

低位生産性水田における深耕の効果

角田 憲一*・安藤 豊*・佐藤 隆*・志賀 勳*¹⁾

*山形大学農学部農業生産学講座
(平成6年9月1日受理)

Effect of Deep Tillage on Yield and Grain Quality of Rice Grown
in a Low Fertile Rice Field.

Ken-ichi KAKUDA*, Ho ANDO*, Takashi SATO*, Isao SHIGA*¹⁾

*Section of Agricultural Production, Faculty of Agriculture,
Yamagata University, Tsuruoka 997, Japan
(Received September 1, 1994)

Summary

Early reports revealed higher yield of rice with deep tillage practice under a high fertile soil. However, there is little information about yield and grain quality of rice plant as affected by deep tillage in a low fertile soil. A field experiment was conducted to determine the effect of different tillage practices on yield and grain quality of rice in low fertile soil with four treatments: (1) conventional tillage and usual plant density (CU); (2) deep tillage and low plant density (DL); (3) deep tillage and usual plant density (DU); (4) deep tillage and high plant density (DH).

The results obtained are as follows:

- 1) Higher number of panicles per square meter was obtained in deep tillage in combination with high plant density treatment (DH).
- 2) The plant grown in deep tillage with high plant density had higher N absorbed than other tillage practices during early stage of crop growth.
- 3) Regardless of tillage practices, high plant density produced heavier dry weight of plant roots at maximum tiller number stage.
- 4) Among treatments, highest percentage of filled spikelets was observed in DH treatment.
- 5) Grain yield was less in deep tillage than in conventional tillage. However, grain yield of DH was greater than that of other deep tillage treatments.
- 6) Grain quality was affected by depth of plowing and plant density. High grain quality was obtained in deep tillage with plant density.

Key words : deep tillage, grain yield, grain quality

1. 緒 言

米生産者の収益性を決定する重要な要因の1つは収量

1) 現在：福島県立東白川農商高等学校 (Higashishirakawa Noshō High School, Tanagura-machi 979-61, Fukushima Prefecture, Japan)

キーワード：深耕，収量，玄米品質

である。そのため、これまで多収を目的とした様々な栽培方法が検討され、そのうち深耕も増収の有効な方法として注目されてきた¹⁾。深耕の効果は作土層増大による根圏の拡大や、土壌より無機化される窒素を水稻が有効に利用できることである²⁾。そのため深耕を行うことにより水稻の中後期生育を良好に保ち、登熟を有利に経過させることが知られている³⁾。

ところで深耕では増収の例ばかりでなく、減収する例

も多くみられる^{1,3)}。収量に対する深耕の効果が一樣ではない要因として下層土の窒素肥沃性が考えられる。風乾下層土の4週間培養によるアンモニア態窒素生成量が10mg/100g 乾土以下では、深耕栽培時の茎数が普通耕栽培時に比べ少なくなることが報告されている³⁾。

一方、1980年代より農業による環境汚染の問題が取り上げられるようになった。日本では窒素肥料の過剰投入により施用窒素が水田及び畑地系外へ流出し、地下水、河川及び湖沼などの富栄養化をもたらし、農業が水系汚染の原因とされた⁴⁾。これら窒素肥料による環境汚染の解決策は、1)適正な施肥法、2)適正な施肥量、3)植物による施用窒素の効率的吸収、4)地力窒素への依存度を高めることが考えられる。これまでの農業技術は作物の生育にとって有利な方法、生産者にとって収益性の高い方法を中心に進歩してきたが、今後は環境保全の立場から系外へ肥料成分が流出しない栽培方法の確立が必要となる。前述の深耕を環境保全の立場からみると、窒素肥料の系外への流出を最小限に抑えることのできる栽培技術の1つと考えられる。その理由として、深耕では根系拡大による施用窒素の効率的吸収が期待できること、施肥量を抑え地力窒素に依存した栽培が可能ながあげられる。

しかし、環境保全を考慮した栽培方法として深耕が普及するためには、収益性が現在の水準より低下しないことが重要である。すなわち、生産者の粗収入に大きく関わる収量及び玄米の品質が重要となる。このうち玄米の品質は物理的性状と化学的性状に分けられる。生産者の側からみると玄米の物理的性状が重要であり、外観品質は等級決定時の判断材料とされ収益性に直接関わる基準となっている。

