

香川県における水稲品種ヒノヒカリの節水栽培

崔中秋¹⁾・豊田正範²⁾・楠谷彰人³⁾

(¹⁾ 愛媛大学大学院連合農学研究科, (²⁾ 香川大学農学部, (³⁾ 天津農学院)

要旨：2012 年から 2014 年までの 3 年間、香川県高松市の農家水田において水稲品種ヒノヒカ리를供試し、幼穂分化期前の灌水停止による節水栽培が生育、収量、品質、食味に及ぼす影響を調査した。節水処理区における灌水停止期間は、2012 年は 22 日間、2013 年と 2014 年は 30 日間であり、節水率はそれぞれ 20.7%、27.4%、24.3%であった。節水処理区の収量は、対照区（湛水栽培区）に比べて、2012 年では 5%程度の減少にとどまったが、2013 年と 2014 年では 25%前後減少した。2013 年と 2014 年の節水処理区での減収原因は、灌水停止に伴う茎数の増加抑制による穂数の減少にあった。また、外観品質および食味に関しては、処理区間に有意差は認められなかったものの、節水栽培によって品質、理化学的食味特性および官能試験による食味評価が向上する傾向がみられた。これらより、幼穂分化期前の灌水停止による節水栽培では、22 日間位の灌水停止（節水率 20%程度）が限度であり、それ以上の灌水停止では大幅に減収すると考えられた。

キーワード：香川県、収量、食味、水稲、節水栽培、ヒノヒカリ、品質。

香川県の平年（1981 年～2010 年の平均値）における年間降水量は 1082 mm で、全国平均の 7 割にも満たない。また、県内には 1 級河川が 2 水系、2 級河川が 79 水系あるが、いずれも勾配が急で流路延長も短く、降水は短時間で瀬戸内海に流出してしまう。したがって、利用できる水資源の量は極めて少なく、香川県の平水年における 1 人あたり年間水資源賦存量は 1240 m³ で、全国平均の 38.5%にすぎない（香川県政策部水資源対策課 2011）。さらに、渇水年になるとこの値は 722 m³/人・年に減少し、全国平均の 33.6%にまで低下する。このため、香川県では古くから水資源の確保に腐心し、満濃池を初めとする 1 万 4 千余のため池を築造してきた。また、1974 年には香川用水が完成して吉野川から導水されるようになったが、その後もしばしば水不足、特に夏季の渇水に悩まされてきた。中でも、1994 年（平成 6 年）に発生したいわゆる「へいろく大渇水」では、高松市は給水制限が約 140 日間、夜間断水が約 70 日間、1 日 5 時間だけの時限給水が約 30 日間も続き、市民生活に大きな不安と混乱を引き起こした（田坂 2013）。2009 年に香川用水調整池「宝山湖」ができたため現在の状況は 20 年前とは違ってきているが、節水が香川県の最重要課題の一つであることに変わりはない。

香川県における 2006 年度の水需要量（取水ベース）は約 5 億 3400 万トンで、この 64.6%の約 3 億 4500 万トンが農業用水である（香川県政策部水資源対策課 2011）。さらに、農業用水全体の 80.5%にあたる約 2 億 7800 万トンが水稲栽培のために使われている。すなわち、県の水需要総量の 52.1%が水稲の栽培用水で占められている。したがって、栽培にこれほど大量の水を使用し、また栽培時期が夏の渇水期に重なる水稲において、栽培用水をたとえ 1 割でも節約できれば県全体の水消費量は大幅に削減され、

水資源の安定確保に大きく役立つものと思われる。そのため、水稲の節水栽培に関する基礎研究と実用化試験が必要であるが、香川県では節水栽培についての試験研究は行われていない。

