per plant was decreased by gypsum application of 20 g per nursely bed, but relative growth rate of plant length was increased as the plant growth. There was a few relationship between leaf area per plant and gypsum application, though the increase of relative growth rate of leaf area will be expective in low seeding density of 60 g per nursely bed. Total root dry weight per plant was decreased by gypsum application.

キーワード：コシヒカリ, 根系, 水稻, 生長速度, 硫酸カルシウム

Key words : Calcium sulphate, Growth rate, Koshihikari, Rice, Root system.

有機農業の重要性が、農地生態系を通じた環境保全の観点から指摘されている。日本においては、有機農業の実践に関する法律的規制が未だなされていない状態であるが、欧米では既に法政化されている事が多い。天然石膏(硫酸カルシウム; Mined gypsum)は、米国において有機農業を行う場合にカルシウム源としての使用が許可されている資材であり、環境保全の効果があることも報告されている。土壤に石膏を施用した場合、土壤および作物がどのような反応をするかについては、Shainbergら(1989)の総説がある。また、水田に石膏を施用すると、水田からのメタン発生を抑制させる効果(Lindau et al., 1994, 鯨ら, 1995, Kujira et al., 1996)や、水稻栽培では土壤表層10cm以下に含まれる根量の割合が増加する(鯨ら, 1996, 1997)結果も報告され、農業生態系にプラスの効果がある事例となっている。また、石膏を施用した土壤では固粒構造が発達し、土壤中の排水が改善される(Abbott et al., 1986, Jayawardane et al., 1990, Kujira et al., 1996)。育苗時に石膏を施用した場合の水稲苗の生育をポット試験で検討した報告は既にあるが(鯨ら, 1994a, b)、本研究では、一般に使用されている育苗箱に石膏を施用した場合、コシヒカリ苗の地上部生育と根系生育にどのように影響するかについて、育苗箱中の生育個体の精密な連続調査を行い解析した。

材料および方法

実験は、1998年4月から5月にかけて、金沢大学教育学部農場のガラス室内にて実施した。市販の育苗箱に用土(トヨコード; N, P, Kとして、7g/土壤1kgを含む)を3.5kgずつ充填し、4月6日にコシヒカリの催芽初を播種した。播種密度は、60g, 90g, 120gおよび150gの4段階として3反復の実験を行った。石膏施用処理区には、育苗箱につき20gの石膏を施用し、無施用区を対照区として苗の生育状態を精査した。育苗箱への散水は毎日実施、管理は慣行法により行った。各育苗箱の30個体をマークして、4月15日から1日おきに草丈の測定を行った。鞘葉と不完全葉を含めたすべての葉身部面積は、調査日ごとの葉身部の葉長と葉身中央部の葉幅の測定値から、次の近似式(Richards et al., 1994)を用いて推定した。推定葉身部面積(mm²) = 葉身長(mm) × 葉幅(mm) × 補正值(0.75)

5月7日には、各育苗箱から10個体を無作為に採取して、葉身乾物重、葉鞘乾物重および根乾物重を調査した。5月11日には、育苗箱中の任意の5cm × 5cmの面積を1単位として各々2単位を無作為に切り出して採取し、根系を丁寧に洗浄したのちサンプル採取枠内の個体数および各種の生育量の測定を行った。また、各生育時期の測定値から推定した葉面積値を基本量として、生長解析を行った。得

られた結果については、最小有意差 (LSD) を用いた有意性の検定を行い、石膏施用区と無施用区との対比、および播種密度の差異から検討した。

結 果

1) 草丈の変化

生育に伴う1日おきの草丈の変化を調査した。石膏を施用すると草丈が短くなる傾向が認められ、60g播きでは4月15日、17日、27日に有意差が認められた。その他の処理区では統計的に有意な差異は認められなかった。播種量の差から検討すると、石膏施用区の場合、生育初期(4月24日頃まで)には、90g播き>120g播き>60g播き>150g播きの順位を示し、播種密度が高いと草丈が低い傾向が示された。4月27日以降は、播種密度が低い区で草丈が高かった。播種量が増加すると石膏施用の影響は認められなくなった。よって、育苗箱への石膏の施用量は播種量の違いによって変える必要があるものと考えられた。

2) 草丈の相対伸長速度

草丈の伸長速度を1日あたりの相対生長速度として計算し、表1に示した。播種量60g区では、対照区よりも石膏施用区で常に大きな草丈を示し、石膏を施用すると草丈の生長速度が大きくなっていることが示された。その他の播種密度でも同様の結果が示された。生育初期では、石膏を施用すると伸長が抑制されて草丈が低くなるが、生育の進行にともなって対照区との差がなくなってくる。これは、

石膏施用区では草丈の相対生長速度が大きいことに由来する現象であることが認められた。

3) 葉面積

各処理区における葉面積の変化を第1図に、葉面積の相対生長速度を第2表に示した。Gypsum施用によって個体あたりの葉面積が増加したのは、90g播種区のみであった。個体あたりの葉面積の拡大に関しては、石膏施用の影響は少ないものと考えられた。個体あたりの葉面積は、播種量が少ないほど大きくなるが、石膏を施用すると育苗期後半にその影響がでてくる。葉面積の増加速度は60g播種区で大きく、播種密度が低い場合には、1箱あたり20gの石膏施用によって葉面積の相対生長速度の増加が期待できるものと考えられた。

4) 乾物重量

育苗箱中の10個体単位あたりの葉身乾重、葉鞘乾重、根乾重および地上部乾重は、播種密度が低いほど大きく、播種量の違いによるこれらの生育量の差異は、石膏施用の有無に関わらず認められた(第2図)。60g播き区と90g播き区では、石膏施用によって根乾重は有意に減少した。120g播き区では差異は認められず、150g播きでは石膏施用によって地上部の各種生育量が有意に大きかった。本実験では、育苗箱の底に根伸長抑制シートを使用したため各個体の根長が短くなっていた。根乾物重に及ぼす石膏施用の影響が底びきシートに影響されたものであったかどうかについては、更に検討する必要がある。

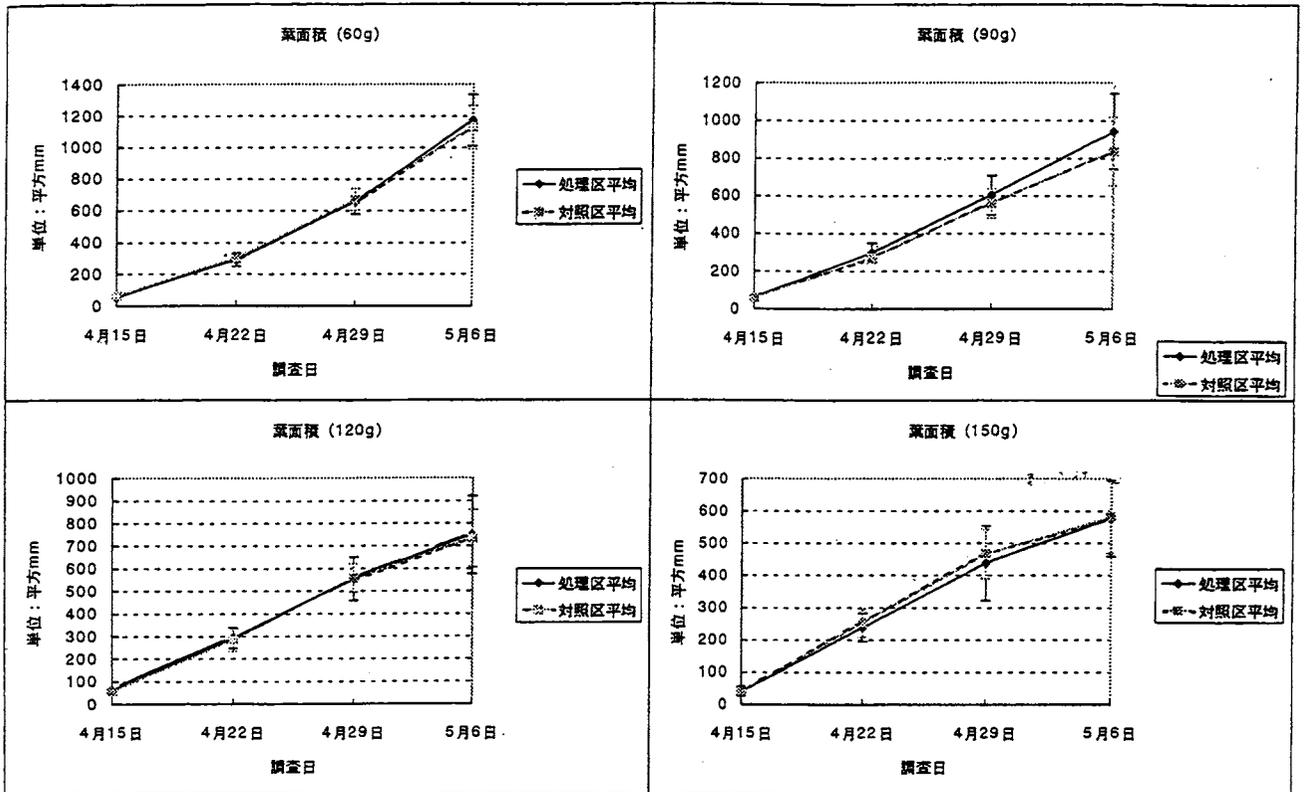
第1表 草丈の相対生長速度 (cm/day)

播種量	Gypsum	4/15-17	4/17-20	4/20-22	4/22-24	4/24-27	4/27-29	4/29-5/1	5/1-4	5/4-6
60g	+	0.133	0.193	0.089	0.037	0.048	0.067	0.044	0.059	0.046
	-	0.089	0.192	0.075	0.035	0.059	0.057	0.045	0.044	0.037
90g	+	0.099	0.173	0.126	0.042	0.031	0.065	0.054	0.028	0.034
	-	0.108	0.181	0.116	0.040	0.032	0.059	0.055	0.026	0.031
120g	+	0.116	0.162	0.132	0.039	0.021	0.050	0.054	0.028	0.025
	-	0.116	0.171	0.135	0.046	0.036	0.051	0.054	0.025	0.018
150g	+	0.132	0.155	0.167	0.055	0.021	0.046	0.048	0.028	0.020
	-	0.129	0.159	0.156	0.052	0.024	0.044	0.049	0.027	0.022

n=30

第2表 葉面積の相対生長速度

葉種密度	石膏の施用	葉面積の相対生長速度/week (平均値)		
		4/15~4/22	4/22~4/29	4/29~5/6
60g/箱	施用	1.713	0.817	0.579
	無施用	1.577	0.790	0.525
90g	施用	-	-	-
	無施用	1.507	0.715	0.402
120g	施用	1.565	0.638	0.301
	無施用	1.612	0.671	0.273
150g	施用	1.769	0.609	0.274
	無施用	1.840	0.615	0.219



第1図 生育に伴う葉面積 (近似値*) の変化

*葉面積の近似値(mm²) = 葉長(mm) × 葉身中央部の葉幅(mm) × 補正值(0.75)

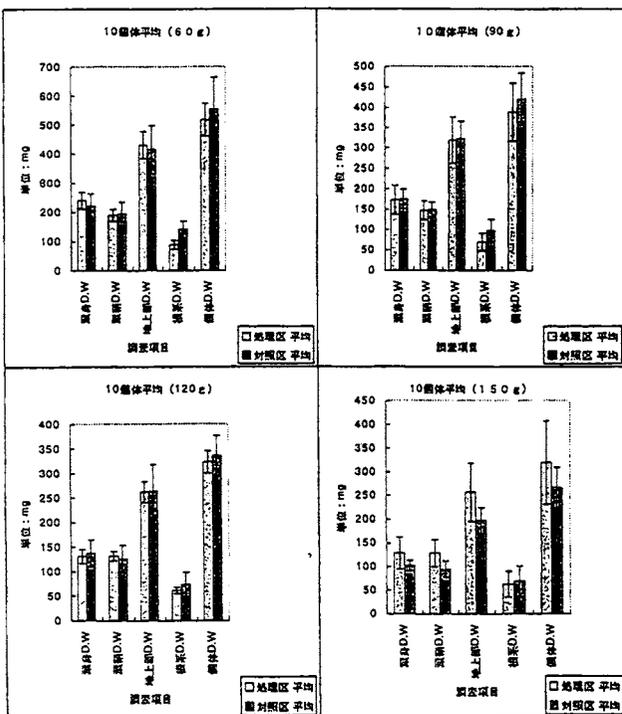
*誤差水準 (5%)

5) 方形枠内 (5 cm × 5 cm) の生長

育苗箱中の任意の 5 cm × 5 cm 枠内における生育量の調査をしたところ、播種密度と個体サイズとの間に負の相関関係が認められ、この関係は石膏施用の有無に関わらず認められた。90g 播きの場合には、育苗箱中の 25cm² (5 cm × 5 cm のコドラート内) あたりの地上部乾重、根乾重、個体乾重および1個体あたりの根乾重は、石膏施用によって減少していた (第3図)。

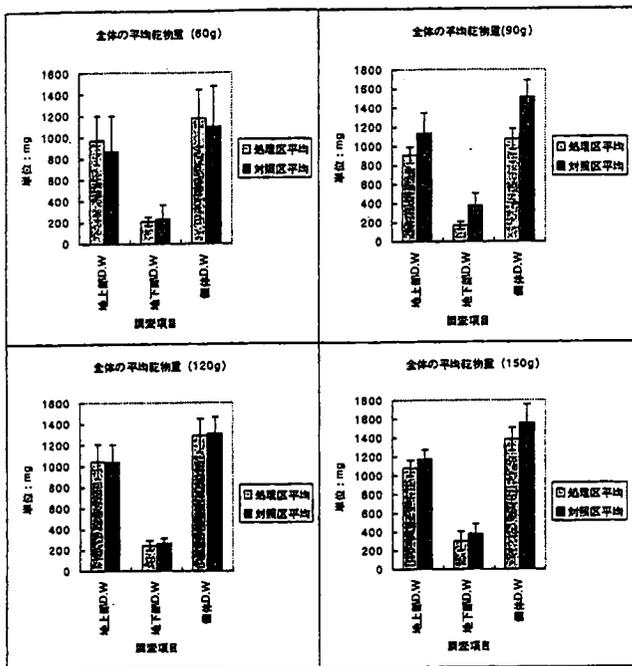
考 察

耕地に石膏を施用すると土壌の物理性が改善され団粒化が促進されることから、特に湿地や重粘土壌において排水促進の効果が認められている (Abbott, et al., 1986)。また、重粘土壌で作物を栽培した場合に生じる収量低下が、土壌中の空隙割合の減少による土壌水分保持力の低下が原因との考え方から、土壌中の作溝に (幅15cm, 深さ40cm) 石膏を施用することで改善の効果が認められているが、この場合の効果は短期間しか持続しない (Jayawardane et al., 1990)。環境保全型農業の立場からは、堆肥をはじめとする有機物資材が再び注目され、その需要が増加している。有機物資材は土壌を総合的に改良する資材であるが、ここでは有機物の発現と持続性が問題となる。石膏は土壌中の pH 上昇効果を持たないことから、有機物の分解調節のための Ca 源としての有効性が報告されている (藤間ら, 1997)。石膏を施用すると稲わらの腐熟過程において



第2図 10個体あたりの平均乾物重の処理間差異

*誤差水準 (5%)



第3図 育苗箱の単位面積 (5 cm×5 cm) における各生育量の変異

*誤差水準 (5%)

炭素の無機化抑制効果を持ち、また窒素の無機化促進とその効果の持続性、さらに安価であることから、有機物の分解調節剤としての石膏の施用が有望であるとされている (藤間ら, 1997)。

石膏を施用した土壌を1/5,000aワグナーポットに充填して水稻を生育させた場合、石膏の施用方法の違いによって生育に及ぼす影響が異なっていた。石膏を表層施用した場合には、最大根長と根数が減少する傾向を示した (鯨ら, 1994a) が、石膏を全層施用した場合、播種後38日目の根数が増加する傾向を示し、個体あたりの積算根長や根乾物重も大きく、総根長/根乾物重比が小さいことから根が太い状態であった (鯨ら, 1994b)。

本試験では、一般的に使用されている育苗箱を用いて石膏を表層施用した実験である。播種後31日目および35日目の根乾重は石膏施用区で減少していた。石膏施用により、草丈が短くなる傾向が認められたが、その程度は播種密度によって差があった。生育初期に徒長しない苗を育苗するには石膏の使用効果が期待できるが、播種密度によって施用する石膏の量を調節する必要がある。また、石膏施用による草丈の伸長抑制効果が生育の進行とともに小さくなっていくが、これは、石膏を施用することで草丈の相対伸長速度が促進されることに起因している。葉面積の拡大に対しては、石膏施用の効果は認められなかった。近年、水稻の育苗に際し育苗箱の底にシートを敷く場合が増加している。田植えの際に生じる根切れを最小限にして活着時の生育遅延を少なくするために導入された方法であり本試験でもシートを使用した。シートにコーティングしてある薬剤の影響で根長は確実に短くなり、これが根の生育量に関す

るこれまでの試験結果と比較することを難しくしている。アルファルファの場合、土壌に石膏を施用すると根量が著しく増加し、対照区と比較して下層土 (0.15~1.05m) の中間層で根の生育量の差が顕著に認められている (Sumner *et al.*, 1989)。石膏を施用したサイズでは、0.3~0.75 mの範囲の下層土で根量の増加が認められる (Farina, 1988) など、圃場への石膏施用効果が報告されている。

水稻に関しては、圃場および育苗箱レベルでの石膏施用効果についての報告は少ないが、これは、水稻の生育に対しては、石膏自体が直接的に及ぼす影響が小さく、石膏を施用することで土壌中で生じる物理・化学的な影響を通して間接的に水稻の生育が影響される場合が大きいことを意味していると考えられる。

ブラジルのイネ生産圃場では、1.4t/ha程度の石膏が施用されており (Farina, *et al.*, 1988)、生態系農業を目指した有機農業を法的に規定して実践している欧米においては、石膏使用の安全性を認定している (鯨, 1993)。石膏に関する育苗段階における基礎的研究のみならず圃場レベルでの研究の必要性は、今後の課題として更に検討する必要があるものと考えられる。

引用文献

- Abbott, T. S. and D. C. McKenzie 1986. Agfact AC. 10, First edition, Department of Agriculture, NSW, Australia : 1-16.
- Farina, M. D. W. 1988 (Shainberg, I. 1989. *Advances in Soil* 9 : 1-111 より引用)
- 藤間 充, 三枝正彦 1997. *日本土壤肥料学会報* 68 : 645-650.
- Jayawardane, N. S. *et al.* 1990. *Farmers Newsletter (in Australia)*, 136 : 35-38.
- 鯨 幸夫, 1993. *農業および園芸* 68 : 245-249, 353-357.
- 鯨 幸夫, 田中桂子 1994a. *北陸作物学会報* 29 : 44-47.
- 鯨 幸夫, 岡田佳菜子ら 1994b. *北陸作物学会報* 29 : 40-43.
- 鯨 幸夫ら 1995. *日作紀64 (別2)* : 159-160.
- 鯨 幸夫ら 1996. *日作紀65 (別1)* : 196-197.
- Kujira Y. *et al.* 1996. *Hokuriku Sakumotsu Gakkaiho* 31 : 66-69.
- Kujira Y. *et al.* 1996. *Book of Abstracts, 4th Congress of ESA Vol.1* : 254-255.
- 鯨 幸夫ら 1997. *日作紀66 (別1)* : 8-9.
- Lindau, C. W. *et al.* 1994. *Plant and Soil* 158 : 299-301.
- Richard R. 1994. not published
- Shainberg, I. *et al.* 1989. *Advances in Soil Science* 9 : 1-111.
- Sumner, M. E. *et al.* *Soil Sci. Plant Anal.* 19 (Shainberg, I., 1989 *Advances in soil Sci.* 9 : 1-111. より引用)

(1999年12月1日受付, 2000年2月10日受理)

乾田不耕起直播栽培したF1水稻品種の地上部生育、 押し倒し抵抗値および収量構成要素と品質

鯨 幸夫*¹⁾・佐野智子^{1,2)}・中島裕司¹⁾・遠藤直生³⁾・内浜 朗¹⁾・土屋 猛⁴⁾

(¹⁾金沢大学教育学部, 金沢市角間町, 〒920-1192, ²⁾信州大学農学部,

³⁾石川県農業短期大学, ⁴⁾三井化学(株))

Aboveground Growth, Lodging Resistance, Yield Components and Grain Quality
of F1 Rice Grown in the No-tillage Direct Seeding on Well-drained Paddy Field

Yukio KUJIRA*¹⁾, Satoko SANO^{1,2)}, Yuji NAKAJIMA¹⁾, Naoki ENDOU³⁾, Akira UCHIHAMA¹⁾
and Takeshi TSUCHIYA⁴⁾

(*¹⁾Faculty of Education, Kanazawa University, Kanazawa 920-1192, Japan, ²⁾Faculty of
Agriculture, Shinshu University, ³⁾Ishikawa Agricultural College, ⁴⁾Mitsui Chemical Co. Ltd.)

乾田不耕起直播栽培したF1品種 (MH2003, MH2005) の地上部生育, 株あたり押し倒し抵抗値, 収量構成要素および玄米の外観品質と食味成分について検討した。施肥条件はLP区とBB056区とした。施肥の種類によって草丈の伸長に有意差が認められ, MH2005はLP肥料の使用で草丈の抑制効果が認められた。F1品種は押し倒し抵抗値が高く, 倒伏耐性に優れていた。2品種とも優れた登熟特性を示していた。F1品種は極晩生品種であるが, 北陸地方における乾田不耕起直播栽培が可能であると判断された。

Aboveground growthes, lodging resistance, yield and yield components and grain quality of F1 rice cv. MH2003 and MH2005 grown in the no-tillage direct seeding on well-drained paddy field were discussed. Plant length of MH2005 grown with LP fertilizer was significantly decreased compared to BB056 fertilizer plots. Lodging resistance of F1 cultivars was high. MH2003 and MH2005, though extremely late maturing, showed good adaptabilities to no-tillage direct seeding on well-drained paddy field in Hokuriku district.

キーワード : F1品種, 乾田不耕起直播栽培, 水稻, 地上部生育, 倒伏抵抗値, ハイブリッドライス

Key words : Aboveground growth, F1 cultivars, Hybrid rice, Lodging resistance, No-tillage direct seeding of well-drained paddy field, Rice

水稻のF1品種は, hybrid vigorに由来した多収が期待できると考えられている。中国ではF1品種の作付け面積が多く, 食料供給に関しては大きな貢献を果たしていることから, F1品種の多収性が評価されている。中国におけるF1品種の作付けは全水田面積の半分にあたる1,700haに及んだこともあり, 収量で20~30%の増加が報告されている。

本試験に用いたF1品種は, 1994年に三井化学(株)が育成した品種で, 父親は中国品種でインディカ系の遺伝子が1/4入っており, 母親は日本種である。稈長が1m前後と長く, 太い茎を持った大型の草姿を示している。普通品種より茎数は少なめで1穂の着粒数は極めて多い特徴を持つ。極晩生品種である。2000年3月29日種苗法に基づき品種登録され, 「みつひかり」シリーズの「2003」と「2005」となった。

環境保全型農業を実践することが世界的な方向となって

いる現在, 収量性と環境保全を同時に実現させる農業体系を構築することが必要となっている。本研究では, 1) 北陸地方におけるF1品種の乾田不耕起直播栽培の可能性について, 2) 供試したF1品種の生育特性について, 特に地上部生育について, 3) LP肥料の効果について等の項目を通して, 北陸地方におけるF1品種の栽培可能性について, 収量および収量構成要素を含めた地上部生育について検討した。

材料および方法

実験は, 1999年に前述のF1品種, MH2003およびMH2005を用いて, 石川県農業短期大学内の圃場において実施した。播種は4月23日に「みのる歩行2条不耕起直播機」を用いて行い, 株間15cm, 条間30cmとして, 1穴あたり5~6粒の播種密度とした。施肥はLP40区とBB056区の2処理区とした。4月27日に基肥を施用した。追肥は珪酸カリ

を施用し、穂肥はLP有機060号を使用した。5月2日に入水し、穂肥は7月16日に施用した。

登熟期間中における葉色低下が著しかったため、9月24日に尿素を散布した。その他の管理については慣行法に準じて行った。乾田不耕起直播を他の栽培方法と比較して検討するため、F1品種の湛水直播栽培および移植栽培試験も実施した。湛水土中散播(湛直)栽培は石川農短大の圃場にて実施し(第1表)、慣行法による移植栽培は、金沢大学教育学部角間農場において実施した。施肥および管理状況は第2表に示した通りである。

地上部の生育調査は条にそって1mの長さ(各2箇所)を決め、1mの間に生育する全株を対象として実施した。条1m内の茎数、1mの間に生育する任意の5株の草丈、葉色(SPAD値)を継続調査した。9月27日には、各栽培

第1表 F1品種の栽培管理概要

実験区	肥料の種類	肥料名[成分%]	施用量 (kg/10a)
LP40区	基肥	LP40[40-0-0]	9
		PK08[0-20-18]	36
	追肥	珪酸カリ[0-0-17]	36
BB056区	穂肥	LP有機060号[20-6-10]	42
	基肥	BB056[10-25-16]	36
	追肥	珪酸カリ[0-0-17]	36
	穂肥	LP有機060号[20-6-10]	42

[成分%]: [N-P₂O₅-K₂O]

第2表 湛水直播栽培および慣行移植栽培の概要
湛水直播栽培

実験区	肥料の種類	肥料名	施用量 (kg/10a)
湛水区	基肥	LP40	7.5
		PK08	30
	追肥	珪酸カリ	36
		LP有機060号	35

慣行移植栽培

実験区	肥料の種類	肥料名	施用量(kg/10a)
移植区	基肥	BB056	30
		珪酸カリ	30
	追肥(7/15)	日の本2号[12-10-15]	3
	追肥(7/30)	日の本2号[12-10-15]	3
		P	8
		K	8

[成分%]: [N-P₂O₅-K₂O]

第3表 茎数の推移

実験区		調査日				
		6/30	7/16	7/27	8/12	9/14
2005	LP40	61.0±3.0	75.5±0.5	93.5±8.5	129.5±19.5	129.5±19.5
2003	LP40	83.0±16.0	90.5±16.5	97.5±16.5	153.5±20.5	153.5±20.5
2005	BB056	83.5±8.5	108.5±2.5	163.0±2.0	183.5±1.5	183.5±1.5
2003	BB056	85.0±1.0	85.5±12.5	112.0±10.0	167.0±29.0	167.0±29.0
LSD (p<0.05)		51.1	58.0	58.9	112.7	112.7

平均値±標準誤差 (n=2) 単位: 本/1m

処理区の各々50株について、株あたり倒伏抵抗値(大起, DIK-7400型)を測定した。収穫後に収量構成要素を測定した。玄米および精白米の外観品質および食味は、近赤外食味分析計(静岡製機, GS-2000)の測定結果を用いて評価した。

結果および考察

1. 茎数

生育に伴う条1m内の茎数変化を第3表に示した。LP40区とBB056区を比較すると、MH2005の場合、7月27日のBB056区では163本であるのに対し、LP40区では93.5本であり、BB056区での茎数が有意に多かった(p<0.05)。一方、MH2003では施肥の違いによる有意な差は認められなかった。生育全般を考えると、茎数はBB056区で多い傾向が認められた。また、F1品種間には有意な差異が認められなかった。

2. 草丈

草丈の変化を第4表に示した。MH2005では、7月16日以降BB056区の草丈がLP区よりも有意に高く推移した。しかし、MH2003に関しては、施肥の違いによる有意な差は認められなかった。BB056区における7月27日以降の草丈は、MH2005がMH2003よりも高く推移し、有意差が認められた。一方、LP40区では、7月16日まではMH2003の草丈が有意に大きかったが、その後、有意な差は認められなくなった。MH2005の場合、LP肥料を施用することで草丈の抑制が可能であると考えられた。

