

条抜き有機栽培がコシヒカリの根系生育、収量および玄米品質に及ぼす影響

鯨 幸夫、佐藤 匠、山田優也、高橋利征

(金沢大学教育学部)

コシヒカリ栽培の現場では、倒伏軽減あるいは防止を目的とした様々な対策が考えられている。本田に苗を移植する際、6条植え田植え機の端1条を抜いて移植する、いわゆる「条抜き栽培」も、倒伏軽減効果をねらった栽培法の一つである。条抜き栽培は、岩手県遠野市の糠森力氏も提唱していた栽培法の中でも取り入れられている。

水稻栽培における倒伏防止対策は最も重要な栽培技術の一つであり、作物の品種育成の立場から見ると、倒伏に耐性を持たせるためには半わい性遺伝子を導入することが有効であった。水稻の場合、倒伏は、挫折倒伏、湾曲倒伏、ころび倒伏に区分される(瀬古 1962)。各節間の伸長には規則性があり、穂肥の施用法によって伸長量が変化することが知られているため、栽培上の施肥管理によって伸長のコントロールが可能である(瀬古 1976, 松島ら 1976, 松島 1973, 羽根ら 1985)。松島(1968)のV字稲作は良く知られた理論であり、伊那(長野県)では現在でも多収の実績を示している。薬剤を用いた倒伏軽減は、1950年代の2,4-Dにさかのぼるが、最近では、イナベンファイド(CGR-811)(富岡ら 1985, 白川ら 1990)やウニコナゾール(S-327D)(土居ら 1983, 1987)の効果が検討されている。近年、米の品質が食味の観点から注目され、玄米中のタンパク含量の低い米が高い食味評価を示す状況であることから、低タンパク含有米を生産する栽培管理技術が志向されている。窒素肥料の供給量を制限すれば、確かに水稻株の窒素吸収量は少なくなり、玄米のタンパク含有量は低下してくるが、同時に収量も低下する。窒素肥料として化学肥料(高度化成肥料)だけを使用した場合には、土壌としての地力の低下も危惧されてくる。これらの動向は環境保全を目的とした農業体系を考えた場合、余り望ましい栽培方法とは考えられない。

本研究では、環境保全を目的とした有機栽培を行いながらも良食味米を生産し、かつ資本投資の少ない栽培管理をも実現させるための低コスト水稻栽培として、コシヒカリの条抜き有機栽培を検討した。6条の乗用田植え機の端1条を抜いて移植し、条の違いによる水稻株の生育差と根系生育の土壌中階層構造、収量および収量構成要素について検討した。また玄米の外観品質と食味成分の解析も行いながら、条抜き有機栽培の意義について検討した。

材料および方法

実験は1998年に、石川県野々市町の有機栽培農家水田と石川県松任市の有機栽培農家の水田にて実施した。

I. 実験圃場

1) 野々市町の水田

調査対象とした水田では、過去5年間にわたり微生物(EM菌を主体)を利用した発酵有機肥料を用いてコシヒカリを栽培している。1997年10月14日にケイ酸鉄200kg/10aを施用して耕起(秋起こし)した。コシヒカリの播種は1998年4月2日に行い、乾籾で100g/育苗箱の播種量とした。4月19日、EM菌を用いた有機ボカシ肥料を基肥として80kg/10a施用し耕起した。EMぼかし有機肥料は、米糠7.5kg:油粕5kg:骨粉5kg:魚粕5kg:パームカリ2.5kg:カニ殻2.5kg:の混合比で混入させEM菌を用いて発酵させた有機堆肥である。移植は5月5日に実施し、5条移植して1条抜く形の条抜き栽培法とした。栽植密度は50株/坪とした。5月15日、追肥としてEMボカシ肥料を20kg/10a施用した。7月18日に市販の有機ボカシ肥料(多木肥料明星N-P-K=6%-6%-6%, 日本タバコ産業(株)(JT)6-6-6を合計40kg/10a施用した。防除管理については、5月16日に除草剤(武田パヒオA 1kg/10a)を、8月14日に3種混合DLバッサ3kg/10aを散布した。水管理は、常時湛水として中干しは実施しなかった。