1950 年代、西日本のため池がかり地帯における水稲の合理的灌漑技術を開発するために、分げつ期間中の灌水を停止する節水栽培法が研究された（高井 1970）。この方法は、移植した苗が活着した後に落水して幼穂分化期まで灌水をしないまま畑状態で栽培し、その後水田状態に切り替えるというものであるが、中干し期間以外は常時湛水状態で栽培する慣行灌漑法にまさる収量が得られたと報告されている（高井 1959）。最近ではエアロビックライスと呼ばれる湛水をしないイネの栽培法が注目され（加藤 2007b）、多数の研究が行われている（早田ら 2005, Hayashi ら 2006, 俵田ら 2006, Kato ら 2006a, 2006b, 加藤 2007a, 平山ら 2009, 桂ら 2009, Matsuo and Mochizuki 2009）。これらの研究によれば、完全な非湛水栽培では収量低下を防ぐことは難しいとみられるが（Hayashi ら 2006, 鴨下・山岸 2007）、水田での間断灌漑や畑状態での灌漑栽培では通常の湛水栽培と変わらないかそれ以上の収量が得られている（Kato ら 2006b, 桂ら 2009, Matsuo and Mochizuki 2009）。しかしながら、これまでの節水栽培に関する研究は収量を中心に進められており、品質や食味との関係は調べられていない。しかし、近年、米市場において外観品質と食味が重視されている中で、栽培方法による品質や食味の変動を検討することは極めて重要である（松江 2012）。そこで、本試験では、高井（1959）の方法をモデルにして実際の農家水田で節水栽培を行い、生育や収量を調査するとともに品質と食味に及ぼす影響について検討した。

材料と方法

1. 供試品種および栽培法

試験は、2012年から2014年まで香川県高松市上林町の農家水田において、香川県の基幹品種であるヒノヒカリを供試して行なった。

試験を実施した農家の慣行に従ってプール育苗した苗を2012年は6月27日、2013年は6月22日、2014年は6月21日に栽植密度15.4株/m² (30 cm × 21.6 cm)、1株2〜4本 (平均3本) で本田に機械移植した。しかし、ところどころに欠株がみられたので、移植後に2回、1株3本の苗で補植を行った。

肥料は、化成肥料を用いて窒素、リン酸、カリを10 aあたり5 kg、4 kg、5 kgずつ全量基肥で施用した。除草、薬剤散布その他の栽培管理は、試験農家の慣行に従った。

2. 処理法および水管理

試験を行った農家の近隣地域は、貯水量が県内2位の三郎池からの送水路が整備されている。地域内の水田への取水は全てこの水路に依存しているが、三郎池土地改良区の協定によって水路の受益地域は5地区に分けられ、各地区への配水は原則として5日に一度と決められている。したがって、水路からの取水は5日おきにしか行うことができない。そこで、取水の便を考えて、試験には水路の本線に直面した2筆の水田を使用した。2筆の水田は隣接しており、面積はいずれも10 a (50 m × 20 m) である。このうちの1筆を湛水状態で栽培する対照区 (C)、もう1筆を節水処理区 (D) とした。

節水処理の時期は、ヒノヒカリの分けつ期から幼穂分化期までを想定して決定した (高井 1970)。すなわち、節水区における処理期間は、2012年は7月16日から8月6日までの22日間、2013年と2014年は7月6日から8月4日までの30日間であった。いずれの年も、処理開始日に排水口を開いて水田内に滞留している水を排水した。その後は処理終了日まで水路からの取水は行わず、給水は降雨のみによった。なお、対照区でも中干しのために7月31日から1週間落水した。処理終了後は5日おきに取水する通常の水管理を行い、2012年は9月10日、2013年と2014年は9月19日に水田内から完全に落水した。

試験に使用した水田は地表面からの高さが平均15.2 cmの水平なコンクリート畦で囲われている。畦近くの均平な場所を選び、ここに水深測定板を立てて水深を調査した。1日あたりの減水深は生育時期や天候によって1 cmから2 cmの間 (平均1.4 cm) で変動したが、栽培期間中の水深は、移植後10日間は3〜5 cm、その後は10 cmを基本に調整した。すなわち、対照区および処理期間外の節水処理区では、水深が10 cmに満たない場合は5日ごとの水路からの取水で不足分を補った。また、降雨によって水深が10 cm以上になった場合は、15.2 cm未満であれば排水はせずに水田