3. SPAD(葉色)

葉色変化をSPAD値で表示し第5表に示した。MH2005では、SPAD値による葉色に有意な差は認められなかった。しかし、絶対値としてのSPAD値は生育期間を通して小さく推移していたことから、本栽培条件下では施肥量が不足していたと判断された。

4. 倒伏抵抗値

穂揃い期における株あたりの押し倒し抵抗値を測定した。各処理区とも、各々50株の押し倒し抵抗値を測定した。反復数は2回とした。1穂あたりの押し倒し抵抗値を第6表

第4表 草丈の推移

実験区	調査日				
	6/30	7/16	7/27	8/12	9/14
2005 LP40	32.6±0.9cm	37.4±1.3cm	73.0±2.6cm	85.0±1.0cm	109.0±2.3cm
2003 LP40	39.0±1.8	44.4±1.6	70.4±2.5	87.8±0.8	110.4±2.1
2005 BB056	34.2±1.2	39.8±0.8	80.4±2.5	97.4±1.4	120.4±3.6
2003 BB056	34.6±1.0	41.0±0.9	66.6±0.9	79.8±2.4	102.0±1.8
2005 湛直		44.8±1.8	62.8±2.4	84.4±0.4	103.0±2.4
2003 湛直		48.0±1.3	62.8±2.0	81.6±2.0	109.4±2.2
LSD (P<0.05)	2.93	3.53	5.93	4.26	6.83

平均値±標準誤差 (n = 5)

第5表 葉色 (SPAD値) の推移

実験区	調査日				
	6/30	7/16	7/27	8/12	9/14
2005 LP40	35.6±0.7	34.9±0.7	39.3±0.8	36.0±0.6	34.6±1.2
2003 LP40	38.7±1.0	37.5±0.7	39.0±1.0	37.4±0.9	31.4±0.6
2005 BB056	34.9±0.4	33.8±0.6	39.7±0.5	37.5±0.6	33.8±0.8
2003 BB056	33.8±0.9	35.2±0.4	38.0±1.0	32.7±0.6	31.5±1.2
2005 湛直		38.7±1.1	39.2±1.6	34.2±1.4	31.8±0.3
2003 湛直		40.6±0.8	38.4±1.5	32.4±0.5	31.6±1.2
LSD (P<0.05)	2.4	2.2	3.3	3.0	2.7

平均値±標準誤差 (n = 5)

に示した。MH2003の倒伏抵抗値は、LP区で 158.5g/株を示したのに対し、BB056区では216.8g/株を示し有意に大きく、BB肥料を施用した栽培区では倒伏抵抗値が大きくなった。LP肥料を施用したMH2005の倒伏抵抗値は177.3g/株であったのに対し、BB056区では185.9g/株を示したが、統計上の有意な処理間差異は認められなかった。LP肥料を施用した場合、MH2005の方がMH2003よりも倒伏抵抗値が大きい傾向が認められたが、BB056施用の場合にはMH2003の倒伏耐性がMH2005よりも有意に高かった。単純平均化して評価すると、MH2003の倒伏耐性は相対的に大きいと判断できる。

5. 収量および収量構成要素

収量および収量構成要素を第7表に示した。乾田不耕起直播F1品種の収量は 500kg/10a未満となり、1999年の収量レベルは高くはなかった。本実験の生育期間全般にわたり葉色が薄く (SPAD値が小さい) 推移し、茎数、穂数および1穂もみ数が減少したことが収量低下の主な原因と考えられた。1998年におけるF1品種の移植栽培試験では、677kg/10a (MH2003) と、623kg/10a (MH2005) の収量性を示していたが (鯨等, 1999), 1999年の慣行移植栽培試験によるF1品種では、485.6kg/10a (MH2005) と513.5kg/10a (MH2003) と、低い収量性を示していた (鯨ら, 2000)。

比重1.06で選別した登熟歩合は、MH2005のLP区で77.6

第6表 押し倒し抵抗値の変異

1穂あたりの押し倒し抵抗値

実験区	押し倒し抵抗値 (g)
2005 LP40	177.3±8.5
2003 LP40	158.5±5.7
2005 BB056	185.9±10.0
2003 BB056	216.8±6.3
2005 湛直	219.8±15.7
2003 湛直	157.7±6.3
LSD (P<0.05)	26.1

平均値±標準誤差 (n = 5)

押し倒し抵抗値の品種の違い

品種	押し倒し抵抗値 (g)
2005 全体	181.6
2003 全体	187.6

%, BB056区では85%であった。MH2003では、LP区が80.1%であったのに対しBB056区では88.4%を示した。1穂の枝梗位置の違いによる登熟歩合を、詳細に検討し第8表に示した。1穂の枝梗のうち、上位3本の枝梗を上位、下位3本の枝梗を下位、残りの枝梗を中位として、枝梗の位置別による登熟歩合を比重選により調査した。比重1.06で調査した場合、下位の枝梗でも高い登熟歩合を示す傾向が認められた。比重1.16で選別した場合でも、MH2005の

第7表 収量および収量構成要素

実験区	粗玄米重 (g/m ²)	穂数 (本/株)	1穂粒数	登熟歩合(%) [d=1.06]	登熟歩合(%) [d=1.16]	千粒重 (g)
2005 LP40	446.2	10.0	111	77.6	35.7	18.5
2003 LP40	469.0	10.1	101	80.1	67.8	20.5
2005 BB056	442.1	8.95	111	85.0	63.2	18.7
2003 BB056	423.4	7.05	115	88.4	72.1	21.1
2005 湛直	11.1*	5.9	113	93.9	56.8	19.0
2003 湛直	14.3*	6.7	93	92.5	70.7	20.5
2005 移植	485.6	12.0	133	91.9	73.7	20
2003 移植	513.5	11.5	137	94.6	85.2	20.9

*g/株

第8表 登熟歩合の処理間差異

実験区	登熟歩合 (d=1.06)			登熟歩合 (d=1.06)			
	上位	中位	下位	実験区	上位	中位	下位
2005 LP40	82.1	78.1	71.0	2005 LP40	38.8	39.4	23.7
2003 LP40	81.1	79.3	83.0	2003 LP40	81.0	65.2	61.2
2005 BB056	97.3	83.2	80.1	2005 BB056	73.1	61.9	51.4
2003 BB056	89.7	88.3	86.8	2003 BB056	81.7	70.1	64.4
2005 湛直	92.5	89.9	86.5	2005 湛直	64.1	50.4	48.8
2003 湛直	93.8	90.7	96.2	2003 湛直	69.0	73.2	62.2
2005 移植	96.4	90.9	92.3	2005 移植	85.6	70.4	70.3
2003 移植	96.0	94.8	92.4	2003 移植	91.7	83.1	83.8

単位:%

単位:%

第9表 玄米および精白米の外観品質

実験区	外観品質 (玄米)						
	良質粒(%)	未熟粒(%)	被害粒(%)	死米(%)	着色粒(%)	胴割粒(%)	格付け
2005 LP40	68.8	20.9	6.9	3.1	0.3	1.6	B
2003 LP40	79.0	12.6	7.4	0.9	0.1	1.6	A
2005 BB056	76.9	16.8	3.8	2.3	0.2	1.2	B
2003 BB056	83.0	8.5	8.2	0.3	0	0.6	S
2005 湛直	82.3	10.8	6.4	0.5	0	1	S
2003 湛直	88.3	2.9	8.0	0.7	0.1	0.6	A
2005 移植	73.4	22.4	0.3	3.9	0	0.3	A
2003 移植	93.8	3.1	2.2	0.7	0.2	0.7	B
目標値	80以上	10以下	5以下	5以下	0	3以下	

格付け基準

GS-2000: 静岡製機

S: 全てがSランクの場合

A: B・Cランクがなく、1つでもAランクがある場合

B: Cランクがなく、1つでもBランクがある場合

C: 1つでもCランクがある場合

外観品質 (精白米)

実験区	白度	良質粒(%)	粉状質(%)	被害粒(%)	着色粒(%)	胴割粒(%)	格付け
2005 LP40	35.0	93.7	5.5	0.8	0	0.6	S
2003 LP40	36.6	96.5	3.5	0	0	0.4	S
2005 BB056	36.1	94.0	5.9	0.1	0	0.1	S
2003 BB056	36.0	98.3	1.7	0	0	0.6	S
2005 湛直	36.5	94.9	5.1	0	0	0.3	S
2003 湛直	34.8	99.1	0.8	0.1	0	0	S
2005 移植	37.1	94.9	5.1	0	0	0.5	S
2003 移植	37.0	99.1	0.9	0	0	0.1	S

第10表 玄米および精白米の食味関連成分量

食味成分・特性（玄米）

実験区	水分(%)	タンパク(%)	アミロース(%)	脂肪酸度(%)	老化性(%)	スコア	総合評価
2005 LP40	16.0	9.3	19.3	25	86	54	C
2003 LP40	15.9	9.1	19.2	20	83	57	C
2005 BB056	15.7	9.1	18.7	25	83	58	C
2003 BB056	16.1	9.1	19.2	20	83	56	C
2005 湛直	15.9	8.2	19.8	22	86	66	B
2003 湛直	15.8	8.6	19.5	20	83	61	B
2005 移植	15.7	8.6	19.0	15	82	63	B
2003 移植	15.6	8.5	18.8	10	74	67	B

食味成分・特性（精白米）

実験区	水分(%)	タンパク(%)	アミロース(%)	老化性(%)	スコア	格付け	総合評価
2005 LP40	15.5	8.5	20.5	83	55	C	C
2003 LP40	15.4	7.7	20.2	82	62	B	B
2005 BB056	15.3	7.8	20.2	83	61	B	B
2003 BB056	15.6	7.9	20.1	82	61	B	B
2005 湛直	15.3	7.4	20.3	83	63	B	B
2003 湛直	15.1	7.9	20.6	84	60	B	B
2005 移植	14.9	7.6	19.8	80	63	B	B
2003 移植	15.0	7.6	19.8	78	65	B	B

LP40区を除いて比較的高い登熟程度を示していた。本試験では、施肥窒素量が不足した生育環境であったことは既に述べたが、施肥量を十分に与えた場合、これらのF1品種は高い登熟特性を示すことが示唆される。1穂の下位枝梗初めの登熟程度と根の活力との間には密接な関連性があるとの指摘があるが(王, 1992, 1995), 根の活性と登熟との関連性に関する考察は今後の継続課題である。

6. 食味成分分析

近赤外食味分析計(静岡製機, GS-2000)を用いて、玄米および精白米の食味成分(第10表)と外観品質(第9表)の評価を行った。玄米の外観品質では、良質粒歩合が低かった。精米後の外観品質では良質粒歩合が高くなっていったが、これは当然の結果と判断される。玄米の食味成分としては、タンパク質含有量が9.0%以上と高い値を示し、アミロース含有量も19%前後の値を示していたが、精白米のタンパク含量は8%前後の値となった。食味成分を評価する分析機器は複数のメーカーから販売されており、同一サンプルであっても測定機種の違いによって異なった値が表示されることが一般的である。本試験で用いた静岡製機の食味計で示される数値は、他の機種(例えば、ケット)で測定した値よりも高い値で表示された。食味に関わる評価を食味計の数値で表示し、更にランキング付けすることの問題点は、このような事例からも指摘されるところである。食味とタンパク質含有量との関連性については、タンパク顆粒の問題がある。タンパク顆粒IとII(Protein Body I and II)は胚乳の中に含まれ、タンパク顆粒III(Protein Body III)は胚や糊粉層に含まれている。精白米を炊飯して食べる場合にはProtein Body IIIの含有量は無関係と

なるため、絶対値として表示される玄米中のタンパク含有量の評価は複雑になってくる。本試験で用いたF1品種は短粒品種であり、食味成分分析の結果にかかわらず、炊飯米の官能検査では高い評価が得られている。

本試験の結果、北陸地方におけるF1品種の乾田不耕起直播栽培は可能であると考えられた。本試験に供したF1品種(MH2003, MH2005)は倒伏耐性に優れるばかりか登熟特性もよいと判断され、これらの特性が直播栽培適性に関連してくると判断された。MH2005の場合には、LP肥料の施用で草丈の抑制効果が認められ、使用する肥料の選択枝によって倒伏に影響する草丈の抑制が可能であることも示された。本試験では収量性が低かった。これは、前述の通り施肥絶対量の不足に起因した葉色の低下、穂数と1穂もみ数の不足が原因であったことから、施肥量を増加させることによる収量増加は確実に可能であると判断される。1穂の下位枝梗初(下位から3本)の登熟歩合と根の活性との関連性については、現在精査中である。

謝辞

本研究を実施するにあたり、金沢大学教育学部の富澤佳代、吉村紘美、狩野紫さんの協力を得た。また、圃場管理に関して、石川県農業短期大学作物研究室の学生諸氏の協力を得た。記して感謝いたします。

本研究の一部は、文部省科学研究費(番号11660015)と三井化学㈱の委託研究費により行った。

引用文献

- 王 余龍ら 1992. 作物学報(中国) 18(2):81-89.
王 余龍ら 1995. 作物学報(中国) 21(1):29-38.
鯨 幸夫ら 1999. 日作紀 68 別2: 8-9.
鯨 幸夫ら 2000. 日作紀 69 別2: 18-19.

(2000年11月30日受付, 2001年2月13日受理)

水稻根系からの出液速度および出液中に含まれるサイトカイニン (t-ZR) 含有量を酵素抗体法 (ELIZA法) を用いて定量した。有機資材を連続施用した圃場のコシヒカリは、出穂期におけるサイトカイニン含有量が高い傾向を示した。長野県伊那市の多収コシヒカリではサイトカイニン含有量が高く、根の活力は高いものと考えられる。最高分げつ期前後の出液速度と茎数および地上部乾重との間には、有意な正の相関関係が認められた。出液速度と株間の根乾重との間に、有意な相関関係は認められなかった。塩粳48号とコシヒカリとの間には、サイトカイニン含有量に関して品種間差異が認められた。

Cytokinin content in the bleeding sap of paddy rice was analyzed using ELIZA method (Trans-Zeatin Riboside Immunoassay Detection Kit). t-ZR content in the bleeding sap of rice grown with continuous organic fertilizers applications was high compared to conventional rice. Cytokinin content of Koshihikari grown in Ina city was extremely high. It may be recognized that root of rice grown in Ina city keeps high physiological activity. There were a significant positive correlations between bleeding sap and stem number per plant, aboveground dry weight per plant, respectively. There was no significant correlation between root dry weight of interhill space and bleeding sap.

キーワード：イネ, *Oryza sativa* L., 酵素抗体法, 根系, サイトカイニン含有量, 出液速度, t-ゼアチンリボシド

Key words: Bleeding rate, Cytokinin, Eliza-method, *Oryza sativa* L., Rice, Root system, t-ZR

イネの根系と地上部生育および収量との間には、密接な関連性が存在する。また、根系の形態と機能はそれぞれが単独の要因として存在するのではなく、何らかの因果関係があるものと考えられ、両者の関連づけを解明するための研究が行われている (鯨ら, 2000)。

本研究では、根系の形態と機能を結び付ける要因として、根からの出液速度と根の先端で生合成されて地上部に送られ、葉の老化に影響を及ぼすサイトカイニン (t-ZR) 含有量に着目した。根系からの出液速度が大きく、また出液中に含まれるt-ZRの含有量が多ければ、根の活力が高いと評価できるものと考えた。栽培条件や収量性が異なる水稻根乾重の土壌における階層分布と出液速度および出液中に含まれるサイトカイニン (t-ZR) 含有量を定量し、これらの要因と地上部生育や収量性との関連性についても検討しながら、根の構造と機能が地上部生育と収量性に及ぼす影響についても解析した。

材料および方法

1) 栽培管理

第1表に示した栽培条件下で生育したコシヒカリと塩粳48号 (中国短粒品種) を材料に用いた。

実験は、1999年に農家水田において実施した。石川県根上町の水田は、過去24年間にわたり第1表に示した栽培管理でコシヒカリを栽培している圃場である。石川県野々市町の水田は、カルス菌を用いたボカシ堆肥を施用してコシヒカリの条抜き有機栽培を行っている。石川県松任市の圃場は、牛ふん糞がら堆肥を連用してコシヒカリの有機栽培している水田である。石川県農業総合研究センターの圃場においては、慣行栽培、不耕起移植栽培および湛水土中打込み点播栽培のコシヒカリを調査対象とした。石川県輪島市町野町の水田は、カルス菌によるボカシ肥料を施用してコシヒカリおよび塩粳48号を栽培している圃場である。長野県伊那市の圃場は、多肥栽培でV字型イナ作を実践して多収コシヒカリを栽培している水田である。出液速度の測

第1表 栽培管理状況

試験区	概要
根上2区	化学肥料連用区 (24年間)
根上3区	イナわら連用区 (24年間)
根上4区	豚ふん堆肥連用区 (24年間)
野々市・外側	ポカシ有機 (条抜き栽培)
野々市・内側	ポカシ有機 (条抜き栽培)
松任・外側	牛ふん初から堆肥 (条抜き)
松任・内側	牛ふん初から堆肥 (条抜き)
試験場3区	耕起区 (対照区:5年目)
試験場5区	耕起区 (堆肥区:1年目)
試験場7区	不耕起移植区 (5年目)
試験場点播区	湛水土中打込み点播栽培
町野町・有機	ポカシ有機栽培
町野町・外側*	ポカシ有機栽培
町野町・内側*	ポカシ有機栽培
長野1 (伊那)	化学肥料 (多収穫水田)
長野2 (伊那)	化学肥料 (多収穫水田)

*: 塩梗48号、無印: コシヒカリ

定は、7月8、15、29日、8月4、11日に行った。

2) 出液速度の測定および出液の保存

出液速度の測定は、各栽培区について各々5株を対象に午前中に実施した。調査株を紐で束ね、地際から8~10cmの高さで茎葉部を切除する。予め重量を測定しておいた化粧用コットン(パフ)を茎葉切断面にあて、その上をラップで包み輪ゴムで固定する。1時間経過後、コットンを外してラップで密封しクーラーボックス内で冷蔵保存し、実験室に戻りしだい速やかに重量を測定し、コットンの重量差を出液速度とした。調査株は、基数を測定し切除した地上部の乾重を測定した。出液速度を測定したサンプル液はラップで密封したまま、-30℃にて冷凍保存しておく。

サイトカイニンの定量前に、冷凍保存しておいたサンプルを解凍し、遠心分離用試験管を用いて出液を回収した。遠心管にビニールチューブ(1cmφ、3~5cmL)を入れ、ついでロ紙、サンプル液を含んだコットンの順に入れて遠心分離機にかけ、3000~4000回転で15分間遠心処理を行った。この条件により出液量の8割は回収可能であった。回収された出液はサンプル瓶に入れ、同量の無水エタノール

(98%)を加えて密封し、-30℃で冷凍保存した。

3) サイトカイニン (t-ZR) の測定

出液中のサイトカイニンの定量は酵素抗体法(ELIZA法)を用いて行った。根系からの出液をTLC(薄層クロマトグラフィー)によって分析したところ、測定を行うまでのレベルには至らなかったが、UVランプ(245nm)でぼんやりとグレーになりサイトカイニンの存在が推定されたため、酵素抗体法(ELIZA法)による分析を行った。

4) 出液中のサイトカイニンの抽出・精製

- 1) サンプル液を解凍し、ロータリーエバポレーターでアルコールを飛ばして濃縮し、5%メタノールを3ml加える。
- 2) 5%メタノールを5mlBond-Eluteに通過させる。
- 3) サンプル→5%メタノール5mlの順でBond-Eluteに通し、サンプル瓶Aとする。
- 4) 別のサンプル瓶に55%メタノール5mlを2回通過させ、遊離型のサイトカイニンを溶出する。

5) 0.1Nの酢酸/メタノール5ml(2回)→5%メタノール5ml(2回)にてBond-Eluteを洗浄する。10サンプルごとにBond-Eluteを交換する。

6) サンプル瓶B(55%メタノール抽出物)をロータリーエバポレーターにて再び濃縮する。5%メタノールを元のサンプルの1/5量加える(サンプルC)。

7) 6)のサンプルからマイクロピペットを用いて定量を採取し、5%メタノールで希釈し、100倍(サンプルD)と1,000倍(サンプルE)のサンプルを作る。

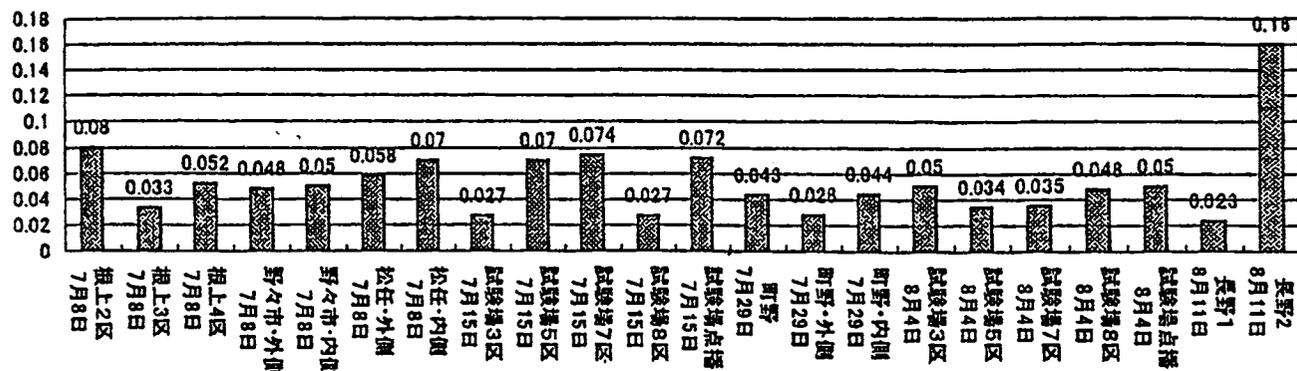
8) サンプルC, D, Eをソニキュレーターにかけ超音波で内容物を攪拌させ均一化する。

5) サイトカイニンの分析

ELIZA法による使用キットとしては、Sigma Plant Cell Culture PRG-5 (PDK09348/0096), Trans-Zeatin Riboside Immunoassay Detection Kitを用いた。前処理を行ったサンプルは405nmで吸光度を測定し、スタンダード曲線から得られた直線部分の標準線から各サンプルのt-ZRの含有量を計算した。

6) 根系生育の階層構造調査

根系調査は株間において、コアサンプル法(53mmφ、400mmD)を用いて実施した。各栽培区において3個ずつのコ



第1図 サイトカイニン量 (pM/0.1ml)

アサンプルを採取した。採取した根系コアは、10cm間隔で切断し、各階層ごとの根量を測定した。根系を含んだコアはRoot Washing Unit (Gillison's社)を用いて洗浄したのち、手作業によってゴミ等を除き、乾燥処理後、乾物重の測定を行った。

結果および考察

1) 単位出液量 (0.1ml) あたりのサイトカイニン含有量

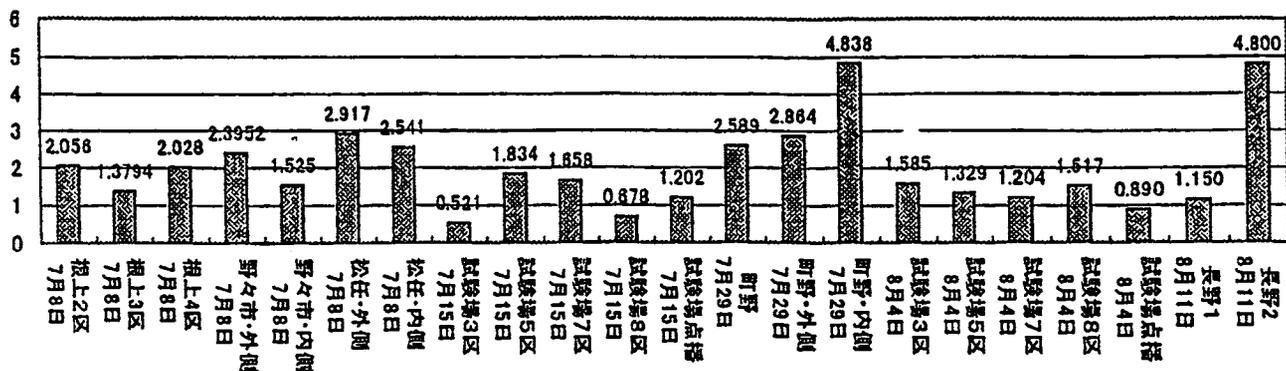
最高げつ期から幼穂形成期および出穂期における出液0.1ml中に含まれるサイトカイニン含有量を第1図に示した。出穂期における町野町・内側、外側で表示した栽培区は、塩粳48号であり、その他の栽培区はコシヒカリの結果である。幼穂形成期前後のサイトカイニン含有量は、0.027~0.08pMの範囲であり、24年間化学肥料連用区(根上2区)、不耕起5年目(試験場7区)および湛水土中打込み点播区(試験場点播区)で高い傾向が示された。一方、24年間イナわらすき込み区(根上3区)、耕起慣行区(試験場3区)および不耕起1年目(試験場8区)では、単位出液量(0.1ml)中のサイトカイニン含有量は低かった。出穂期は、水稻の生育期間中の根量が最大になる時期である。この時期におけるサイトカイニン含有量には、長野の事例を除いて、本実験の範囲内で大きな違いは認められなかった。長野の試験区は、1992年に998kg/10aの収量実績が報告されている(松島 1995)多収穫水田であり、1999年の収量も830kg/10a(Kujira et al., 2000)と多収の水田である。長野1と長野2では、サイトカイニン含有量に大きな違いが見られた。長野1の水田は、湛水条件下(水深6cm)での測定値であり、長野2は、田面水が認められない条件下での測定結果であった。その他の栽培区では、すべて田面水がある湛水条件下での測定値である。水田の湛水状態の程度は出液速度に大きく影響されると考えられ、出液中のサイトカイニン含有量にも影響を及ぼすと考えられる。長野2では、サイトカイニン含有量/株・時間の値も大きいいため、出液速度と単位出液量あたりのサイトカイニン含有量ともに大きい値を示していたことから、水稻根の活力は高いものと評価できる。

2) 1株・1時間あたりのサイトカイニン含有量

1株・1時間あたりのサイトカイニン含有量を第2図に示した。これは、1株・1時間あたりの出液中に含まれるサイトカイニンの総量を示したものである。単位出液量あたりのサイトカイニン含有量が少なくても出液量が多ければ絶対値としての含有量は大きくなる。幼穂分化期前後の調査では、松任・外側で大きい値が示された。牛ふん糞堆肥を連用してコシヒカリを条抜き栽培した場合、条抜き側の株ではサイトカイニン含有量が高い傾向が示された。耕起対照区(試験場3区)および不耕起1年目(試験場8区)では、株あたりのサイトカイニン含有量が少なかった。サイトカイニン含有量を根の活力を示す指標と考えた場合、栽培条件の違いによる差はあるものと考えられる。慣行栽培(化学肥料)や不耕起1年目の水稻では、根の活力が低いと考えられた。出穂期では、試験場の各栽培区(慣行耕起区、不耕起区、点播区)と比較して、塩粳48号(町野・内側)、町野区(有機コシヒカリ)のサイトカイニン含有量が高い傾向が示された。単位出液量中のサイトカイニン含有量には大きな差は認められないため、出液量が多いことが原因の一つと考えられる。出穂期における根の活力は、有機栽培区で高い傾向を示しているものと考えられる。

3) 出液速度と各生育量との相関関係

最高げつ期から幼穂分化期および出穂期前後における出液速度と各種生育量との相関関係を第2表および第3表に示した。最高げつ期から幼穂分化期においては、出液速度と茎数および地上部乾物重との間に有意な正の相関関係が認められたが、コアサンプル法(53mmφ×400mmD)によって採取した土壤中の全根乾物重との間には、有意な相関関係は認められなかった。土壌10cmごとの階層に含まれる各階層の根乾重と出液速度との間にも、有意な相関関係は認められなかった。出穂期における出液速度と茎数との間には正の相関傾向は認められたものの、地上部乾重との間には有意な相関関係が認められなかった。土壌中の階層別根乾重と出液速度との間にも有意な関連性は認められなかった。最高げつ期および出穂期における出液速度と物理的な量としての根量との相互関連性は低いものと考えられた。