日本の半数以上を占める低位生産性土壌において⁵⁾深耕した場合では減収することが予想されることより、玄米の外観品質は収益性にとって重要な意味を持つものと考えられる。一方、収量性の改善については、環境保全の立場から低窒素肥沃土壌においても施肥窒素を多量に投入することは避けるべきである。すなわち収量性改善は増肥以外の栽培方法によって行う必要がある。そこで本報告では栽植密度を取り上げ、低位生産性土壌の深耕栽培において栽植密度が収量に及ぼす影響について、及び玄米の品質に及ぼす影響について検討するものとする。

2. 材料と方法

1) 供試水田

供試圃場は山形大学農学部附属高坂農場の水田である。土壌は粗粒質灰褐色系灰色低地土である。

2) 試験区及び栽培方法

本試験は1993年に行った。本田では灌水前及び代かき時に慣行は深度15cm、深耕は深度30cmで耕起及び代かきした。施肥は基肥のみとし、N、P₂O₅、K₂Oを100kg/ha⁻¹、160kg/ha⁻¹、200kg/ha⁻¹それぞれ全層に施用した。供試品種はササニシキとし、5月20日に本田へ移植した。栽植密度は慣行で16cm×30cm(20.8株/m²)の1段階(以下慣行区)、深耕では密植区、普通植区及び疎植区の3段階を設け、それぞれ16cm×15cm(41.7株/m²、以下深耕密植区)、16cm×30cm(20.8株/m²、以下深耕普通植区)、32cm×30cm(10.2株/m²、以下深耕疎植区)とした。試験区の設定は3反復とした。栽培管理は山形大学農学部附属農場慣行とした。

3) 試料の採取及び分析方法

植物体の採取は移植後11日より7日ごとに、移植後50日からは10日ごとに行なった。水稻の全窒素の測定は乾物重測定後にセミマイクロケルダール法により行なった。試験圃場の下層土無機化窒素量の測定は30℃、4週間培養により測定した。

4) 玄米の品質調査

玄米の外観的品質評価は玄米品質調査装置を用い被害粒、死米粒、着色粒、未熟粒及び良質粒について測定した。粒厚は、玄米を2.2mmから0.1mmごと7段階に設定した段ふるいに供して調査した。

5) 根量の調査

直径30cmの円柱コアサンプラーを用い、深さ30cmまでを抜き取り7.5cmごとに根量を求めた。根は各層ごと土壌とともに飽和食塩水中で煮沸し、土壌と分離した後80℃で熱風乾燥し乾物重を求めた。

3. 結果

(1) 下層土の無機化窒素量と茎数化

表1に本試験圃場における耕起前下層生土と下層風乾土の無機化窒素量及び茎数比について示した。本田の下層風乾土の4週間湛水培養による無機化窒素量は100g乾土当たり10mg以下であった。一方茎数比は100以下であり、慣行に比べ深耕による茎数の減少が認められた。

表1 下層土の無機化窒素量と茎数比

下層土の無機化窒素量 ^a (mgN/100g)		茎数比 ^b
生土	風乾土	
2.34	9.67	88.0

a: 30℃, 4週間静置培養して測定

b: 最高分けつ期における深耕普通植区の茎数を慣行区の茎数で除してパーセントで表示した

(2) 栽植密度が深耕の収量性に及ぼす影響

1) 精玄米収量

図1に各区の精玄米収量について示した。1993年は低温寡照年であったが、収量はいずれの区も10a当たり500-600kg程度であり平年作であった。各区の収量は慣行区が最も高く、深耕密植区、深耕普通区、深耕疎植区の順で低くなっていた。深耕の各区を比較すると密植条件ほど収量が増大した。慣行区に対し深耕密植区、深耕普通区、深耕疎植区はそれぞれ3%、10%、19%減収した。

