

水管理と植付深が水稻の収量と品質に及ぼす影響

千葉雅大^{1,2}・寺尾富夫²・松村 修²・高橋能彦¹・渡邊 肇^{1*}

(平成22年1月12日受付)

要約

近年の気候温暖化により水稻の登熟気温が上昇している。この気温上昇によって白未熟粒の発生が増加し、米粒の品質低下が問題となっている。深水栽培は白未熟粒の発生抑制に有効であるが、効果の大きい水深18cmの深水栽培が可能な圃場は限られる。そこで、品種コシヒカリ(高温登熟耐性:中)と初星(同:中)を用いて、深水栽培と同様に分げつ発生を抑制する深植(植付深6cm)と、水深が浅い弱深水栽培(水深10cm)、および両者の組み合わせについて、水稻の生育と収量、品質に及ぼす影響を、慣行栽培および水深18cmの強深水栽培との間で比較し、最適な栽培法を比較、検討した。コシヒカリでは、強深水栽培が、最も収量と品質が高く、畦畔が高い圃場では最適な栽培法であると考えられた。また、深植と深水弱深水栽培は、白未熟粒の抑制効果が強深水栽培に次いで大きく、収量の減少が僅少であった。したがって、畦畔の低い圃場ではより省力的な深植も白未熟粒の発生抑制に有効と考えられた。初星については、強深水栽培では、白未熟粒の発生が顕著に抑えられたが、収量が大きく減少した。深植弱深水栽培では、収量は減少したものの、非高温条件では強深水栽培と同程度の白未熟粒抑制効果が得られた。これに対して、深植では、収量が確保され、深植弱深水栽培には劣るものの白未熟粒発生の抑制効果がみられた。したがって、初星では収量を重視するなら深植、品質を重視するなら深植水稻を水深10cmの深水栽培を行うのが適切であると考えられる。

新大農研報, 62(2):105-110, 2010

キーワード: イネ、地球温暖化、白未熟粒、深水栽培、深植

水稻が高温条件で登熟すると、白未熟粒と呼ばれる白色不透明部を含む米粒の割合が増加する(近藤ら、2006)。この白色不透明部では、デンプン粒の充実不足により空隙を生じており、そこに光が乱反射するために白く見える(田代・江幡、1975)。白未熟粒は、白色不透明部の位置によって、乳白粒(粒全体が白濁)、腹白粒(腹側が白濁)、背白粒(背側が白濁)、心白粒(粒中心部が白濁)、背白粒(粒基部が白濁)などに分けられる(星川ら、1975)。近年の気候温暖化によって、水稻の登熟気温は上昇しており、白未熟粒の発生による一等米比率の低下が問題となっている(農林水産省水稻高温対策連絡会議対策推進チーム、2006)。高温登熟による品質低下を避けるために、新潟県では、こしいぶきなどの高温登熟耐性品種が育成されている(星ら、2000)。また、出穂を遅らせて登熟期の高温を避けるために、移植時期を後退させている地域もある(新潟県農林水産部、2005)。その他、籾数過剰による白未熟粒の発生を抑えるための対策として、疎植栽培が行われている(高橋、2006)。

水稻の深水栽培は、主に、障害型冷害の回避(Satake *et al.*, 1988)や生育制御(古谷ら、1991)を目的として行われてきたが、近年、白未熟粒の発生を抑制する栽培法の一つとして注目されている(千葉ら、2009; 林、2007)。千葉ら(2009)は、分げつ盛期から最高分げつ期に水深18cmの深水栽培を行い、収量を低下させることなく、高温時や常温時の両方で品質が改善されることを報告した。また、深水栽培では、分げつの発生が抑制されて、有効茎歩合が高まり、穂数が少なく、一穂籾数が多い、いわゆる穂重型の生育に移行することを報告した(千葉ら、2009)。しかし、実際に湛水深を18cmに維持できるのは地域性があり、また、一部の篤農家に限られ、深水栽培によ