第2図 サイトカイニン量 (g/株)

第2表 最高分け時期から幼穂分化期における
出液速度と各生育量との相関関係

出液	生育	相関係数 (r)
出液速度	莖数	0.748*
(g/株・hr)	地上部乾重	0.790*
	総根乾重	0.240
	根乾重 0-10cm	0.060
	10-20cm	0.416
	20-30cm	0.451
	30-40cm	0.430

*P<0.05

サイトカイニンは、細胞分裂促進、葉緑素分解防止（老化防止）、核酸・タンパク合成促進、光合成産物受容器官（シンク、穀実、果実）の活性、等を通して生体内で重要な働きをしている。根の先端で生合成されたサイトカイニンは出液中の成分として地上部に運ばれるが、出液中のゼアチンとその誘導化合物の存在については、次々に明らかになってきており、イネに関しては、葎田ら（1971）によってzeatin, zeatin riboside, zeatin ribotideの存在が報告されている。今回、サイトカイニンの定量に用いたELIZA法（酵素結合抗体法）は、サイトカイニンの全精製工程を必要とせず、粗精製の段階にて定量できる方法として開発され、検出限界は生物検定法と比較してピコモルオーダーの高感度であることを特徴としている。

本実験の結果、出液に含まれるサイトカイニン含有量は、栽培条件の違いによって異なり、また出穂期においては品種間差異も認められた。耕起対照区や不耕起1年目のコシヒカリでは、出液に含まれるサイトカイニンの絶対量と単位出液量あたりのサイトカイニン含有量が少ないことから、根の活力は低いものと考えられる。出穂期においては、塩粳48号とコシヒカリに大きな品種間差異が認められた。この原因が有機栽培と慣行栽培といった栽培条件の違いに由来するのか、品種間差異によるのかについては、今後検討する必要がある。長野県伊那市の多収穫コシヒカリのサイトカイニン含有量は、他の栽培区と比較して明かに高い値を示し、根量は通常栽培と比較しても著しく多く、地表から10cm以内に多くの根を分布していた（Kujira et al., 2000）。根量および根の分布形状をサイトカイニン含有量を指標とした根の活力と関連づけて考察した場合、伊那のコシヒカリの根の活力は高いと推定することが可能である。出液速度と莖数および地上部乾重との間に有意な正の相関関係が認められることから、地上部のバイオマスの大小が出液速度に影響しているものと推定される。出穂期には、バイオマス量は一定値となるため、この時期の出液速度は蒸散量や根の活力と深い関係を持つてくることが示唆される（Oritani et al. 2000）。また、有機資材を連続施用した圃場においては、出穂期における根の活力が高く維持されているものと推測され、この場合には土壌の物理化学的特性の改善も影響しているものと考えられる。

第3表 出穂期における出液速度と生育量との相関関係

出液	生育	相関係数 (r)
出液速度	莖数	0.588
(g/株・hr)	地上部乾重	0.312
	総根乾重	0.030
	根乾重 0-10cm	0.060
	10-20cm	0.525
	20-30cm	0.001
	30-40cm	0.365

謝 辞

本研究を行うにあたり、金沢大学教育学部院生の中島裕司、学生の佐野智子、吉村絃美、内浜朗、富澤佳代 諸氏の協力を得た。石川県農業総合研究センター、作物科の橋本良一氏、環境土壌科の北田敬宇氏、畑中博英氏、梅本英之氏には調査ご協力を頂いた。石川県野々市町の三納和之氏、松任市の中野正剛氏、穴水町の西出隆一氏、輪島市町野町の向面正一氏および国永剛氏、長野県伊那市の春日照夫氏には圃場調査での便宜を図って頂いた。伊那市の調査は、富山県立大学短期大学部折谷隆志教授と共同して実施したものである。記して感謝の意を表します。

本研究の一部は、文部省科学研究費（番号11660015）により行った。

引用文献

- 鯨 幸夫ら 2000. 日作紀 69 別2: 20-21.
 鯨 幸夫ら 2000. 日作紀 69 別2: 22-23.
 Kujira Y. et al. 2000. Abstracts of 3rd ICSC, Germany:160.
 Oritani T. et al. 2000. Abstracts of 3rd ICSC, Germany: Supplementary Abstracts.
 作物学会北陸支部・北陸育種談話会編, 1995. コシヒカリ, 農文協: 544-549.
 葎田隆治 1991. “サイトカイニンバイブル”, 酪農学園出版部: 1-125.

(2000年11月30日受付, 2001年2月13日受理)

連続した施肥管理がコシヒカリの生育, 根系生育および 収量構成要素に及ぼす影響

鯨 幸夫^{*1)}・澤田正恵¹⁾・長屋 均¹⁾・越村英世²⁾・前田裕二郎¹⁾・福岡隆子¹⁾・中島裕司¹⁾・北田敬宇²⁾
(^{*1)}金沢大学教育学部, 金沢市, 〒920-1192, ²⁾石川県農業総合研究センター)

Effects of Continuous Fertilizers Management on the Aboveground Growth, Root Growth
and Yield Components of Paddy Rice cv. Koshihikari

Yukio KUJIRA^{*1)}, Masae SAWADA¹⁾, Hitoshi NAGAYA¹⁾, Hideyo KOSHIMURA²⁾, Yujiro MAEDA¹⁾,
Ryuko FUKUOKA¹⁾, Yuji NAKAJIMA¹⁾, Keiu KITADA²⁾

(^{*1)}Faculty of Education, Kanazawa University, Kanazawa, 920-1192, Japan,

²⁾Ishikawa Prefectural Agricultural Research Center)

長期間にわたり, 有機肥料を連用して栽培しているコシヒカリの生育および根の分布と生理的活性について検討した。牛ふん糞堆肥連用区の水田の土壌は「とろとろ土」の状態を示し, 根系は浅く根量も少なかった。有機肥料の長期間連用水田で生育するコシヒカリ根の出液速度は慣行の化学肥料施用区より大きいことから, 根の活力は高いものと考えられた。有機連用区の収量は慣行区に劣っていなかったが, 豚ふん糞堆肥連用区では未熟粒の割合が多く, 有機栽培上の問題点と考えられた。玄米のタンパク質含有量は高めに推移したが, 精白米のタンパク質含有量を考慮すれば大きな問題とはならないと判断された。

Effects of continuous fertilizer managements on the aboveground growth and root growth, physiological root activities, yield and yield components of rice cv. Koshihikari were discussed. Bleeding rate per tiller per hour of Koshihikari grown with long terms of organic fertilizer applications showed comparatively large value. Koshihikari grown with large amount of organic fertilizer applications had significantly smaller root dry weight and shallower root distribution than conventional management.

キーワード: イネ, コシヒカリ, 収量構成要素, 根, 有機栽培, 有機肥料, 連続施肥管理

Key words: Continuous fertilizers management, Koshihikari, Organic farming, Organic fertilizer, Rice, Root, Yield components

水稻の有機栽培は環境保全型農業の一つとして, 近年特に重要な位置付けを持ってきている。しかし長期間にわたり, さまざまな有機資材を連続施用して水稻を栽培した場合の影響については, まだ十分に解明されていない。本研究では, 種々の有機肥料を長期間にわたり連用してコシヒカリを栽培している現地圃場において, 地上部, 根系の生育調査と根の生理活性評価, 収量および収量構成要素の調査, 品質にかかわる玄米と白米の外観評価と食味関連成分の分析を実施した。

材料および方法

本実験は, 連続した施肥管理条件下で水稻(品種: コシヒカリ)を栽培している圃場において2000年に実施した。栽培区は, 1) 17年間にわたり牛糞もみ殻堆肥と有機資材を連続施用している, 石川県松任市内の農家水田, 2) 25年間にわたりイナワラのすき込みを行っている, 石川県根

上町の農家水田(根上3B区), 3) 8年間豚糞もみ殻堆肥の施用とイナワラのすき込みをおこなっている, 根上町の農家水田(根上6B区), 4) カルス菌を用いた有機ボカシ肥料を5年間施用している, 石川県野々市町の農家水田, および5) 25年間化学肥料のみを施用している, 根上町の農家水田(根上2B区: 対照区)の各圃場である。各試験区における栽培概要を第1表に示した。各試験区において, 生育期間を通した各種生育量の測定を行った。根系調査はコアサンプル法(53mmφ, 深さ400mm)を用いて, 株間の3箇所について実施した。採取した根系コアは, 地表面から10cmの間隔で切断し, 10cmごとの土壌階層に含まれる根量を調査した。根系を含んだ土壌の洗浄は, 根洗い機(Hydroelute Root Washing Unit: Gillison's社, U.S.A.)と手作業により実施した。地上部の生育量は, 定点調査用10株について, 草丈, 茎数, 葉色(SPAD値)の調査を行った。

第1表 栽培管理の概要。

栽培区	栽培密度	田植え	基肥 (kg/10a)	追肥
松任	70株/坪	5月4日	前年秋(牛ふん糞)から堆肥 1t、石膏 15kg、 有機P-K 10kg、青砂 10kg 米糠 50kg、有機液肥 100L、ナタネ粕 20kg	マグリン 20kg ボカシ肥料 35kg ナタネカス 40kg 石膏 45kg
野々市	80株/坪	5月6日	前年秋(ケイサン 200kg) ボカシ有機 100kg+20kg、 ケイサンカリ 40kg	有機肥料 40kg+20kg (明量1号)
根上(3B)	70株/坪		イナワラすき込み(25年間)	
根上(6B)	70株/坪		豚ふん+イナワラ 4.5t(過去8年間)、以後 4年間は、豚ふん+イナワラ 2t	
根上(2B)	70株/坪		化学肥料のみ(連作:26年間)	

根の生理活性を評価するために、出穂期における出液速度を測定した。出液速度は、各試験区について5株を対象とした。また、収量および収量構成要素の調査を実施した。登熟歩合は比重選(d=1.06)により実施したが、枝梗位置の違いによる登熟程度の差異も検討するため、上位枝梗(上から3本)、下位枝梗(下から3本)および中位枝梗(残りの部分)に分けて調査した。玄米および白米の外観品質および食味関連成分の分析は、近赤外を用いた食味分析計(静岡製機GS-2000)を用いて実施した。

結果および考察

幼穂分化期および出穂期における根重の土壤中階層分布を第2表および第3表に示した。17年間牛糞もみ殻堆肥を連用している栽培区(松任水田)では、幼穂分化期における土壌表層根重(0-10cm)およびサンプリングコア中の総根重が、化学肥料連用区(対照区)よりも有意に少なかった。この傾向は、出穂期においても認められた。松任水田では、長期間にわたり多量の有機資材が施用された結果、有機物過剰に近い土壌状態であったものと判断される。松任水田では、有機資材の石膏(硫酸カルシウム)が施用され、土壌中の窒素吸収を抑制している。土壌は、いわゆる「とろとろ土」であり、根系を採取する際にも困難を極める状態であった。基肥として1t/10aの米糠と3.2kg-N/10aの化学肥料を施用し、さらに6.4kg-N/10aの穂肥を施用したコシヒカリの根系は極端な浅根状態を示し、地表下10cm内に占める根長と根重の割合が多い(鯨ら1998)との結果に示されているように、有機資材の多用は水稻を浅根化させる。水稻栽培で石膏を施用した場合、群落構造が改善され光合成有効放射の群落内透過が増大することが報告されている(Kujira *et al.*, 1996)。また、石膏施用により、地表下10cm以下の層に分布する根重と根長の割合が増加する(鯨ら1995, 1996)効果も認められている。しかし、松任圃場においては、石膏施用にもかかわらず浅根化した根系構造が認められることから、有機資材の連用にあたっては土壌中成分分析も含めた適正な施肥管理が必要であることが示唆された。

生育に伴う草丈の推移を第4表に示した。松任圃場の草丈は他の栽培区よりも高く推移し、窒素供給が多い状態が確認された。地上部の生育が促進される場合には、適正な群落構造を維持しない限り群落内の光条件が悪化する。水

稲では遮光された場合、根の生育は抑制される(間脇ら1987)ことから、根の生育および根の生理機能がその後の生育および収量に及ぼす影響が懸念されてくる。

幼穂形成期および出穂期における出液速度を、株あたりの出液速度と分けつあたりの出液速度として第1図および第2図に示した。出液速度は生育に伴って増加し、出穂期を最大として以後減少することが一般的である。幼穂形成期における株あたり出液速度に有意な差は認められなかったが、分けつ茎あたりの出液速度では、豚ふん糞から堆肥連用区(根上6B)が野々市より有意に大きかった。出穂期における松任コシヒカリの出液速度は0.37g/分けつ・時間を示し、他の栽培区と比較して有意に高い値を示していた。松任栽培区における根重は比較的小さい値を示したことを考えると、松任栽培区では根の生理的活性が高いものと判断される。根上栽培区の豚ふんもみ殻堆肥連用区(6B)の出液速度/分けつ・hrも比較的大きく、化学肥料施用区(2B)との有意差は認められなかったものの、有機資材の連用によってコシヒカリ根の生理的活性は高くなるものと考えられた。2000年に、本調査を行った圃場で栽培したコシヒカリの出液中のサイトカイニン(t-ZR)含有量をELIZA(酵素抗体法)を用いて測定したところ、通常管理の場合よりも高い値を示した(鯨ら2001)。根の先端で生成されるサイトカイニンは、蒸散流に乗って地上部へ転流され、葉のタンパク質分解の抑制を通して葉のタンパクレベルを維持していることから、葉の老化防止にかかわっている。これらの結果から、有機資材を連続施用したコシヒカリの根系は高い生理活性を示すことが重ねて示唆された。根の生理活性の程度が収量および各収量構成要素とどのような関連性を示すのかについては、登熟期における詳細な調査を含めて今後の検討課題として残っている。

収量構成要素は第5表に示した。収量構成要素に関しては、栽培条件の違いによる大きな差は認められなかった。玄米の外観品質および食味関連成分の分析結果を第6表に示した。根上6B区では未熟粒の割合が15.6%と高く、また被害粒の割合は本試験における栽培区全般にわたって高い値を示し、根上6B区では良質粒歩合が68.6%にまで低下していた。玄米中のタンパク質含有量は、根上(6B区)の9.5%を最高にして、カルス菌を用いたボカシ有機肥料で栽培した野々市の場合の7.5%まで変異の幅が認められ、概ね高いタンパク含有量を示していた。しかし、精白米のタンパク質含有量は、6.3%(根上2B区)から6.9%(松任)までの値を示し、炊飯後の食味官能検査でも高い評価が得られた。この結果は、条抜き有機栽培のコシヒカリでも報告(鯨ら1999)されており、有機連用栽培を行った場合には、玄米中のタンパク含有量を基準とした食味評価以外の評価システムが必要であると考えられる。有機栽培の場合、土壌中の有機物の無機化の過程で天候の違いによる気温(地温)が大きな影響を及ぼす。生育期間中の予想外の高温により、土壌窒素の無機化が促進された場合、倒伏のリスクは大きくなり、有機栽培の場合には品質も含めて

第2表 幼穂分化期における根乾重の階層分布。

栽培区	根乾重 (mg)					
	土壌の階層					総根重
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	栽培層	10-40cm
松任	42.6±8.7	49.0±2.4	17.7±7.7	0	109.3±14.1	66.7±6.1
野々市	81.3±14.0	51.6±2.9	7.0±0.7	1.7±0.8	141.7±17.3	60.3±3.5
根上(3B)	180.0±61.3	74.0±1.6	14.3±2.7	8.0±1.1	271.3±57.7	91.3±3.9
根上(6B)	147.3±19.8	51.7±2.5	26.0±10.3	3.0±0.4	228.0±13.2	80.7±8.3
根上(2B)	176.3±11.2	92.0±29.9	11.0±1.9	0.7±0.5	280.0±94.0	109.7±28.1

* 平均値±標準誤差 (n=3)
 ** 各階層の根乾重は、サンプルコア中 (53mm φ, 10cm) の量
 *** 3B: イナワラすき込み連用区, 6B: 黒ふん短期堆肥連用区, 2B: 化学肥料連用区

第3表 出穂期における根乾重の階層分布。

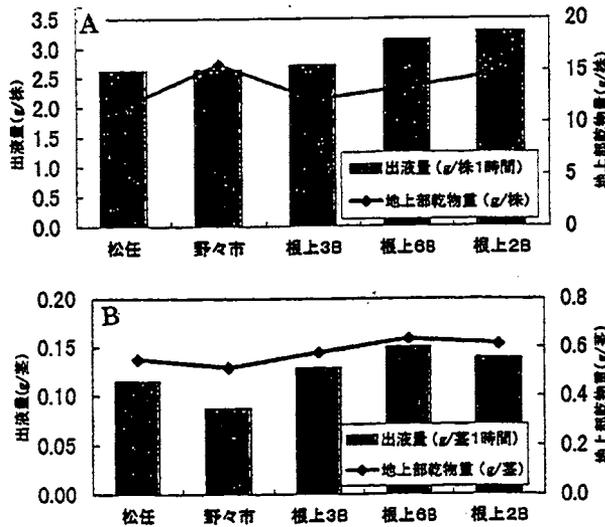
栽培区	根乾重 (mg)					
	土壌の階層					栽培層
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	栽培層	10-40cm
松任	69.3±3.7	36.3±2.6	10.0±1.1	4.0±0	117.0±7.9	47.7±4.3
野々市	76.0±6.7	34.3±3.3	21.0±1.8	5.0±1.0	134.7±5.6	58.7±1.3
根上(3B)	194.3±22.1	80.6±18.8	17.3±5.6	6.0±2.1	289.3±8.1	104.0±25.1
根上(6B)	209.3±9.1	60.7±15.3	19.7±8.5	8.0±0.4	295.7±4.8	86.3±9.4
根上(2B)	181.3±22.3	77.7±22.6	21.0±1.2	4.7±1.2	284.7±23.1	103.3±20.9

* 平均値±標準誤差 (n=9), ** 栽培区の説明は、第1表と同じ

第4表 生育に伴う草丈の推移。

栽培区	草丈 (cm)			
	6月6日 (5日*)	6月28日 (29日*)	7月10日 (12日*)	8月2日 (7日*)
松任*	40.6±0.7	57.9±1.3	83.8±1.6	113.3±1.5
野々市*	37.9±1.0	60.6±1.4	80.5±0.8	105.7±1.4
根上(3B)	19.8±1.9	53.9±0.6	70.0±0.5	101.0±2.0
根上(6B)	30.6±1.4	55.7±1.7	73.6±1.0	105.2±1.7
根上(2B)	31.4±0.4	54.3±0.7	68.5±0.6	109.0±1.9

* 平均値±標準誤差 (n=10), ** 栽培区の説明は、第1表と同じ



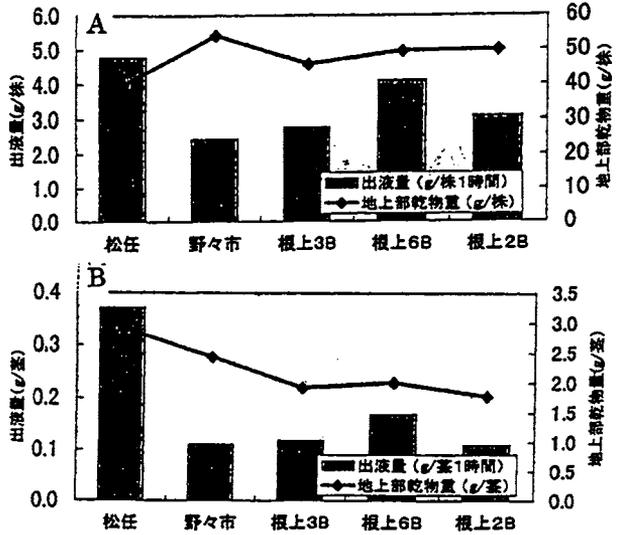
第1図 幼穂形成期における出液速度。
 A: 株あたりの出液速度/hr
 B: 分けつあたりの出液速度/hr
 図中の説明は第1表と同じ

特に重要な問題となってくる。水稻の節間伸長は栽培上の施肥管理によってコントロール可能であるとされている(瀬古1996, 松島1973, 1976, 羽根ら1985)が、現場においては未だに十分な対応が行われているとは言い難く、今

第5表 収量および収量構成要素。

栽培区	1穂粒数	穂数/株	千粒重	粗玄米重(kg/10a)	登熟率(%)
松任	114.4	19.2	19.3	681.9	93.4
野々市	126.2	17.4	19.9	576.2	93.2
根上(3B)	93.2	14.6	21.5	394.0	96.7
根上(6B)	106.6	21.1	20.1	576.0	77.3
根上(2B)	98.4	19.0	20.6	551.0	95.6

d=1.06の比重差による。栽培区の説明は、第1表と同じ。



第2図 出穂期における出液速度。
 図中の記号は第1表および第1図と同じ

第6表 玄米の外観評価と食味成分分析。

栽培区	玄米の外観品質 (%)					
	皮層粒歩合	未熟粒	被害粒	死米	着色粒	刷割粒
松任	80.8	3.3	15.5	0.2	0.2	0.6
野々市	82.0	5.1	11.5	0.6	0.8	1.1
根上(6B)	68.6	15.6	12.8	2.5	0.5	0.9
根上(2B)	78.5	4.3	15.4	0.2	1.6	1.5

栽培区	玄米の食味成分含有量 (%)				
	水分	タンパク質	脂肪分	老化性	スコア
松任	14.9	8.0	18.5	12	77
野々市	14.8	7.5	18.8	12	78
根上(6B)	14.5	9.5	16.4	16	73
根上(2B)	14.6	8.1	17.1	12	71

* 静研製機 GS-2000 による分析

後も対応すべき課題と考えられる。

引用文献

羽根正憲ら1985. 北陸作物学会報20: 47-47.
 鯨幸夫ら1995. 日作紀64(別2): 159-160.
 鯨幸夫ら1996. 日作紀65(別1): 196-197.
 Kujira Y. et al. 1996. Book of Abstracts, 4th ESA. Vol. 1: 254-255.

- 鯨幸夫ら 1998. 北陸作物学会報33 : 72-74.
鯨幸夫ら 1999. 根の研究 8 : 100-104.
鯨幸夫ら 2001. 北陸作物学会報36 : 53-56.
松島省三ら 1973. 稲作の改善と技術, 養賢堂 : 69-83.
松島省三ら 1976. 稲作診断法(上巻), 農業技術協会:51-52.
間脇正博ら 1987. 日作紀56 (別1) : 42-43.
間脇正博ら 1987. 日作紀56 (別1) : 44-45.
瀬古秀生 1962. 九州農試彙報 7 : 419-449.

本研究の一部は、文部科学省科学研究費（基盤研究C-2 課題番号11660015）により実施した。

謝 辞

本研究に協力頂いた、石川県野々市町 三納和之氏および石川県松任市 中野正剛氏に感謝いたします。また、玄米および白米の外観品質および食味成分分析に協力頂いた、石川スズエ販売(株)杭田忠三氏および高橋千尋さんに感謝いたします。

(2001年12月3日受付, 2001年12月20日受理)

栽培管理が異なる水稻の出液中に含まれる

サイトカイニン (t-ZR) 含有量

水稻根系からの出液中に含まれるサイトカイニン (t-ゼアチンリボシド, t-ZR) 含有量を酵素抗体法 (ELISA) 法を用いて定量した。富山県入善町および長野県伊那市のコシヒカリ出液中の t-ZR 含有量は、水口部よりも水尻部で高い傾向が示された。富山県農業試験場の水稻三要素試験場における出穂期の t-ZR 含有量は、無リン区、無カリ区および三要素区の間で差は認められなかった。無リン区、無カリ区および三要素区の収量 (10a あたり) に大きな差は認められないことを考えると、t-ZR 含有量と収量性との関連について更に検討する必要がある。

Cytokinin content in the bleeding sap of paddy rice cv. Koshihikari was analyzed using ELISA method. The water temperature for agricultural use in Ina and Nyuzen was low compared with other area. t-ZR content in the bleeding sap of rice grown at the area of water outlet was higher than other value of water inlet area. This result was shown both in case of Nyuzen and Ina field. Paddy soil of Ina includes a high porosity (%) with 10% of richer humus and these physical soil characteristics may lead to high cytokinin content. There was no significant difference in cytokinin content at the heading stage among no-phosphorus plot, non-potash plot and three major nutrients plot.