内に留めたが、15.2 cmを超えた時には超過分を畦からのオーバーフローによって自然排水し、高松地方気象台で測定したその日の雨量から152 mmを減じた値をオーバーフローによる排水量とした。全栽培期間を通じての取水量と雨量の合計から排水量を減じた値を給水量とし、[(対照区給水量 − 節水区給水量) / 対照区給水量 × 100] によって節水区における節水率を算出した。

3. 調査法

2013年に対照区、節水区とも4カ所各15株について、処理開始前日の7月5日から10日前後の間隔で草丈と茎数および葉色を追跡調査した。葉色は株内最長稈の最上位展開葉中央部を葉緑素計 SPAD-502 (ミノルタ社製) によって測定した。また、別の4カ所各4株について、午前9時30分からの1時間あたり出液速度と茎数を調査した。出液速度の調査は森田・阿部 (1999) の方法に従った。

2013年の処理終了後1週間目に対照区と節水区の根系を掘り取って根の状態を観察した。また、成熟期に両区とも任意に選んだ15株の茎数を調査して平均茎数に近い1株を選び、モノリスを打ち込んで根系を含む縦15 cm × 横30 cm × 深さ30 cmの土塊を掘り出した。その後、株中心部から左右に5 cmごと、深さ7.5 cmごとに切り分け、各部位を水道水で洗って含まれる根を採取した。採取した根は80℃で72時間通風乾燥し、乾物重を測定した。さらに、成熟期に同じ方法で選んだ生育中庸の2株について、高さ10 cmごとの層別刈取を行うと同時に光センサー FIELD SCOUT (Spectrum Technologies 社製) によって群落内の層別相対照度を測定した。群落の最上部から各層までの積算葉面積指数 (F) とその層における相対照度 (I/I₀) を用い、次式によって吸光係数 (K) を求めた。

$$\ln I/I_0 = -K \cdot F$$

両区とも、2012年は3カ所各15株、2013年と2014年は4カ所各15株について、成熟期に株あたり穂数を調査するとともに各株から穂長中庸の1穂を採取して1穂粒数を計数した。各穂の1穂粒数を合計して全粒数を算出した後、脱粒した全粒を用いて水道水による水選を行い、沈下した粒、すなわち比重1.00以上の粒を選別した。得られた粒を30℃で24時間乾燥させた後、粒数と粒重および粒水分含有率を測定した。この粒数を精粒数、粒水分15%に補正した粒重を精粒重とし、精粒数を全粒数で除して登熟歩合、精粒重を精粒数で除して千粒重を算出した。また、2012年は10月14日に収量構成要素を調査した近くの3カ所において各25株を刈取った。その後、5日間風乾してから脱穀と唐箕による風選を行い、粒重と粒水分含有率を調査した。粒重を粒水分15%で補正し、さらにm²あたりに換算して収量を求めた。2013年は10月12日に5 a (約7700株)、2014年は10月13日に10 a (約15400株) の面積をコンバインで収穫し、粒重と粒水分含有率を測定した。この粒重を粒水分15%で補正した後、m²あたりに換算し

て収量とした。なお、この方法によればコンバインで刈取った面積の中に生育途中での調査や収量構成要素の調査などに採取した株も含まれるので、その分の収量欠損は栽植密度に基づいて補正した。