る米粒品質の向上をさらに推進するためには、より浅い水深で可能な栽培技術が求められる。しかし、湛水深が浅くなると、深水栽培の茎数抑制効果が減少し(古谷ら、1991)、白未熟粒発生の抑制効果も低下するとされ、これらの問題を解決する必要がある。他方、植付深を深くすると深水栽培と同様に茎数の増加が抑制されることが知られている(伊藤ら、1970; 太田ら、1969)。これらのことから、水深の浅い深水処理と深植を組み合わせることにより、両者の利点を活かし、湛水深の浅さを補うことができる可能性がある。そこで、本研究では、比較的浅い10cmの深水処理と深植、および両者を組み合わせた場合の生育、収量および品質への影響を調査し、慣行の水管理および水深18cmの深水処理と比較、検討した。

材料と方法

試験は2008年に中央農業総合研究センター北陸研究センター内の圃場(新潟県上越市、グライ沖積土)で行った。5月22日に水稻品種初星とコシヒカリを栽植密度22.2株/m²で、1株あたり3本を手植した。供試品種の高温登熟耐性は、初星が弱、コシヒカリは中である(石崎、2006; 岩下ら、1973、山川と神田; 2003; 若松ら、2005)。基肥として化成肥料(N、P₂O₅、K₂Oを各15%含有)を各成分で3g/m²、穂肥として硫酸をN成分で2g/m²施用した。

植付深は、3cm(慣行)と6cm(深植)の2水準とした。水管理は、慣行および水深10cmの深水処理(弱深水処理)、水深18cmの深水処理(強深水処理)の3水準とした。弱深水

¹ 新潟大学大学院自然科学研究科

² 中央農業総合研究センター北陸研究センター

* 代表著者: watanabe@agr.niigata-u.ac.jp

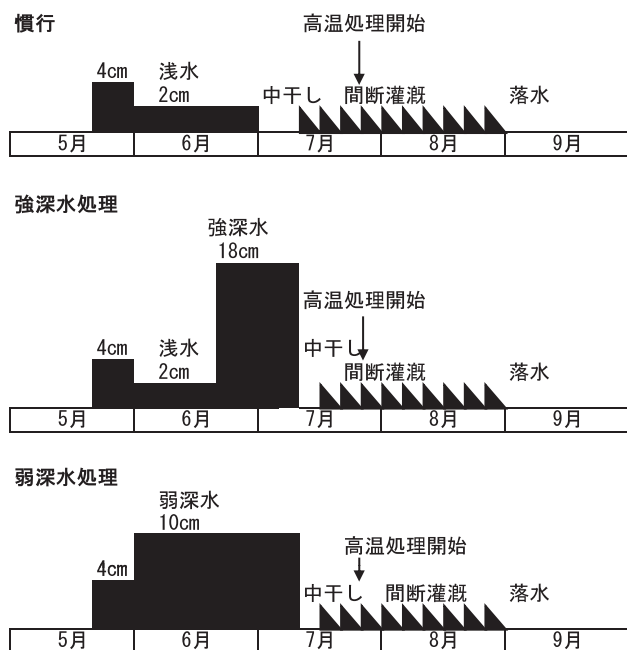


図1. 水管理の模式図.

表1. 試験区の設計.

試験区	植付深	水管理
慣行区	慣行 (3 cm)	慣行
強深水区	慣行 (3 cm)	強深水処理 (6/23~7/11、水深18cm)
弱深水区	慣行 (3 cm)	弱深水処理 (6/3~7/11、水深10cm)
深植区	深植 (6 cm)	慣行
深植弱深水区	深植 (6 cm)	弱深水処理 (6/3~7/11、水深10cm)

処理は、苗が活着する時期から最高分げつ期 (6/3~7/11) に水深10cmの深水処理、強深水処理は、分げつ盛期から最高分げつ期 (6/23~7/11) に水深18cmの深水処理を行った (図1)。植付深と水管理を組み合わせ、5試験区を設けた (表1)。また、出穂の直前に圃場1.8m×1.8mを高さ1.5mのビニールで囲み、風の遮断による高温処理 (千葉ら、2006) を行った。