キーワード：イネ，酵素抗体法，サイトカイニン含有量，収量，出液，t-ゼアチンリボシド

Key words : Bleeding sap, Cytokinin content, ELISA method, Rice, t-ZR, Yield,

水稲根系の生理活性評価にあたっては、さまざまな手法が試みられている。植物ホルモンのサイトカイニン¹は、根の先端で生合成され、出液（導管液）中の成分として地上部に移動し、葉の老化を抑制する働きをもっている。著者らは、これまで水稲の出液中に含まれるサイトカイニン、t-ゼアチンリボシド（t-ZR）含有量を ELISA 法を用いて定量し、栽培管理の違いや品種間差異も含めて検討してきた（鯨ら 2001）。本研究では、栽培管理の異なる水稲出液中のサイトカイニン含有量について、収量性との関連も含めて圃場試験で検討した。

材料および方法

1. 栽培管理

実験は 2001 年に、石川県根上町の農家水田、富山県入善町の農家水田、長野県伊那市の農家水田および富山県農業試験場内の三要素継続試験圃場において実施した。栽培品種はコシヒカリである。栽培試験区の概要を第 1 表に示した。石川県根上町の水田は、26 年間にわたり第 1 表に示した栽培管理でコシヒカリを栽培している圃場である鯨ら（2002b）。富山県入善町および長野県伊那市の圃場では、低水温の農業用水を利用して V 字稲作を実施している水田である（鯨ら 2002a。）富山県農業試験場内の三要素継続試験圃場は、19 年間継続して同一施肥管理でコシヒカリを栽培している試験区である。

2. 出液の採取と保存

最高分けつ期および出穂期に出液速度および根系調査を実施した時に採取した出液を t-ZR 分析用として用いた。出液採取は前報（鯨ら 2001）に準拠して実施した。採取した出液はクーラーボックスに保存して実験室に持ち帰り、速やかに -30℃で冷凍保存した。

サイトカイニンの測定前に冷凍保存しておいたサンプルを解凍し、遠心分離に

より出液を回収した。遠心管にビニールチューブ（1cm φ, 3~5cmL）を入れ、ろ紙、サンプル液を含んだコットンの順に入れて遠心分離機にかけた。3,500 回転で 8 分の間遠心処理を 2 回行なって出液を回収し、定量した後同量の無水エタノール（99.5%）を混合して-30℃で冷凍保存した。

3. 出液中のサイトカイニンの抽出・精製

サンプル液を解凍したのちロータリーエバポレーターでアルコールを飛ばして濃縮し、5%メタノールを 3ml 加え、これをサンプル A とした。次に 5%メタノール 5ml, サンプル A, 5%メタノール 5ml の順で Bond-Elute に通過させたのち、55%メタノール 2ml を 2 回通過させ遊離型のサイトカイニンを溶出した。これをサンプル B とした。1 回サイトカイニンを溶出するごとに Bond-Elute の洗浄が必要となるので、0.1N の酢酸/メタノール 5ml（2 回）、5%メタノール 5ml（2 回）の順で洗浄を行なった。Bond-Elute は 10 サンプルごとに交換した。サンプル B（55%メタノール抽出物）をロータリーエバポレーターにて再び濃縮を行ったのち、5%メタノールを元のサンプルの 1/5 加え、これをサンプル C とした。サンプル C をソニキュエーターにかけ超音波で内容物を攪拌させ均一化した。

4. サイトカイニンの分析

サイトカイニンの分量は、ピコモルオーダーで検出可能な、酵素抗体結合法を用いて実施した。使用キットとして、Sigma Plant Cell Culture PGR-5（PDK09348/0096）、Trans-Zeatin Riboside Immunoassay Detection Kit を用い、405nm で吸光度を測定し、スタンダード曲線から得られた直線部分の標準線から各サンプルの t-ZR の含有量を計算した。

結果および考察

長期間連続した施肥管理を行なっている根上町水田の、最高分げつ期（7月 9

日) および出穂期 (8 月 9 日) における出液中 t-ZR 含有量を第 2 表に示した。最高分けつ期における t-ZR 含有量は、根上慣行区 (2 区) が比較的高い値を示し、鯨らの報告 (2001) と同様の結果であった。しかし、処理間における有意な差は認められなかった。

黒部川水系の農業用水を利用している富山県入善町の水稲、および三峰川水系の農業用水を利用している長野県伊那市で生育しているコシヒカリについて出穂期の出液を分析し第 3 表に示した。入善町の水稲では、水尻部における t-ZR 含有量が水口部よりも有意に高い値を示した様に、伊那市のコシヒカリでも水尻部における t-ZR 含有量は水口部よりも高い傾向を示したが、5%レベルでの有意差は認められなかった。しかし、入善町における水尻部および伊那市の水尻部における出液中の t-ZR 含有量は、根上町の標準栽培(2区)を対照として比較した場合、有意に高い含有量を示した。伊那市における t-ZR 含有量が高い値を示したのは、鯨らの報告 (2001) と同様の結果であった。入善町の水田土壌は礫層で透水性が高いため、黒部水系の農業用水の水温が低くても水口部から 100m 離れた水尻部における水温は上昇すると考えられる。実際水稲の生育状態は水口部より数日早く進んでいる。入善圃場では水温の差が、水口部と水尻部における出液中の t-ZR 含有量に影響しているものと考えられた。一方、伊那圃場の土壌は透水性が低いため低水温の農業用水の停滞時間が長い。伊那圃場の水温と根系生育の関連については、国際根研究シンポジウム (Oritani *et al.* 2001) で発表済みである。また土壌中の腐食が多く土壌三相中における気相の割合が多い。土壌による緩衝作用により低水温の影響は小さくなり (Oritani *et al.* 2001), 水稲の生育に及ぼす影響が相対的に小さくなるものと考えられる。

富山県農業試験場内の三要素試験区において、最高分けつ期 (7 月 18 日) および出穂期 (8 月 7 日) の出液中 t-ZR 含有量を定量し、第 4 表に示した。最高

分けつ期におけるサイトカイニン含有量は、無窒素区、無リン区および三要素区より無肥料区および無カリ区で有意に低かった。出穂期においては、無肥料区と無窒素区のサイトカイニン含有量が無リン区、無カリ区および三要素区よりも有意に高い値を示した。三要素区、無リン区および無カリ区の間において収量および根の生育に大きな差が認められないこと（橋本ら 2002）を考慮すると、出液中の t-ZR 含有量に試験区間差異が認められたことは興味深い。

各栽培区の収量構成要素を、第 5 表に示した。本試験のデータから t-ZR 含有量と収量との関連性を言及するのは難しい。収量を構成する各要素はさまざまな影響を受けることを考慮すると、t-ZR 含有量と収量性との関連を検討するためには、更にデータを積み重ねる必要がある。

謝辞

本研究を実施にあたり、石川県根上町の水田の調査で御協力頂いた、石川県農業総合研究センター、宮川修氏、富山県農業試験場の三要素試験区の調査で御協力頂いた、富山県農業試験場、東英男氏、山田信明氏、沢田耕一氏、および水田調査に御協力頂いた富山県入善町の稲村光枝氏ならびに長野県伊那市の春日照夫氏に感謝いたします。

引用文献

鯨 幸夫ら 2001. 日作紀 北陸支部会報 36 : 53-56.

鯨 幸夫ら a 2002. 日作紀 71 別 1 : 14-15.

鯨 幸夫ら b 2002. 日作紀 71 別 1 : 16-17.

橋本和幸ら 2002. 日作紀 71 別 2 : 24-25.

Oritani T. *et al.* 2001. Proceedings of the 6th Symposium of the International Society of Root Research : 530-531.

第1表 栽培試験区の概要(2001年).

試験区	場所	概要
根上1区	石川	無窒素
根上2区	石川	化学肥料(慣行)
根上3区	石川	稲わら施用
根上6区	石川	豚ふん堆肥連用
入善圃場	富山	化学肥料(V字稲作)
伊那圃場	長野	化学肥料(V字稲作)
無肥料区	富山	19年間継続
無窒素区	富山	19年間継続
無リン区	富山	19年間継続
無カリ区	富山	19年間継続
三要素区	富山	19年間継続

第2表 石川県根上町における水稻出液中のサイトカイニン(t-ZR)含有量.

試験区	サイトカイニン(t-ZR)含有量(ピコモル/0.1ml)			
	7月10日	n	8月10日	n
無窒素区(1区)	0.028±0.009	3	0.053±0.011	3
慣行区(2区)	0.033	1	0.033±0.005	2
稲わら区(3区)	0.026±0.003	3	-	
豚ふん堆肥区(4区)	-		0.011	1
LSD(p<0.05)	n.s.*		n.s.**	

平均値±標準誤差(n=1~3)

LSD(p<0.05)†*0.052(n=3),0.022(n=3~1)

**0.058(n=3~2),0.073(n=3~1),0.078(n=2~1)

(注) n=3とn=1の試験区を比較する場合は、n=3~1のLSD値を参照

n=3同士試験区を比較する場合は、n=3のLSD値を参照

n=2とn=3の試験区を比較する場合は、n=2~3のLSD値を参照

n=2とn=1の試験区を比較する場合は、n=2~1のLSD値を参照

第3表 入善町、伊那市水田の出穂期における出液中サイトカイニン(t-ZR)含有量.

試験区	n	サイトカイニン(t-ZR)含有量(ピコモル/0.1ml)
入善(水口)	3	0.041±0.012
入善(水尻)	3	0.097±0.003
伊那(水口)	1	0.050
伊那(水尻)	2	0.073±0.008
根上(標準、2区)	2	0.033±0.005
LSD(p<0.05)		*

平均値±標準誤差(n=1~3)

*LSD(p<0.05)・0.034(n=3),0.038(n=2~3),

0.048(n=3~1),0.042(n=2),0.051(n=2~1)

第4表 水稲三要素試験区におけるサイトカイニン(t-ZR)含有量.

試験区	サイトカイニン(t-ZR)含有量(ピコモル/0.1ml)			
	7月19日	n	8月8日	n
無肥料区	0.019±0.004	2	0.054±0.003	2
無窒素区	0.050±0.010	3	0.052±0.009	2
無リン区	0.061±0.010	3	0.015±0.002	2
無カリ区	0.019±0.004	2	0.028±0.005	2
三要素区	0.058±0.005	3	0.014	1
LSD(p<0.05)	*		**	

平均値±標準誤差(n=1~3)

LSD(p<0.05)†*0.031(n=3),0.034(n=2~3),0.038(n=2)

**0.030(n=2),0.036(n=2~1)

第5表 収量構成要素(2001年).

試験区	精玄米重	1穂籾数	穂数	千粒重	登熟歩合
根上1区	428kg/10a	63.7粒	15.8本/株	22.1g	94.1%
根上2区(対照)	587	66.1	19.4	23.4	92.8
根上3区	615	64.4	21.2	22.7	87.1
根上6区	644	72.5	21.2	21.8	85.6
入善(水口)	644	76.4	21.4	20.6	90.2
入善(水尻)	579	78.6	21.2	20.6	79.6
伊那(水口)	858	91.5	21.8	21.9	87.7
伊那(水尻)	841	90.0	22.3	21.4	87.4

栽培管理が異なるコシヒカリ根系からの Rb 吸収量と収量構成要素との関連

水稻根の生理活性を示す指標として、安定同位体である ^{32}P (西垣ら 1966), ^{86}Rb (Russel and Ellis1968), ^{42}K (Russel1977), ^{15}N (安田・渡辺 1990), を用いた方法が検討されている。著者らはこれまで、異なる栽培条件下で生育した水稻の根の生理活性を Rb 吸収量を指標として検討し、栽培条件の違いによる差異(鯨ら 1999, 2000a)および品種間差異(鯨ら 2000b, 2001)があることを報告した。本研究では、長期間有機資材を連用している圃場、多収穫の実績を示す圃場および礫層が発達した圃場で栽培されたコシヒカリを用いて根系からの Rb 吸収量を測定し、土壌中の根系分布および収量構成要素との関連性について検討した。

材料および方法

実験は、石川県根上町で 26 年間有機資材を連用している圃場、長野県伊那市における多収穫圃場および富山県入善町の黒部川扇状地に立地している礫層の多い圃場において、2001 年に実施した。供試品種はコシヒカリを用いた。根上町の圃場における試験区は、26 年間窒素無施用区、26 年間化学肥料のみを施用している慣行区、26 年間稲わらのすき込みを行っている処理区および 9 年間豚糞もみ殻堆肥の連用と稲わらのすき込みを行っている堆肥連用区とした。伊那市の農家水田(伊那区)は、V 字稲作によりコシヒカリの多収穫実績を示している圃場である。入善町の農家水田(入善区)でも、V 字稲作に準拠した水稻栽培を行っている。各試験区における栽培概要は、第 1 表に示した。各試験区における根系調査は、コアサンプル法 (53mm ϕ , 深さ 400mm) を用いて実施した。調査は出穂期と登熟期において、株間の 3 箇所について実施した。入善区は黒部川扇状地にあるため、下層は礫を主体とし

た浅い土壌であり、表層から 20cm の階層までしか根系を採取することができなかつた。また、根上区は手取川河口域に位置しており、土壌の深い層に礫があるので多く場合、土壌 30cm の階層までしか根系を採取することができなかつた。採取した根系コアは地表面から 10cm 間隔で切断し、各土壌階層に含まれる根量を調査した。根系を含んだ土壌の洗浄は、根洗い機 (Hydroelute Root Washing Unit : Gillison's 社, U. S. A.) と手作業により実施した。根上区および伊那区における根系からの Rb 吸収量は、出穂期と登熟中期に測定した。また、伊那区においては、多収圃場としての根の生理的活性を測定するため、水口部と水尻部の中間部における Rb 吸収量を測定した。40mg-Rb/ml を含む 0.4% の寒天ゲル 10ml を、注射器を用いて株間 5cm 下または株直下 20cm にスポット注入し(4 箇所注入/株)、5 日後に調査用株を刈り取って乾燥サンプルとした。茎葉部の Rb 含有量は、原子吸光法により定量した。また、収穫期に収量および収量構成要素を調査した。

結果および考察

1. Rb 吸収量

根上区における出穂期の Rb 吸収量を第 2 表に示した。窒素無施用区を除いて、株直下 20cm における株当たりの Rb 吸収量は、株間 5cm における Rb 吸収量より大きい値を示した。Rb 吸収量は地上部バイオマスの大小によっても影響を受けると考えられるため、地上部単位乾重当たりの Rb 吸収量も求めたが同様の結果が得られた。入善区および伊那区における出穂期の Rb 吸収量を慣行区(根上化学肥料区)と比較して、第 3 表に示した。入善区の水口部における一株あたりの Rb 吸収量は、株間 5cm 下および株直下 20 cm の双方で根上化学肥料区より有意に多かつた。また、入善区の水口部の株間 5cm 下における単位乾物重当たりの Rb 吸収量も他の試験区より有意に多いこと

から、入善区の水口部における根の生理活性は高いものと考えられた。

2. 根重の土壌中階層分布

伊那区と入善区における出穂期の根乾重を根上化学肥料区と比較して、第4表に示した。0-10cmの土壌階層における根重は、根上化学肥料区で有意に小さかった。その他の階層における根重には、試験区の違いによる有意な差は認められなかった。

3. 収量および収量構成要素

収量および収量構成要素を、第5表に示した。伊那区では水口部における坪刈収量が858kg/10aであるのに対し、水尻部では841kg/10aを示し、いずれも高い収量を示した。入善区の水口部における収量は644kg/10aであり、水尻部では579kg/10aであった。水口部の登熟歩合は90.2%であり、水尻部の79.6%より高い値を示していた。入善区の土壌は、礫層が多いため土壌の透水性は高い。利用している黒部川水系の農業用水は水温が低いが、土壌の透水性が良いために圃場の水口部と水尻部における水温と地温に温度差が生じていると考えられる。実際に水口部と水尻部では、水稻生育に数日のずれが認められた。伊那区では三峰川水系の農業用水を利用しているが、入善同様に用水の温度は低い(Oritani *et al.* 2001) (Kujira *et al.* 2001)。

しかし、伊那水田の土壌は腐植を多く含み、土壌三相中の気相の割合が多い特徴を持っている。また、透水性は低いため、低水温の農業用水を利用しているにもかかわらず、土壌を媒介とした緩衝能力にすぐれている(Oritani *et al.* 2001)。このことが、伊那区における根系生育の不均一性を少なくし、水口部と水尻部の双方における高い収量性に結びついているものと考えられる。

4. Rb吸収量と収量および収量構成要素との関連性

根上区、伊那区および入善区の出穂期における株間5cm下のRb吸収量と

土壌 0-10cm の階層に含まれる根重との関連性を検討し、相関係数を第 6 表に示した。両者の間に有意な相関関係は認められなかった。出穂期における株間 5cm 下または株直下 20cm の Rb 吸収量と各収量構成要素との相互関連性を検討し、相関係数を第 7 表および第 8 表に示した。株間 5cm 下の一株および単位乾重あたりの Rb 吸収量と収量または収量構成要素との間に、有意な相関関係は認められなかった。出穂期の株直下 20cm における株当たりの Rb 吸収量と千粒重との間には、有意な負の相関関係 ($r = -0.73^*$) が認められ、株直下 20cm における単位乾重あたりの Rb 吸収量と精玄米重との間には、有意な正の相関関係 ($r = 0.73^*$) が認められた。また、株直下 20cm の単位乾重あたり Rb 吸収量と一株穂数および一穂粒数との間にも、有意な相関関係が認められた。しかし、収量構成要素は複雑な環境要因の変動による影響を受ける(岩田ら 1984, 古谷・伊藤 1985)ことを考慮すると、出穂期における株直下 20cm の Rb 吸収量のみを指標として、収量および収量構成要素を論ずるにはまだデータが十分といえず、今後の研究を待つ必要がある。

引用文献

古谷勝司・伊藤十四英 1985. 日作紀 54(別 1) : 36-37.

岩田忠寿ら 1984. 日作紀 53(別 1) : 170-171.

鯨幸夫ら 1999. 北陸作物学会報 34 : 45-48.

鯨幸夫ら 2000. 日作紀 69(別 2) : 20-21.

鯨幸夫ら 2000. 日作紀 69(別 2) : 18-19.

鯨幸夫ら 2001. 北陸作物学会報 36 : 36-41.

Kujira, Y. *et al.* 2001. Proceedings of the 6th Symposium of the International Society of Root Research : 526-527.

西垣晋・渋谷政夫 1966. 土肥誌 37 : 147-152.

Oritani, T. *et al.* 2001. Proceedings of the 6th Symposium of the International Society of Root Research : 530–531.

Russel, R. S. and Ellis, F. B. 1968. Nature 217 : 582–583.

Russel, R. S. 1977. Plant Root System, Mcgraw-hill, London : 1–278.

安田典夫・渡辺公夫 1990. 土肥誌 61 : 196–197.

第1表 各試験区の栽培概要

試験区	基肥(kg/10a)			追肥(kg/10a)		
	N	P	K	N	P	K
無窒素区	0.0	7.0	7.0	0.0	0.0	0.0
化学肥料区	2.0	7.0	7.0	4.0	0.0	4.0
稲わら区*	2.0	7.0	7.0	4.0	0.0	4.0
豚糞堆肥区**	0.0	7.0	7.0	6.8	0.0	6.8
伊那***	5.0	6.6	4.7	8.0	1.6	1.6
入善	3.6	6.0	4.8	苦土+珪酸を100kg/10a		

栽植密度：根上20.9株/m²，伊那22.4株/m²，入善21.2株/m²。

*稲わら区：稲わらのみ施用。

**豚ふん堆肥区：稲わら+豚ふん堆肥4.5 t/10a。

***基肥は側条で実施し，追肥は幼穂長(20mm)を確認したのち，4kg - N/10aを2回施用。

第2表 根上区における出穂期のRb吸収量

試験区	株間 5 cm下		株直下 20cm	
	Rb吸収量/株	Rb吸収量/g	Rb吸収量/株	Rb吸収量/g
無窒素区	15.84±4.24mg	326.57±66.65 μg	10.06±2.22mg	177.07±16.84 μg
化学肥料区	10.15±1.37	183.13±2.96	17.02±2.60	329.33±59.43
稲わら区	11.49±0.49	213.87±13.65	16.97±1.16	341.03±49.15
豚糞堆肥区	10.25±0.86	197.30±5.91	16.43±0.48	275.30±14.86
LSD	n. s.	136.51*	n. s.	160.4*

平均値±標準誤差 (n=3)。

*: 5%レベルで有意。

n. s. : 有意差なし。

第3表 伊那区，入善区および根上化学肥料区における出穂期のRb吸収量

試験区	株間 5 cm下		株直下 20cm	
	Rb吸収量/株	Rb吸収量/g	Rb吸収量/株	Rb吸収量/g
伊那	7.66±0.55mg	191.43±3.87 μg	21.23±4.50mg	507.63±79.47 μg
入善(水口)	18.02±2.39	352.90±29.83	28.61±0.44	529.60±17.77
入善(水尻)	14.08±1.42	238.77±24.57	27.12±0.58	476.83±12.73
根上化学肥料区	10.15±1.37	183.13±2.96	17.02±2.60	329.33±59.43
LSD	6.28*	77.79*	10.48*	n. s.

平均値±標準誤差 (n=3)。

*: 5%レベルで有意。

n. s. : 有意差なし。

第4表 伊那区，入善区および根上化学肥料区における出穂期の根階層分布

試験区	根重(mg)				総根重
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	
伊那・水口	246.33±22.36	90.67±21.67	23.00±9.18	3.67±2.60	363.33±9.55
伊那・水尻	309.67±15.34	152.00±57.41	30.00±6.34	0.67±0.54	492.33±65.40
入善・水口	311.00±32.89	153.33±24.88	-	-	464.33±57.67
入善・水尻	244.33±14.46	142.00±48.03	-	-	386.33±55.53
根上化学肥料区	139.33±29.45	39.23±2.79	7.40±1.57	-	186.17±24.02
LSD	92.82*	n. s.	n. s.	n. s.	185.54*

入善区では20cmまで採取，根上区では30cmまで採取。

平均値±標準誤差 (n=3)。

*: 5%レベルで有意。

n. s. : 有意差なし。

第5表 収量および収量構成要素

試験区	精玄米重(kg/10a)	穂数/株	一穂粒数	千粒重(g)	登熟歩合(%)
根上					
無窒素区	428	15.8	63.7	22.1	94.1
化学肥料区	587	19.4	66.1	23.4	92.8
稲わら区	615	21.2	64.4	22.7	87.1
豚ふん堆肥区	644	21.2	72.5	21.8	85.6
伊那					
水尻	841	22.3	90.0	21.4	87.4
水口	858	21.8	91.5	21.9	87.7
入善					
水尻	579	21.2	78.6	20.6	79.6
水口	644	21.4	76.4	20.6	90.2

第6表 出穂期の株間5cm下におけるRb吸収量と0-10cmの階層における根重との間の相関係数

根系	Rb吸収量	
	株あたり	地上部単位乾物重当たり
根重(0-10cm)	0.05	0.19
根重(10-20cm)	0.13	0.19
総根重	0.02	0.16

第7表 出穂期の株間5cm下におけるRb吸収量と収量および収量構成要素との間の相関係数

収量構成要素	Rb吸収量	
	株あたり	地上部単位乾物重当たり
精玄米重	-0.70	-0.53
穂数	-0.44	-0.46
一穂粒数	-0.48	0.29
千粒重	-0.42	-0.47
登熟歩合	0.16	0.33

第8表 出穂期の株直下20cmにおけるRb吸収量と収量および収量構成要素との間の相関係数

収量構成要素	Rb吸収量	
	株あたり	地上部単位乾物重当たり
精玄米重	0.41	0.73 *
穂数	0.70	0.79 *
一穂粒数	0.55	0.80 *
千粒重	-0.73 *	-0.58
登熟歩合	-0.55	-0.44

* : 5%レベルで有意.

再生紙マルチを利用して有機栽培を行ったコシヒカリ BL の根系生育、 収量および根の生理活性

実験は 2002 年に、富山県農業技術センターの圃場において実施した。再生紙マルチを利用して有機栽培したコシヒカリ BL の地上部生育、根系生育、根の生理活性および収量構成要素を調査した。本圃場は、環境保全型農業の展示圃としているため、畦畔には除草を必要としないようにアジュカとイワダレソウを栽植している。有機栽培用資材としては、堆肥と有機質肥料（アグレット）を用いた。コシヒカリ BL の出穂期における土壌階層中の根乾重を慣行栽培したコシヒカリおよび伊那市で栽培された多収コシヒカリと比較すると、多収コシヒカリの総根重および土壌 0~10cm, 10~20cm 階層の根重はコシヒカリ BL および対照区より有意に多かった。収穫期の根乾重に関しても同様の結果が示された。コシヒカリ BL には、土壌階層別の根重および総根重に処理間有意差は認められなかった。収穫期では、20~30cm 階層の根重にのみ処理間有意差が認められ、堆肥+有機肥料施用区の根重が有意に多かった。有機資材の投入は垂直方向への根系生育を促す事が示唆された。

出穂期における根系からの Rb 吸収量を根系の生理活性を示す指標と考え、1 株あたりの Rb 吸収量を測定した。コシヒカリ BL の各処理区内では株間および株直下の Rb 吸収量に有意差は認められなかった。しかし、慣行栽培区（対照区）と比較すると、コシヒカリ BL の株間 5cm 下からの Rb 吸収量は有意に大きいことから、有機栽培したコシヒカリ BL の根の生理活性は高いと考えられた。地上部単位乾重あたりの Rb 吸収量は、慣行区と比較して堆肥+有機肥料施用区で有意に大きく、これは株間および株直下において認められた。堆肥施用を基本として有機肥料の使用が根の生理活性を高くすると考えられた。有機栽培した場合、玄米中のタンパク質含有量が高くなる傾向があることが指摘されているが、本試験では、6.05~6.20%であった。多肥栽培で多収実績のある伊那コシヒカリのタンパク質含有量が 6.15~6.50%であったことを考慮すると、多肥栽培や有機栽培であっても玄米のタンパク質含有量を高くしない管理技術があることが示唆された。

水稻栽培における 8 葉期中干しが根系生育と根の伸長角度に及ぼす影響

水稻栽培における中干しは、莖数制御および根系の健全な生育を助長させる意味で重要な水管理技術の一つであると認識されている。慣行的な中干しの実施時期は、最近の温暖化現象に伴い除々に早くなっているが、中干しの実施が根の伸長角度に及ぼす影響に関しては解明されていない。本研究では、8 葉期中干しを地域の栽培管理指針として普及させている富山県入善町の農家水田で調査した。また、大型のコンテナにガラス製の根箱 (25cm x 25cm) を設置するモデル実験をガラス室内で実施することにより、8 葉期中干しが根系に及ぼす影響について、常時湛水管理および 10 葉期中干しと比較して検討した。材料はコシヒカリを用いた。モデル実験では、8 葉期中干し区の総根数、総根乾重が 10 葉期中干し区より有意に多かった。常時湛水区の総根数と総根重は 10 葉期中干し区より有意に大きく、遅い時期の中干しは根数を減少させる懸念があることが示唆された。伸長角度別の根数および根重の分布状況を調査した。水平面 (0°) から 30° 内の土壌層に伸長した根数は、湛水区および 8 葉期中干し区より 10 葉期中干し区で有意に少なく、この傾向は $30\sim 60^{\circ}$ および $60\sim 90^{\circ}$ 内における根数においても認められた。どの伸長角度内であっても、8 葉期中干し区の根数は 10 葉期中干し区より有意に多かった。 $0\sim 30^{\circ}$ および $30\sim 60^{\circ}$ の伸長角度内の土壌に伸長した根乾重は、8 葉期中干し区が 10 葉期中干し区より有意に多いことから、8 葉期中干しにより斜方向に伸長する根が増加するものと考えられた。富山県入善町で 8 葉期中干しを実施している圃場で栽培したコシヒカリの土壌中階層分布を慣行栽培区 (対照) として比較した。入善のコシヒカリは土壌 $0\sim 10\text{cm}$ の層の根重が有意に多く、総根重も有意に多かった。出穂期における Rb 吸収量も入善圃場のコシヒカリで高い傾向が認められることから、8 葉期中干し管理は根系の生理活性も高く維持するものと考えられた。

水稻の無農薬栽培で植物資材を利用した Weed コントロールは可能か？

環境保全型水稻栽培を実践するためには、雑草防除に関わるケミカルコントロールの問題を解決する必要がある。除草剤を使用しない水稻栽培では、再生紙マルチを用いた栽培やアイガモ農法などの他に、くずダイズや米糠を利用した栽培方法などが検討されている。また、マメ科植物の持つアレロパシーを利用した方法も考えられているが、実践面では十分な効果が報告されていない現状にある。本研究では、植物資材としてアレロパシー効果も期待可能なマメ科植物としてレンゲとハマエンドウを用い、農業資源の有効利用を意図して、くずダイズと米糠の利用を考え、地表面を覆う資材としてはクマザサを用いて、水稻を栽培（品種：ミルキークイーン）し、雑草発生がどの程度制御可能かどうかについて検討した。生育途中で発生する雑草はコドラート（30cm x 30cm）を用いて調査し、種類別に分類した上で乾物重を測定した。また、各試験区における水稻の生育状況を調査し、収量・収量構成要素および玄米品質についても検討した。本試験圃場では、コナギとマツバイが発生する雑草の優占種であったため、この2種を中心にして解析した。無処理区（対照区）におけるコナギ乾重を100として各処理区のコナギ発生量の相対値を求めた。レンゲ散布によりコナギの発生は59~84%減少し、ハマエンドウ散布区では52~76%減少した。米糠散布による抑草効果は顕著で92~94%の減少が認められたが、くずダイズ散布では逆に25~61%コナギの増加が認められた。レンゲ散布処理がコナギの防除に有効であった。ハマエンドウ散布は、レンゲ散布と同様にコナギの防除に有効であったが、レンゲ処理にみられたコナギ減少に伴うマツバイの増加が認められなかったため、レンゲより防除効果が高くなった。レンゲ、ハマエンドウ散布による雑草発生抑制効果は、有機物が分解する過程で起こる土壌の還元化が雑草発生を抑制するものと考えられた。アレロパシー効果によるかどうかについては検証していない。米糠散布は除草剤処理には及ばないもののコナギの発生を顕著に抑制した。しかし、米糠散布によりマツバイの発生が増加する傾向が認められることから、圃場によって異なる発生雑草の優占種に対応した処理が必要である。クマザサの散布処理により、マツバイの発生が78~83%減少するなど、田面を被覆することによる雑草発生効果が認められた。コナギとマツバイを総合して雑草発生を抑制する効果が最も高かった処理は、ハマエ

ンドウ散布であり、続いてレンゲ区、米糠区、クマザサ区となり、くず大豆区における効果は低かった。コナギ防除に関しては、米糠散布による効果が顕著であった。雑草の防除効果、水稻の収量性、散布用の資材調達および散布に関わる労働力等を総合して考えた場合、水田への米糠表面散布による雑草防除が効果的かつ現実的であると考えられた。

コシヒカリの不耕起移植栽培と湛水土中打込み点播栽培

—根系生育、溢泌液量および収量構成要素—

鯨 幸夫*、内浜 朗、吉村紘美、佐野智子、中島裕司、

狩野 紫、富澤佳代、畑中博英¹、橋本良一¹

(金沢大学教育学部、¹石川県農業総合研究センター)

