

水稲早生品種トドロキワセに対する深層追肥と玄米黒酢散布併用による多収穫栽培

涌井恵太¹・池田 武^{2*}

(平成19年12月19日受付)

要 約

穂数型品種トドロキワセを用いて、増収を目的に試験を行った。深層追肥の肥料を倍にした区を設け、さらに玄米黒酢散布併用が増収に有効かを検討した。結果は以下のようであった。

- (1) 収量は表層追肥に比べて、全ての深層追肥区で増収した。収量と単位面積当り籾数との間に正の相関があり ($r=0.99^{***}$)、また収量と千粒重との間にも相関があった ($r=0.73^*$)。単位面積当り籾数と穂数との間にも正の相関があった ($r=0.91^{**}$)。深層追肥と玄米黒酢散布による千粒重の増加および高い登熟歩合の維持から、籾数を補える同化産物供給があったと推測された。
 - (2) 深層追肥区では、多肥区の窒素蓄積量が少なく、登熟後期まで窒素の吸収が持続しなかったことが示唆された。これは、深層追肥の適正施肥量の点が原因と考えられた。
 - (3) 玄米黒酢を深層追肥栽培のイネに葉面散布することで、有効茎歩合が高まって増収した。地上部乾物重が増加し、しかも成熟期まで上位3葉身長およびSPAD値が高く維持された。
- 以上の結果から、穂数型品種トドロキワセの増収には、穂数増加による単位面積当り籾数確保が強く貢献すると考えられた。さらに深層追肥と玄米黒酢散布を併用することで、更なる増収が明らかになった。

新大農研報, 60(2):105-113, 2008

キーワード：玄米黒酢、上位3葉身、深層追肥、SPAD、多収穫栽培

我が国の稲の単位面積当り収量は大きく向上する一方で、人口増加速度、国民一人当りの米消費量が急速に低下、生産過剰となり、米についての国民の関心は、量から質へと大きく移りつつある。しかし近年では、主食米生産の他に、飼料米や加工米の増収が求められている。一方、早生品種は市場流通の時期が速く消費者に対する需要があり、栽培期間が短く生産者の労働力、生産費軽減に適していると考えられる。

優れた増収技術として評価されている栽培法で、青森県農業試験場の田中が開発した深層追肥技術がある(田中, 1976, 1979)。この技術は、土中深くに肥料を投与することで、同じ施肥量でありながら根の生育を促進し、窒素吸収量が増加し、吸収率も高くなる。単に穂肥、実肥の一施肥法であることのみならず、基肥量の適正化、中期の生育調節等、総合的な技術体系の一貫としてその優位性が発揮されうるものである(長沢ら, 1985)。

深層追肥の増収効果の研究は数多くあり、青森県などの寒冷地稲作(田中, 1979)や西南暖地(王ら, 1991)で、実際に増収した事例も多く報告されている。すなわち、深層追肥は無効分げつの発生を抑制して有効茎歩合を高め、穂の大型化を図ることにより、単位面積当り籾数を増加させ、増収効果を高めることが認められている(王ら, 1991; 許と太田, 1969; 奥村ら, 1982)。神保ら(1987)は、多収穫栽培の技術的な要点として、①葉数の多い健苗移植、②受光態勢の良化(過繁茂防止)、③適正な籾数の確保、④倒伏防止、⑤稲体および根活力の維持(特に登熟期)が挙げられると述べている。その中でも、特に登熟の向上を図るための登熟期の稲体活力維持が多収穫栽培において最重要であることを指摘している(神保ら, 1987)。しかし、深層追肥栽培では、単位面積当り籾数増加に効果的であるが、

同化産物供給が追いつかず、登熟歩合の低下が指摘されている(許と太田, 1969; 和田と工藤, 1966)。従って、更なる増収には登熟歩合の向上が求められると考えられる。

この要因を改善する方法として玄米黒酢農法が挙げられる(池田ら, 2004)。植物にある植物から抽出した物質を散布または処理した試験は多い。そのなかで酢酸を多く含むものに木酢液がある。木酢液には根の生長促進作用があり(白川ら, 1979)、穂数の増加を通じて収量増加をもたらすと報告されている(続ら, 1989)。木酢液と同様に酢酸を含むものに玄米黒酢がある。玄米黒酢を水稻に散布したところ、地上部および根乾物重が高まること、有効茎数が高まること、葉身の同化産物生産を活性化させることにより収量が増加することが明らかになっている(養田ら, 1998; 本田と池田, 1999; 池田, 2002)。

一方、水稻の冠根の数は生育とともに徐々に増加し、出穂期前後に終了することが明らかになっている(森田, 2000)。すなわち、出穂期以降のイネは新しい冠根の形成が無く、根の活力が減少し、根系全体の吸水量が急激に減少していくと考えられる。このことについて森田と阿部(1999a, 1999b)は、登熟日数と根の吸水量との間には負の相関があり、吸水量が大きいほど葉色が高かった事例について報告している。葉色に関しては、これが光合成能力に関係することは多くの報告によって指摘されているが(楠谷ら, 1993; 中沢ら, 1990; 蓑ら, 1992)、石原と黒田(1986)は、根系の発達が悪く根の活力が低い水稻では光合成能力が低下しやすいと報告している。従って、深層追肥の稲に玄米黒酢散布を行うことで、深層追肥で増大した根を、登熟後期まで維持でき、下位葉の枯れ上がりを防ぎ、さらに上の収量を得ることができると考えられる。

そこで本実験では、加工米として需要がある早生品種のトド

¹新潟大学大学院自然科学研究科

²新潟大学農学部

*代表者名: tanuki@agr.niigata-u.ac.jp

ロキワセの増収を目的とし試験を行った。すなわち、深層追肥栽培における収量頭打ちの一要因である、登熟歩合向上への影響として深層追肥で肥料を倍にした区を設け、同条件で玄米黒酢散布が有効であるかを検討した。また、多収穫栽培で問題となる食味要因についても重ねて調査した。

材料および方法

1. 処理区と施肥方法

品種トドロキワセ（早生、穂数型）を用い、2006年度に、新潟大学農学部付属農場フィールド科学研究センターの水田圃場で試験を行った。約4.0葉の中苗を5月15日に栽植密度として、条間30cm、株間18.3cmの約18.2株/m²および条間30cm、株間12.2cmの約27.3株/m²で移植した。処理区面積は1区当り64m²であった。