移植日に各品種40個体の苗の葉齢と苗丈を調査した。また、移植翌日に、移植した苗を抜き取り、各区40株について実際の植付深を測定した。収穫後に粒厚1.8mm以上の玄米について、穀粒判別機ES-1000 (静岡精機) で、品質を調査し、乳白粒、腹白粒、基部未熟粒に分類された米粒の合計を白未熟粒とした。

結果および考察

1. 苗の特性と植付深

苗の葉齢は初星が4.3、コシヒカリが4.0で、いずれも中苗であった。植付深は、慣行区が初星3.2 (±0.1:標準誤差、以下略) cm、コシヒカリ3.4 (±0.1) cm、深植区が初星6.3 (±0.2) cm、コシヒカリ6.6 (±0.2) cmで、ほぼ設計通りの深さに移植された。苗丈は、初星15.9 (±0.3) cm、コシヒカリ16.2 (±

0.2) cmであり、深植区の植付深と苗丈の差は、両品種とも9.6cmであった。そのため、移植から活着まで4cmの水深で管理したが、深植した苗が水没することはなかった。

本試験では、深植として約6cmの手植を行ったが、現在市販されている田植機の最大植付深は、5cm程度である。今回、用いた苗は中苗であるが、通常、試験地が位置する新潟県上越市では、機械移植では稚苗を用いることが多い。苗が小さいほど深植の効果は大きい (伊藤ら、1970) ことから、稚苗を5cmの植付深で機械移植しても、深植の効果が得られると考えられる。稚苗の苗丈は12cm程度 (新潟県農林水産部、2005) なので、植付深5cmで4cmの湛水を行う場合、水面から出る部分は3cm程度となる。そのため、稚苗を深植する際には、水没を避けるため、圃場の均平と移植直後の精緻な水管理が重要と考えられる。

2. 茎数の推移

図2に植付深と水管理が茎数の推移に及ぼす影響を示した。両品種とも強深水区では、深水処理の開始とともに茎数の増加は止まり、処理後も増加しなかった。また、本試験においても、千葉ら (2009) と同様に、強深水区では無効化する分げつがほとんどなかった。弱深水処理の茎数抑制効果は、コシヒカリに比べて初星で大きかった。しかし、いずれの品種でも、弱深水処理は、強深水処理に比べて茎数抑制効果が小さく、単独では十分な効果が得られなかった。深植の抑制効果は弱深水処理に比べて大きく、特に初星では強深水処理と同程度であった。しかし、初星では深植に弱深水処理を加えても茎数の推移に及ぼす影響は小さかった。これに対して、コシヒカリでは深植と弱深水処理が相加的に作用し、深植弱深水区では強深水と同等の茎数抑制効果がみられた。したがって、茎数抑制の面から考えると、弱深水処理単独では効果が小さく、深植単独、あるいは、深植した水稻を弱深水処理するのが適当であると考えられる。

3. 収量と収量構成要素

表2に収量と収量構成要素を示した。試験を行った2008年は多収年であり、精玄米収量は、いずれの試験区で600g/m²以上を示したが、初星の強深水区では、557g/m²と大きく減少し、慣行区に比べて16.5%少なかった。また、初星では、弱深水区と深植弱深水区でも慣行区に比べて、それぞれ8.5%および8.4%減収し、深水処理により減収しやすい品種と考えられる。しかし、初星では深植による減収はなく、収量面からは深植が有利であると考えられる。コシヒカリでは、初星とは異なり、強深水区で慣行区に比べて5.5%増収し、弱深水区は6.1%減収した。また、深植区と深植弱深水区では、慣行区に比べて収量の低下は僅少であった。