水稻根の活性を示す指標として、7月16日に根のいっ泌液量を測定した。根系調査はコアサンプル

法（ ϕ 53mm, 400mmD）を用いて実施した。7月16日、条抜き部分に隣接の条と内部3列目について、平均的な生育をしている株間3箇所のコアサンプルを採取した。9月24日には、条抜き部分および内部3列目について、株間では3サンプルを、株直下では2サンプルの根系を採取した。同時に、収量調査用に各条について5株を採取し、分析用とした。収量及び収量構成要素の調査を行ったのち初すりをを行い、玄米の外観評価および食味成分の分析用材料とした。

2) 松任市の水田

松任市では、地域で搬出される牛糞を堆肥化してソイルパワーの名称で各農家に安価で提供し、地域的な有機栽培を実践している。調査水田では、過去15年間継続して水稻の有機栽培を行っているため、土壌の有機物含有量が高く地力の高い肥沃な水田である。また、有機物の他に、カルシウム資材として硫酸カルシウム（Myned gypsum）を連続施用しており土壌改良効果を高めている。

1998年3月28日にコシヒカリを育苗箱に播種した。播種密度は催芽初で6合/箱とした。5月7日に、水槽育苗したコシヒカリの4.2葉苗を本田に移植した。栽植密度を70株/坪に調整した6条用乗用田植え機の端1条を抜いて、条抜き栽培による移植を行った。実際の栽植密度は58株/坪となり、苗密度は平均2.5本/株となった。10aあたりの基肥量は、ナタネペレット40kg、米糠75kg、骨粉20kg、草木灰1.0t、硫酸カルシウム（gypsum）15kg、バクチャーゼ（市販品；有機物分解酵素）0.5袋、およびソイルパワー（石川県松任市で生産している牛糞堆肥）3m³（約2.0t）である。10aあたりの追肥量として、6月16日および8月7日に硫酸カルシウム（CaSO₄・2H₂O; gypsum）をそれぞれ30kgおよび15kg施用した。市販品のパイオ有機（N:P:K=7%:5%:7%）は6月17日、7月14日に、それぞれ、25kg、30kg施用した。7月20日には、オール有機（市販品；N:P:K=6%:7%:3%）を15kg施用した。根からのいっ泌液量の測定は、7月16日に実施した。根系調査はコアサンプル法（ ϕ 53mm, 400mmD）を用いて、7月16日および収穫期の9月23日に実施した。条抜き部分に隣接している条から内側に向かって1列目と3列目の株間、条間および株直下において、各条につき3個ずつのコアサンプルを採取した。9月29日には、条抜き部分に隣接している条と3条目の平均的な生育を示す5株について各条ごとに刈り取り、収量および収量構成要素の調査用サンプルとした。また、玄米の外観品質および食味成分の分析も行った。

3) 条抜き栽培の比較対照区としての慣行コシヒカリ栽培

金沢大学教育学部角間農場にて、コシヒカリの慣行移植栽培を行った。1998年4月14日に播種した。乾初重で60g/育苗箱の低密度播種を行った。移植は5月15日に手植えにより実施した。栽植密度は、52株/坪とした。基肥として、いしかわ有機056号（有機20%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（N-P₂O₅-K=12%-8%-10%）を10kg/10a施用した。水は、常時湛水で管理し中干しは実施しなかった。その他の管理は慣行法に準じて行った。根からのいっ泌液量の測定は、7月16日に実施した。コアサンプル法による根系調査は、7月14日と9月23日に実施し、収量調査は9月23日に行った。

II. 生育調査

1) 根系調査

根系調査はコアサンプル法を用いて実施した。内径53mm、長さ400mmの金属製円筒コアを株間および株直下部分に打ち込み、根系を含んだ土壌コアを採取した。採取したコアは地表面から10cm間隔に分割した。10cmごとの土壌コアは、Hydroelute Root Washing Unit（GVF 13000, Gillison's Co. Ltd, U.S.A., Primary Sieve 410mm）を用いて洗浄した。土を洗い流した根系サンプルは、水を入れたホーロー製のバットに移し手作業にてゴミ等の混合物を取り除いたのち、根系測定用サンプルとした。80℃の通風乾燥機で24時間乾燥させたのち、根の乾物重を測定した。