処理区と施肥方法の概要を表1に示した。基肥は全処理区表層施肥で同量とし、硫酸、過リン酸石灰、塩化カリを10a当り、それぞれ成分量で2.0-2.4-2.8kg施用した。追肥は18.2表区、27.3表区は硫酸、過リン酸石灰、塩化カリを10a当り成分量で5.0-5.0-5.0kgを表層追肥した。深層追肥には、三菱深層追肥機を用い、高度液状肥料222グリーンペースト（窒素、水溶性リン酸、水溶性カリ）を地下部約12cmに施用した。施肥量は、18.2深Ⅰ区、27.3深Ⅰ区には10a当り成分量で5.0-5.0-5.0kg、18.2深Ⅱ区、18.2深Ⅲ区、27.3深Ⅱ区、27.3深Ⅲ区の各区には10a当り成分量で8.6-8.6-8.6kgを深層追肥した。18.2深Ⅲ区、27.3深Ⅲ区の両区には玄米黒酢（石山味噌醬油株式会社製）の葉面散布を行った。追肥日は全処理区とも6月28日、出穂日は8月3日であった。

2. 玄米黒酢葉面散布

玄米黒酢の葉面散布は700倍希釈液を用いて行った。散布は、背負い型手動噴霧機を用い1a当り約5.8ℓ散布した。散布時期は、分けつ中期（6月15日）、幼穂分化期（7月4日）、減数分裂期（7月20日）、穂揃期後（8月9日）の4回であった。

3. 調査項目

幼穂分化期（7月5日）、出穂期（8月3日）、登熟中期（8

月21日）に各区2カ所から5株ずつ1処理区当り10株をサンプリングした。それらの個体を葉身、茎部（葉鞘と稈）、穂、枯死部に分解し通風乾燥機（80℃）で約3日間乾燥させそれぞれの乾物重を測定した。

サンプルを粉碎した後、ケルダール分解法により分解し、インドフェノール法により各部位の窒素含有率を求めた。その値にm²当りの各部位の乾物重を乗じて窒素蓄積量を求めた。

出穂期後から、物差しで上位3葉身の葉身長を測定し、SPAD値を測定した。SPAD値は葉緑素計（ミノルタ製SPAD-502）を用いて行った。収穫は9月7日に行い、各区2カ所から13株ずつ、1処理区26個体を無作為に刈り取り収量と収量構成要素をそれぞれ調査した。収量調査に用いた平均収量に近い株100gを、kett-AN800でタンパク質、水分、アミロース、脂肪酸を調査した。

結果

1. 収量と収量構成要素

18.2区、27.3区の収量は、表区に比べ各深区で有意に増収した。各処理区とも密植により増収した。また、玄米黒酢散布区である深Ⅲ区は、無散布区である深Ⅱ区よりも有意ではないが増収した（表2）。これまでの深層追肥の研究と同様に、単位面積当り粒数を確保したこと、登熟が良かったことが増収した主要因であった。表3の相関係数から、収量と単位面積当り粒数の間に正の相関関係が見られた（ $r=0.99^{***}$ ）。また、収量と千粒重の間にも相関関係が見られた（ $r=0.73^{*}$ ）。

単位面積当り粒数は穂数と相関関係が認められたが（ $r=0.91^{**}$ ）、1穂粒数との間には認められなかった（ $r=0.09$ ）。穂相は、単位面積当り粒数に対して、2次枝梗数、2次枝梗粒数の著しい増加は認められなかった（表4）。有効茎歩合は深層追肥区で高く、玄米黒酢散布区の深Ⅲ区は、無散布区である深Ⅱ区よりも高かった（図1）。有効茎歩合と穂数、粒数、収量との間にそれぞれ正の相関関係が見られた（表5）。

登熟歩合は、90%以上と比較的高い水準にあった（表2）。このため、深層追肥および玄米黒酢散布により増加した粒数を補うに、十分な同化産物の供給量があったと考えられた。

表1. 処理区と施肥方法

処理区	基肥	追肥	追肥方法	玄米黒酢	栽植密度 (株/m ²)
	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (g/m ²)	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (g/m ²)			
18.2 表	2.0-2.4-2.8	5.0-5.0-5.0	表層追肥	無	18.2
18.2 深Ⅰ	2.0-2.4-2.8	5.0-5.0-5.0	深層追肥	無	18.2
18.2 深Ⅱ	2.0-2.4-2.8	8.6-8.6-8.6	深層追肥	無	18.2
18.2 深Ⅲ	2.0-2.4-2.8	8.6-8.6-8.6	深層追肥	散布	18.2
27.3 表	2.0-2.4-2.8	5.0-5.0-5.0	表層追肥	無	27.3
27.3 深Ⅰ	2.0-2.4-2.8	5.0-5.0-5.0	深層追肥	無	27.3
27.3 深Ⅱ	2.0-2.4-2.8	8.6-8.6-8.6	深層追肥	無	27.3
27.3 深Ⅲ	2.0-2.4-2.8	8.6-8.6-8.6	深層追肥	散布	27.3

- ・施肥量は全て成分量で示す。
- ・基肥はそれぞれ、硫酸（N）は硫酸アンモニウム、リン酸（P₂O₅）は過リン酸石灰、カリ（K₂O）は塩化カリを全て表層施肥で施用した。
- ・深層追肥は有機入り高度液状肥料222グリーンペースト（窒素、水溶性リン酸、水溶性カリ）を三菱深層追肥機で深層追肥した。
- ・玄米黒酢は700倍に希釈したものを、噴霧器を用い、1a当り約5.8ℓ葉面散布した。
- ・栽植密度は条間30cm、株間18.3cmの18.2株/m²および条間30cm、株間12.2cmの27.3株/m²である。