次に収量構成要素をみると、深植、深水処理ともに穂数を減少させる効果がみられた。深植弱深水区では両者が相加的に作用し、顕著に穂数が抑制され、その結果、慣行区に比べて、初星で20.9%、コシヒカリで13.5%減少した。コシヒカリでは、深植と弱深水処理の穂数抑制効果は同程度であった。しかし、初星では、慣行区に対する減少率が、弱深水処理で14.7%、深植で10.5%であり、弱深水処理による穂数抑制効果が深植より大きくなった。また、初星では強深水処理によっても26.1%減少し、深水処理による茎数抑制効果が大きい品種であった。この穂数の抑制が初星で深水処理による減収が大きい主要な要因であると考えられる。一穂粒数は、強深水処理により増加することが報告されているが (千葉ら、2009)、本試験でも、初星

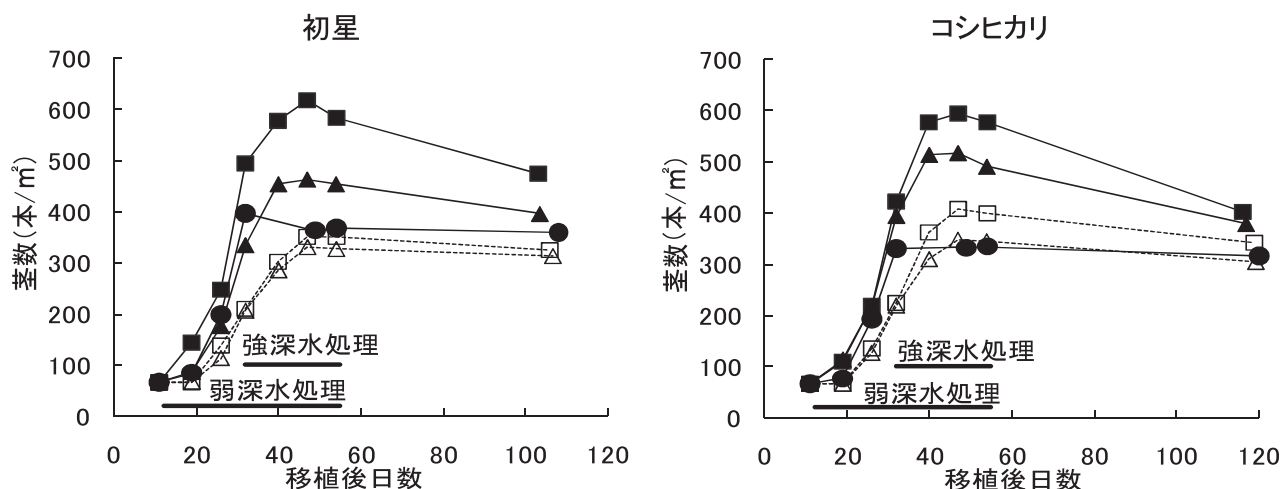


図2. 植付深と水管理が茎数の推移に及ぼす影響.

■：慣行区、●：強深水区、▲：弱深水区、□：深植区、△：深植弱深水区.

表2. 収量および収量構成要素.

品種	試験区	精玄米収量 (g/m ²)	穂数 (本/m ²)	1穂籾数 (粒)	登熟歩合 (%)	玄米千粒重 (g)	籾数 (100粒/m ²)
初星	慣行区	668 ± 27	481 ± 17	66.5 ± 0.6	93.1 ± 0.2	22.4 ± 0.1	320 ± 15
	強深水区	557 ± 7	355 ± 17	68.4 ± 2.3	97.4 ± 1.9	23.6 ± 0.0	243 ± 8
	弱深水区	611 ± 17	410 ± 19	70.0 ± 0.8	94.5 ± 1.1	22.6 ± 0.4	287 ± 17
	深植区	659 ± 34	430 ± 26	75.3 ± 0.8	91.9 ± 0.8	22.2 ± 0.2	324 ± 23
	深植弱深水区	612 ± 41	380 ± 46	75.5 ± 1.2	94.8 ± 2.6	22.6 ± 0.2	286 ± 30
コシヒカリ	慣行区	644 ± 16	411 ± 47	79.7 ± 3.7	89.6 ± 3.6	22.2 ± 0.1	325 ± 22
	強深水区	680 ± 13	378 ± 1	84.1 ± 3.9	93.1 ± 3.1	23.0 ± 0.2	318 ± 14
	弱深水区	605 ± 11	386 ± 4	80.6 ± 1.4	87.6 ± 1.6	22.2 ± 0.2	311 ± 2
	深植区	630 ± 8	389 ± 34	88.8 ± 1.7	83.3 ± 4.2	22.0 ± 0.1	345 ± 23
	深植弱深水区	630 ± 15	355 ± 34	93.2 ± 3.6	85.4 ± 1.6	22.4 ± 0.4	330 ± 19