2) 地上部の各生育量と玄米の外観評価、食味成分の測定

草丈、莖数、葉色（SPAD値）等の生育量を測定した。収量および構成要素の測定には、平均的な生育を示す10株を採取し、各株の平均的な生育を示す3本の穂について、穂長、初数、初重、玄米重等を測定した。登熟は比重 $d=1.06$ に調整した塩水を用いて選別し、登熟歩合を計算した。玄米の外

観品質および食味関連成分含有量は、近赤外食味分析計 GS-2000（静岡製機）を用いて行った。

3) 根からのいっ泌液量の測定

根からのいっ泌液量は早朝から測定し、遅くとも午前中には終了した。平均的な生育をしている株を5株選び、地際から8cm~10cmの高さで茎葉部を切除し、前もって乾燥重量を測定しておいたパフで茎葉切除部を覆い、その上をサランアップで覆って輪ゴムで固定した。1時間経過後、パフを外しラップで覆ったままクーラーボックス内で保存し、実験室に持ち帰り次第パフの重量を測定して、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茎葉部を用いて、再度1時間あたりのいっ泌液量も測定し、茎葉切除後の時間の経過といっ泌液量との関係を検討した。1時間あたりの泌液量は、1株あたりの量と分けつ茎1本あたりの量として計算した。

結果および考察

1. 根乾物重の土壌中階層構造

7月における根乾物重の土壌中階層構造を第1表に示した。野々市水田における総根乾物重は、群落外側（条抜き側）よりも群落内部で大きい傾向を示していた。土壌表層~10cm, 10~20cmおよび10cm以下の階層における根重の場合でも、総根重の場合と同様の傾向が示され、群落内部の条における根乾重の方が条抜き側よりも有意に大きい値を示した。松任市水田では、10cm以下の階層に含まれる根乾重が条抜き部分で有意に大きかった。総根重では有意差は認められなかったものの、群落内部よりも条抜き隣接部の株で大きい傾向が示された。9月24日（収穫期）の株間における総根乾重の分布には、いずれの水田においても条抜き栽培による条間で有意な差は認められなかったが、群落内部よりも条抜き隣接部の方で総根乾重が大きい傾向が認められた（第2表）。9月24日における株直下の総根乾重についても、条抜き部分からの距離による有意差は認められなかった（第3表）。これは、条抜き栽培を行っても、株間における根重の階層構造には大きな変異が認められず、条抜き部分から群落内部の条間まで、予想以上に均一な根系生育を示していることを意味している。1997年の実験でも同様な結果が認められていることから（鯨 1998）、条抜き部分に隣接している株は伸長可能な土壌空間があるにもかかわらず、根系生育量に大きな変異を示さないことが示唆された。

第1表 減数分裂期における株間における根乾物重の階層構造の変異（1998.7.14~16）

条抜き部分から の位置関係	各階層における根の乾物重 (mg)					総根重
	0~10cm	10~20cm	20~30cm	30~40cm	10~40cm	
角間 (対照)	51.0±16	18.8±10.8	0.6±1.1	0	18.6±11.6	69.6±4.9
野々市・内側	68.3±6.4	78.3±4.9	11.0±2.6	4.6±7.2	94.0±8.5	162.3±2.8
野々市・外側	49.6±0.5	42.0±10.1	4.6±4.0	0	46.6±13.5	96.3±14.0
松任・内側	94.6±9.2	18.3±16.6	9.3±8.3	3.0±2.6	30.3±13.7	125.0±19.6
松任・外側	87.0±22.9	47.6±5.1	9.6±3.5	7.0±3.0	64.3±10.0	151.3±28.7
LSD(p=0.05)	24.5	19.0	8.4	6.7	21.2	30.9

平均値±標準誤差 (n=3)