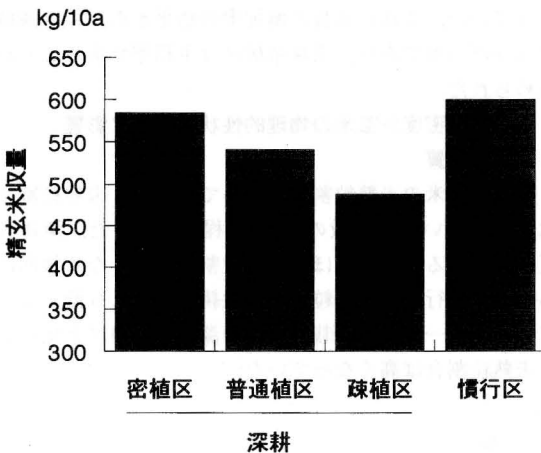


図1 深耕及び慣行各区の精玄米収量

2) 収量構成要素

表2に各区の収量構成要素を示した。総粒数についてみると深耕密植区、深耕普通植区及び深耕疎植区はそれぞれ慣行区の68%、69%、89%であった。深耕の各区を比較すると、深耕密植区及び深耕普通植区はほぼ同数であり、深耕疎植区は他の区より約8000-9000程度高い総粒数を示した。登熟歩合は深耕密植区及び深耕普通植区が慣行区より高くなっており、深耕疎植区は慣行区と同程度であった。深耕の各区を比較すると、密植条件ほど

高い登熟歩合を示した。穂数についてみると慣行区は深耕各区より高く、深耕密植区、深耕普通植区及び深耕疎植区の穂数はそれぞれ慣行区の93%、76%、72%であった。深耕各区を比較すると、密植条件ほど穂数の増加傾向が認められた。

表2 各処理区の収量構成要素

処理区	穂数 /m ²	粒数 /穂	総粒数 /m ²	登熟歩合 %	千粒重 g
深耕密植区	560.0	50.6	28300	86.0	20
深耕普通植区	460.7	63.0	29000	79.9	21
深耕疎植区	434.9	85.1	37000	66.3	20
慣行区	601.4	69.5	41800	67.8	20

3) 茎数の推移

図2に移植後の茎数の推移について示した。深耕各区の茎数において、深耕密植区が常に他の区より高く推移し、次に深耕普通植区、深耕疎植区の順で低くなっていた。慣行区の茎数は最高分けつ期まで深耕密植区より低く推移したが、最高分けつ期以降深耕密植区とはほぼ同様の推移を示した。深耕普通植区は同一栽植密度の慣行区より茎数が低く推移していることより、本田の深耕は分けつ数を抑えることが認められた。

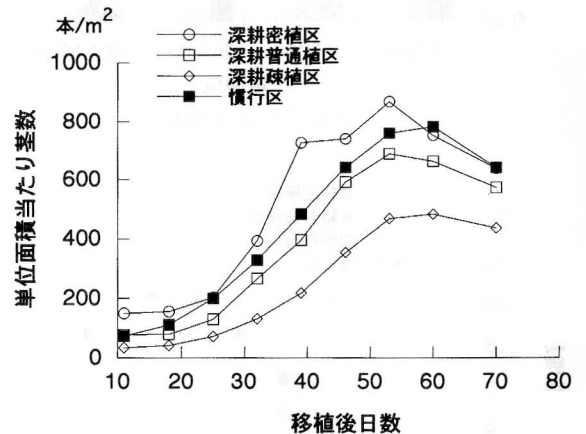


図2 移植後の茎数の推移

4) 水稻の窒素吸収過程

図3に水稻の窒素吸収過程について示した。各区とも移植後50日付近まで指数関数的に増加し、それ以降は直線的に増加する窒素吸収過程を示した。慣行区は深耕各区よりも常に高い窒素吸収を示した。深耕の各区を比較