平均値 ± 標準誤差で示す.

で66.5粒から68.4粒へ2.8%、コシヒカリで79.7粒から84.1粒へ5.5%増加し、同様の傾向がみられた。深植区の一穂籾数は慣行区に比べて、初星で66.5粒から75.3粒へ13.2%、コシヒカリで79.7粒から88.8粒へ11.4%、弱深水処理と組み合わせると79.7粒から88.8粒へ16.9%増加し、この増加程度は、強深水処理より明らかに大きく、深植による一穂籾数増加効果が深水処理より大きいことが示された。また、強深水区では慣行区に比べて、登熟歩合は、初星で4.6%、コシヒカリで4.0%増加し、玄米千粒重は、初星で5.2%、コシヒカリで3.7%増加した。これに対して、深植区では玄米千粒重に変化はなく、登熟歩合はむしろ低下した。

深植は、穂数を減少させるが、収量低下が起こりにくい点では、深水処理と同様の効果をもつが、穂数以外の収量構成要素に及ぼす影響は深水処理と大きく異なった。つまり、深水処理では、登熟歩合と玄米千粒重が増加したが、深植では、これらが増加しないかわりに、一穂籾数の顕著な増加によって穂数の減少を補償していた。これらのことから、深水処理と深植では収量構成要素に及ぼす影響は異なるが、どちらも穂数の減少を

穂重で補う点で、草型を穂重型に変化させたと考えられる。

4. 米粒外観品質

図3に植付深と水管理が白未熟粒の発生に及ぼす影響を示した。初星とコシヒカリの両品種で、慣行区に比べて、強深水区では、白未熟粒の発生は抑制された。これは、千葉ら(2009)と同様の結果であり、強深水処理による品質改善効果が本試験でも確認された。弱深水処理単独でも、白未熟粒の発生は、慣行区に比べて抑制されたが、その抑制効果は強深水処理に大きく劣った。また、深植単独でも、白未熟粒の発生は抑制されたが、その効果には品種間差がみられた。初星では深植の白未熟粒抑制効果が小さく、特に高温条件では弱深水処理とほぼ同じであった。しかし、弱深水処理を組み合わせると、非高温条件では強深水処理と同程度の発生抑制効果が得られ、高温条件でも大きな効果がみられた。これに対して、コシヒカリでは、いずれの温度条件でも、深植区の白未熟粒割合は慣行区より大きく低下し、強深水処理に近い効果を示した。しかし、コシヒカリでは、深植弱深水処理の白未熟粒割合は、深植区と同程度で