環境保全を考慮しながらも農業生産の低コスト化を図ることが重要視されている。本研究では、不耕起移植栽培および湛水土中打込み点播栽培を行ったコシヒカリの生育について、根系の構造と生理的機能および収量構成要素の観点から検討した。

材料および方法：実験は石川県農業総合研究センター内の水田にて実施した。不耕起移植区および対照区としての耕起区の田植えは、1999年5月7日である。湛水土中打込み点播区の播種は、4月26日に実施した。各処理区の施肥量および概要は、表1-1, 1-2に示した。コアサンプル法(53mmφ, 400mmD)を用いた根系調査は、株間において8月4日に実施した(各3箇所)。根の機能を推定するために、株あたりの溢泌液量の調査を8月4日に実施した(各処理区とも5株ずつ調査)。土壌中の根系分布と根の生理活性との関連性を検討するため、根系からのRb吸収量を測定した。8月5日に株間の5cm下、10cm下および株直下20cmの位置にゲル状の塩化ルビジウム(Rb:10ppm)を10mlずつ注射器を用いてスポット注入した。注入5日後の8月10日、調査対象株を刈り取り、乾燥・粉碎処理を行ったのち試料の前処理を行い、原子吸光法を用いて1株あたりの吸収Rb含有量を定量した。倒伏に關与する要因としての押し倒し抵抗値は、DIK-7400を用いて穂揃い期の8月11日に調査した。

結果および考察：根乾重の階層分布を表2に示した。土壌中0-10cmの根乾重は不耕起5年目の区で有意に多かった。30-40cmの根乾重は不耕起1年目の区が耕起区や点播区より有意に多かった。総根乾重は、不耕起5年目の区が耕起区や点播区より有意に多かった。1株あたりの溢泌液量/hrは、点播区よりも耕起1年目と不耕起5年目の区で有意に多かった(表3)。1茎あたりの溢泌液量/hrは、他の処理区よりも点播区で有意に少なかった。5日間の株あたりRb吸収量を表4に示した。株直下20cmにおけるRb吸収量は、耕起区よりも不耕起区で多かった。不耕起では、株間10cm下でのRb吸収量が株直下20cmと比較して有意に少なかった。耕起区では、株間5cm下のRb吸収量が株間10cm下および株直下20cm処理よりも有意に多かった。点播区では、株間5cm下のRb吸収量が他の処理区よりも大きかった。対照区としての耕起区の倒伏抵抗値は10.7であったが、打込み点播区では12.7を示し、点播方式による直播栽培は株の倒伏程度を強化させる効果があることが示唆された。

表1-1 試験区(3・5・7・8区)の概要

試験区*	基肥:N**		総施肥量:N (kg/10a)	栽植密度 (株/m ²)
	速効性	緩効性		
3区:連続耕起区	3	3	6	21.9
5区:耕起1年目	3	3	6	21.9
7区:不耕起5年目	3	3	6	21.9
8区:不耕起1年目	3	3	6	21.9

*側条施肥栽培区、

5区は堆肥区(牛糞初級堆肥1t/10a)で昨年まで不耕起区、

8区は昨年まで耕起区

**基肥のP₂O₅とK₂Oは6kg/10a、速効性Nは硫安(N:12%)、

緩効性NはLPS80:LPSS100=35:85(N:12%)

表1-2 実験区(点播区)の概要

実験区	基肥:N	追肥:N*	穂肥:N**		総施肥量:N (kg/10a)	栽植密度 (株/m ²)
			15日前	7日前		
点播区	0	1	1.5	1.5	4	15.5

*4葉期にBB056を施用

**日の本2号を施用

表2 根乾物量の階層分布(1999. 8. 4)

試験区	土壌中の階層				総根重mg
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	
3区	56.3±27.0	48.7±18.5	8.0±5.0	0.7±1.1	113.7±15.0
5区	78.7±54.0	31.0±18.0	5.0±4.3	5.0	119.7±72.5
7区	218.0±95.5	24.7±16.6	14.7±15.3	2	259.4±118
8区	85.3±19.8	41.3±8.0	27.0±32.0	11	164.8±44.0
点播区	83.7±31.8	23.3±12.5	10.3±1.1	4.3±4.0	121.6±47.4
LSD(0.05)	96.9	27.8	29.4	6.6	119.7

*平均値±標準誤差(n=3)

表3 根系の生理活性に関する調査(1999. 8. 4)

試験区	いっ泌液量		地上部乾重 (g/株)	地上部乾重 (g/1茎)
	(g/株・1時間)	(g/1茎・1時間)		
3区	3.169±1.371	0.256±0.104	14.131±4.739	1.104±0.167
5区	3.914±1.429	0.222±0.046	29.128±6.979	1.674±0.163
7区	3.443±1.044	0.191±0.058	26.219±3.520	1.457±0.195
8区	3.159±1.293	0.218±0.114	22.775±7.085	1.441±0.297
点播区	1.782±0.838	0.108±0.052	26.041±6.899	1.532±0.227
LSD(0.05)	1.558	0.106	7.945	0.286

*平均値±標準誤差(n=5)

有機栽培を行ったコシヒカリの根乾重階層構造および収量構成要素
 鯨 幸夫、冨澤佳代、中島裕司、佐野智子、内浜 朗、吉村絃美、狩野 紫
 (金沢大学教育学部)

自然環境への負荷が少なくなるような環境保全型農業を構築するための基礎的研究として、有機資材を投入して水稻栽培を行っている実践圃場における調査を行った。

材料および方法：実験は1999年に農家水田で生育する水稻品種、コシヒカリおよび塩こう48号を材料に用いて実施した。圃場の概要は次の通りである。1) 松任水田：16年間牛糞初穀堆肥を連続施用してコシヒカリの条抜き有機農業を行っている圃場。2) 野々市水田：5年間有機ボカシ肥料を用いてコシヒカリの条抜き有機栽培を行っている圃場。3) 輪島市町野町水田：カルス菌を用いた有機ボカシ肥料を用いて、コシヒカリと塩こう48号(中国の短粒品種)を栽培している圃場。4) 比較区として、石川県農業総合研究センター内で化学肥料を用いて慣行栽培したコシヒカリ。

調査項目：株間における根系調査はコアサンプル法(53mmφ×400mmD)を用いた(各々5箇所について実施)。根系調査は、7月8日および出穂期前後の7月29日、8月4日に実施した。採取したコアは、地表面から10cm間隔で分割し、ルートウォッシャーを用いて根を洗い出し、70°Cで24時間乾燥させて乾物重を測定した。草丈、莖数、SPAD値、地上部乾物重も測定した。溢泌液量は各試験区とも5株を対象にして、7月8日、15日および7月29日と8月4日に実施した。収量および収量構成要素を調査したのち、食味分析計(静岡製機GS2000)を用いて玄米および白米の食味成分含量を測定した。

結果および考察：7月8日における株間根乾重の階層分布をみると、野々市コシヒカリでは、10-20cmおよび30-40cmの階層で条抜き内側の根乾重が外側より有意に多く、松任コシヒカリでは、30-40cmの層で条抜き内側の根が外側よりも有意に多かった。出穂期における根乾重の分布を表1に示した。野々市コシヒカリでは、条抜き外側の株間の根重が内側よりも多い傾向が示された。7月15日調査の野々市コシヒカリでは、条抜き内側の1株あたりの溢泌液量が外側よりも有意に多く、分けつ1本あたりの溢泌液量は、内側よりも外側の条間で大きい傾向を示した。8月4日の1株あたり溢泌液量と分けつ1莖あたりの溢泌液量には、条抜き部分からの条の違いによる有意差は認められなかった(表2)。収量構成要素は表3に示した。

謝辞：実験に協力いただいた、野々市町藤平の三納和之氏、松任市八田中の中野正剛氏、輪島市町野町の向面正一氏および国永剛氏、穴水町の西出隆一氏に感謝致します。

第1表 出穂期における根乾重の階層分布

処理区	土壌中における根乾重 (mg)					総根重
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	10-40cm	
松任 内側	76.0±31.1	31.7±5.5	7.7±6.1	6.0±0	45.4±11.6	121.4±42.7
野々市外側	76.3±27.5	28.7±12.2	7.7±7.0	0	36.4±19.2	112.7±46.7
野々市内側	77.7±15.6	17.7±10.0	4.7±2.8	0.7±1.1	23.1±13.9	100.8±29.5
町野コシ株間	89.7±11.0	51.0±14.1	15.7±15.8	0	66.7±29.9	156.4±40.9
町野コシ条間	124.7±73.9	155.3±104.1	42.7±34.2	10.0±2.8	208±141.1	332.7±215
町野塩こう外側	31.0±16.0	15.0±6.0	1.5±0.5	0	16.5±6.5	37.5±22.5
町野塩こう内側	53.0±2.6	28.0±19.0	17.7±6.5	0	45.7±25.5	98.7±28.1
LSD(0.05)	60.3	91.2	26.2	89.7		

* 平均値±標準誤差

第2表 溢泌液量の変化

処理区	溢泌液量		
	g/株/hr	g/莖/hr	莖数
野々市外側	7.9±1.3	0.3±0.04	29.4±1.3
野々市内側	7.6±1.2	0.3±0.04	24.0±2.3
町野コシヒカリ	6.0±0.9	0.2±0.03	30.8±4.2
町野塩こう外側	10.2±0.9	0.3±0.01	32.2±2.4
町野塩こう内側	11.0±0.4	0.4±0.02	27.0±2.0
LSD(0.05)	15.0	0.10	8.6

第3表 収量構成要素

処理区	1穂初数	穂数/株	千粒重	粗玄米重	登熟歩合*
野々市外側	113.5	27.2	21.8g	876.4kg/10a	83.5%
野々市内側	108.0	21.7	22.5	677.1	82.4
町野コシ	112.5	17.8	19.6	498.3	81.5
町野塩こう48	94.6	20.8	22.1	436.1	80.3
対照(コシ)	67.3		22.6	549.0	87.9

* 比重選(d=1.06)

ボカシ肥料を用いた有機栽培が水稻の根系、溢泌液量、収量、 収量構成要素および玄米の品質に及ぼす影響

鯨 幸夫*・山田優也・佐藤 匠・高橋利征
(金沢大学教育学部)

Effect of Organic Farming of Rice with Bokashi-Fertilizer on the Root System, Bleeding Sap, Yield, Yield Components and Grain Quality

Yukio KUJIRA, Yuya YAMADA, Takumi SATO and Toshiyuki TAKAHASHI
(Faculty of Education, Kanazawa University, Kanazawa 920-1192, Japan)

有機栽培を行ったコシヒカリと塩粳48号の根系生育、溢泌液量、収量、収量構成要素および玄米品質について検討した。対照区として、慣行栽培のコシヒカリを用いた。有機栽培を行った場合には根量が増加する傾向が認められ、根からの溢泌液量も有機栽培区で大きい傾向を示した。収量は有機栽培区の方が高く、選別後の玄米外観品質も優れていたが、良質粒歩合は有機栽培区の方が低く、玄米のタンパク質含量も高かったため、食味計による食味値は低かった。しかし、官能検査を行うと高い食味評価が示され、玄米中のタンパク含量に重点が置かれた現在の食味評価基準では評価できない要因が、有機栽培にあることが示唆された。

Effects of organic farming of rice cv. Koshihikari and Enkou 48 with Bokashi-fertilizer on the root system, bleeding sap, yield, yield components and grain quality were discussed. Koshihikari grown with the organic (Bokashi-Fertilizer) fertilizers showed a tendency to have a larger root dry weight rather than control. The values of grain eating quality in case of the organic farming system was lower than in control because of high protein content of the grains. Organic farming rice showed a good evaluation in the results of the sensory test after cooking. There may be other factors affecting the eating quality in case of the organic farming rice except protein content or other known factors in rice grains.

キーワード：溢泌液、根系、収量、水稻、ボカシ肥料

Key words : Bleeding sap, Bokashi fertilizer, Rice, Root system, Yield

環境問題が広範囲で討議されている現在、農業生産における化学肥料重点主義の考え方が再考の必要性に迫られている。著者らは、これまでEM菌を用いた有機ボカシ肥料を用いて栽培したコシヒカリの根系形態について報告してきたが(鯨ら, 1998)、本研究ではカルス菌を利用して調製したボカシ肥料を用いて有機栽培を行ったコシヒカリと塩粳48号(中国品種)の根系生育、収量および玄米品質に関して、化学肥料を用いて慣行栽培したコシヒカリを対照として考察した。

材料および方法

実験は、1998年に石川県輪島市町野町の農家水田にて実施した。カルス菌を用いて調製したボカシ肥料を施用して有機栽培を行ったコシヒカリと塩粳48号(中国品種)の、根系生育および収量構成要素と玄米品質について検討した。

1) 有機コシヒカリの栽培圃場

1998年10月15日にケイカル200kg/10aおよび米糠20kg、硫安5kgおよびアイデンカルス10kgを水田に施用して秋耕を行った。ボカシ肥料は、米糠：油粕：骨粉：魚粕：アイデンカルス：水を20kg-20kg-20kg-20kg-5kg-

30lの比率で混ぜ、約20日間切り返しを行いながら発酵させて調製した。基肥としてボカシ肥料を80kg/10a施用し、本田への移植は1998年5月4日に行い、栽植密度は45株/坪(1株2本植え)とした。5月8日に活着肥として市販の有機肥料(JT666)を20kg/10a施用した。穂肥は、7月25日にJT666を40kg/10a施用した。光合成細菌は、5月10日、6月11日および7月10日に各30g/10aずつ施用した。

株間における根系調査は、8月1日および9月23日実施し、コアサンプル法(φ53mm, 400mmD)を用いて各3個ずつのサンプルを採取した。採取した根系コアは、表層から10cm間隔に分割し、Root Washing Unit (GVF 1300, Gillison's Co. Ltd, U. S. A., Primary Sieve 410nm)を用いて洗浄した。土を洗い流した根系サンプルは、水を入れたホロー製のバットに移し、手作業にてゴミ等の混入物を取り除いたのち、根系測定用のサンプルとした。根は80℃の通風乾燥器にて24時間乾燥させた後、乾物重を測定した。根からのいっ泌液量の測定は8月1日に実施した。平均的な生育をしている5株について、地際から10cmの高さで茎葉部を切除し、前もって重量を測定しておいた綿で茎葉切除部を覆い、その上をサランラップで覆って輪ゴムで固定

した。1時間経過後、綿を外シラップで覆ったままクーラーボックス内で保存し、実験室に持ち帰った後すみやかに重量を測定して吸水重量を求めた。また、茎葉部を切除して1時間いっ泌液量を測定した後の同一株を用いて、再度1時間経過後の溢泌液量を測定した。溢泌液量の測定は、1株あたりと1分けつ茎あたりの量として求めた。収量調査は、平均的な生育をしている10株を刈り取り、各株の平均的な3本の穂について収量構成要素を調査した。登熟歩合は比重選 (d=1.06) により実施した。玄米の外観品質および食味関連成分は、近赤外食味分析計 (GS-2000, 静岡製機) を用いて行った。

2) 塩粳48号の栽培圃場

コシヒカリと同一のボカシ有機肥料を用いて塩粳48号の栽培を行った。1997年秋にアイデンカルス菌 (7kg), 米糠 (20kg) および尿素 (3kg) を施用して水田の秋耕を行った。播種 (95g 播き) は3月25日に行い、本田への移植は5月13日に行った。基肥としてボカシ肥料80kg/10aを施用し、活着肥として5月18日にJT666を20kg/10a施用した。穂肥は7月25日に行い、JT666を40kg/10a施用した。5月下旬, 6月中旬および7月中旬に光合成細菌を各30g/10aずつ散布した。8月1日および9月23日にコアサンプル法を用いて根系調査を実施した。また、両品種における根からの溢泌液量の測定は8月1日に実施し、根の生理活性を示す指標として考察した。収穫後のサンプルは収量構成要素を調査したのち上記コシヒカリと同様に玄米の食味成分含量を測定した。

3) 対照区

金沢大学教育学部角間農場において化学肥料を施用して慣行栽培したコシヒカリの各種生育データを、上記2品種の対照区の値とした。播種 (催芽粉60g 播き/育苗箱) は4月14日に実施した。手植えによる移植は5月15日に実施し、栽植密度は16株/m² (1株2~3本植え) とした。基肥として、いしかわ有機056号 (有機20%を含む: N-P₂O₅-K=10-25-16%) を30kg/10a施用した。7月17日に追肥として、日の本2号を10kg/10a施用した。水は常時湛水状態で管理し、中干しは実施しなかった。生育調査は上記と同様である。溢泌液量の調査は8月8日に実施し、根系調査は8月8日および9月30日に実施した。

結果および考察

1) 根系生育

8月1日 (対照区は、8月8日) および9月23日 (対照区は、9月30日) における根乾物重の土壤中階層構造 (株間) の変化を第1表に示した。ボカシ肥料を施用して有機栽培を行ったコシヒカリの根系構造と対照区 (角間) との間に統計的な有意差は認められなかったが、有機栽培を行った場合には根量が増加する傾向があるように考えられた。堆肥連用水田において、穂ばらみ期の葉身窒素濃度がほぼ等しいイネの調査では、葉色、茎数、草丈など地上部の生育には大差はないが、根群の形態と機能に明らかに違

第1表 根乾物重の土壤中階層構造

処理区	根 乾 物 重 (mg)		総根重
	0-10cm	10-40cm	
角間コシヒカリ*	56 ± 22a	86 ± 36 a (60.6%)	142 ± 35 a
塩粳48号	47 ± 18a	100 ± 4 a (68.0%)	147 ± 36 a
輪島コシヒカリ	71 ± 5 a	147 ± 2 a (83.5%)	176 ± 31 a
LSD(p=0.05)	33	81	68

*平均値±標準誤差 (n=3)

*8月8日に調査

(1998.9.23)

処理区	根 乾 物 重 (mg)		総根重
	0-10cm	10-40cm	
角間コシヒカリ*	46 ± 29 a	40 ± 26 b (46.5%)	86 ± 53a
塩粳48号	69 ± 1 a	53 ± 24 ab (43.4%)	122 ± 43a
輪島コシヒカリ	141 ± 53 a	122 ± 43 a (59.8%)	204 ± 186a
LSD(p=0.05)	192	65	229

*平均値±標準誤差 (n=3)

*9月30日に調査

輪島コシヒカリ角間コシ: *(10~40cmの階層)

いがみられ、堆肥区の根は無堆肥のものと比較してより広く、より深層に分布し、一次根は太く、より多くの二次根を形成していた (天野, 1979)。堆肥施用のコシヒカリでは、根系生育が促進されること (鯨ら, 1997)、また、根のα-ナフチルアミン酸化力も堆肥区で高く、根の活力も高い (天野, 1979) との報告がある。堆肥と有機リン酸肥料を施用した場合には、堆肥単用の場合よりも更に根系の発達を促進される (鯨, 1990, 1994) ことも報告されている。

本実験では、水稻根系根系コアの採取は株間の3箇所について実施し、有機栽培区における根量が対照区よりも大きい傾向を示していたが、根乾物重に処理間の有意差が認められなかった。これは、根乾物重の採取サンプル間の偏差が大きかったためことが原因の一つと考えられた。地上部の生育が平均的であると判断できても、根系生育が必ずしも均一な生育をしているとは限らず、この点が圃場レベルでの根系研究の進展を若干難しくしているものと考えられた。

2) 根からの溢泌液量

8月1日 (対照区は、8月8日) における根からの溢泌液量の測定値を第2表に示した。1株あたりおよび1分けつ茎あたりの泌液量に、有意な品種間差異は認められなかった。茎葉部を切除して1時間あたりの溢泌液量を測定したのち、再度継続して1時間あたりのいっ泌液量を測定した場合、溢泌液量の絶対値は減少し、角間コシヒカリは有機栽培した場合よりも溢泌液量が多かった。また、溢泌液量の減少率には有意な差が認められ、有機栽培区での減少率が大きかった。溢泌液量は、圃場管理の違い、特に水管理の違いによっても異なる。水田土壌が乾燥状態 (例えば、中干し期間中) にあると、飽水状態よりも泌液量は減

第2表 根からの溢泌液量の変化

処理区	泌液量g/株	泌液量g/1茎	切除1時間後の泌液量g/株	1時間後の泌液量g/1茎
角間コシヒカリ*	6.89±0.81a	0.30±0.02 a	5.65±0.55a (82.0%)	0.25±0.03a(83%)
塩粳48号	8.29±5.77a	0.37±0.04 a	1.29±0.30b (15.5%)	0.06±0.02a(16%)
輪島コシヒカリ	10.02±1.58a	0.40±0.03 a	3.05±0.88 ab (30.4%)	0.12±0.04a(30%)
LSD(p=0.05)	4.47	0.92	2.81	0.50

*1998年8月1日に測定 (n=5)

*8月8日に調査

第3表 栽培条件の違いによる収量構成要素の変異

処理区	株数/坪	収量/10a	穂数/株	1穂粒数	登熟歩合	1,000粒重
角間コシヒカリ	53本	420.7 kg	21.8	127	62%	18.7g
塩粳48号	40	570.0	22.0	107	93	23.5 [*]
輪島コシヒカリ	45	599.9	24.8	146	73	19.3

第4表 外観品質および食味成分

(外観品質)

処理区	良質粒	未熟粒	被害粒	死米	着色粒	胴割粒	格付け
角間コシヒカリ	67.4%	14.6%	10.4%	5.8%	1.8%	0.5%	C
塩粳48号	73.2	11.1	14.7	0.4	0.6	3.1	C
輪島コシヒカリ	67.9	20.7	10.5	0.8	0.1	0.9	B

(食味品質*)

処理区	水分	タンパク質	アミロース	脂肪酸度	老化性	スコア値 (評価)
角間コシヒカリ	14.5%	8.6%	18.4%	21	75	70 (A)
塩粳48号	14.0	9.3	18.7	10	77	64
輪島コシヒカリ	14.5	9.1	18.3	16	73	66 (B)

少する。8月1および8日は、調査対照のコシヒカリ圃場はいずれも湛水状態であったが、有機栽培を行ったコシヒカリで溢泌液量が多い傾向があるものと考えられた。溢泌液量を根の生理機能を示す1つの指標と考えた場合、有機栽培区で根系機能が強く維持されていると判断できる。コシヒカリやヒトメボレの1株あたりの溢泌液量は生育の進行に伴ってゆるやかに増加し、出穂期ごろに最高値を示して急激に減少する時期的な変化をすることが知られている(森田, 1998)。根系からの溢泌液量は、水田の水管理の違いによっても異なり、中干しの時期には急激に減少する(森田, 1998)ことを考えると、溢泌液を測定する際には土壌の水分状態に十分注意を払う必要がある。本実験では、水田が湛水状態であることを確認した上で測定した。溢液(出液)量を乳苗と稚苗で比較した場合、生育に伴う出液速度は同じパターンで推移するが登熟期における減少程度は、乳苗の方がやや穏やかである。生長後期における出液中のサイトカニン含量は稚苗の場合より乳苗で多いことから、登熟期の葉色退化との関係が示唆されている(森田ら, 1997)。今後は溢泌液の量的変異に加えて、溢泌液中に含まれる各種成分含量について検討し、根の形態と機能を有機的に説明するための研究の必要性が示唆される。

3) 収量および食味評価

収量および玄米の食味関連成分は、第3表および第4表に示した。玄米収量は、有機栽培コシヒカリで高く、同時に玄米の外観品質も対照区(角間コシヒカリ:慣行化学肥料栽培)より優れていた。しかし、良質粒の割合は相対的に有機栽培コシヒカリで低く、これは、1998年における収穫期の天候不良も大きな原因の一つであると考えられた。有機栽培コシヒカリの食味値(スコア)は対照区のコシヒカリよりも低い値を示したが、これは食味計による玄米中のタンパク質含量(9.1%)が高い値を示したことに由来している。1998の天候は、6月の日照不足と登熟期における極端な日照不足に加え、9月下旬には長雨に遭遇するといった変遷を示した。6月下旬から7月上旬にかけては、土壌からの地力窒素の供給が多くなっている状態であったが、湿田では窒素の吸収制限を行うことが出来ずに総粒数が増加し、登熟期の日照不足が原因となって登熟歩合の低下が大きかった。有機栽培区で良質米の割合が低下した原因は、上記の原因に加え、天候不良による有機物の無機化が遅れたため土壌中の遊離窒素成分の供給が過剰気味となり、生育後半の葉色低下の遅延を引き起こし、刈り取り時期の遅延を引き起こしたためと考えられる。また、収穫期

における長雨の影響により、玄米の外観品質が低下した。土壌中の有機物の無機化速度は、天候によって大きく左右されるため、有機栽培を行う場合には特に注意を払う必要があり、特に有機物の施用量には十分配慮をする必要があるものと考えられる。

水田に有機質肥料を施用した場合、緩効的な肥効効果を示し、無機質肥料を施用した場合よりも窒素の無機化率は緩やかで、肥料や分解条件（土壌の種類）などで多少は変動するものの、効率の平均値は約60%程度とされている（葭田, 1994）。有機質肥料で水稻を栽培した場合、収量低下を示す事例がよく見られるが、これは初期生育の停滞に伴う莖数不足が主な要因と考えられる場合が多い。本実験の有機栽培コシヒカリでは、約600kg/10aの収量を示したが、莖数を確保しているにも関わらず1穂あたりの粒数が多く、これが登熟歩合の低下と良質米割合の低下に結びついていた。

食味計の分析値を基準にした食味を検討すると、有機栽培区のコシヒカリの食味スコアはBランクと低い評価であり、塩粳48号では更に低い食味評価値が示された。しかし、精白米を炊飯して食味官能検査をすると有機コシヒカリで高い評価が得られ、塩粳48号でも標準的な食味官能評価が得られた。玄米中のタンパク質含有量に重点が置かれた現在の食味評価基準では評価できない要因が、有機栽培

にはあるものと考えられ（鯨ら, 1998）、この点に関しては、今後さらに検討する必要がある。

謝 辞

本実験に協力頂いた、穴水町、西出隆一氏、輪島市町野町、向面正一氏と国永剛氏に感謝いたします。また、玄米の食味成分の分析に協力頂いた石川スズエ販売（株）杭田忠三氏に感謝いたします。

引用文献

- 天野高久1994. 農業技術体系, 農文協, 追録16号:522の29の34-40.
- 鯨 幸夫1990. 日作紀, 59, 別1.
- 鯨 幸夫1994. 農業および園芸, 69:717-725.
- 鯨 幸夫, 安土幸恵 1997. 日作紀, 66, 別1.
- 鯨 幸夫ら 1998. 日作紀, 67, 別2:4-5.
- 鯨 幸夫ら 1999. 根の研究, 8:100-104. (条抜き有機コシ)
- 森田茂紀ら 1997. 根研究会・ファイテック研究会合同研究集會要旨:
- 森田茂紀 1998. 第9回根研究集會要旨:5-6.
- 葭田隆治 1994. 農業技術体系, 農文協, 追録16号:522の32-37.

(1999年12月1日受付, 2000年2月10日受理)

乾田不耕起直播栽培したF1水稻品種の根系生育、出液速度および根系からのRb吸収量

鯨 幸夫¹、中島裕司*¹、佐野智子^{1, 2}、吉村紘美¹、遠藤直生³、土屋 猛⁴
 (¹金沢大学教育学部、²信州大学農学部、³石川農業短期大学、⁴三井化学(株))

No-tillage direct seeding of well-drained paddy field on the root dry weight, bleeding rate and Rb absorption rate of F1 rice

Yukio KUJIRA¹, Yuji NAKAJIMA*¹, Satoko SANNO^{1, 2}, Hiromi YOSHIMURA, Naoki ENDOU³ and Takeshi TSUCHIYA⁴

(¹Faculty of Education, Kanazawa University, ²Department of Agriculture, Shinsyu University, ³Ishikawa Prefectural Agricultural Collage, ⁴Mitsui Chemical Co. Ltd.)