表2. 収量と収量構成要素

処理区	収量 (g/m ²)	穂数 (本/m ²)	1穂粉数 (粒/穂)	粉数 (粒/m ²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g/1000粒)
18.2 表	512 c	431 c	60.4 bc	26053 e	92.6 b	21.2 d
18.2 深Ⅰ	658 b	486 c	65.6 a	31878 cd	92.6 ab	22.3 c
18.2 深Ⅱ	647 b	466 c	65.2 a	30378 d	92.2 bc	23.1 a
18.2 深Ⅲ	701 b	504 b	65.6 a	33072 c	92.5 b	22.9 ab
27.3 表	573 c	486 c	58.9 bcd	28622 e	93.9 a	21.3 d
27.3 深Ⅰ	824 a	639 a	62.3 ab	39799 a	91.2 c	22.7 b
27.3 深Ⅱ	669 b	568 b	56.5 d	32083 cd	91.0 c	22.9 ab
27.3 深Ⅲ	720 b	601 a	58.7 cd	35255 b	89.9 d	22.7 b

・同一アルファベット間には有意差 (P < 0.05) がないことを示す。

表3. 収量構成要素の相関係数

	収量 (g/m ²)	穂数 (本/m ²)	1穂粉数 (粒/穂)	粉数 (粒/m ²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g/1000粒)
収量 (g/m ²)	—					
穂数 (本/m ²)	0.86**	—				
1穂粉数 (粒/穂)	0.18	-0.33	—			
粉数 (粒/m ²)	0.99***	0.91**	0.09	—		
登熟歩合 (%)	-0.62	-0.75*	0.32	-0.64	—	
千粒重 (g/1000粒)	0.73*	0.50	0.29	0.63	-0.60	—

n = 8 0.71, 0.83, 0.93 以上でそれぞれ * 5 %, ** 1 %, ***0.1% 水準で相関がある。

表4. 穂相

処理区	1穂当りの枝梗数		1穂当りの粉数	
	1次枝梗	2次枝梗	1次枝梗	2次枝梗
18.2 表	8.3 n.s.	13.1 c	48.8 n.s.	38.1 b
18.2 深Ⅰ	8.5	14.6 ab	49.3	42.0 ab
18.2 深Ⅱ	8.6	15.0 ab	50.0	44.3 ab
18.2 深Ⅲ	8.4	15.0 ab	49.4	43.6 ab
27.3 表	8.1	12.3 c	47.6	36.4 c
27.3 深Ⅰ	8.6	13.5 bc	49.7	38.4 b
27.3 深Ⅱ	8.2	12.9 c	48.3	37.6 b
27.3 深Ⅲ	8.5	13.2 bc	49.5	37.9 b

・同一アルファベット間には有意差 (P < 0.05) がないことを示す。

・各株の最長穂を調査した。

2. 上位3葉身およびSPAD値

18.2区、27.3区ともに表区に比べて、各深区で、登熟期における上位3葉身長(図2)および上位3葉身SPAD値(図3, 4)がともに上回った。各処理区とも密植により効果が少なかった。玄米黒酢散布区である深Ⅲ区は、無散布区である深Ⅱより葉身長、SPAD値が高く、登熟後期まで維持していた。

3. 地上部乾物重および窒素蓄積量

地上部乾物重の推移を図5に示した。幼穂分化期には、18.2区の地上部乾物重は深Ⅲ区が他の処理区に比べて有意に高かった。27.3区では、全ての深層追肥区が表区に比べて有意に高かった。出穂期には、18.2区は表区が高く、27.3区は低かった。各深区では、18.2区、27.3区ともに深Ⅰ区<深Ⅱ区<深Ⅲ区の順であった。登熟中期には、18.2区、27.3区ともに深Ⅲ区は深Ⅱ区より高く、特に18.2区では有意に高かった。密植により、登熟中期の地上部乾物重は高まった。

図6に窒素含有率の推移、図7に窒素蓄積量の推移を示した。窒素蓄積量は幼穂分化期、出穂期には乾物重とはほぼ同様な傾向

が見られた。登熟中期では、18.2区、27.3区ともに深Ⅲ区は深Ⅱ区より有意に高かった。幼穂分化期の乾物重および窒素蓄積量と穂数、粉数、収量との間に正の相関関係が見られた(表6)。

4. 食味要因

食味評価値は、18.2区、27.3区ともに表層追肥区で高く、深層追肥区、特に多肥条件によりやや低くなった(表7)。18.2区、27.3区ともに玄米黒酢を散布した深Ⅲ区は無散布の深Ⅱ区とほぼ変わらなかった。図8、9に示すように、食味評価値はタンパク質との間に0.1%水準で負の相関関係が見られ(r=-0.99***)、タンパク質と登熟中期の地上部窒素蓄積量との間に1%水準で正の相関関係が見られた(r=0.87**).

考察

1. 単位面積当り粉数増加について

収量に影響を及ぼした単位面積当り粉数は、穂数との関係が強かったが、1穂粉数とは関係が認められなかった(表2, 3)。

1 穂粒数の増加は、主に2次枝梗数の増加による(松島, 1973)。一方、深層追肥の増収効果は2次枝梗数と、それへの着粒数の増加によって1穂粒数が増大して、総粒数が確保されることが報告されている(田中, 1971; 和田と工藤, 1966; 松浦ら, 1969)。しかし、穂相の値から、2次枝梗数、2次枝梗粒数に著しい増加が見られず、1穂粒数は少ない水準であった(表4)。本来、深層追肥の研究では、出穂期前約30～35日の追肥が良いといわれてきた(田中, 1979)。この理由は、深層追肥は地下部に肥料を投与するため、徐々に肥効が現れ、幼穂形成期の地上部窒素含有率を高めるために、乾物増加に効果的と判断されるためである。この2次枝梗分化期の葉身窒素含有率の高さから、1穂粒数の増加が見られ、それが単位面積当りの粒数増加に大きく貢献する(松島, 1973)。これまでの増収機構では、無効分げつ抑制より穂の大型化による1穂粒数増加が増収に重要と指摘されてきた(許と太田, 1969; 松浦ら, 1969; 奥村ら, 1982)。しかし、本試験で増収に対する1穂粒数の貢献は少なく(表2)、天兒(2005)の2年間の試験でも同様の傾向であった。さらに、増収に影響を及ぼした穂数、単

位面積当り粒数は有効茎歩合と正の相関が見られ(表5)、幼穂分化期の乾物重および窒素蓄積量と穂数、単位面積当り粒数、収量との間に正の相関関係があった(表6)。これらの結果から、穂数型品種であるトドロキワセは、無効分げつの抑制が重要であると推測され、1穂粒数の増加はあまり望めず、単位面積当り粒数を増やすためには穂数を確保することが重要であると考えられた。