各年とも、精粳を粳摺りして得られた玄米をキセキライスグレーダー LG100（キセキ社製）にかけて粒厚 1.8 mm 以上の精玄米を選別した。この精玄米を対象に、穀粒判別機 RGQI10B（サタケ社製）によって外観品質を調査した。また、この精玄米をニューワンパス NBS200（サタケ社製）により搗精歩合 92% で精米し、得られた白米を材料にオートアナライザー AA-3（Bran Luebbe 社製）によってアミロース含有率とタンパク質含有率、ラピッドビスコアアナライザー RVA-4（Newport Scientific 社製）によって最高粘度と最低粘度を測定した。最高粘度と最低粘度の差からブレイクダウンを求めた。さらに、2012 年は 18 人、2013 年と 2014 年は 20 人のパネルによる食味官能試験を実施した。供試する白米は検査前日の午後に上記の方法で精米し、検査当日の午前 10 時に洗米した後、30 分間水に浸漬した。その後、マイコン炊飯ジャー NS-SH18（象印社製）によって米 1 : 水 1.25 の重量割合で炊飯し、炊き上がり後 15 分間蒸らしてから試食した。官能試験は、各年次における C 区産米を基準にして、-2 から +2 の 5 段階評価で行った。評価項目は外観、味、粘り、硬さ、総合の 5 項目で、外観と味および総合は優れる方、粘りは強い方、硬さは硬い方を正（+）で評価した。これら品質と食味に関する調査は、いずれも 2 回ずつ行った。

第 1 表 移植日および収穫日と水管理の日程。

試験年	移植日 (月/日)	収穫日 (月/日)	節水処理 開始日 (月/日)	節水処理 終了日 (月/日)	落水日 (月/日)
2012 年	6/27	10/14	7/16	8/6	9/10
2013 年	6/22	10/12	7/ 6	8/4	9/19
2014 年	6/21	10/13	7/ 6	8/4	9/19

第 2 表 栽培期間中の気象と水管理。

試験年	栽培期間			処理期間			取水量 (mm)		排水量 (mm)		給水量 (mm)		節水率 (%)
	気温 (℃)	日射量 (MJ/m ²)	雨量 (mm)	気温 (℃)	日射量 (MJ/m ²)	雨量 (mm)	C	D	C	D	C	D	
2012 年	26.5 [25.6]	17.2 [16.3]	381 [461]	26.9 [28.0]	21.0 [19.4]	9 [75]	883	701	281	302	983	780	20.7
2013 年	27.0 [25.7]	17.9 [16.4]	677 [489]	29.6 [27.5]	24.0 [18.7]	53 [122]	843	572	326	382	1194	867	27.4
2014 年	25.6 [25.6]	15.1 [16.3]	717 [500]	28.0 [27.5]	17.1 [18.7]	195 [122]	816	545	298	327	1235	935	24.3

C：対照区，D：節水区。栽培期間：移植日から収穫日まで，処理期間：節水処理開始日から終了日まで，気温：期間内の日平均気温，日射量：期間内の日平均日射量，雨量：期間内の積算雨量，取水量：水路から取水した量，排水量：節水処理や中干しのために落水した量+畦からオーバーフローした量，給水量：雨量+取水量-排水量，節水率： $\left[\frac{(\text{対照区給水量} - \text{節水区給水量})}{\text{対照区給水量}} \right] \times 100$ ，[]：各年次の栽培期間および処理期間中の平年値（高松地方気象台観測による 1981 年から 2010 年までの平均値）。

4. 処理区間差の検定法

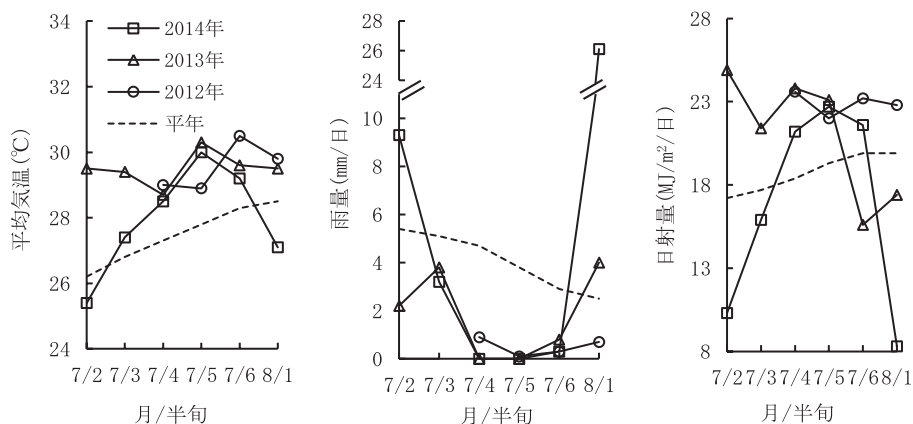
本試験では、各試験年次とも対照区と節水区それぞれに 1 筆ずつの水田を使用し、処理区ごとに反復は設けなかった。また、2012 年は節水処理期間が 2013 年および 2014 年よりも短かった。そこで、収量構成要素、収量、玄米の外観品質、理化学的食味特性は、処理期間が同じであった 2013 年と 2014 年について反復のない年次と処理の 2 元配置による分散分析を行った。食味官能試験では、各年次とも対照区を基準として節水区を評価したので、年次毎に t 検定を行った。