日本作物学会記事
 (Jpn.J.Crop Sci.)
 69巻(別2号)
 2000年

三井化学(株)が1994年に育成したF1品種は、西南地方で試験栽培され多収の報告がある。水稻の乾田不耕起直播栽培は、生産経費の低コスト化を目的としているが、近年の環境保全を考慮しても有効な栽培方法の一つであると考えられる。本研究は、極晩生品種であるF1品種を北陸地方で乾田不耕起直播栽培した場合の適応性について検討したものである。比較対照として、湛水土中散播F1の場合も検討した。

材料および方法：供試品種は水稻F1品種の、MH2003とMH2005である。1999年4月23日、石川県農業短期大学の水田において、みのる式不耕起直播機(歩行2条植え)を用いて催芽初めの播種を行った(株間15cm、条間30cm、1穴5~6粒)。施肥は、LP40施用区とBB056施用区の2処理(2反復)とした。コアサンプル法を用いた根系生育調査は株間において、8月26日、9月22日および10月19日に実施した。反復数は3とした。また、根系からの出液速度を測定し、根の生理活性を示す指標として検討した。出液速度の測定は8月29日に実施した。8月5日と9月25日に株間の5cmおよび10cm土壌下および株直下20cmの位置に、注射器を用いて0.4%の寒天を含むRbゲル(40mg/mlのRbを含む)を10ml注入し、5日経過後の8月10日と9月30日に地際から株を刈り取り乾燥後、乾物重を測定してから、原子吸光法を用いて莖葉部のRb含有量を測定し、根の生理活性を示す指標として検討した。反復数は3~4とした。

結果および考察：最高分けつ期を過ぎた生育相の根乾重(8/26)、穂揃い期~登熟初期(9/22)および成熟期(10/19)における根乾重の土壌中階層構造を第1表に示した。総根乾重は施肥の種類によって品種による反応が異なった。MH2003はLP40施用区で根乾重が多く、MH2005はBB056施用の方で総根乾重が大きかった。しかし、基本的栽培法としては、窒素の利用効率を考慮ながら緩効性肥料と速効性化学肥料の併用を考えるべきであると思われるが、施肥法および施肥効率を決定するための基本的資料は未だ不足している。MH2003はMH2005よりも根系発達が優れている傾向が示されたが、深根性についてF1品種間に大きな差は認められなかった。8月初旬におけるF1品種の地上部単位乾重あたりのRb吸収量は、コシヒカリの5~10倍の値を示した(第2表)。特に、乾田不耕起直播したMH2005のLP40施用区でRb吸収量が多く、この栽培区の根の活性は高いと推定された。収量および収量構成要素については、作物学会北陸支部会(2000年7月25~26日)において概要を発表済みである。今年度の試験では、栽培上の施肥絶対量が不足したため、予想以上に葉色が低下し、穂数、1穂もみ数が減少したことが原因となり、収量は低かった。株間5cm下の位置におけるRb吸収量と株間における深さ0-10cmの根乾重との間には、有意な相関関係が認められなかった($r=0.028$)。9月25日のRb吸収試験と9月22日の根系調査の結果から、2要因の相互関係を検討した。株間の土壌下10cmにおけるRb吸収量と株間の土壌下10-20cmの階層の根乾重との間には、 $r=-0.532$ の相関関係が認められた。株直下の20cmの位置からのRb吸収量と株間土壌下20cm-40cmにおける根乾重との間には、 $r=-0.539$ の相関関係が認められた。土壌表層(株間で土壌0-10cm階層)の根の活力(Rb吸収能力)と根乾重との間に、密接な関連性はないものと考えられた。10cmよりも深い土壌中の根乾重とRb吸収能との間には負の相関が認められたが、いずれにおいても、有意な相関($p<0.05$)関係は認められなかった。

謝辞：Rb吸収量の測定にご協力頂いた、石川県農業総合研究センター梅本英之氏に感謝いたします。

出液速度および生育調査に協力いただいた、金沢大学教育学部、狩野紫、冨澤佳代、内浜朗氏に感謝します。

第1表 F1水稻品種の根乾重階層分布

(1999.8.26~29)

処理区	品種	施肥	場所	土 壌 の 階 層				総根乾重/コア
				0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	
乾不直	MH2003	BB056	株間	198.7±44.7mg	30.0±7.0mg	5.3±0.5mg	2.0±1.0mg	236.0mg
	MH2003	LP40	株間	206.3±37.8	43.3±4.5	16.7±6.6	8.7±5.5	275.0
	MH2005	BB056	株間	200.0±14.1	14.7±8.0	2.0±1.4	2.3±1.5	219.0
	MH2005	LP40	株間	207.0±45.1	27.7±11.0	7.3±7.5	3.7±3.0	245.7
湛直	MH2003		株間	148.0±25.1	63.7±23.4	7.7±7.2	1.5±2.1	220.9
	MH2005		株間	173.7±101.9	97.7±33.5	9.0±5.1	5.0±1.0	285.4
LSD(P=0.05)				46.25	27.79	5.95	3.16	71.96

* 平均値±標準誤差 (n=3)

(1999.9.22)

処理区	品種	施肥	場所	土 壌 中 の 階 層				総根乾重/コア
				0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	
乾不直	MH2003	BB056	株間	280.7±47.0mg	60.5±2.1mg	14.3±1.5mg	5.3±1.5mg	360.1mg
	MH2003	LP40	株間	221.0±71.5	46.7±7.5	17.0±7.5	4.0±1.0	288.7
	MH2005	BB056	株間	262.7±6.3	39.0±5.2	11.3±3.2	5.7±2.5	318.7
	MH2005	LP40	株間	130.3±30.1	30.7±14.2	7.0±4.3	1.3±1.5	169.3
湛直	MH2003		株間	184.3±46.7	83.3±15.9	15.0±3.4	5.0±5.6	287.6
	MH2005		株間	174.5±61.5	92.7±59.2	8.7±5.0	4.0±1.4	279.9
LSD(p=0.05)				64.32	29.97	4.83	2.42	80.47

(1999.10.19)

処理区	品種	施肥	場所	土 壌 中 の 階 層				総根乾重/コア
				0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	
乾不直	MH2003	BB056	株間	153.7±27.1mg	39.3±11.9mg	13.0±9.0mg	4.3±1.5mg	210.3mg
	MH2003	LP40	株間	232.3±61.5	51.3±14.0	11.7±9.2	5.3±1.5	300.6
	MH2005	BB056	株間	176.7±71.0	32.0±22.2	9.7±4.9	2.7±0.5	221.1
	MH2005	LP40	株間	145.7±31.2	20.7±6.4	7.7±4.5	4.3±4.0	178.4
LSD(p=0.05)				62.75	19.99	12.49	6.45	167.34

第2表 F1品種の地上部単位乾重あたりのRb吸収量

(1999.8.6 Rb注入、8.14回収)

処理区	品種	単位乾重あたりのルビジウム吸収量			LSD(p=0.05)
		株間5cm下	株間10cm下	株直下20cm下	
短、乾不直BB056	MH2003	271.76±32.42	319.67±99.04	183.09±1.93	259.44
短、乾不直LP40	MH2003	329.47±15.32	322.67±11.21	272.95±93.02	234.16
短、乾不直BB056	MH2005	200.99±37.45	321.73±63.72	589.47±127.72	376.35
短、乾不直LP40	MH2005	1254.80±82.86	457.74±100.77	300.18±64.14	411.28

* 平均値±標準誤差 (n=4)

(1999.9.25 Rb注入、9.30回収)

処理区	品種	単位乾重あたりのルビジウム吸収量			LSD(p=0.05)
		株間5cm下	株間10cm下	株直下20cm下	
短、乾不直BB056	MH2003	18.74±3.33 μg/g	31.63±4.13 μg/g	30.59±6.01 μg/g	21.03
短、乾不直LP40	MH2003	78.48±8.72	36.55±5.74	42.79±14.42	46.05
短、乾不直BB056	MH2005	41.19±6.27	41.32±9.27	29.83±10.85	41.34
短、乾不直LP40	MH2005	28.32±15.94	87.29±6.71	50.38±27.24	82.74
LSD(P=0.05)		45.06	31.07	66.46	

* 平均値±標準誤差 (n=3)

有機質資材の連続施用がコシヒカリの生育、収量および根系の構造と機能に及ぼす影響

鯨 幸夫*、梅本英之¹、内浜 朗、吉村絃美、佐野智子、狩野 紫、
富澤佳代、中島裕司

(金沢大学教育学部、¹石川県農業総合研究センター)

日本作物学会記事
(Jpn.J.Crop Sci.)
69巻(別2号)
2000年

Effects of continuous applications of organic fertilizers to the paddy field on the root system, yield and physiological root activities of Koshihikari cv.

Yukio KUIJIRA*, Hideyuki UMEMOTO¹, Akira UCHIHAMA, Hiromi YOSHIMURA,
Satoko SANO, Yukari KANO, Kayo TOMIZAWA and Yuji NAKAJIMA

(Faculty of Education, Kanazawa University, ¹Ishikawa Prefectural Agricultural Research Center)

環境保全型水稲栽培の必要性が問われている現在、有機資材の連用が水稲の生産性、根系生育および根の生理活性に及ぼす影響を検討することが必要となっている。本研究は、過去25年間にわたり有機物やイナわらおよび化学肥料を連用して水稲を栽培している、石川県根上町の農家水田において実施した。有機資材の連続施用がコシヒカリの根系構造や根の生理的機能にどのような影響を及ぼしているかについて、化学肥料連用栽培やイナわらの連続施用栽培と比較して検討した。

材料および方法：過去24年間にわたり有機堆肥を連用して水稲を栽培している、石川県根上町の水田において実験を行った。調査区は、1) 24年間化学肥料連用区、2) 24年間稲わらのみ連続施用区、3) 24年間豚ふん糞から堆肥(2トン/10a)連用区である。コシヒカリの移植は、1999年5月2日に実施した栽植密度は、19.9株/m²とした。根系調査はコアサンプル法を用いて7月8日と8月4日に、株間と条間において実施した。採取した土壌コアを階層ごとに洗浄して根を洗いだし、表層から土壌層10cmごとに含まれる根乾重として表示した。反復数は3とした。根の生理活性を示す指標として、イネ株のRb吸収量および地上部切除株の出液速度の測定を行った。8月9日、Rbゲル10ml(0.4%の寒天溶液に塩化ルビジウムをRb成分で40mg/mlになるように調整した)を、株間中央部の土壌5cm下と10cm下および株直下20cmの位置にスポット注入し、5日後の8月13日に株を地際から切除して採取し、乾燥後、原子吸光法によって植物体に含まれるRb含有量を定量して、株あたりRb吸収量、1茎あたりのRb吸収量、および地上部単位乾重あたりのRb吸収量として表示した。出液速度は、地際8cmの高さで切除したイネ株について、1時間あたりの出液量として測定した(5反復)。収穫後、収量および収量構成要素の解析を行った。

結果および考察：株あたりに含まれるRb吸収量を第1表に示した。化学肥料連用区やイナわら連用施用区よりも、豚ふん糞から堆肥連用区で、株あたりのRb吸収量が多い傾向が認められた。株間5cm下、株間10cm下および株直下20cm下のいずれのRbスポット処理においても、豚ふん堆肥連用施用区のRb吸収量が多い傾向を示していたが、特に株間の10cm下の処理区では有意な差(p<0.05)が認められた。株あたりのRb吸収量は、株直下20cm>株間5cm下>株間10cm下の傾向が認められた。地上部単位乾物重あたりのRb吸収量に、処理間による有意な差は認められなかった(第2表)。7月8日および8月4日に採取した根系コアから土壌中の階層別根乾重を求め、第3表に示した。幼穂形成期の総根乾重(株間コア中の)は、豚ふん糞から堆肥連用区で少ない傾向が認められた。条間部では、化学肥料連用区の表層(0-10cm)で根量が多かった。出穂期の株間では処理間で大きな変異は認められなかった。条間では化学肥料連用区の根量が多く、特に表層0-10cmで差が見られた。株間における土壌表層(0-5cm)からのRb吸収量は堆肥区で大きい傾向がみられ(有意差はなし)たことを考慮すると、堆肥連用区の表層根の生理的活力は高いものと判断できよう。出液速度とRb吸収量との間には有意な相関関係は認められなかった。また、根乾物重とRb吸収量との間にも有意な相関関係は認められないことから、根重や出液速度と根系からのRb吸収能とは別個に機能しているものと考えられる。収量は、イナわら連用区(575kg/10a)、豚ふん糞から堆肥連用区(529kg/10a)、化学肥料連用区(456kg/10a)の順であった。収量構成要素は第4表に示した通りである。

本研究の一部は、平成11年度文部省科学研究費(11660015)により実施した。

第1表 1株あたりのRb吸収量

(1999.8.5 Rb注入、8.10回収)

処理区	品種	1株あたりのルビジウム吸収量			LSD(p=0.05)
		株間5cm下	株間10cm下	株直下20cm下	
根上2区(化学肥)	コシ	3.35±0.26mg	1.39±0.17mg	3.78±0.77mg	2.09
根上3区(稲わら)	コシ	2.51±0.26	1.05±0.21	4.54±0.49	1.51
根上4区(堆肥)	コシ	4.00±0.67	2.05±0.17	5.81±1.55	4.28
LSD(p=0.05)		2.17	0.89	4.41	

第2表 地上部単位乾重あたりのRb吸収量

(1999.8.5注入、8.10回収)

処理区	品種	単位乾重1gあたりのRb吸収量			LSD(p=0.05)
		株間5cm下	株間10cm下	株直下20cm下	
根上2区(化学肥料)	コシ	66.99±6.41 μg/g	25.47±2.59 μg/g	97.86±25.26 μg/g	64.90
根上3区(稲わら)	コシ	50.41±5.54	28.94±3.52	88.29±15.01	28.20
根上4区(堆肥)	コシ	78.80±16.82	36.74±0.99	103.55±36.93	102.26
LSD(p=0.05)		53.27	12.68	111.64	

第3表 根乾重の土壌中階層分布

(1999.7.8)

処理区	場所	番号	土壌中の階層				総根重
			0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	
化学肥料	株間	2	136.7±81.1mg	45.5±0.7 mg	5.7±2.3mg	5.0±0.7mg	192.9mg
稲わら区	株間	3	98.3±14.0	80.3±36.8	22.3±28.9	2.5±3.5	203.4
豚糞堆肥	株間	4	105.3±28.0	22.3±11.0	1.0±1.0	1.0±1.4	129.6
化学肥料	条間	2	114.6±69.0	44.0±4.5	14.0±14.1	5.7±8.1	178.3
稲わら区	条間	3	58.0±13.0	48.0±22.7	13.3±10.4	4.0±2.0	123.3
豚糞堆肥	条間	4	64.3±27.1	61.3±18.9	14.7±14.2	4.5±3.5	144.8

*平均値±標準誤差 (n=3)

(1999.8.4)

処理区	場所	番号	土壌中の階層				総根重/core
			0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	
化学肥料	株間	2	206.5±37.5mg	46.3±38.8mg	5.3±3.5mg	2.0mg	260.1mg
稲わら区	株間	3	220.0±108.7	88.7±63.3	4.3±1.5	1.3±0.5	314.3
豚糞堆肥	株間	4	173.0±47.6	45.7±19.6	8.7±3.2	2.0±1.0	229.4
化学肥料	条間	2	215.3±34.9	64.7±28.0	7.3±2.0	1.3±0.5	288.6
稲わら区	条間	3	146.7±35.9	43.7±10.5	4.3±1.1	2.0	196.7
豚糞堆肥	条間	4	115.0±53.0	57.7±10.6	6.7±3.5	1.7±0.5	181.1

*平均値±標準誤差 (n=3)

収量および収量構成要素

圃場	番号	m ² あたり穂数	1穂粒数	総粒数	登熟率%	1,000粒重	精玄米重
化学肥料	2	406	72.5	29435	82.8	23.4	456g
稲わら区	3	462	70.3	32479	78.5	22.8	575
豚糞堆肥	4	470	68.0	31960	72.5	22.0	529

水稻根の乾物重分布と根の生理的機能としてのRb吸収量との関連性
 鯨 幸夫*、吉村紘美、梅本英之¹、内浜 朗、佐野智子、中島裕司、
 狩野 紫、富澤佳代
 (金沢大学教育学部、¹石川県農業総合研究センター)

日本作物学会記事
 (Jpn.J.Crop Sci.)
 69巻(別2号)
 2000年

Relationship between rice root dry weight in each 10cm soil layer and the rubidium absorption rate from the soil

Yukio KUJIRA*, Hiromi YOSHIMURA, Hideyuki UMEMOTO, Akira UCHIHAMA,
 Satoko SANO, Yuji NAKAJIMA, Kaori KANO and Kayo TOMIZAWA

(Faculty of Education, Kanazawa University, ¹Ishikawa Pref. Agricultural Research Center)

作物の根系構造と根の生理的機能との間の相互関連性については、まだ十分に解明されていない。本研究では、根からのRb吸収量を根の生理的機能を示す指標と考え、株あたりのRb吸収量と土壌中における根の階層分布との関連性について検討した。また、根系からの出液速度を測定し、地上部の生育量や収量構成要素との関係についても考察した。

材料および方法：材料として、栽培条件を異にした水稻品種を用いた。不耕起移植栽培、条抜き有機栽培、慣行移植栽培および湛水土中打ち込み点播栽培を行ったコシヒカリを調査対象とした。栽培条件の概要は第1表に示した通りである。根系からのRb吸収は、安藤ら(1994)の方法に準じた方法を用いて検討した。0.4%の寒天培地に塩化ルビジウム溶液を混ぜ、40mg/mlのRbゲルを調製した。最高分けつ期における各栽培試験区の株間中央部の深さ5cmと10cmの位置に注射器を用いてRbゲル10mlをスポット注入した。同時に株直下20cmの位置にもRbゲル10mlをスポット注入した。調査数は各処理区とも5株とした。Rbを注入処理を行って5日後に調査対象株を地際から切り取り、新鮮重を測定した後、乾燥させ乾物重を測定した。乾燥サンプルをカッティングミルで粉碎し、分析用試料とした。茎葉部のRb含有量は原子吸光法を用いて定量した。出液速度の測定は最高分けつ期に実施した。地際から8cmの高さで切り取った株に予め重量を測定したコットンを置き、その上をサララップで覆い、1時間あたりの出液速度を測定した。出液速度の測定は、日変化を考慮して午前中に実施し、反復数は5とした。

結果および考察：コシヒカリの出穂直後にあたる1999年8月5日にRbゲルをスポット注入し、5日後の8月10日にサンプリングを行った。水稻株に含まれるRb含有量を第2表に示した。株あたりのRb吸収量は、株直下20cm処理では、耕起移植区よりも不耕起移植区で大きい値を示した($p < 0.05$)。不耕起区では、株間10cm下のRb処理よりも株直下20cmのRb処理区で吸収量は有意に大きい値を示した。耕起区では、株間5cm下処理区のRb吸収量が他の処理区より大きかった。点播区でも株間表層(5cm下)のRb吸収量が大きかった。耕起区および点播区では、表層からのRb吸収量が多いことから表層根の生理活性が高いと考えられた。不耕起区では株直下深層根の活性が高いものと推定された。条抜き栽培の場合、条抜き外側では条抜き内側と比較して株間5cm下でのRb吸収量が大きい傾向を示し、株間10cm下と株直下20cm下では条抜き内側でのRb吸収量が有意($p < 0.05$)に大きかった(第2表)。この傾向は、地上部単位乾重あたりのRb吸収量として比較した場合も同様に認められた(第3表)。条抜き部分の内外の違いによって、水稻株の根乾重に有意な差は認められないが(第4表)、根の活力としてRb吸収量を指標とした場合には、根の生理的活性に条の違いによる差があることが確認された。耕起区、不耕起区、点播区を込みにして、各階層ごとの根乾物重とRb吸収量との相関関係を検討したところ、両者の間に有意な相関関係は認められなかった(第5表)。出液速度とRb吸収量との間にも有意な相関関係は認められなかった(第6表)。根の生理的活性を示す指標としてRb吸収量および出液速度の測定を行ったが、両者の間には有意な相関関係は認められなかった。Rb吸収量は、根量や出液速度とは別個の機能として働いているものと考えられた。本実験では、根の量が最大になる出穂期直後に調査を行った。収量に大きな影響を及ぼす登熟期における根の生理活性については、今後更に検討する必要がある。

本研究の一部は、平成11年度文部省科学研究費(11660015)により行った。

第1表 処理区の概要

処理区	内容	施肥量 (N)	栽植密度
3区	連続耕起区	6kg/10a	21.9株/m ²
7区	不耕起5年目	6	21.9
点播区	湛水士中打込み	4	15.5
条抜き	松任(有機栽培)		21.1

第5表 耕起区、不耕起区、直播区の根乾重とRb吸収量との相関関係

処理区	根乾重	回帰直線	相関係数 (r)
株間5cm下	0-10cm	$y = -23.9x + 168.6$	-0.286
10cm下	10-20cm	$y = -3.0x + 34.7$	-0.047
株直下20cm	20cm以下	$y = -0.9x + 14.8$	-0.174

第2表 Rb吸収量/株 (1999.8.5.処理、8.10調査)

処理区	1株あたりのRb吸収量 (mg/株)			
	株間5cm下	株間10cm下	株直下20cm下	LSD(p=0.05)
条抜き外側	2.60±0.42	1.19±0.19	1.18±0.24	1.30
条抜き内側	1.32±0.27	4.41±1.10	3.42±0.47	3.03
LSD(p=0.05)	1.72	2.69	1.84	
耕起区	2.31±0.52	0.74±0.15	0.68±0.15	1.39
不耕起区	1.14±0.24	0.77±0.17	3.63±0.98	2.53
点播区	2.74±0.51	0.98±0.10	2.10±0.29	1.48
LSD(p=0.05)	1.90	0.62	2.55	

平均値±標準誤差 (n=3)

第3表 地上部単位乾物重あたりのRb吸収量

処理区	地上部単位乾物重あたりのRb吸収量 (μg/g)			
	株間5cm下	株間10cm下	株直下20cm下	LSD(p=0.05)
条抜き外側	38.83±4.28	37.26±4.17	25.93±7.12	22.77
条抜き内側	29.61±3.00	76.77±8.00	79.39±8.76	29.98
LSD(p=0.05)	17.80	30.74	38.42	
耕起区	58.42±11.58	22.55±5.68	16.43±3.40	32.67
不耕起区	25.61±6.47	19.22±5.55	111.83±63.06	155.91
点播区	63.91±18.30	23.94±3.26	43.15±4.52	46.86
LSD(p=0.05)	55.36	21.04	155.12	

平均値±標準誤差 (n=3)

条抜き有機栽培の根乾重の土中階層分布 (1999.7.8)

処理区	場所	土 壌 中 の 階 層				総根乾重/core
		0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	
野々市コシ	株間(内側)	85.7±30.6mg	43.7±23.6mg	10.7±6.0mg	4.0±2.6mg	144.1mg
	株間(外側)	65.7±9.0	34.3±18.5	15.7±10.9	0	115.7
松任コシ	株間(内側)	34.0±1.7	29.3±16.6	6.0±2.6	5.0	74.3
	株間(外側)	43.5±6.3	18.3±16.0	5.5±0.7	1.0	68.3

第6表 出液速度 (y) とRb吸収量 (x) との関係

処理区	回帰直線	相関係数 (r)
不耕起区	$y = -0.04x + 3.65$	-0.154
耕起区	$y = -0.17x + 3.54$	-0.225
点播区	$y = -0.08x + 1.97$	-0.151

LP 肥料を用いた水稲 F1 品種の乾田不耕起直播栽培
 鯨 幸夫*・中島裕司・遠藤直生¹⁾・土屋 猛²⁾

(金沢大学教育学部、¹⁾石川県農業短期大学、²⁾三井化学(株))

日本作物学会紀事
 (Jpn.J.Crop Sci.)
 70 卷(別 2 号)
 2001 年

No-tillage and direct sowing on well-drained paddy field of
 F1 rice with LP fertilizers

Yukio KUJIRA*, Yuji NAKAJIMA, Naoki ENDOU¹⁾ and Takeshi TSUCHIYA²⁾

(Faculty of Education, Kanazawa University,¹⁾ Ishikawa Prefectural Agricultural Collage,
²⁾Mitsui Chemical Co. Ltd.)