神保ら(1987)は、穂数型品種のササニシキで、45,000～50,000粒/m²に玄米収量のピークが存在し、一方、偏穂重型品種キヨニシキ、アキヒカリでは、50,000～55,000粒/m²、山形22号では55,000～60,000粒/m²にそれぞれ玄米収量のピークがあることを報告している。このように、穂が大型化する程、玄米収量ピークの粒数が多くなり、その収量性も高まる傾向が見られる。さらに、Donald(1968)は、このような穂重型品種を密植にすることで多収を得ることができると考えている。トドロキワセの増収を考える上で、穂数と1穂粒数の関係を明確にするために、穂数型品種トドロキワセと穂の大きな穂重型品種との比較検討が必要である。

2. 千粒重および登熟について

千粒重は18.2区、27.3区ともに表区に対し、全ての深層追肥区で増加した(表2)。一般的な栽培条件下では他の収量構成要素である、穂数、1穂粒数、登熟歩合に比べて千粒重の変動は小さい(松島, 1957)。しかし、深層追肥栽培では、千粒重の増加が報告されている(松浦ら, 1969; 和田と工藤, 1966; 長沢ら, 1985)。徐と太田(1982b)は、籾殻の大きさがほぼ等しい1次枝梗上の籾においても、登熟良好な籾ほど籾殻および玄米1粒重がともに重いと報告している。松浦ら(1969)は、深層追肥栽培による千粒重の増加が籾殻の増大によることを報告している。また、籾殻のサイズは開花期までに決定されるが、籾殻重は、籾の登熟程度によって異なる(松島, 1957; 徐と太田, 1982a)。

そこで登熟について検討すると、深層追肥や玄米黒酢散布により、単位面積当り粒数が増加したにも関わらず、登熟歩合が90%前後と比較的高い水準だった(表2)。18.2区、27.3区ともに各表区に比べて全ての深層追肥区で、上位3葉身長とSPAD値は上回り、これまでの報告と一致した(相馬と小野, 1963; 許と太田, 1969; 王ら, 1991; 池田ら, 1991)。さらに、深層追肥と玄米黒酢散布併用によって、上位3葉身長およびSPAD値はさらに高く維持した(図2, 3, 4)。すなわち、各表区に比べ、各深区は深層追肥によって粒数が著しく増大し、同化産物供給が活発化され、高い登熟歩合、千粒重の増加を招いたと考えられた。

この登熟歩合の維持、千粒重の増加は根の活力の向上が関係していると推測される。根と下位葉は密接に関係しており、根から吸収される窒素が少ない場合、主に下位葉の葉身や葉鞘の窒素が根に転流し低くなり、その結果、下位葉は窒素不足となり枯れ上がりが生じる(大崎, 1997)。また、同化産物が下位葉で同化した場合は主に根に、上位葉で同化した場合は主に穂

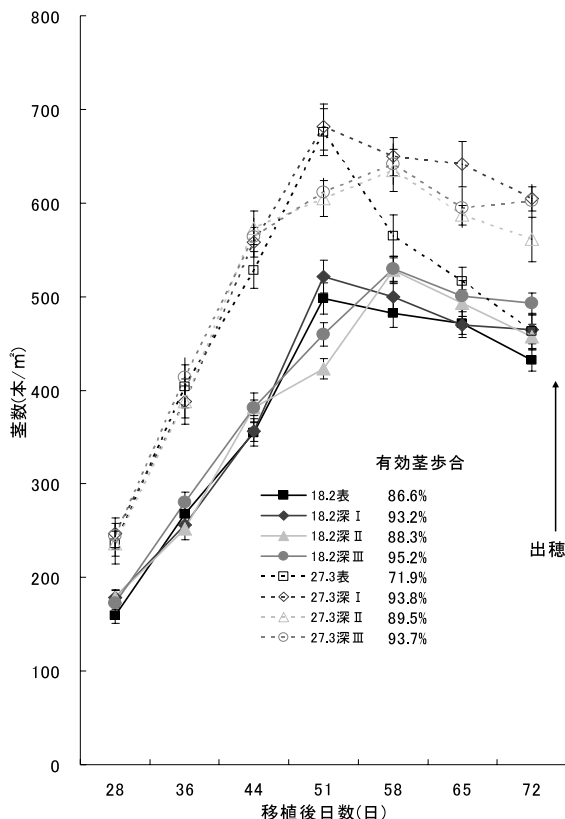


図1. 茎数の推移
縦棒は標準誤差を示す。

表5. 収量構成要素と有効茎歩合の相関係数

		穂数 (本/m ²)	1穂粒数 (粒/穂)	粒数 (粒/m ²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g/1000粒)	収量 (g/m ²)
有効茎歩合	18.2区	0.97*	0.50	0.92	0.20	0.55	0.86
	27.3区	0.95*	0.08	0.84	-0.94	0.95*	0.87

n = 4 0.95以上で* 5%水準で相関がある。

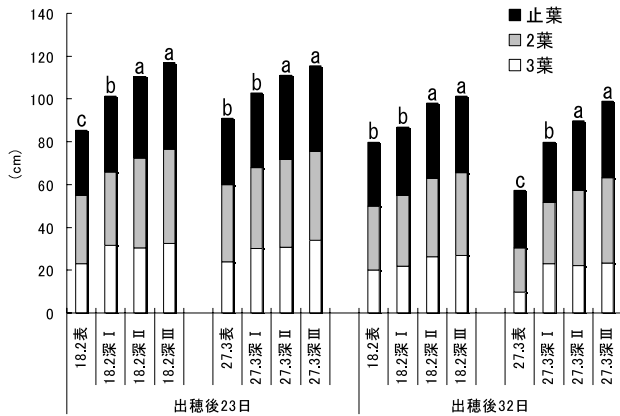


図2. 上位3葉身長の推移
同一のアルファベットは有意差 ($P<0.05$) がないことを示す。
グラフ内のアルファベットは上位3葉平均値の有意差を示す。

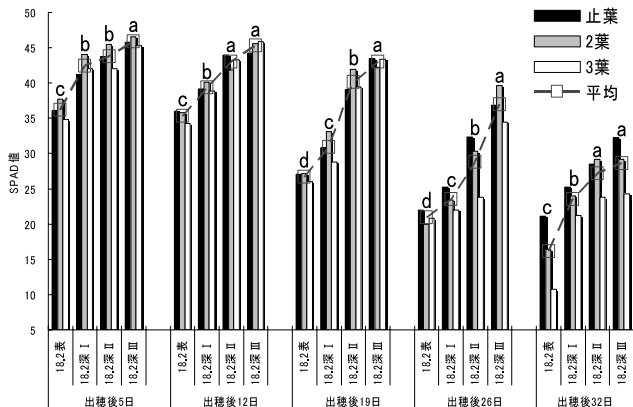


図3. 18.2区の上位3葉身SPAD値の推移
同一のアルファベットは有意差 ($P<0.05$) がないことを示す。
グラフ内のアルファベットは上位3葉平均値の有意差を示す。