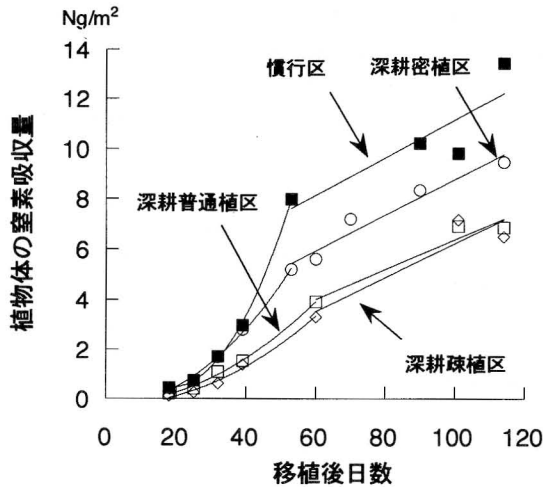


図3 水稻の窒素吸収過程

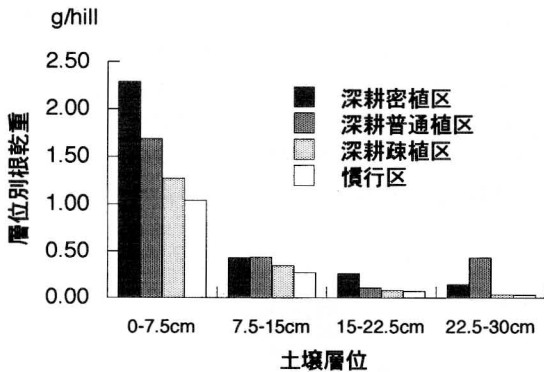
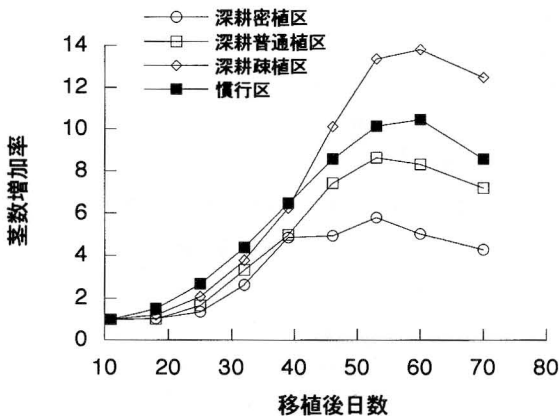


図4 最高分げつ期の根量



茎数増加率 = (各時期の茎数) / (移植直後の茎数)

図5 茎数の増加率

すると、水稻による生育初期（移植後50-60日まで）の窒素吸収量は密植条件ほど高くなっていった。しかし生育後期（移植後50-60日以降）の窒素吸収量は栽植密度に影響されなかった。最終的な水稻の窒素吸収量は生育初期の窒素吸収量に支配されており、密植条件ほど高くなっていった。

5) 最高分げつ期の根量

図4に最高分げつ期の根量について示した。慣行区の根量は、全ての土壌層において深耕のいずれの区よりも少なくなっていた。深耕の各区を比較すると、0-7.5cm層、7.5-15cm層および15-22.5cm層の根量は密植条件で多くなる傾向が認められた。特に根量に及ぼす栽植密度の影響は0-7.5cm層において顕著であった。

6) 茎数の増加率

図5に茎数の増加率について示した。茎数の増加率は移植後より40日までは各区ともほぼ同様に推移していたが、それ以降深耕疎植区が最も高く、次いで慣行区、深耕普通植区、深耕密植区の順で低くなっていった。深耕の各区を比較すると、疎植条件ほど茎数の増加率は高くなっていった。これら茎数の増加率の結果から、深耕疎植区は分げつ型であり、深耕密植区は主稈型であることが認められた。

(3) 栽植密度が玄米の物理的性状に及ぼす影響

1) 外観品質

図6に玄米の未熟粒割合について示した。未熟粒割合は各区において全粒数の10-30%程度であった。深耕各区を比較すると、密植ほど未熟粒割合が低くなる傾向にあった。慣行区の未熟粒割合は深耕疎植区より低くなっていたが、一方、同一栽植密度の深耕普通植区と比べると未熟粒割合は高くなっていった。

