

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

水稲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稲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稲(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ポカシ肥料を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	栽植密度	田植え	基肥 (kg/10a)	種肥
松任	70株/坪	5月4日	前年秋(牛ふん粉がら堆肥 1t, 石膏 15kg, 有機PK 10kg, 骨粉 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 有機肥料 40kg+20kg (明星1号)
野々市	60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	
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(標準:25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、豚ふん粉がら堆肥連用区(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)					総根重	10-40cm
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	土 壌 の 階 層		
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±0.6	141.7±17.3	60.3±3.5	
根上(3B)	180.0±61.3	74.0±1.6	14.3±2.7	3.0±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±34.0	103.7±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: イナワラすき込み運用区, 6B: 豚ぶん粉糞堆肥運用区, 2B: 化学肥料運用区

第3表 出穂期における根乾重の階層分布.

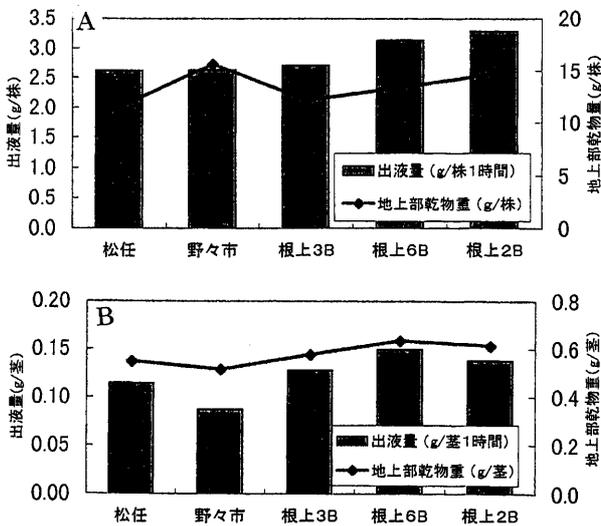
栽培区	根 乾 重 (mg)					総根重	10-40cm
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	土 壌 の 階 層		
松任	69.3±3.7	36.3±2.6	10.0±1.1	4.0±0	117.0±7.9	47.7±4.3	
野々市	76.0±6.7	34.3±3.3	21.0±1.8	5.0±1.0	134.7±5.6	58.7±1.3	
根上(3B)	194.3±22.1	80.6±18.8	17.3±5.6	6.0±2.1	289.3±8.1	104.0±25.1	
根上(6B)	209.3±9.1	60.7±15.3	19.7±6.5	6.0±0.4	295.7±4.8	86.3±9.4	
根上(2B)	181.3±22.3	77.7±22.5	21.0±1.2	4.7±1.2	284.7±23.1	103.3±20.9	

* 平均値±標準誤差 (n=3), ** 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 (15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±0.5	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.

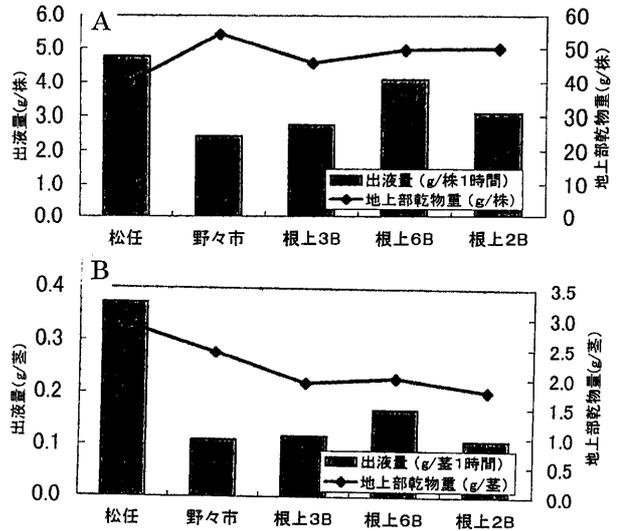
A: 株あたりの出液速度/hr
 B: 分けつあたりの出液速度/hr
 図中の説明は第1表と同じ

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)	登熟歩合(%)
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の比重選による。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 (%)					
	良質粒歩合	未熟粒	被害粒	死米	着色粒	胴割粒
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	脂肪酸度	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

* 静岡製機 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)