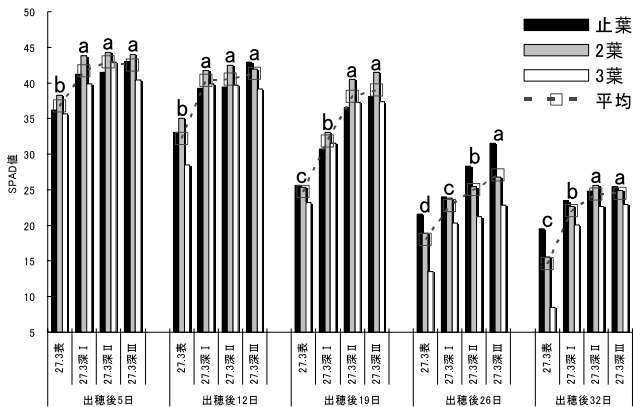


図4. 27.3区の上位3葉身SPAD値の推移
同一のアルファベットは有意差 ($P<0.05$) がないことを示す。
グラフ内のアルファベットは上位3葉平均値の有意差を示す。

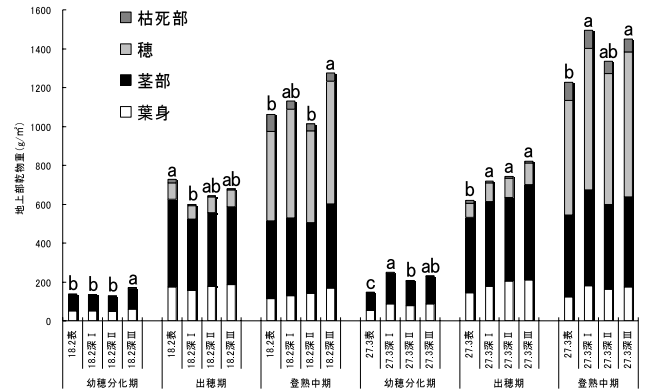


図5. 乾物重の推移
同一のアルファベットは有意差 ($P<0.05$) がないことを示す。
グラフ内のアルファベットは地上乾物重の有意差を示す。

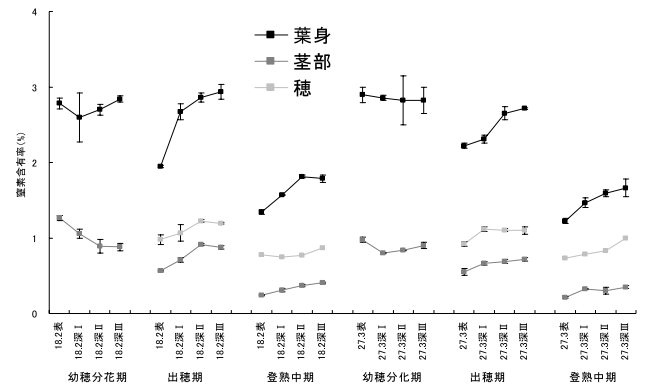


図6. 窒素含有率の推移
縦棒は標準誤差を示す。

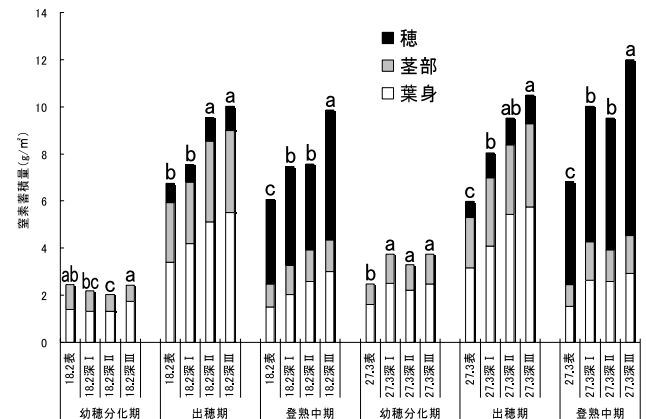


図7. 窒素蓄積量の推移
同一のアルファベットは有意差 ($P<0.05$) がないことを示す。
グラフ内のアルファベットは地上部窒素蓄積量の有意差を示す。

表6. 収量構成要素と成長量および窒素蓄積量の相関係数

		穂数	1 穂粉数	粉数	登熟歩合	千粒重	収量
CGR	幼穂分化期 - 出穂期	-0.03	-0.46	-0.25	-0.50	-0.08	-0.29
	出穂期 - 登熟中期	0.86**	-0.21	0.82*	-0.35	0.28	0.78*
地上部乾物重	幼穂分化期	0.97***	-0.46	0.84**	-0.79*	0.42	0.78*
	出穂期	0.58	-0.61	0.35	-0.84**	0.22	0.29
	登熟中期	0.95***	-0.47	0.82**	-0.64	0.32	0.76*
地上部窒素蓄積量	幼穂分化期	0.92**	-0.61	0.73*	-0.74*	0.23	0.64
	出穂期	0.40	0.13	0.44	-0.72*	0.89**	0.53
	登熟中期	0.82*	-0.18	0.79*	-0.80*	0.68	0.79*

n = 8 0.71, 0.83, 0.93 以上でそれぞれ * 5 %, ** 1 %, *** 0.1% 水準で相関がある。

表7. 食味要因

処理区	食味評価値	タンパク質 (%)	水分 (%)	アミロース (%)	脂肪酸 (mg)
18.2 表	79	5.5	10.1	18.5	17.0
18.2 深 I	77	5.8	10.1	18.6	17.8
18.2 深 II	75	6.2	10.1	18.6	17.7
18.2 深 III	74	6.4	10.2	18.6	17.6
27.3 表	79	5.5	10.1	18.6	16.6
27.3 深 I	75	6.2	10.1	18.5	16.3
27.3 深 II	74	6.3	10.4	18.4	16.2
27.3 深 III	74	6.4	10.2	18.4	16.3