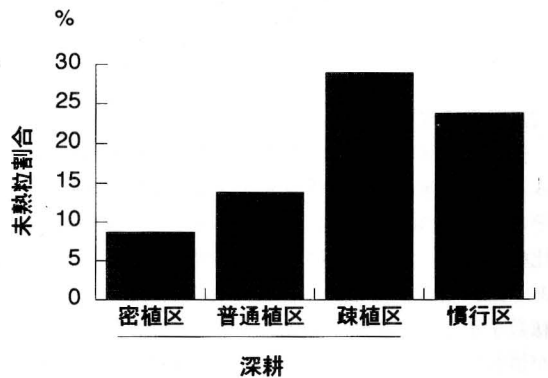


図6 玄米の未熟粒割合

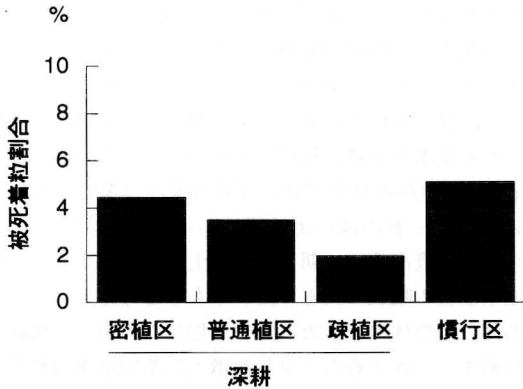


図7 玄米の被害粒・死米粒・着色粒の割合

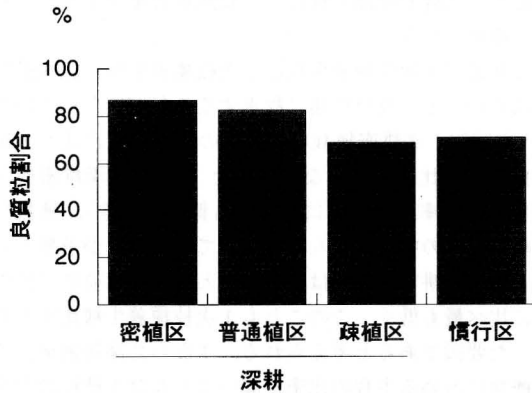


図8 玄米の良質粒割合

図7に被害粒・死米粒・着色粒の割合（以下、被死着粒割合）について示した。被死着粒割合は各区とも全粒数の6%以内であった。深耕各区を比較すると、疎植ほど被死着粒割合が低くなる傾向にあった。慣行区の被死着粒割合は深耕のいずれの区よりも高くなっていた。

図8に良質粒割合について示した。良質粒割合は各区とも全粒数の70~85%程度であった。深耕各区を比較すると、密植条件ほど良質粒割合が高くなる傾向にあった。慣行区の良質粒割合は深耕疎植区と同程度であり、一方深耕密植区及び深耕普通植区より低い割合であった。

2) 粒厚分布

図9に粒厚分布について示した。深耕各区を比較すると、粒厚の比較的厚い部分を示す2mm以上画分は密植条件ほど高くなる傾向にあった。また慣行区との比較では、深耕疎植区のみ2mm以上画分が低い割合を示し、深耕密植区及び深耕普通植区では慣行区より厚い粒厚を

持つ玄米比率が高くなっていた。

3) 1次及び2次枝梗着生粒割合

図10に1次及び2次枝梗着生粒割合について示した。深耕各区を比較すると、1次枝梗着生粒割合は密植条件ほど高くなっていた。また慣行区は同一栽植密度の深耕普通植区とほぼ同様の1次枝梗着生粒割合であった。

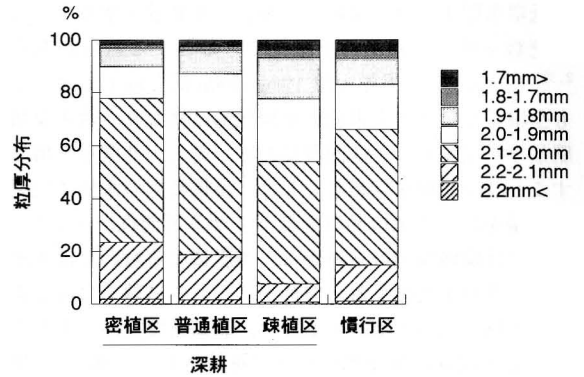


図9 玄米の粒厚分布

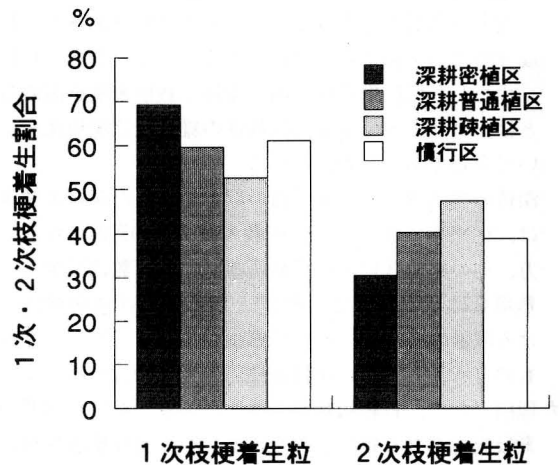


図10 1次及び2次枝梗着生粒割合

4. 考 察

深耕は従来より収量増加の有効な方法として注目されてきたが、増収の例ばかりでなく減収する例も多くみられた。この理由として下層土の窒素肥沃性が関係することが知られている³⁾。これまでに、深耕を行う上で耕起前下層風乾土壌の無機化窒素量が10mg/100g乾土以下では最高分けつ期の茎数比（深耕／普通耕）100以上の