第2表 収穫期の株間における根乾物重の階層構造の変異（1998.9.23~24）

条抜き部分から の位置関係	各階層における根の乾物重 (mg)					総根重
	0~10cm	10~20cm	20~30cm	30~40cm	10~40cm	
角間 (対照)	45.6±29.0	30.3±20.8	6.6±6.4	3.0±2.0	40.0±26.0	85.6±53.2
野々市・内側	92.0±21.0	32.6±7.5	6.0±3.0	2.3±1.1	41.0±6.5	133.0±27.6
野々市・外側	97.6±33.6	33.0±8.0	17.6±2.5	13.3±3.7	64.0±3.6	161.6±37.2
松任・内側	83.0±25.1	38.0±6.0	11.6±0.5	9.6±8.0	59.3±4.0	142.3±21.3
松任・外側	111.3±16.0	33.6±8.6	21.3±8.0	6.0±6.5	61.0±22.0	172.3±22.0
LSD(p=0.05)	46.8	20.9	8.9	9.2	28.5	62.5

平均値±標準誤差 (n=3)

第3表 収穫期の株直下における根乾物量の階層構造 (1998.9.23~24)

条抜き部分から の位置関係	各階層における根の乾物量 (mg)					総根重
	0~10cm	10~20cm	20~30cm	30~40cm	10~40cm	
角間 (対照)	374.5±129.4	12.0±4.2	6.5±2.1	4.5±6.3	23.0±1.0	397.5±116.6
野々市・内側	321.0±141.4	22.0±8.4	15.5±3.5	0	37.5±4.9	358.5±136.4
野々市・外側	271.5±33.2	14.0±2.8	5.5±3.5	0	19.5±0.7	291.0±32.5
松任・内側	164.0±25.4	14.0±4.2	6.0±1.0	20.0±2.8	40.0±2.8	204.0±22.6
松任・外側	248.5±127.9	33.0±18.3	8.5±3.5	4.5±0.7	46.0±14.1	294.5±142.1
LSD(p=0.05)	269.3	24.4	7.6	8.0	22.8	267.2

平均値±標準誤差

2. いっ泌液量

7月16日の1株あたりいっ泌液量および1分けつ莖あたりの泌液量に、条抜き部分からの距離による有意な差は認められなかった(第4表)。条抜き部分に隣接した株では、地上部のみならず地下部においても利用可能な空間が多くなると考えられるが、根からのいっ泌液量に有意な差異が認められないことから、いっ泌液量を根の生理的機能を示す1つの指標と考えた場合、有機栽培コシヒカリの根系生理機能には、条抜きによる大きな差がないものと考えられた。株あたりのいっ泌液量は生育につれて増加し、出穂期ごろに最高値を示し登熟期に減少する(森田ら1999)。今後は、泌液量の他に泌液中に含まれる種々の構成成分量を定量する必要がある。

第4表 いっ泌液量の変異 (1998.7.14~16)

条抜き部分から の位置関係	いっ泌液量 (g/株・1時間)	いっ泌液量 (g/1莖・1時間)	地上部乾重 (g/株)	地上部乾重 (g/1莖)
角間 (対照)	4.559±1.134	0.196±0.044	12.445±1.334	0.537±0.046
野々市・内側	3.848±1.702	0.130±0.063	18.987±1.890	0.636±0.092
野々市・外側	5.498±1.159	0.198±0.051	18.300±6.022	0.631±0.076
松任・内側	4.451±1.765	0.224±0.063	18.654±5.303	0.940±0.083
松任・外側	4.547±1.416	0.262±0.050	17.922±2.632	1.059±0.089
LSD(p=0.05)	1.925	0.072	5.166	0.104

平均値±標準誤差 (n=5)

3. 収量および品質

収量および食味関連品質を第5、6表に示した。1穂初数および登熟歩合は、条抜き部分からの距離に無関係であった。条抜き栽培を行わなかった対照区(角間コシヒカリ)と比較すると、総根重および土壌10cm以下の階層に含まれる根乾重等、いずれの場合においても条抜き栽培で生育が勝っていた。根からのいっ泌液量は、対照区と条抜き区で有意差は認められなかった。条抜き栽培を行った場合に生じる生育量の変化は、根の生理活性の程度や土壌中に分布する根の階層構造の変化よりも、むしろ地上部における群落構造の変化としての光要因の変化を媒介として生じる現象である、と考えられた。条抜き栽培を行った場合、群落内部の400~700nmの光合成有効放射の減少程度が小さく、群落内の光透過状態が優れている(鯨ら1997)との結果を考えると、群落内の風の通過という微気象的な要因も物質生産に関連している可能性がある。