・収量調査した平均収量に近い 100 g を, Keet・AN-800 により調査した。

に分配され、葉位間で分業が存在することが示されている (田中, 1958)。李と太田 (1973) は、 α -ナフチルアミン酸化力によって評価した登熟期の根の活力と葉色との関係を検討し、根の活力が高く維持されるほど葉緑素の減退が少ないと述べている。本試験では、登熟歩合は 90% 前後と高い水準にあったため、粉数を補う同化産物供給であったと考えられる。さらに千粒重が増加したことから、収量と成熟期の SPAD 値との関係を検討すると、有意ではないが正の相関関係が見られ (図 10)、下位葉ほど高かった (止葉 $r=0.41$, 2 葉 $r=0.55$, 3 葉 $r=0.67$)。このことは、登熟期における下位葉の葉色の低下が急なほど、根の活力や光合成能力低下が大きく、このために同化産物の生産が抑制され、登熟が低下することが示唆される。そこで、出穂期から成熟期にかけて SPAD 値の減少率と収量との関係を見ると (図 11)、上位第 3 葉と収量との間に 5% 水準で有意な高い負の相関関係が見られた ($r=-0.75^*$)。

以上の結果から、深層追肥と玄米黒酢散布併用により、増加した単位面積当たり粉数に伴う登熟の向上が示唆された。この登熟の向上は、根の生理機能が強く維持されたことにより、特に下位葉の維持によると推測された。

3. 食味について

食味については、深層追肥により低下したが、玄米黒酢散布を併用してもそれほどの低下は見られなかった (表 4)。図 8、9 に示すように、食味評価値とタンパク質との間に 0.1% 水準で負の相関関係が見られ ($r=-0.99^{***}$)、タンパク質と登熟中期の地上部窒素蓄積量との間に 1% 水準で正の相関関係が見られた ($r=0.87^{**}$)。これらのことから、窒素施肥量および吸収量が食味評価値に影響を与えたと考えられた。深層追肥および玄米