確保が困難であり、このような土壌では減収することが報告されている³⁾。本試験圃場の下層風乾土壌無機化窒素量は10mg/100g乾土以下であり、最高分けつ期の茎数比は100以下であった（表1）。すなわち本試験圃場は深耕による増収が困難である低位生産性水田に属し、深耕する場合茎数確保のための栽培的改善が必要とされる土壌に位置づけられる。

低窒素肥沃土壌で深耕する場合、基肥量を増やすことで穂数を確保し収量性を維持できるとする報告がある^{2,3)}。しかし下層風乾土壌10mg/100g乾土以下であっても土壌ごとに地力由来窒素無機化量は異なり、適正な増肥量を決定することは困難である。また、基肥量を増やすこと及び追肥を与えることは、出穂時点の水稲体内窒素含量を高め玄米の品質を低下させる可能性がある⁶⁾。さらには環境保全の立場から、増肥による対応では水田系外へ肥料が流出する可能性がある。本試験では低窒素肥沃土壌において深耕する場合、栽植密度を高くすることにより収量はほぼ慣行程度に維持された（図1）。増肥や追肥による対応ではなく密植栽培による対応の利点は、施肥過剰による倒伏の問題を考慮する必要がないこと、玄米の品質を悪化させないこと及び水田系外への肥料成分の流出を抑えることができることなどがあげられる。すなわち低位生産性水田の深耕で栽植密度を高めることは、高品質米の生産、収量性の維持及び環境保全において有効であると考えられる。

深耕の各処理区内で最も高い収量を示した深耕密植区では、従来指摘されている穂数の減少³⁾が改善された。一方、他の処理区に比べ深耕密植区の総粒数は減少し、登熟歩合は高くなった（表2）。すなわち深耕密植区における収量性向上は、高い登熟歩合によってもたらされたものと考えられる。深耕密植区の登熟歩合が高くなった理由として、1) 総粒数が減少したこと、2) 生育初期の窒素吸収量が高く維持されたこと、3) 1次枝梗着生率が増加したことが考えられる。

密植条件において総粒数が減少した理由は、一穂粒数が密植することにより減少したためである（表2）。したがって深耕密植区の総粒数は穂数が増加したにも関わらず、一穂粒数の減少に大きく影響を受け、その結果総粒数が減少したのと考えられた。このことから深耕密植区の登熟歩合は、総粒数が減少したことにより過剰穎花及び弱小穎花が整理された結果高くなったものと推察された。

深耕密植区では深耕の他の栽植密度の区より生育初期

の窒素吸収量が大きく維持されたが（図3）、これは最高分けつ期までの根量が密植することにより増大したことによるものと考えられた（図4）。従来深耕栽培の利点として、作土層拡大により根量が増大し、土壌から無機化される窒素を有効に利用できる点について指摘されている²⁾。本試験の結果では、深耕密植区は慣行区と比べ特に0-7.5cm層の浅い土壌層において根量の増大が認められた。最高分けつ期までの作土層に位置する根は施肥由来窒素の吸収に大きく関わるものと考えられる。密植条件で植物体の窒素吸収量が増加した理由は、最高分けつ期までに作土層内で根量が増大し基肥窒素の利用率が高くなったためと推定される。したがって、深耕密植区では生育初期に多くの窒素を吸収することでその後の植物の同化能力を高く維持し、登熟歩合を向上させたものと推察される。