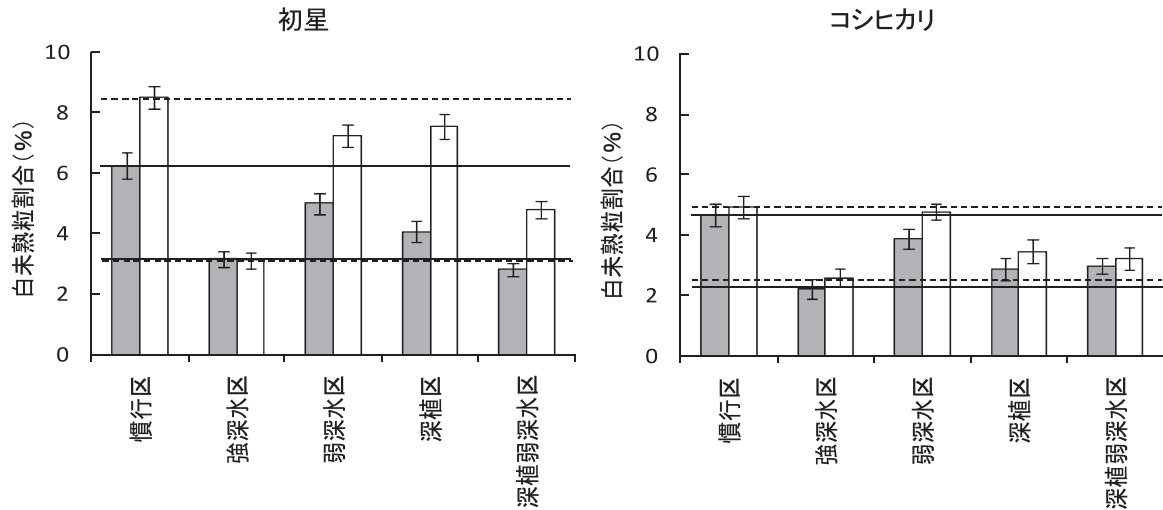


図3. 植付深と水管理が白未熟粒割合に及ぼす影響。
 ■：非高温条件、□：高温条件。——：慣行区と強深水区の非高温条件の白未熟粒割合、
 - - - -：慣行区と強深水区の非高温条件の白未熟粒割合。縦棒は標準誤差。

あった。深植に弱深水処理を加えた場合の白未熟粒への効果が、初星とコシヒカリで異なる要因として、両品種の深植において、弱深水処理の一穂粒数への影響が異なることが考えられる。すなわち、初星の深植では弱深水処理により一穂粒数が増加しなかったため、茎数抑制が白未熟粒割合の減少に作用したが、コシヒカリでは、一穂粒数が増加したため、茎数抑制の効果が一穂粒数の増加に打ち消され白未熟粒割合は減少しなかったと推察される。

以上より、コシヒカリでは、深植区と深植弱深水区の間に収量と白未熟粒割合の差がないことから、より省力的な深植が最適栽培方法であると考えられる。ただし、畦畔が高く十分な湛水が可能な圃場では、多収で高品質な強深水栽培が最適である。初星では、収量を重視する場合、慣行と収量が同程度で品質が向上する深植が適しており、品質を重視する際には、慣行に比べて若干減収するものの、深植水稻の弱深水栽培が、適すると考えられる。

謝 辞

本研究の実施にあたり、中央農業総合研究センター北陸研究センターの寺島一男博士、廣瀬竜郎博士、古畑昌巳博士および作物研究所の近藤始彦博士には、貴重なご意見とご指導を頂いた。また、中央農業総合研究センター業務第4科の小竹剛志氏、栗崎利幸氏には圃場管理にご尽力頂いた。非常勤職員の杉浦尚美氏には生育調査にご協力頂いた。深く感謝申し上げる。

引用文献

千葉雅大・松村修. 2006. 風の遮断による圃場高温処理法. *日作紀*, 74 (別1): 228-229.
 千葉雅大・松村修・寺尾富夫・高橋能彦・渡邊肇. 2009. 深水