水稲品種 MH2003 および MH2005 は、三井化学(株)が 1994 年に育成した F1 品種であり、2000 年 3 月 29 日に種苗法に基づいて「みつひかり 2003」および「みつひかり 2005」として品種登録された。かん長が長く極晩生のため、主に西南暖地において移植栽培され多収の報告もある。本研究では、F1 品種のもつ多収性の特徴を発揮させながらも環境保全型農業を目指した乾田不耕起直播栽培が、北陸地域でも可能であるかどうかについて検討した。

材料および方法：実験は、上記に示した F1 品種を用いて 2000 年に石川県農業短期大学の圃場にて実施した。肥料は、LP30-LP70-LPS120 を用いて混合施用した。播種は 2000 年 4 月 13 日に実施した(株間 15cm, 条間 30cm, 深さ 5cm)。播種密度は 6.6g/m² (MH2003) および 5.7g/m² (MH2005) とした。発芽を確認した後の 5 月 16 日に、5cm の深さで LP 肥料を施用した。参考として、金沢大学角間農場において F1 品種の慣行移植栽培を行った。地上部の各種生育を約 2 週間間隔で調査した。直播栽培の根系調査はコアサンプル法を用いて、7 月 7 日、12 日、10 月 7 日に実施した。慣行移植区では 8 月 4 日に根系採取を行った。根の生理活性を示す指標として土壌からの Rb 吸収量を測定した。Rb 注入を 8 月 21 日に行い 26 日に地上部を切除して乾燥し、粉末にしたのち 原子吸光法を用いて Rb 含有量を定量した。また、収量、収量構成要素および玄米の外観品質と食味成分の調査および定量も実施した。

結果および考察：株間における根乾重の階層分布を第 1~3 表に示した。地上部乾重あたりの Rb 吸収量は第 4 表に、収量構成要素および登熟歩合を第 5, 6 表に示した。LP 肥料を用いて乾田不耕起直播栽培した F1 品種の収量は、前年度実績よりも増加し、LP 肥料を施用した有効性が認められた。根の生理活性を示す指標として考えた根系からの Rb 吸収量はコシヒカリよりも F1 品種で大きいことから、F1 品種の根の活力は高いと考えられた。F1 品種の押し倒し抵抗値の高さも根の活力と関係しているものと考えられる。結論としては、北陸地域における F1 品種の乾田不耕起直播栽培は可能であり、環境保全型農業を考慮した場合の将来性が期待される。

本研究の一部は、文部省科学研究費(課題番号 11660015)により行った。

謝辞：本研究の実施に際し、金沢大学教育学部学生、長屋均、前田裕二郎、福岡隆子、澤田正恵さんの協力を得た。記して感謝します。LP 肥料を提供いただいた、チッソ旭肥料(株)栗原一博氏に感謝致します。

カ1表 株間における根乾物重 (2000/7/7)

実験区	土壌の階層			
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm
2003	76.7±19.3mg	29.0±3.3mg	17.0±3.2mg	1.5±0.3mg
2005	46.3±8.6	37.7±4.8	11.7±1.2	1.0±0.5
LSD (P<0.05)	83	22.8	13.6	4.8

*平均値±標準誤差 (n=3)

カ2表 株間における根乾物重 (2000/7/9~12)

実験区	土壌の階層			
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm
2003	124.0±25.8mg	34.0±2.5mg	8.6±0.9mg	4.0±0.0mg
2005	167.3±18.1	32.3±5.5	12.0±2.5	4.6±0.6
伊那コシヒカリ	196.3±39.4	39.0±13.1	2.7±0.2	1.0±0.0
LSD (P<0.05)	142.9	40.8	7.5	1.8

*平均値±標準誤差 (n=3)

カ3表 株間における根乾物重 (2000/9/21~10/7)

実験区	土壌の階層			
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm
2003	355.3±87.5mg	51.0±5.7mg	14.6±0.9mg	10.0±2.9mg
2005	198.6±46.2	49.6±7.9	17.3±2.2	5.0±1.2
伊那コシ水口	200.3±19.6	69.3±5.7	8.0±0.7	4.3±0.8
伊那コシ水尻	224.7±28.2	30.3±2.6	10.7±4.0	4.0±0.4
LSD (P<0.05)	228.6	22.5	5.6	7.2

*平均値±標準誤差 (n=3)

カ4表 地上部乾物重あたりの Rb 吸収量(μg/g)

処理区	株間 5cm	株間 10cm	株直 20cm	LSD(P=0.05)
MH2003 区	1.20±0.18	1.22±0.30	1.36±0.08	0.90
MH2005 区	0.51±0.06	0.40±0.07	0.58±0.03	0.23
LSD(P=0.05)	0.52	0.88	0.77*	

平均値±標準誤差(n=4) 調査日 8/21-8/26

カ5表 収量および収量構成要素

実験区	粗玄米重 (g/m ²)	穂数 (本/株)	1穂粒数	登熟歩合 (%) [d=1.06]	千粒重 (g)
2005 農短 乾不直	500.4	8.3	127	86.2	20.2
2003 角間 移植	646.5	14.6	156	92.3	20.3
2005 角間 移植	606.9	20.4	219	82.7	19.5

カ6表 登熟歩合(d=1.06)

実験区	上位	中位	下位
2003 農短 乾不直	91.0	81.3	59.7
2005 農短 乾不直	90.6	81.3	80.9
2003 角間 移植	92.2	74.0	81.7
2005 角間 移植	93.0	85.8	80.1

単位: %

日本作物学会紀事
(Jpn.J.Crop Sci.)
70 卷(別 2 号)
2001 年

Rb absorption rate from the soil showing as a Index of physiological root activity of rice

Yukio KUJIRA*, Akino NAKAMURA, Ryuko FUKUOKA, Yujiro MAEDA,

Hitoshi NAGAYA, Yuji NAKAJIMA, Hideyo KOSHIMURA¹⁾ and Keiu KITADA¹⁾

(Faculty of Education, Kanazawa university,¹⁾ Ishikawa Agricultural Experimental Station)

著者らは、これまで根の生理活性の指標として根の α -ナフチルアミン酸化力、出液速度およびルビジウム (Rb) 吸収量等について検討してきた。本報告では、出穂期におけるコシヒカリの Rb 吸収量を測定し、栽培条件の違いによって根の生理活性に差があるかどうかについて、収量性とも関連づけて検討した。また、Rb 吸収量の品種間差異についても検討を加えた。

材料および方法：2000年に栽培されたコシヒカリの、出穂期における Rb 吸収量を測定した。石川県根上町で過去27年間にわたり同一の施肥管理をしている農家水田の、連続無窒素区、化学肥料連用区、稲わら連用区および豚糞堆肥連用区で調査した。長野県伊那市では V 字イナ作で栽培管理をしているコシヒカ리를対象とした。また、乾田不耕起直播栽培の F1 品種 (MH2003, MH2005：三井化学(株)) の Rb 吸収量を 8 月 21~26 日に調査して比較した。本実験で用いた F1 品種は極晩生品種であるため、出穂期は一致していない。伊那の水田では、8 月 5 日に Rb の注入処理を行い、その他の水田では、7 月 29 日に Rb 注入を行った。0.4% の寒天を含んだ培地に、Rb 濃度が 40mg/ml になるように塩化ルビジウムを溶解した。株間中央部で地表から 5cm 下、10cm 下に注射器を用いて 10ml の Rb ゲルを注入した。また、株直下 20cm の位置にも Rb を注入した。反復数は 3~4 とした。注入 5 日後に株を地際から刈り取り、乾燥したのち粉末にして測定用サンプルとした。Rb 含有量は原子吸光法により定量した。

結果および考察：根上圃場では、栽培条件の違いによる根乾重に土壌階層の違いによる有意差は認められなかった。出穂期の出液速度を第 1 表に、1 株あたりの Rb 吸収量および地上部乾重あたりの Rb 吸収量を、第 2、3 表に示した。また、収量構成要素は第 4 表に示した。根上圃場では、稲わら区を除くすべての栽培区で、株直下 20cm における Rb 吸収量が株間 5cm 下および株間 10cm 下の Rb 吸収よりも有意に大きかった。伊那のコシヒカリでも、株直下 20cm 下の Rb 吸収量は株間 5cm 下及び株間 10cm 下よりも多く、有意差が認められた。伊那のコシヒカリは根上圃場における各栽培区よりも Rb の吸収量が大きいことが示されたことから、伊那コシヒカリの根の生理活性は高いと考えられた。F1 品種の MH2003 の Rb 吸収量は、株間および株直下においてコシヒカリよりも有意に大きく、品種間差異が認められた。よって、根系からの Rb 吸収量を指標として根の生理活性を評価することは可能であると考えられた。

本研究の一部は、文部省科学研究費 (課題番号 11660015) により実施した。また、伊那市における調査は、富山県立大学短期大学部折谷隆志教授と共同で実施したものである。

謝辞：調査に協力頂いた、長野県伊那市の春日照夫氏に感謝いたします。

オ1表 生育中期における出液量

	調査日	出液速度(g/株1時間)	出液速度(g/茎1時間)	草丈(cm)	茎数
伊那(水口)	8/3	3.83±0.51	0.18±0.03	93.72±1.36	21.60±1.99
伊那(水尻)	8/3	4.29±0.64	0.23±0.04	98.20±1.39	19.20±2.60
入善(水口)	7/28	3.30±0.29	0.12±0.01	84.38±1.29	26.80±1.07
根上 1B	8/5	2.78±0.37	0.14±0.03		
根上 2B		3.09±0.55	0.11±0.02		
根上 3B		2.77±0.52	0.12±0.03		
根上 6B		4.10±0.49	0.17±0.02		
LSD(p=0.05)		1.43	0.07	4.15	6.12

※平均値±標準誤差(n=5)

オ2表 一株あたりのRb吸収量(mg/株)

処理区	株間5cm	株間10cm	株直20cm	LSD(p=0.05)
伊那	17.65±3.29	18.71±1.75	52.42±7.85	16.94
根上 1B	3.31±0.99	4.21±1.32	12.56± 0	5.61
根上 2B	3.51±0.90	2.51±0.75	33.60±7.36	20.78
根上 3B	4.47±0.93	5.75±1.19		4.27
根上 6B	6.14±1.61	7.10±0.01	33.56± 0	6.31
LSD(p=0.05)	6.99	4.67	65.43	

※平均値±標準誤差(n=4)

オ3表 地上部乾物重あたりのRb吸収量(μg/g)

処理区	株間 5cm	株間 10cm	株直 20cm	LSD(P=0.05)
MH2003区	1.20±0.18	1.22±0.30	1.36±0.08	0.90
MH2005区	0.51±0.06	0.40±0.07	0.58±0.03	0.23
伊那区	0.44±0.10	0.43±0.05	1.54±0.33	0.66*
無窒素区	0.06±0.02	0.11±0.03	0.24±0	0.13*
化学肥料区	0.09±0.02	0.06±0.01	0.54±0.12	0.32*
稲わら区	0.11±0.03	0.12±0.02		0.11
豚糞堆肥区	0.11±0.03	0.12±0.01	0.68±0	0.11*
LSD(P=0.05)	0.30*	0.46*	1.43	

平均値±標準誤差(n=4)

*=5%レベルで有意

調査日 7/29-8/2(伊那)8/5-8/10(根上)

オ4表 収量および収量構成要素

	1穂粒数	穂数/株	千粒重(g)	粗玄米重(kg/10a)	登熟歩合(%)
伊那(入口)	127.80	25.40	20.81	715.96	83.54
伊那(出口)	93.40	18.30	19.42	618.02	86.20
入善(入口)	61.6	19.60	20.29	843.35	96.82
入善(出口)	73.8	18.55	19.69	878.80	96.55
根上 1B	90.4	13.60	20.91	291.21	91.23
根上 2B	98.4	19.00	20.62	551.38	95.60
根上 3B	93.2	14.60	21.46	394.76	96.68
根上 6B	106.6	21.10	20.06	576.92	77.72

※登熟歩合:d=1.06の比重選による

多収コシヒカリの要因解析—長野県伊那市および富山県入善町の場合—
 鯨 幸夫*¹・橋本和幸¹・新谷美紀¹・奥野志津枝¹・前田裕二郎¹・三上敦子¹・
 折谷隆志²・宮川 修³

(¹ 金沢大学教育学部、² 富山県立大学短期大学部、³ 石川県農業総合研究センター)

日本作物学会紀事
 (Jpn. J. Crop Sci.)
 71巻(別1号)
 2002年

Analysis of High Yielding Koshihikari cv. Grown in Ina, Nagano Prefecture and
 Nyuzen, Toyama Prefecture.

Yukio KUJIRA*¹, Kazuyuki HASHIMOTO¹, Miki SHINYA¹, Shizue OKUNO¹, Yujiro MAEDA¹,
 Atsuko MIKAMI¹, Takashi Oritani² and Osamu MIYAKAWA³ (¹ Faculty of Education Kanazawa
 University, Kanazawa 920-1192 Japan, ² Toyama Prefectural Collage, Kosugi, ³ Ishikawa Prefectural
 Agricultural Research Center, Kanazawa)

長野県伊那市では多収コシヒカリが栽培され、1992年に998kg/10aの実績が報告されている(松島1995)。伊那市で栽培される多収コシヒカリは、光合成、蒸散量、群落構造、土壌の物理性および根系生育等の観点から解析され、光合成が高く蒸散量も多いこと(Oritani et al. 2000, 2001)、根量が多く根の生理的活力も高い(鯨ら2001, Kujira et al. 2001)ことが報告された。本研究では、富山県入善町の黒部川扇状地に立地する水田調査も加え、これまで実施してきた要因解析項目の他、用水の水質調査、登熟期の根系分布と根の生理活性についても検討した。

(材料および方法)：調査は、2001年に長野県伊那市美すず地区の水田および富山県入善町の水田にて実施した。栽培品種はコシヒカリである。伊那における栽培管理の基本はV字イナ作であり、基肥として4kg-N/10aを側条施肥した。穂肥は、幼穂長が20mmに達した事を確認したのち5kg-N/10aを2回(7月16日、21日)施用した(合計14kg-N/10a)。ポット育苗による移植栽培を行っている(栽植密度; 74株/坪、5月4日移植)。入善町の調査水田では7年前から伊那の多収栽培技術(V字理論)を導入し、780kg/10aの収量を得た実績もあるが、近年品質重視に転換し収量を低めに設定した管理を行っている。栽植密度は70株/坪で移植は4月28日である。調査水田の共通点は、V字イナ作を実施していることと、低水温の農業用水(伊那: 三峯川水系、入善: 黒部川水系)を利用している点にある。

(結果および考察)：入善および伊那で栽培されたコシヒカリの生育は、水田の水口部と水尻部で調査した。調査場所は伊那の水田で約50m、入善では約100mの距離があった。調査場所の違いによる根系調査の結果を第1, 2-1, 2-2表に示した。出穂期の株間における水口と水尻での総根重は入善では差が認められなかった。伊那では水尻部で大きい傾向が認められた。伊那における収穫期では、水尻部の10~20cmおよび20~30cmの土壌の根重が水口部より有意に多かった。出穂期における出液速度を第3表に示した。伊那では、有意差が認められなかったが、入善では、分けつ茎あたりの出液速度が水尻部の株で有意に大きかった。出穂期におけるRb吸収量を第4表に示した。入善コシヒカリのRb吸収量は伊那よりも有意に大きかった。登熟中期の株間5cm下でのRb吸収量は、伊那で $137 \pm 12 \mu\text{g/g} \cdot \text{dw}$ であり、標準(慣行栽培: 石川県)区の $137 \pm 5 \mu\text{g/g} \cdot \text{dw}$ と差がなかった。いずれの場合も株間より株直下でRb吸収量が大きいことから、根の活力は株直下で高いものと考えられた。収量および収量構成要素を第5表に示した。伊那で多収を示した。三峯川水系を利用している農業用水はケイ酸を多く含み、これは上流域の石灰層に由来すると言われている。用水に含まれている総ケイ酸量は154ppm(出穂期)および111ppm(収穫期)と高く、可溶性ケイ酸含量もそれぞれ4.83ppmおよび5.64ppmを示した。入善水田は通称ザル田であり土壌への酸素供給量は多く、これが根の生理的活力に影響しているものと判断される。伊那水田の土壌は空隙率が20%以上と高く、炭素および腐食の含有量も高い(Oritani et al., 2001)。土壌の物理的特性が低水温の緩衝要因となり、低水温が水稻の生育に及ぼす影響に緩衝的の働いているものと考えられた。

謝辞：本研究を遂行する際、協力いただいた長野県伊那市の春日照夫氏、富山県入善町の稲村光枝氏および辰尻幸彦氏に感謝いたします。

本研究の一部は、平成13年度文部科学省科学研究費(課題番号11660015)により実施した。

第1表 出穂期における株間の根重分布

栽培区	根重 (mg/コア)				総根重
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	
入善 (水口)	266.3±62.0	138.0±35.7	0	0	404.7±97.7
入善 (水尻)	244.3±14.4	142.0±48.0	0	0	386.3±55.5
伊那 (水口)	246.3±22.3	90.7±21.6	23.0±9.1	3.7±2.6	363.7± 9.5
伊那 (水尻)	309.7±15.3	152.0±57.4	30.0±6.3	0.7±0.5	492.3±65.4
LSD(0.05)	138.1	143.0	37.9	9.0	132.1

平均値±標準誤差 (n=5)

第2-1表 収穫期における株間の根重分布

栽培区	根重 (mg/コア)				総根重
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	
入善 (水口)	239.0±108.4	43.0±9.4	0	0	282.0±103.2
入善 (水尻)	100.3±18.1	38.0±6.1	0	0	306.4±74.1
伊那 (水口)	146.7±34.0	34.7±6.2	6.0±2.8	2.7±0.7	190.0±28.3
伊那 (水尻)	190.0±7.3	79.3±8.5	37.7±8.3	21.0±9.8	328.0±19.3
LSD(0.05)	198.9	26.5*	21.7*	33.5	228.8

平均値±標準誤差 (n=5)

第2-2表 収穫期の株直下における根乾重

栽培区	根乾重 (mg/コア)				総根重
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	
伊那 (水口)	457.3±34.3	23.7±3.8	6.7±1.9	1.3±0.2	489.0±36.7
伊那 (水尻)	338.3±12.8	30.7±11.1	7.0±1.2	2.0±0.4	378.0±20.0
LSD(0.05)	124.5	40.1	7.7	1.8	142.3

平均値±標準誤差 (n=3)

第3表 出穂期における出液速度の変化

栽培区	出液速度/株	出液速度/茎	草丈	分けつ数/株
入善 (水口)	3.05±0.43g/hr	0.15±0.01g/hr	99.1±0.8	20.4±2.4
入善 (水尻)	3.68±0.38	0.21±0.02	99.4±0.5	17.8±2.9
伊那 (水口)	2.51±0.51	0.12±0.03	86.4±1.3	21.2±2.6
伊那 (水尻)	2.24±0.19	0.12±1.01	90.9±1.0	19.2±1.5
LSD(0.05)	1.03 *	0.05*	2.56*	6.09

平均値±標準誤差 (n=5)、* 5%レベルで有意差あり。

第4表 出穂期および登熟中期における根系からのRb吸収量/地上部単位乾重

栽培区	出穂期		登熟中期	
	株間5cm下	株直下20cm	株間5cm下	株直下20cm
入善 (水口)	353±30 μg/g	530±18 μg/g		
入善 (水尻)	239±25	477±13		
伊那 (中央)	191±4	508±79	137±12	160±26
根上 (標準)	183±3	329±59	137±5	213±18

*平均値±標準誤差 (n=3)

第5表 収量構成要素

栽培区	穂数/株	1穂粒数	千粒重	玄米重量	登熟歩合*
入善 (水口)	21.4 本	76.4 粒	20.6 g	644kg/10a	90.2%
入善 (水尻)	21.2	78.6	20.6	579	79.6
入善 (船見)	21.4	86.5	19.9	604	77.3
伊那 (水口)	21.8	91.5	21.9	858	87.7
伊那 (水尻)	22.3	90.0	21.4	841	87.4
対照 (根上2区)	19.4	66.1	23.4	587	92.8

* d=1.06の比重選による。

連続した栽培管理がコシヒカリの根系生育、土壌の肥沃度および収量構成要素に及ぼす影響
 鯨 幸夫*¹・奥野志津枝¹・宮川 修²・新谷美紀¹・橋本和幸¹・前田裕二郎¹・三上教子¹・
 (* 金沢大学教育学部、² 石川県農業総合研究センター)

日本作物学会紀事
 (Jpn. J. Crop Sci.)
 71巻(別1号)
 2002年

Effects of Organic Fertilization and Chemical Fertilization on Root Growth, Soil Fertility and Yield Component of Field-Grown Rice for 26 Years.
 Yukio KUJIRA*¹, Shizue OKUNO¹, Osamu MIYAKAWA², Miki SHINYA¹, Kazuyuki HASHIMOTO¹, Yujiro MAEDA¹ and Atsuko MIKAMI¹
 (¹ Faculty of Education, Kanazawa University, Kanazawa 920-1192 Japan,
² Ishikawa Prefectural Agricultural Research Center, Kanazawa 920-3101 Japan)

水稻の有機栽培は環境保全型農業の一つとして、近年特に重要な位置付けを持ってきている。しかし、長期間にわたり有機資材を連続施用して水稻を栽培している圃場において、根系生育や根の活力を含めてコシヒカリの生育を解析した事例は少ない。著者らは、これまで本圃場におけるコシヒカリの生育解析を実施してきたが、収量レベルに起因する現象としての解析の域を脱しきれていなかった。本研究では、生育途中の生育状況を踏まえ、穂肥量を調節することによって予想される収量レベルを同一値に近くなるように管理したコシヒカリについて、根系生育、根の生理活性（Rb 吸収量を指標）、出液速度および収量構成要素の解析を行い有機資材の連続施用の意味について多面的に考察した。

（材料および方法）：栽培に用いた品種はコシヒカリであり、2001年4月30日に本田に移植した。栽植密度は21.6株/m²であった。穂肥は7月13日と19日に施用した。株間における根系調査はコアサンプル法（φ53mm）を用いて、7月9日、8月3日および9月6日に実施した。根の生理的活力を評価するために、出穂期と登熟中期におけるRb吸収量を測定した。40mg/mlのRbを含む寒天ゲル（0.4%の寒天を含む、塩化ルビジウム使用）10mlを注射器を用いて株間5cm下および株直下20cmの位置に注入（1株の周囲4ヶ所に注入）し、5日後に調査株を地際から刈り取った。採取した株は乾燥したのち粉末にし、原子吸光を用いてRb量を定量した。また、出穂期に出液速度を測定した。その他、各種の生育量およびLAIの測定を行った。

（結果および考察）：出穂期および収穫期の根重を第1、第2表に示した。豚ぶん糞堆肥区の出穂期における総根重および土壌0-10cm層の根重は化学肥料区および稲ワラ区より有意に少なかった。豚ぶん堆肥区の根重は収穫期においても少ない傾向を示し、0-10cmの土壌では無N区との間に、10-20cmの階層では化学肥料区との間に有意差が認められた。分けつ期および出穂期の出液速度を第3表に示した。分けつ期では、1株あたりの出液速度に栽培区による有意差は認められなかったが、分けつ茎あたりの出液速度には有意差が認められ、豚ぶん堆肥区が無N区より有意に大きかった。出穂期における株あたりの出液速度は稲ワラ区で有意に大きかった。分けつあたりの出液速度は稲ワラ区および豚ぶん堆肥区で有意に大きく、有機資材連用区で根の活力が高くことが示唆された。Rb吸収量を根の生理活性の指標として測定し第4表に示した。出穂期におけるRb吸収量には栽培区の違いによる有意差が認められ、株間5cm下の位置では無N区のRb吸収量が有意に大きかった。逆に、株直下20cmでは無N区のRb吸収量が有意に小さかった。登熟中期では、株間5cm下および株直下20cmにおけるRb吸収量に、栽培区の違いによる有意差は認められなかった。収量構成要素（第5表）をみると、無N区の収量水準は低く、その他の栽培区の収量は600kg/10a内外であった。穂肥の施用量を調節することで目的通りに同一の収量水準とする管理が成功したと判断される。化学肥料連用区と比較した場合、豚ぶん堆肥連用区における表層（0-10cm）の根重は少なく推移し、総根重も少ない傾向が認められた。しかし、分けつ期（7月9日）における1茎あたりの出液速度は有機資材連用区で大きいことから、有機資材の連用は根の生理活性に深く関与しているものと考えられる。土壌中の腐食量およびリン酸含量（第6表）も根の生理活性に影響すると推測されるが、登熟中期では栽培区によるRb吸収量に有意差がなかったことを考慮すると、今後実験を重ね検討する必要がある。

本研究の一部は、平成13年度文部科学省科学研究費（課題番号11660015）により実施した。

第1表 出穂期における根重分布

栽培区	根乾重 (mg)				総根重/コア
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	
無N区	109.6±7.7	31.0±5.2	11.9±2.6	0.8±0.35	153.4±14.3
化学肥料区	139.5±29.5	39.2±3.2	7.4±1.8	0	186.2±27.8
稲ワラ区	129.2±5.5	51.3±7.3	3.0±1.3	0	183.4±4.4
豚ふん堆肥区	56.0±12.2	40.7±6.8	7.5±2.3	0.6±0.31	104.8±14.1
LSD(0.05)	66.4*	23.4	8.3*	0.93	68.9*

平均値±標準誤差 (n=3)、*コアサンプル法にて採取 (φ 53mm)

第2表 収穫期における根重分布

栽培区	根乾重 (mg)				総根重
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	
無N区	146.8±12.4	30.0±3.4	5.9±0.7	0.4±0.3	183.1±13.5
化学肥料区	109.3±13.6	43.0±5.4	13.8±0.7	3.2±1.4	169.3±19.2
稲ワラ区	129.0±2.4	26.5±2.9	13.5±3.5	2.6±0.4	171.7±1.7
豚ふん堆肥区	102.8±5.8	24.0±5.7	7.0±1.1	1.4±0.2	135.2±11.5
LSD(0.05)	38.7*	18.0*	7.5*	2.9	52.3

平均値±標準誤差 (n=3)

第3表 栽培区の違いによる出液速度

栽培区	出液速度			
	7月9日		8月3日	
	g/株・hr	g/茎・hr	g/株・hr	g/茎・hr
無N区	1.92±0.28	0.09±0.01	2.18±0.19	0.15±0.01
化学肥料区	2.68±0.24	0.13±0.01	1.78±0.22	0.08±0.02
稲ワラ区	1.60±0.57	0.14±0.03	5.28±0.64	0.24±0.03
豚ふん堆肥区	1.56±0.56	0.19±0.02	1.09±0.03	0.24±0.03
LSD(0.05)	1.47	0.06*	1.41*	0.08*

平均値±標準誤差 (n=5)

第4表 出穂期および登熟中期におけるRb吸収量

栽培区	Rb吸収量 (μg/g 地上部 dw)			
	出穂期		登熟中期	
	株間5cm下	株直下20cm	株間5cm下	株直下20cm
無N区	327±67	177±17	136±7	228±23
化学肥料区	183±3	329±59	137±5	213±18
稲ワラ区	214±14	341±49	133±8	193±15
豚ふん堆肥区	197±6	275±15	150±8	160±26
LSD(0.05)	136.5*	160.4*	28.3	68.1

平均値±標準誤差 (n=3)

第5表 収量構成要素

栽培区	精玄米重	1穂粒数	穂数/株	千粒重	登熟歩合
無N区	428 kg/10a	63.7粒	15.8本	22.1g	94.1%
化学肥料区	587	66.1	19.4	23.4	92.8
稲ワラ区	615	64.4	21.2	22.7	87.1
豚ふん堆肥区	644	72.5	21.2	21.8	85.6

第6表 栽培土壌の理化学性 (9月13日採取、乾土: mg/100g)

栽培区	腐食 %	Av-P ₂ O ₅ mg/100g	Av-SiO ₂ mg/100g	CEC meq	三相分布 (%)			
					固相	液相	気相	孔隙率
無N区	2.6	5.7	25.6	11	36.4	56.6	7.1	63.6
化学肥料区	2.7	5.2	20.3	11	37.5	56.7	5.8	62.5
稲ワラ区	3.1	9.4	18.2	11	36.8	59.5	3.7	63.2
豚ふん堆肥区	3.7	14.7	18.0	14	32.8	60.1	7.2	67.3

日本作物学会紀事
(Jpn. J. Crop Sci.)
71巻(別2号)
2002年

Is it Need to Supply the Phosphorus or Potassium Fertilizer to the Paddy Rice Field ?
- Analysis of the three major nutrients experiment in the paddy rice field for 19 years -
Kazuyuki HASHIMOTO¹, Yukio KUJIRA¹, Hideo AZUMA², Miki SHINYA¹, Yujiro MAEDA¹, Shizue OKUNO¹, Atsuko MIKAMI¹, Koichi SAWADA² and Nobuaki YAMADA²
(¹Faculty of Education, Kanazawa University, Kanazawa 920-1192, Japan, ²Toyama Prefectural Agricultural Research Center, Toyama Japan)

チッソ、リン酸およびカリは作物栽培における三大要素として普通に施用されている。富山県農業試験場では、土壌の養分供給力と水稲の生育および収量との関係を明らかにし施肥対策の基礎資料とするため、昭和57年から水稲の三要素試験を継続している。本研究では、継続した三要素試験区での水稲生育、収量構成要素の調査に加え、土壌中の分布および根の生理活性を測定し、水稲栽培における三要素施肥の意味について再検討した。

材料および方法：調査は、富山県農業試験場の211号水田において、三要素試験開始後18年目(2000年)および19年目(2001年)に実施した。栽培品種はコシヒカリである。実験圃場の土壌は、レキ質灰色低地土(国領統)である。5試験区2連制による実験を実施した。各試験区の栽培面積は0.84aである。2000年は5月7日に田植え(手植え)を行い、栽植密度は23株 m^{-2} で1株4本植えとした。2001年の移植日は5月8日であり、栽植密度は25株 m^{-2} で1株4本植えとした。施肥管理は第1表に示した。生育調査は各区とも12株について実施した。収量調査は坪刈り法により実施した。2000年の根系調査は収穫後に実施し、株間の根系分布はコアサンプル法を用いて調査した。2001年の根系調査もコアサンプル法($\phi 53mm$, 300mmD)を用い、7月18日(分けつ期)、8月7日(出穂直後)および9月23日(収穫期)に実施した。根の生理活性を評価する指標として、出穂期(8月7日)の出液速度と根系からのRb吸収量を測定した。40mg $\cdot ml^{-1}$ のRbを含む寒天ゲル(0.4%寒天)10ml(4箇所 \cdot 株 $^{-1}$)を、注射器を用いて株間の土壌下5cmまたは株直下20cmにスポット注入し、5日後に処理株を刈り取った。採取株は乾燥したのち粉末にし、原子吸光法によりRb含有量を定量し根の生理活性を示す指標とした。