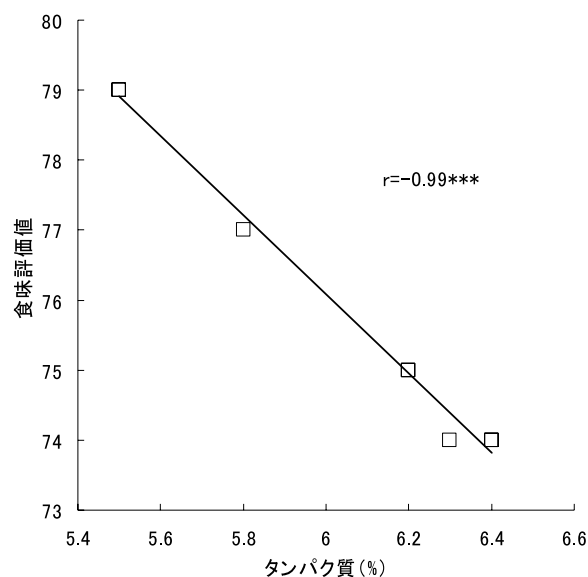


図8. 食味評価値とタンパク質の関係

*** は 0.1% 水準で有意差があることを示す。

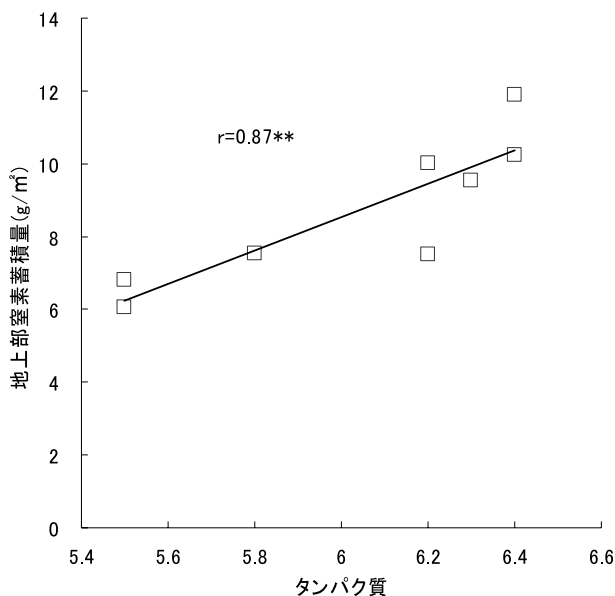


図9. 食味評価値と地上部窒素蓄積量の関係

*** は 1% 水準で有意差があることを示す。

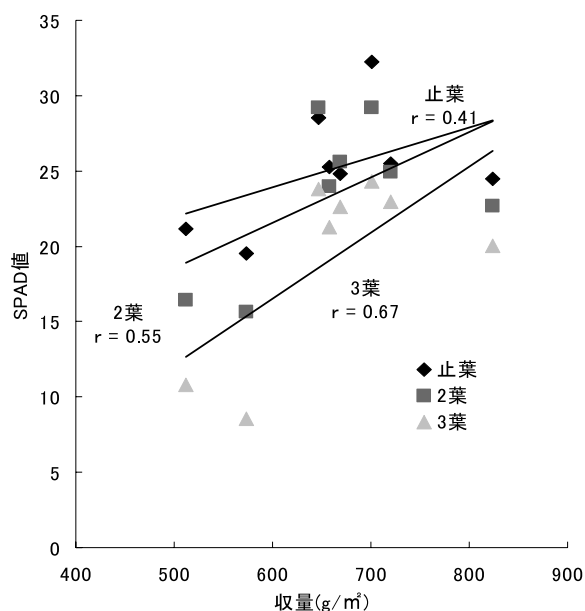


図10. 収量と成熟期の SPAD 値の関係

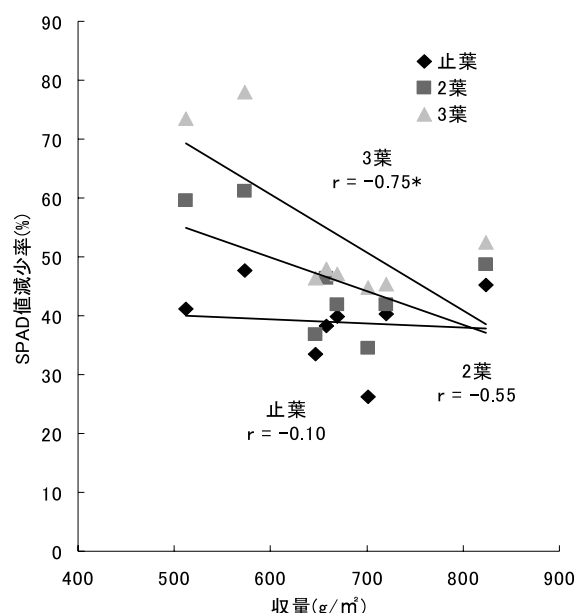


図11. 収量と出穂期から成熟期の SPAD 値減少率の関係

*は5%水準で有意差があることを示す。

黒酢散布により窒素吸収を高め、籾数を増加させて増収した。玄米黒酢散布した深Ⅲ区と無散布の深Ⅱ区では、増収傾向を見せたが、食味評価値はほぼ同じ水準だった。一般に、籾数増加により、品質および食味は低下する。これは、増加した籾を登熟させるための同化産物が不足し、不稔になるためである。しかし、籾数増加に対する食味低下は少なかったことから、登熟後期まで葉色の維持が品質、食味に良い効果を与えていたと考えられた(図2, 3)。これらの結果から、深層追肥の稲に玄米黒酢散布を行うことで、同化産物供給を増加させ、食味をあま

り落とさず、増収することが示唆された。

4. 更なる増収のために

18.2区、27.3区ともに深Ⅰ区が、多肥深層追肥区の深Ⅱ区より穂数を確保し増収した(表2)。両区の最高茎数は同じ水準であり、有効茎歩合から、本試験の深層追肥区の茎数の推移は、特に深Ⅰ区において理想的であった。この原因は、適正施肥量の点であると推測される。田中(1979)は深層追肥栽培では少量基肥、多量追肥ではないと増収は出来ないと報告し、八柳ら(1963)は基肥重点の施肥法では過繁茂になり易く、期待した収量が得られない場合が多いと指摘している。その量は、基肥を1/3、追肥を2/3程度の割合とし、池田と笹井(1986)の報告からもこれが示されている。一方、適量を越えて窒素を増加させると水稻が吸収した玄米生産効率が低下し、窒素過剰になり収量は低下するとの指摘もある(折谷, 2006)。深Ⅱ区は、多肥条件にも関わらず地上部乾物重、地上部窒素蓄積量が劣り、窒素効果が持続せず一時的な効果に終わっており、施肥量の点で穂数確保に対して好ましくなかったことが考えられた(図6, 8)。

また、多肥条件により登熟期まで高い SPAD 値を維持したにも関わらず、登熟歩合は90%前後と高く(表2, 図2, 3)、深Ⅱ区は籾数が収量の制限要因であったと考えられる。そして、1穂籾数の増加が少なかったこと、幼穂分化期の乾物重および窒素蓄積量との間に穂数、籾数、収量と正の相関関係が見られたことから(表8)、更なる増収のためには、穂数が決定する幼穂分化期の窒素蓄積量を増やし、多くの地上部乾物重を確保する必要があると考えられた。

一方、深層追肥と玄米黒酢散布を併用する場合、密植は穂数を確保するために有効であり、これにより、密植の27.3深Ⅰ区が最高収量を得たと考えられた。

引用文献

- 天兒英二. 2005. 肥効調節型肥料を用いた深層施肥がトドロキワセの収量に及ぼす影響. 新潟大学大学院自然科学研究科修士論文.
- 池田 武・笹井弘行 1986. 深層追肥がコシヒカリの生育と収量構成要素に及ぼす影響. 1. 移植稲に対して、基肥量と深層追肥量の割合を異にした場合について. 北陸作物学会報, 21: 5-8.
- 池田 武・村山英司・安田吉則. 1991. 深層追肥がコシヒカリの生育と収量構成要素に及ぼす影響. 5. 施肥位置と施肥時期を変えた場合. 北陸作物学会報, 26: 1-5.
- 池田 武. 2002. 玄米黒酢がコシヒカリの分げつと収量におよぼす影響. 北陸作物学会報, 37: 26-28.
- 池田 武・吉田陽介・養田武朗. 2004. 酢酸とアミノ酸で食味・収量アップ. PP-1-161. 玄米黒酢農法. 農文協, 東京.
- 石原 邦・黒田栄喜. 1986. 水稻葉身の光合成速度に対する空気湿度の影響. 日作紀, 55: 458-464.
- 王 維金・片山勝之・武田友四朗. 1991. 西南暖地における水稻品種の物質生産からみた深層追肥適用に関する研究. 日作紀, 60: 57-64.
- 大崎 満. 1997. 1996年度日本作物学会シンポジウム[1]. 1. 収量ポテンシャルを探る. 栄養生理から見た作物の多収性. 農業および園芸, 72: 438-444.
- 奥村俊勝・竹内史郎・長谷川治. 1982. 水稻に対する窒素の深