これまで1次枝梗着生率は2次枝梗着生率に比べ退化しにくいこと、及び早期に稔実することが知られている⁷⁾。本試験の深耕密植栽培では他の栽植密度に比べ1次枝梗着生率比率が高くなっていった（図10）。深耕密植区の茎数増加率は他の区に比べ最も低く（図5）、穂数に占める主稈の割合が最も高くなっていったことが予想される。また深耕密植区では前述したとおり1穂粒数が他の区に比べ最も低く、このことも1次枝梗着生率比率を高くした要因であると考えられる。すなわち深耕密植区では穂数に占める主稈の比率が高いこと及び1穂粒数が少ないことから1次枝梗着生率比率を高め、これらにより登熟歩合が向上したものと推察される。

本試験の結果から、深耕することにより根系が拡大し、植物による施用窒素の効率的吸収が行われるものと考えられた。すなわち深耕により施肥窒素の系外への流出を抑えられ、環境保全的な稲作を行うことができるものと考えられる。一方、米生産者にとっては収益性が最も重要な課題である。深耕が環境保全に有効な栽培方法であっても収益性が従来の栽培法より低下する場合、生産者の立場からはこれらの栽培方法を受け入れることはできないと考えられる。特に日本では半数以上の水田が深耕した際に減収することが予想され、このような土壌における深耕の収益性確保が重要な課題である。米生産における粗収入は、収量及び玄米の外観品質によって決定される。先に本試験では低位生産性土壌における深耕密植栽培が収量性において有利であることを述べたが、慣行区と比べた場合約3%の減収となる。一方、深耕密植区では玄米の外観品質が慣行区、深耕普通植区及び深耕

疎植区に比べ向上した。慣行区及び同一栽植密度の深耕普通植区を比較した場合、未熟粒割合及び被死着粒割合は慣行で高く、良質粒割合は深耕で高くなっていた(図6, 7, 8)。また籾の充実度に関係する粒厚分布は栽植密度によらず、慣行区より深耕の各区において厚い粒を持つ玄米の比率が高くなっていた。さらに深耕区内で比較すると密植条件ほど良質粒割合及び厚い粒厚を持つ籾の割合は高くなっていた(図8, 9)。すなわち深耕することにより玄米の品質を高くし、栽植密度の高い条件ではさらに品質を向上させることが確認された。

5. 摘 要

深耕は収量を増加させる技術として従来より知られている。しかしこれまで低位生産性土壌での深耕が収量及び玄米品質の両者へ及ぼす影響について検討されたものは少ない。そこで低位生産性土壌の深耕において、収量及び玄米品質に及ぼす影響を3段階の栽植密度を用い検討した。得られた結果は以下の通りである。

- 1) 深耕密植条件では、単位面積当たり穂数を増大させた。
- 2) 生育初期における深耕密植区の植物体の窒素吸収量は、他の栽植密度の深耕区より高くなった。
- 3) 耕起法に関わらず、最高分けつ期における根の乾物重は密植条件で増大した。
- 4) 登熟歩合は全ての処理区の中で深耕密植区が最も高くなった。
- 5) 深耕各区の収量は慣行区に比べ減少した。しかし深耕処理区内の収量では、深耕密植区は他の栽植密度の区より高く、慣行区に比べ3%の減収にとどまった。
- 6) 玄米の外観品質は、耕起深度と栽植密度に影響を受けた。深耕により玄米の品質は向上し、さらに栽植密度が高い区で高い品質の玄米が得られた。

引用文献

- 1) 高橋浩之・高橋保夫・池田弘：水田の心土耕起に関する研究，日作紀，**31**，98~101(1962)
- 2) 佐藤俊夫・藤井弘志・荒垣憲一・渡部幸一郎：深耕時における下層土の窒素肥沃性と水稻生育について，土肥誌 **61**，198~201(1990)
- 3) 藤井弘志・荒垣憲一・佐藤俊夫・渡部幸一郎・芳賀静夫・錦斗美夫・長谷川愿：稲の生育と深耕，農及園，**62**(8)：949-954(1987)
- 4) 陽捷行・岡崎正規・羽賀清典・浅見輝男：環境保全，土肥誌，**64**(5)：603-614(1993)
- 5) 農林水産省農蚕園芸局農産課土壌保全班：わが国耕地土壌の実態，土肥誌，**51**(6)：520-527(1980)
- 6) 松崎昭夫・松島省三・富田豊雄：水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究，第113報 穂揃期追肥窒素が品質に及ぼす影響，日作紀，**42**(1)：54-62(1973)
- 7) 星川清親：イネの生長。p.233-251. 農文協. 東京.(1975)