結果および考察：2000年および2001年における収量構成要素を第2表に示した。無肥料区および無N区の収量は、無リン区、無カリ区および三要素区より低い水準を示したが、無リン区、無カリ区および三要素区の間には大きな差は認められなかった。2000年の収穫後に調査した土壌10-20cmおよび20-30cm階層の根重に試験区による有意差が認められたものの、三要素区、無リン区、無カリ区との間に根重の有意差は認められなかった(第3表)。継続試験19年目(2001年)の根重の階層分布は、第4-1および4-2表に示した。出穂期における0-10cmの階層の根重および総根重は無肥料区より無チッソ区で有意に多かったが、三要素区、無カリ区、無リン区の3試験区間では有意な差は認められなかった。収穫期の根重は20-30cmの階層で有意差が認められ、三要素区が無カリ区および無リン区より有意に少なかった。しかし、その他の階層の根重と総根重に試験区の違いによる有意差は認められなかった。出液速度を第5表に示した。1株あたりの出液速度に試験区の違いによる有意差は認められなかった。分けつ茎あたりの出液速度および地上部単位乾重あたりの出液速度は、無リン区、無カリ区、三要素区の間で有意差は認められなかったが、無肥量区と無チッソ区の出液速度は、その他の試験区より大きく、これらの試験区の根の活力は高いと判断された。Rb吸収量を第6表に示した。1株あたりのRb吸収量に試験区による有意差が認められ、株間5cm下のRb吸収量は無チッソ区で有意に小さく、無カリ区で有意に大きかった。株直下20cmのRb吸収量でも同様な結果が示され、無カリ区と三要素区との間に有意差が認められなかったものの、無カリ区のRb吸収量は他の試験区よ

り有意に多かった。出穂期における根の生理活性は、無肥料区、無リン区、三要素区の間で差はなかったが、無チッソ区の根の活性は低く、無カリ区では高いと判断された。土壌中の根重分布には試験区の違いによる有意差が認められなかったが、根の生理的活性には有意差が認められたことになる。しかし、無カリ区、無リン区、三要素区の間で収量差はなく、根重にも有意差は認められなかった。コシヒカリ栽培において慣行通りにリンまたはカリを施用する施肥法は、再考する必要があるものと考えられた。

謝辞： Rb 含有量の定量にあたりご協力いただいた、石川県農業総合研究センター宮川修氏に感謝します。

本研究の一部は、平成 13 年度文部科学省科学研究費（課題番号： 11660015）により実施した。

第 1 表 各栽培区の施肥管理概要

試験区	窒素施用量			三要素 合計		
	基肥	早追肥	総肥	チッソ	リン酸	カリ
無肥料区	0	0	0	0	0	0
無チッソ区	0	0	0	0	9	12
無カリ区	5	1.5	3.0	9.5	9	0
無リン区	5	1.5	3.0	9.5	0	12
三要素区	5	1.5	3.0	9.5	9	12

*施肥量 (kg/10a)、総肥は 2 回の合計

第 3 表 収穫後の根乾重の土壌中階層分布 (2000 年 11 月 10 日)

試験区	根 乾 重			総根重
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	
無肥料区	41.7±12.2mg	20.3±0.2mg	4.0±0.3mg	66.0±12.9mg
無チッソ区	58.0±2.0	14.3±0.8	3.3±0.6	75.6±3.1
無カリ区	57.0±7.6	20.3±3.7	9.3±2.4	86.6±1.6
無リン区	60.3±6.9	26.6±3.6	7.3±0.2	94.3±7.4
三要素区	59.0±6.0	14.6±3.0	8.0±0.5	79.0±9.4
LSD(0.05)	34.1	12.21*	5.77*	34.56

平均値±標準誤差 (n=3)

第 2 表 三要素試験区における収量および収量構成要素

年度	試験区	収 量 構 成 要 素				千粒重
		精玄米量	粒数	1 粒粒数	登熟歩合	
2000	無肥料区	188 kg/10a	174 本/m ²	63.3	76.7%	20.5g
	無チッソ区	277	260	59.3	87.9	21.5
	無カリ区	522	374	68.8	89.5	23.4
	無リン区	537	354	74.1	87.8	23.5
	三要素区	558	385	78.3	88.6	23.6
2001	無肥料区	355	255	76.4	82.9	21.8
	無チッソ区	451	288	82.9	77.4	22.6
	無カリ区	538	445	72.2	61.3	23.0
	無リン区	633	380	101.1	68.6	23.8
	三要素区	626	433	84.1	71.0	23.9

第 4-1 表 三要素試験区の出穂期における根乾重分布 (2001 年 8 月 7 日)

試験区	根 乾 重				総根重
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	
無肥料区	58.5±7.9mg	26.4±3.5mg	7.3±2.4mg	0.4±0.1mg	92.5±2.8mg
無チッソ区	123.3±5.2	36.1±5.0	18.8±3.4	2.0±0.6	179.5±13.3
無カリ区	109.6±4.0	33.6±1.4	13.7±9.2	0	156.9±11.8
無リン区	103.8±24.6	39.1±3.6	26.3±9.4	1.6±0.6	170.8±28.3
三要素区	92.1±10.9	31.0±4.4	10.6±1.9	0	133.7±13.7
LSD(0.05)	59.3*	17.5	25.1	2.0	75.5*

平均値±標準誤差 (n=3)

第 4-2 表 三要素試験区の出穂期における根乾重分布 (2001 年 9 月 23 日)

試験区	根 乾 重				総根重
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	
無肥料区	69.1±1.4mg	27.4±4.5mg	6.8±2.4mg	4.4±0.9mg	107.7±9.0mg
無チッソ区	73.0±5.4	23.8±3.4	9.4±1.8	0.2±0	106.4±10.4
無カリ区	97.3±12.2	32.8±4.6	12.5±2.5	0	142.7±9.5
無リン区	98.9±13.3	24.5±1.0	17.6±1.8	0.7±0	141.7±11.9
三要素区	78.8±10.6	24.6±2.8	2.2±0.3	0	105.6±9.1
LSD(0.05)	37.58	13.73	7.63*	n.s.	38.94

平均値±標準誤差 (n=3)

第 5 表 出穂期における s 出液速度の試験区間変異

試験区	出液速度 / 株・hr	出液速度 / 茎・hr	出液速度 / g・hr
無肥料区	5.44±0.94g	0.59±0.11g	0.39±0.07
無チッソ区	4.60±0.38	0.41±0.04	0.20±0.02
無カリ区	5.10±0.58	0.25±0.03	0.14±0.02
無リン区	3.70±0.32	0.19±0.01	0.10±0.01
三要素区	4.61±0.40	0.24±0.02	0.13±0.01
LSD(0.05)	n.s.	0.16*	0.10*

*平均値±標準誤差 (n=5)

第 6 表 根系からの Rb 吸収量

試験区	Rb 吸収量 / 株			Rb 吸収量 / 地上部乾重(g)		
	株間 5cm 下	株直下 20cm	LSD(0.05)	株間 5cm 下	株直下 20cm	LSD(0.05)
無肥料区	13.44±0.81mg	18.69±1.40mg	5.5 0	575±6 μg/g	894±94 μg/g	359.26
無チッソ区	5.87±0.28	8.60±0.51	1.97*	257±21	300±24	108.21
無カリ区	33.67±2.26	46.41±6.50	23.4	961±81	1313±164	623.39
無リン区	11.78±0.85	31.41±0.08	29.97	285±25	527±212	515.20
三要素区	11.70±0.90	25.29±0.58	3.65*	304±35	632±41	175.87*
LSD(0.05)	4.68*	13.83*		160.96*	406.24*	

*出穂期の調査 (Rb 注入: 7 月 日、採取: 月 日)、n=3

Root systems and physiological root activities of rice cv. Koshihikari grown in Ina city

Yukio Kujira ^{1*}, Takashi Oritani², Yuji Nakajima¹ and Teruo Kasuga³

¹: Faculty of Education, Kanazawa University, Kanazawa 920-1192, Japan.

²: Toyama Prefectural Collage, Kosugi 939-0398, Japan.

³: Misuzu, Ina 396-0111, Japan.

* Corresponding author, e-mail kujira@ed.kanazawa-u.ac.jp

Materials and Methods

Japanese paddy rice cultivar (*Oryza sativa* L. cv. Koshihikari) were transplanted on May 3, 2000 and grown in the field of Ina city, Nagano Prefecture at the planting density of 22.4 hills per m². Fertilizers were applied as basal dressing at the rate of 50kg-N per ha for N, P₂O₅, K₂O, respectively, and applied two times of 40kg of N per ha at July 15 and 21 as top dressing. Root sampling at the position of the interhill, under the hill were made at August 5 and September 25 for heading stage and yielding stage, respectively. Root dry weight at each 10 cm of soil layers was measured by core sampling method using a steel sampling tube of 53 mm inner diameter. Each soil core was washed out using Hydroelute Root Washing Unit (Gillison's Ltd., U.S.A.). Bleeding rate per hr and rubidium absorption rate from the soil layer was measured as an index indicating a physiological root activities of rice. 10ml of gelatin containing (0.4%) Rb (including 40mg of Rb/ml) was placed in the soil layer at the depth of 10cm and 20cm of interhill and 20cm under the hill to estimate the physiological root activities located at different soil layers. After harvest, yield and yield components were measured. Grain quality related to palatability was measured using Near Infrared Reflectance Spectroscopy (Shizuoka Seiki Ltd., SG-2000). Each Koshihikari grown in non nitrogen application plot, chemical fertilizer application plot, rice straw application plot and farmyard manure application plot of paddy field of Koshihikari in Neagari-machi, Ishikawa prefecture, and chemical fertilizer application field in Nyuzen-machi, Toyama prefecture, were used as control.

Results and Discussion

Root dry weight at each 10cm soil layers in the core (53mm ϕ) was shown in Table 1. Root dry weight in water inlet was larger than that in water outlet. Cool water temperature will affect the rice growth both of aboveground and root. There was a significant differences of Rb absorption rate per unit aboveground dry weight among the different field condition. Rb absorption rate in Ina field was larger than other fields, and root physiological activity of Koshihikari grown in Ina field was significantly high at the position both of under the hill and interhill (Table 2). Yield and yield components was shown in Table 3. Grain yield in Ina showed comparatively high. Accordingly it may be considered that physiological root activity leads to high grain yield. Cytokinin (t-ZR) content in the bleeding sap of Koshihikari grown in Ina field was high compared with the other fields (Kujira et al, 2000, 2001). Rb absorption rate in non nitrogen application plot was high. Physiological root activity do not always lead to the high grain yield, because high nutrient applications was supplied in Ina field. It was pointed out that water temperature for high grain yield may be one of the most important factor affecting the diurnal range of air and soil temperature in Ina field.

References

Kujira Y., T. Oritani, Y. Nakajima and T. Kasuga, 2000. Japanese rice cv. Koshihikari grown in Ina city shown high yield with large and shallow root systems. Abstracts: 156, 3rd International Crop Science Conference (ICSC), Germany.

Kujira Y. K. Kano and R. Yoshida, 2001. Relationship between cytokinin (t-ZR) content in the bleeding sap and cultivated conditions of paddy rice, The Hokuriku Crop Science 36:53-56.

Table 1. Root dry weight in the soil layer at the heading stage.

Treatment	Root Dry Weight (mg)					Total
	0~20cm	0~10cm	10~20cm	20~30cm	30~40cm	
(Ina city)						
water inlet	178.0±10.5	142.7±10.5	35.3±3.8	23.7±4.6	14.0±6.0	211.0± 3.7
water outlet	230.3±29.4	193.7±30.3	36.7±3.0	22.0±6.3	11.0±1.7	263.3±31.3
(Nyuzen)						
water inlet	333.0±61.1	223.0±61.6	110.0±1.5	16.3±0.9	0	349.3±60.3
Neagari-1B	286.3±11.9	170.7±16.9	115.7±16.8	10.7±0.9	3.0±2.1	300.0±12.0
Neagari-2B	259.0±22.4	181.3±22.2	77.7±22.4	21.0±1.2	4.7±1.1	284.7±23.1
Neagari-3B	275.0±10.9	194.3±22.1	80.7±18.9	17.3±5.5	6.0±2.1	298.3± 8.1
Neagari-6B	270.0± 6.8	209.3± 9.0	60.7±15.3	19.7±6.5	6.0±0.4	295.7± 4.8
LSD(0.05)	120.8	127.8	60.8	19.1	13.1	119.5

* mean±s.e. (n=3)

* Neagari 1B, 2B, 3B and 6B shows continuously non nitrogen application, chemical fertilizer application, rice straw application and farmyard manure application plot, respectively.

Table 2. Rb absorption rate per unit aboveground dry weight.

Treatment	Rb absorption rate (μ g/g)			LSD(0.05)
	Interhill (5cm)	Interhill(10cm)	Under the hill(20cm)	
Ina	0.44±0.1	0.43±0.05	1.54±0.33	0.66
Neagari 1B	0.66±0.02	0.11±0.03	0.24±0	0.13
Neagari 2B	0.09±0.02	0.06±0.01	0.54±0.12	0.32
Neagari 3B	0.11±0.03	0.12±0.02	-	0.11
Neagari 6B	0.11±0.03	0.12±0.01	0.68±0	0.11
LSD(0.05)	0.19	0.12	2.14	

* mean±s.e. (n=3)

Table 3. Yield and yield components.

Treatment	Number of grains per head	Ear number	1,000 grain weight	Brown rice weight	Percentage of ripend grains
Ina(Inlet)	90.8	18.8	22.4g	739.5 kg/10a	86.1 %
Ina(Outlet)	100.9	20.0	22.3	857.4	85.0
Nyuzen(Inlet)	61.6	19.6	20.3	843.4	96.8
Nyuzen(Outlet)	73.8	18.6	19.7	878.8	96.6
Neagari 1B	90.4	13.6	20.9	291.2	91.2
Neagari 2B	98.4	19.0	20.6	551.4	95.6
Neagari 3B	93.2	14.6	21.5	394.8	96.7
Neagari 6B	106.6	21.1	20.1	577.0	77.7

Seasonal changes of soil and water temperature, soil porosity, three phases of soil in the paddy rice field showing high grain yield.

Takashi Oritani¹, Yukio Kujira^{2**} and Teruo Kasuga³

¹: Toyama Prefectural Collage, Kosugi 939-0398, Japan.

²: Faculty of Education, Kanazawa University, Kanazawa 920-1192, Japan.

³: Misuzu, Ina 396-0111, Japan.

*: Corresponding author: Faculty of Education, Kanazawa University, Kanazawa 920-1192, Japan; e-mail: kujira@ed.kanazawa-u.ac.jp

Japanese rice cv. Koshihikari is widely cultivated because of its good taste quality. Mean grain yield of Koshihikari in Japan is almost 5 ton per ha. Although in Ina city, Mr. T. Kasuga grew high yielding Koshihikari at the rate of 9.8 ton per ha in 1992. High grain yield in Ina city was strongly correlated with high spikelet numbers caused by high levels of nitrogen fertilizers applications (Oritani et al., 2000).

In this experiment, we discussed about the seasonal changes of water temperature and soil temperature of paddy field affecting the rice growth.

Materials and Methods

We have been analyzed the rice growth grown in Ina city. Koshihikari (*Oryza sativa* L.) were transplanted on May 3, 2000 and grown in the paddy field in Ina city, Nagano prefecture. Planting density is 22.4 per m². Fertilizers application rate is 50kg of nitrogen per ha as basal dressing and 80kg of nitrogen per ha for top dressing. Photosynthetic rate and transpiration rate were measured at the heading stage. Seasonal changes of air temperature, water temperature and soil temperature were monitored during the growth period. Roots at each 10 cm of soil layers were sampled using core sampling tube of 53mm inner diameter.

Results and Discussion

Root dry weight in the different soil layers at the harvest stage was shown in Table 1. Although root dry weight under the hill was much larger than the weight of inter hill. A paddy soil in Ina includes high rates of gas phase and high carbon content. Paddy soil of Kasuga farm includes a higher porosity (%) with 10 % of richer humus and these physical soil characteristics may leads to high yield in case of Ina field (Table 2). Seasonal changes of water temperature and soil temperature at the area of water inlet and water outlet showed in Fig. 1. Water temperature at water inlet was extremely low at May, whereas its temperature at water outlet were kept at relatively higher level. At these two areas of paddy fields, water temperature and soil temperature in May were higher than air temperature, but air temperature in August became higher than water temperature and soil temperature. Physical soil characteristics, that is high porosity content and high humus content, will affect the rise or fall of soil temperature and water temperature. Photosynthetic rate and transpiration rate of Koshihikari in Ina field was much higher compared with other field in Toyama (Fig. 2). Fundamental factors producing high yielding Koshihikari in Ina will based on physical soil characteristics and low temperature of water for agricultural use.

References

Oritani T., Y. Kujira and T. Kasuga, 2000. Effect of nitrogen fertilizer on the yield of components in paddy field showing high grain yield, Abstracts:160, 3rd ICSC, Germany.

Table 1. Root dry weight in the soil layer at the heading stage.

Treatment	Root Dry Weight (mg)					Total weight
	0-20cm(%)	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	
Ina (under the hill)						
water inlet	638±19(99.4)	576±25	62±6	3±0.5	2±0.2	642±19
water outlet	661±10(95.9)	590±18	71±9	24±3	4±0.2	689±6
Ina (inter hill)						
water inlet	270±24 (95.3)	200±19	69±5	9±0	4±0.8	283±25
water outlet	255±30(94.6)	225±28	30±2	11±4	4±0.4	270±34
Neagari 1B	263±32(89.7)	180±28	83±6	20±5	11±2.8	293±40
Neagari 2B	266±67(93.3)	178±45	88±25	17±2	2±0.2	285±69
Neagari 3B	310±15(93.9)	260±13	50±2	11±2	9±2	330±17
Neagari 6B	243±33(90.4)	174±16	68±19	21±4	4±1	268±35
LSD(0.05)	163	119	59	15	7	176

* mean±s.e. (n=3)

* Neagari 1B, 2B, 3B and 6B shows continuously non nitrogen application, chemical fertilizer application, rice straw application and farmyard manure application plot, respectively.

Table 2. Three phases of paddy soil in Ina city.

Elements	Each soil layer							
	0-5cm	5-10cm	10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm	30-35cm	35-40cm
Porosity	75.3%	73.2%	69.1%	62.2%	67.2%	67.1%	70.1%	69.5%
Solid phase	24.7	26.8	30.9	31.8	32.8	32.9	29.9	30.5
Liquid phase	53.2	50.2	48.5	44.3	42.5	43.4	44.0	43.5
Gas phase	22.2	23.0	20.7	23.9	24.8	23.7	26.1	26.0
C- content	6.0	5.5	6.4	5.3	6.0	4.2	4.0	3.6
Humus*	10.3	9.5	11.0	9.1	10.3	7.2	6.9	6.2

* Humus= C × 1.72

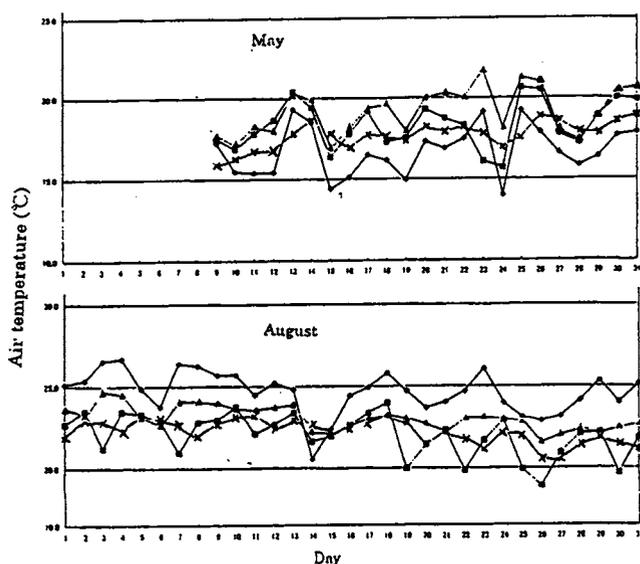


Fig. 1 Seasonal changes of temperature, water temperature and soil temperature at early stage and heading stage in Ina.

◆: Air temperature, ■: Water temperature at inlet, ▲: Water temperature at outlet, ×: Soil temperature.

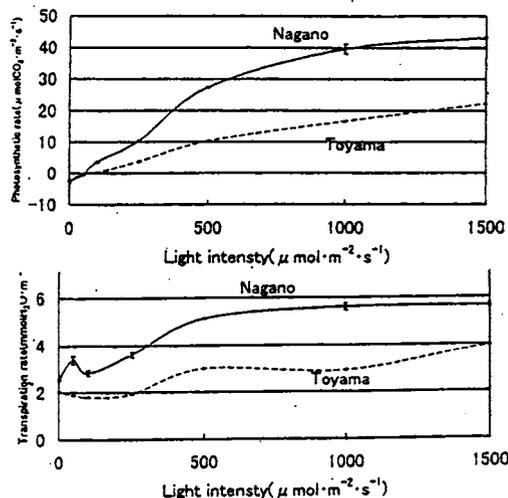


Fig. 2 Photosynthetic rate and transpiration rate of Kohihikari cv. at the heading stage.

馬糞の堆肥化に及ぼす数種の発酵菌、ミミズおよびワラジムシの影響

循環型の農業生産システムを構築する過程において、多様な資材を原料とした堆肥化試験が行われ、調製された堆肥を評価する基準の策定が急務となっている。本研究では、馬糞を原材料として堆肥化させる上でどのような熟成過程が望ましいかについて、EM 菌、カルス菌および高温耐性菌により分解した堆肥を種とした堆肥化試験を実施して検討した。また、ミミズやワラジムシを共存させることで堆肥化の過程でどのような影響を受けるかについても検討した。調製した堆肥は、堆肥抽出液を用いた品質評価を行った。また、堆肥の腐熟度評価は蒸留水および沸騰蒸留水を用いた堆肥浸出液を試料として実施した。それぞれの抽出液に試薬を加え、浜松フオトニクス社製のフォトカウンティング装置（C-8801）を用いて光化学的に測定することで堆肥を評価した。作物の生育に及ぼす堆肥の効果については、堆肥混合比を 50%と 25%とした土壌でコマツナを栽培し、堆肥を混合しない対照区と比較して検討した。

堆肥抽出液の発芽抑制効果は、市販の発芽シート（たねぴた：藤平工業）を用いてコマツナで検討した。5g の堆肥に対して 100g の水（沸騰水および水）で抽出した液で発芽試験を実施したところ、堆肥化の過程でワラジムシを用いた抽出液の場合、発芽率が低下していたがその他の処理区の抽出液では発芽抑制は認められなかった。各処理区の堆肥抽出液の pH、アンモニア態窒素および硝酸態窒素含有量を測定したところ、カルス菌を用いた堆肥抽出液の窒素含有量が高い傾向を示していた。コマツナの生育試験の結果、堆肥混合比が 50%の場合に生育が抑制される傾向が認められ、25%混合区で生育促進効果が認められた。ワラジムシ利用堆肥 50%混合区および対照区（堆肥なし）の根乾重はその他の試験区より有意に小さく、生育抑制が認められた。発芽試験および堆肥混合による生育試験で他の試験区と異なった反応を示したワラジムシ利用堆肥の腐熟度を光化学的に測定し結果を第 1 図に示した。ワラジムシ利用区ではフェノール性成分が検出されたことから、栽培試験および発芽試験で示された結果がフェノール成分の影響によるものであると推定される。フェノール性成分は過酸化水素水とアルデヒドの存在下で微弱な光化学反応を起こす。フォトカウンティング装置（浜松フオトニクス社、e-8801）を用いて微弱光をカウントし還元力の程度を測定したところ興味深い結果が示された。この結果につい

では検討中である。フォトカウンティング装置を用いた測定は、信州大学農学部 井上直人教授の指導により実施した。

まとめ

水稻栽培における多収の実現は、昨今の食味重視主義の状況下において忘れられているような感がある。しかし、世界人口は確実に増加し、それに伴って穀物生産の必要と農地を含めた環境問題への対処が深刻な問題となっている。

本研究では、水田の環境を保全しながら水稻の超多収を実現させる戦略について検討した。

1) 多収コシヒカリの要因解析

1992年に998kg/10aの超多収の実績を示した長野県伊那市の農家水田を実験圃場として、多収を示すコシヒカリの生育を多面的に解析した。伊那水田では三峰川水系の農業用水を利用しているが、ケイ酸含有量が高い低水温の農業用水という特徴がある。水田土壌は三相分布のうち気相の割合が高く、腐植が多い。また、日射エネルギーが高いという地域的な特徴も有している。伊那で栽培されたコシヒカリは、富山県の慣行栽培のコシヒカリと比較して光合成速度大きく蒸散速度も大きい。伊那のコシヒカリは総根重、表層根重が多く根系からの出液中に含まれるサイトカイニン含有量も高く、根系からのRb吸収量も多いことから根の生理活性が高いことが示唆された。多収コシヒカリの特徴は、根系の生理活性の高さと根量に裏付けられた光合成と蒸散の高さが背景にあると考えられた。また、水稻栽培に利用している農業用水の立地条件に由来する特性も重要な地位を占めていることが明らかとなった。

2) 有機資材の連用効果

連続して有機資材を投入して栽培されているコシヒカリの根系生は、伊那の例には劣るものの出液中のサイトカイニン含有量が多いなど、根系が高い生理的活性を示すことを考慮すると、土壌への有機物連用を通して地力維持を図る栽培体系は環境保全に貢献しながら多収への可能性に繋がるものと考えられた。

3) コスト削減と外部環境に及ぼす影響の軽減

経営サイドからのコスト削減を考慮する場合には、不耕起直播栽培や土中打込み点播方式を用いた水稻栽培も効果的と考えられた。この場合、多収を示すF1品種の導入も有効な手段である。北陸地域においては、F1品種を用いた乾田不耕起直播栽培も可能であることが示唆された。また、緩効性肥料の使用は、肥料成分の利用効率を高めるばかりでなく農地外への環境負荷を軽減する意味でも有効であることが確認された。

水稻栽培では、慣行的に N, P, K を含んだ肥料を施用している。コシヒカリの栽培に関して三要素試験を継続している富山県農業技術センター内の圃場において、根系分布、根の生理活性および収量構成要素を調査した。無窒素区および無肥料区の収量は他の試験区より有意に少なかった。しかし、無リン区および無カリ区の収量と三要素施用区との間に有意な差は認められなかった。東北地方においては、生育初期の茎数確保にリンの施用は考慮する必要があると考えられるが、北陸以南の地域においては慣行的に施用されてきたリンとカリの施用の必要性について検討する意味があるものと考えられた。減肥により生産コストの削減と環境保全への貢献が可能である。

病虫害防除に際して、薬剤を使用しない栽培体系を検討した。マメ科植物、農産物の残さ、等の利用により雑草発生が抑制可能かどうかについて検討した。レンゲ等の利用により雑草発生を抑制させる効果が認められたが、労働コストと資材の調達の難易を考慮すると米糠の利用が現実的であると判断された。

4) 水稻の無農薬有機栽培

薬剤を用いずに水稻を栽培することは理想である。しかし、現実的には、除草剤や殺菌剤等、状況に応じた薬剤の使用を余儀無くされている現実がある。本試験では、イモチ病耐性遺伝子を導入したコシヒカリ BL を再生紙マルチ利用で移植栽培した事例について検討した。栽培条件として、堆肥と有機肥料併用区、有機肥料使用区および無肥料区とした。なお、コシヒカリ BL 品種は富山県農業技術センターが保有する品種であり、本試験は富山県農業技術センター内の圃場で実施したものである。コシヒカリ BL 品種を堆肥 (2t/10a) と有機肥料を用いて栽培すると根系生育は旺盛になり、多収を示す長野県伊那市圃場のコシヒカリ根系に匹敵する生育を示した。また、根系の生理活性も高いことから、栽培立地的な環境に違いはあるが堆肥および有機肥料の使用により多収イネに近い根系の形態と機能を示す水稻を栽培することが可能と考えられる。水田の畦畔には除草を必要としない植物 (アジュカ、イワダレソウ、等) を栽植することで、環境保全型水稻栽培が可能となることが示された。

水稻栽培における石膏の施用が、水田からのメタン発生を抑制する効果があることなども考慮すると、上記に示した環境保全型水稻栽培を実践することにより、水田の環境を保全しながら水稻の超多収を目的とした栽培が可能であることが示唆された。