結 果

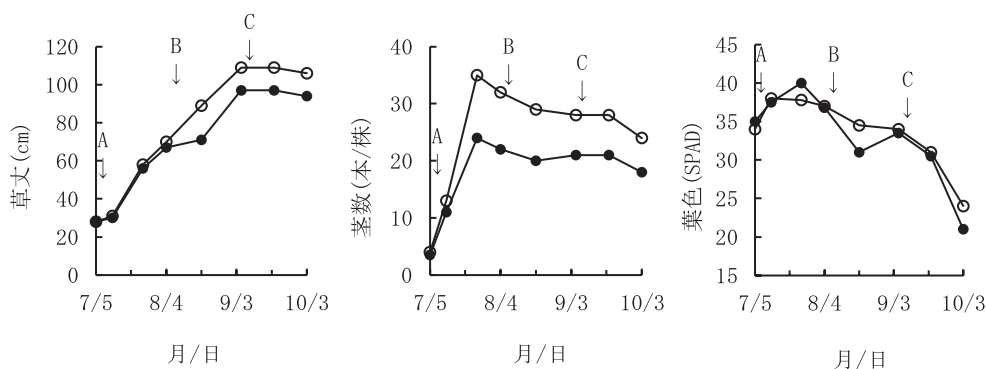
1. 気象経過と水管理

第 1 表は、各試験年の主な作業日程を整理して示したものである。また、第 2 表には移植から収穫までの気象概要と水管理の実績を示したが、気象データは試験水田から北北西に約 3.5 km 離れた高松地方気象台における観測値を用いた。平年値は、1981 年から 2010 年までの 30 年間平均値である。栽培期間は、2012 年は 109 日、2013 年は 112 日、2014 年は 114 日であった。気象要因の中では特に雨量に顕著な年次間差がみられた。すなわち、2012 年は 6 月 4 半旬と 7 月上旬以外はまとまった雨がなかったため栽培期間中の積算雨量は平年よりも 17% 少なかったが、2013 年と 2014 年の積算雨量はそれぞれ平年より 38%、43% 多かった。また、2013 年と 2014 年の雨は特定の時期に集中する傾向が強かった。2013 年は 8 月下旬から 9 月第 1 半旬にかけて雨の日が多く、9 月 15 日にも 164 mm という豪雨に見舞われた。2014 年は 8 月中の雨量が平年を 5 倍以上も上回り、中でも 8 月 2 日、3 日、4 日には 59 mm、54 mm、14 mm、また 8 日、9 日、10 日には 58 mm、91 mm、78 mm の雨量を連続して記録した（データ省略）。

処理期間中の気象を比較するために、第 1 図に 7 月 2 半旬から 8 月 1 半旬までの気象経過を示した。特徴的なことは、2013 年と 2014 年の 7 月 2 半旬と 3 半旬および 8 月 1