栽培による高品質米生産技術—深水栽培が水稻の生育と米粒外觀品質に及ぼす影響. *日作紀*, 78:455-464.
 星豊一・阿部聖一・重山博信・小林和幸・平尾賢一・松井崇晃・田村隆夫・浅井善広・中嶋建一・金山洋・佐々木行雄・阿部徳文・東聡志・近藤敬・石崎和彦・樋口恭子・小関幹夫・原田惇. 2000. 気候変動に強い良質・良食味早生品新種「こしいぶき」. *新潟農研報* 16:1-2.
 星川清親. 1975. 米の品質. pp.297-305. *イネの生長*. 農文協. 東京.
 古谷勝司・榎木信幸・児嶋清. 1991. 水稻における生育中期の水管理が生育・収量に及ぼす影響—深水管理を中心にして—. *北陸農試報*, 33:29-53.
 林元樹. 2007. 水稻不耕起V溝直播栽培による深水無落水栽培. pp. 506の80-506の86. *農業技術体系 作物編2 イネ基本技術②*. 農文協. 東京.
 石崎和彦. 2006. 水稻の高温登熟性に関する検定方法の評価と基準品種の選定. *日作紀*, 75:502-506.
 伊藤俊一・三浦貞幸・高橋英一. 1970. 水稻稚苗移植の植付深. *東北農業研究*, 11:68-70
 岩下友記・新屋明・山川恵久・土井修・上原裕美・鳥山国土. 1973. 水稻の高温登熟について—品質の変化と品種間差異—. *日作九支報*, 39:48-57.
 近藤始彦・森田敏・長田健二・小山豊・上野直也・細井淳・石田義樹・山川智大・中山幸則・吉岡ゆう・大橋善之・岩井正志・大平陽一・中津紗弥香・勝場善之助・羽嶋正恭・森芳史・木村浩・坂田雅正. 2006. *日作紀*, 75 (別2):14-15.
 新潟県農林水産部. 2005. *水稻栽培指針*.
 農林水産省水稻高温対策連絡会議対策推進チーム. 2006. *水稻の高温障害の克服に向けて (高温障害対策レポート)*. (<http://www.kanbou.maff.go.jp/www/gichou/kouou/report.pdf>)
 太田孝・杉山薫・板谷至. 1969. 水稻栽培条件の許容度に関する研究 第8報 田植機栽培の植付深度の許容度について

て. *日作東海支部研究梗概*, **54**:1-3.

Satake, T., S. Y. Lee, S. Koike and K. Kariya. 1988. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants XXVIII. Prevention of cool injury with the newly devised water management practices - effects of the temperature and depth of water before the critical stage. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan*, **57**:234-241.

高橋渉. 2006. 気候温暖条件下におけるコシヒカリの白未熟粒軽減技術. *農及園*, **81**:1012-1018.

田代亨・江幡守衛. 1975. 腹白米に関する研究 第4報 白色不透明部の胚乳細胞の形態的特徴. *日作紀*, **44**:205-214.

若松謙一・田之頭拓・小牧省三・東孝行. 2005. 暖地における水稲登熟期間の高温が玄米品質に及ぼす影響と品種間差異. *日作九支報*, **71**:6-9.

山川智大・神田幸英. 2003. 水稲高温耐性検定方法の改良と基準品種選定. *日作紀*, **72** (別1):100-101.

The Effect of the Water Management and the Planting Depth on Yield and Quality of Rice Grains

Masahiro CHIBA^{1,2}, Tomio TERAO²,
Osamu MATSUMURA², Yoshihiko TAKAHASHI¹ and Hajime WATANABE^{1*}

(Received January 12, 2010)

Summary

The problem of chalky grains caused by high temperature at ripening stage of rice has been increased because of the global warming. Such quality degradation seems partly overcome by the deep flood irrigation which has water depth of 18cm. However, not many paddy fields can keep such deep water because levees are usually not so high. To overcome this problem, we combined the mild deep flood irrigation (water depth: 10cm) to the deep planting (planting depth: 6cm) that also has the effect to suppress tillering and analyzed the effects on the yield, yield components and the quality of grains. We have used two cultivars (Koshihikari: moderate tolerance for high temperature at ripening stage, Hatsuboshi: sensitive) for experiment. In Koshihikari, the 18cm deep flood irrigation is the best if possible. Deep planting is the second best and might be a best method if levees are not high enough. In Hatsuboshi, the deep planting is favorable to keep yield with reasonable quality improve; the combination of deep water irrigation (10cm) with deep planting rice is good to improve the quality if the yield decrease is not mentioned.

Bull. Facul. Agric. Niigata Univ., 62(2):105-110, 2010

Key words : Chalky grain, Deep flood irrigation, Deep planting, Global warming, Rice.

¹ Graduate School of Science and Technology, Niigata University

² Hokuriku Research Center, National Agricultural Center

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