玄米の外観評価および食味成分の分析には大きな違いが認められなかった。1998年は、6月の日照不足と登熟期の極端な日照不足に加え、9月下旬からの長雨で収穫時期が遅れたが、条抜き栽培区での倒伏は認められなかった。しかし、肥料むらのあった水口付近では、有機栽培特有の生育の遅延と収穫期の長雨の影響で部分的な、なびき倒伏が観察された。6月下旬から7月上旬にかけて地力窒素の発現が多くなっていたことに併せて、中干しを行わなかったために窒素の吸収制限が十分行えなかったことが原因と考えられた。玄米中のタンパク含有量は8%以上の値を示したが、精米後の食味官能検

第5表 収量および収量構成要素

条抜き部分からの 位置関係	株数 /坪	玄米収量 kg/10a	初数 /穂	穂数 /穂	1,000粒重	登熟歩合* (%)
角間 (対照)	53	420.7	127.0	21.8	18.7	62.6
野々市・内側	50	654.5	105.3	28.4	20.3	87.8
野々市・外側	50	675.7	106.5	26.6	20.9	84.3
松任・内側	58	344.5	106.8	16.4	21.2	89.6
松任・外側	58	608.1	109.8	19.2	21.3	87.8
LSD(p=0/05)			12.8			8.4

*比重選別 (d=1.06) による

*野々市水田の平均収量 (630kg/10a)

第6表 玄米の外観品質および食味関連成分と品質評価

(外観評価)

栽培区	良質粒	未熟粒	被害粒	死米	着色粒	胴割粒	外観格付け
角間コシ	67.4%	14.6%	10.4%	5.8%	1.8%	0.5%	C
野々市コシ	73.1	12.2	13.9	0.7	0.1	0.3	A
松任コシ	76.3	7.2	15.9	0.2	0.4	0.2	C

(食味成分および品質評価)*

栽培区	水分	タンパク質	アミロース	脂肪酸度	老化性	スコア
角間コシ	14.5%	8.6%	18.4%	21	75	70 (A)
野々市コシ	14.7	8.5	18.5	15	73	70 (A)
松任コシ	14.7	8.1	18.4	10	68	76 (A)

*近赤外食味分析計 (GS-2000, 静岡製機) による測定。

査では高い評価が得られた。有機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ではない評価が得られたことは興味深い。水稻栽培を収量と食味から検討する場合には、収量を犠牲にした食味ではなく、収量の維持を前提とした上で、玄米中の成分評価と精白米の成分評価を通じた食味を考える必要があるものと考えられる。

謝辞：実験に協力頂いた、石川県野々市町の三納和之氏、および石川県松任市の中野正剛氏に感謝致します。玄米の外観品質および食味評価にご協力頂いた、石川スズエ販売 (株) 杭田忠三氏に感謝致します。

引用文献

- 土居孝治ら、1983. 日作紀 52 (別1) :99-100.
- 土居孝治ら、1987. 日作紀 56 (別2) :177-178.
- 羽根正憲ら、1985. 北陸作物学会誌、20:47-48.
- 鯨 幸夫ら、1997. 未発表
- 鯨 幸夫ら、1998. 日作紀 67 (別1) :58-59.
- 松島省三 1968. 農業および園芸、43: 1393-1397. 1542-1547.
- 松島省三 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.
- 森田茂紀ら 1999. 根の研究 8 (2) :53.
- 瀬古秀生 1962. 九州農試彙報、7:419-449.
- 白川憲夫ら 1990. 農業および園芸、65: 1403-1406.
- 富岡博美ら 1985. 日作紀 54 (別1) :198-199.

Effect of new transplanting way, leave one row out in six rows, on the root system, yield and grain quality of Koshihikari grown with organic fertilizer: Yukio KUJIRA*, Takumi SATO, Yuya YAMADA and Toshiyuki TAKAHASHI (Faculty of Education, Kanazawa University) (* e-mail: kujira@ed.kanazawa-u.ac.jp)