- 層追肥効果に関する研究. 第2報 追肥位置と地上部の生育・収量との関係. *日作紀*, **51**: 58-64.
- 折谷隆志. 2006. 水稻の安定多収要因解析による北陸地域の活性化. *北陸作物学会報*, **41**: 9-15.
- 楠谷彰人・白石浩司・谷口政征・三橋 健・市原稔久・上田一好・浅沼興一郎. 1993. 水稻における葉色と収量関連特性との関係. *日作四国支報*, **30**: 62-63.
- 白川憲夫・市川 正・富岡博美・岩根吉孝. 1979. 木酢液に関する研究. 第1報 木酢液のイネの初期生育促進効果, 並びにその検定方法. *日作紀*, **48** (別1): 205-206.
- 徐 錫元・太田保夫. 1982a. 水稻の登熟に及ぼす籾殻の役割. 第1報 登熟における籾殻の無機成分の動態. *日作紀*, **51**: 91-104.
- 徐 錫元・太田保夫. 1982b. 水稻の登熟に及ぼす籾殻の役割. 第4報 登熟程度の異なる籾と米粒の形質の相関性について. *日作紀*, **51**: 354-359.
- 裘 伯欽・山口誠之・梅本貴之・小綿寿志・東 正昭. 1992. 寒冷地におけるイネの多収性の要因解析 2. 光合成速度とその関連特性. *日作東北支報*, **35**: 33-34.
- 神保恵士郎・山崎栄蔵・三浦 浩. 1987. 反当たり玄米収量1 tの稲の生育相とその栽培法. *山形農試研報*, **22**: 55-64.
- 相馬幸福・小野徳治. 1963. 深層追肥の効果とその問題点. *東北農業研究*, **5**: 72-74.
- 田中 明. 1958. 葉位別に見た水稻葉の生理機能の特性及びその意義に関する研究 (第11報 [完]): 各葉位葉の同化産物及び同化産物の移動. *日本土壤肥料学雑誌*, **29**: 327-333.
- 田中 稔. 1971. 稲作の深層追肥に関する研究. *青森県農業試験場総合業績第三号*, 331-389.
- 田中 稔. 1976. 深層追肥稲作の基本—その秘訣と考え方—. *農業および園芸*, **51**: 515-520.
- 田中 稔. 1979. *これからの稲作技術 深層追肥の基本*. PP.1-158. 家の光協会. 東京.
- 許 輝・太田保夫. 1969. 深層施肥と間断灌漑が水稻の収量ならびに生理生態的特性に及ぼす影響. *日作紀*, **38**: 501-506.
- 続 栄次・脇山恭行・江藤博六・半田 弘. 1989. 木酢液ならびに木酢液と木炭の混合物がイネの生長および収量に及ぼす影響. *日作紀*, **58**: 592-597.
- Donald, C. M. 1968. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica*, **17**: 385-403.
- 中沢文男・角田公正・鳥倉弘文. 1990. 水稻多収性品種の光合成特性について. 第1報 個葉の光合成速度. *日作紀*, **59**: 72-79.
- 長沢 裕・田村隆夫・伊平市夫・寺尾保治・坂井政好. 1985. 新潟県南蒲原地域の水稻コシヒカリに対する深層追肥の効果. *北陸作物学会報*, **20**: 33-34.
- 八柳三郎・松島 正・佐々木力. 1963. 深層 (固形肥料) 追肥が水稻の生育収量に及ぼす影響について. *東北農業研究*, **5**: 70-71.
- 本田真里・池田 武. 1999. 玄米黒酢が水稻の生育と収量に及ぼす影響. *日作紀*, **68** (別2): 286-287.
- 松浦欣哉・岩田忠寿・長谷川毅. 1969. 水稻の深層追肥の効果に関する研究. 第1報 増収機構について. *日作紀*, **38**: 215-221.
- 松島省三. 1957. 水稻収量の成立と予察に関する作物学的研究. *農技研報*, **A5**: 1-271.
- 松島省三. 1973. *稲作の改善と技術*. PP. 10-68. 養賢堂, 東京.
- 森田茂紀・阿部 淳. 1999a. 農家水田で栽培した水稻の出穂後の出液速度. *日作紀*, **68** (別2): 168-169.
- 森田茂紀・阿部 淳. 1999b. 農家水田で栽培した水稻の出穂後の出液速度と穂重. *日作関東支部会報*, **14**: 70-71.
- 森田茂紀. 2000. *根の発育学*. PP. 1-189. 東京大学出版会, 東京.
- 養田武郎・池田 武・船津正人. 1998. 玄米黒酢と木酢がコシヒカリの生育と収量に及ぼす影響. *日作紀*, **67** (別2): 156-157.
- 李 鐘薫・太田保夫. 1973. 水稻根の形質および機能と地上部形質との関連について. *農技研報*, **D24**: 61-105.
- 和田 定・工藤哲夫. 1966. 深層追肥による水稻品種に関する研究 I. 収量と収量構成要素について. *日作紀*, **34**: 425-430.

High Yielding Culture by Using Deep Application of Fertilizer with Adding Brown Vinegar to Early Rice Cultivar *TODOROKIWASE*

Keita WAKUI¹ and Takeshi IKEDA^{2*}

(Received December 19, 2007)

Summary

The purpose of this experiment is to increase the yield of TODOROKIWASE, ear number type. The experiments are conducted to double the amount of additional fertilizer application to deeper-layer, and moreover to spray brown vinegar. The results are summarized as follows :

- (1) The higher yield was produced in all additional fertilizer application to deeper-layer, comparing with the outer layer additional fertilizer. There are equilateral correlations between a yield and the number of spikelet per m² ($r=0.99^{***}$), and between yield and 1000-grain weight($r=0.73^*$). In addition, equilateral correlation was shown between the number of spikelet per m² and the panicle number($r=0.91^{**}$). According to increase of 1000-grain weight by spraying with brown vinegar and the high percentage of ripened grains, it was suggested to be able to supply the much assimilation to the number of spikelet.
- (2) It was suggested that nitrogen supply to stockpiles was not kept on later ear replying period in the doubled additional fertilizer application to deeper-layer. It was caused by amount of unreasonable fertilizer application of the additional fertilizer application to deeper-layer.
- (3) Combining with additional fertilizer application to deeper-layer and brown vinegar, percentage of productive culms rose and then yield increased. It was shown that top dry weight increased, and then length of three upper leaf blades and SPAD value were maintained highly until maturing stage.

It was concluded that increase of panicle number caused by many spikelet per m² contributed to increase yield of *TODOROKIWASE*, ear number type. It was further clear that higher yield was produced by using combination the brown vinegar and additional fertilizer application to deeper-layer.

Bull.Facul.Agric.Niigata Univ., 60(2):105-113, 2008

Key words : additional fertilizer application to deeper-layer, brown vinegar, high-yielding culture, SPAD, three upper leaf blade

¹Graduate School of Science and Technology, Niigata University

²Faculty of Agriculture, Niigata University

*Corresponding author: tanuki@agr.niigata-u.ac.jp