第1図 処理期間中の半旬別日平均気温、日平均雨量、日平均日射量の推移。



第2図 草丈、茎数、葉色の推移 (2013年)。

○: 対照区, ●: 節水区. 10/3の草丈は稈長 + 穂長, 10/3の茎数は穂数。

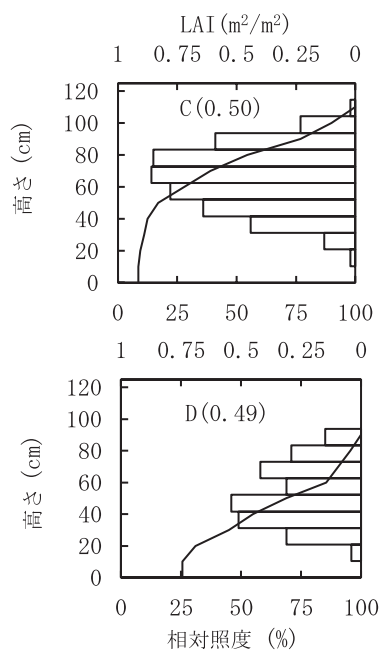
A: 処理開始日, B: 処理終了日, C: 出穂日。

半旬を除くと、3年間とも高温少雨で、日射量が多かったことである。特に雨量が顕著に少なく、第2表に示したように、2012年の処理期間中の雨量は9 mm（平年の13%）、2013年の雨量は53 mm（同43%）しかなかった。2014年は処理期間中に195 mm（同160%）の降雨があったが、その時期は処理開始直後の2日間と処理終了直前の3日間に集中していた。このため、この5日間を除いた中25日間の雨量は26 mm（同25%）となった。

水管理についてみると、雨量の少なかった2012年はその分取水量が多く、雨量の多かった2013年と2014年は取水量が少なかった。また、2013年と2014年は、大雨で畦からオーバーフローすることがあったために排水量が多くなった。節水率は、2012年は20.7%、2013年は27.4%、2014年は24.3%であった。

2. 生育経過と葉群構造

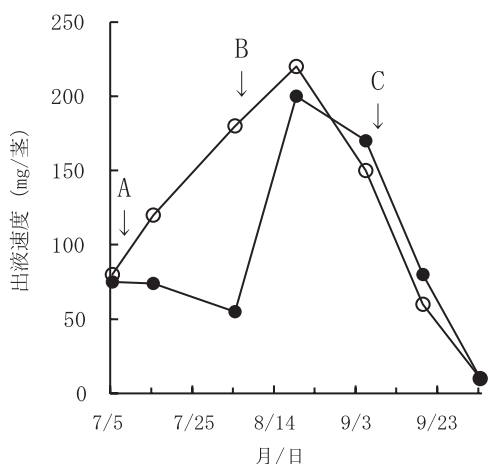
2013年における草丈、株あたり茎数および葉色の推移を第2図に示した。節水区の草丈は、処理期間中はC区とほとんど変わらなかったが徐々に差が現れはじめ、出穂期頃にはC区より10.6 cm 短くなった。茎数は、対照区、節水区とも7月下旬に最高となったが、処理直後から処理区



第3図 葉群構造と吸光係数 (2013年)。

C: 対照区, D: 節水区. (): 吸光係数。

棒グラフは層別の葉面積指数 (LAI), 線は相対照度。



第4図 1茎あたり出液速度の推移（2013年）。
○：対照区，●：節水区。
A：処理開始日，B：処理終了日，C：出穂日。

間に差が現れ、最高分けつ期の茎数は節水区が11.3本少なかった。しかし、その後の減少は節水区の方が緩やかで、両区の差は次第に縮小した。葉色は7月中下旬頃に最も濃く、その後薄くなっていったが、処理による差はほとんどみられなかった。

第3図には、成熟期における葉群構造を示した。株あたりの葉面積は対照区2961 cm²、節水区1669 cm²で、節水区の方が44%少なかった。また、葉の分布についてみると、対照区では群落の中上層部に主体があり、この層にかけて相対照度が大きく低下していた。一方、節水区の葉は群落内に比較的均等に分布し、主体は群落の中下層部にあった。このため、群落中層部までの相対照度の低下は小さかった。吸光係数は対照区0.50、節水区0.49で、処理区間に差はなかった。

3. 根系特性

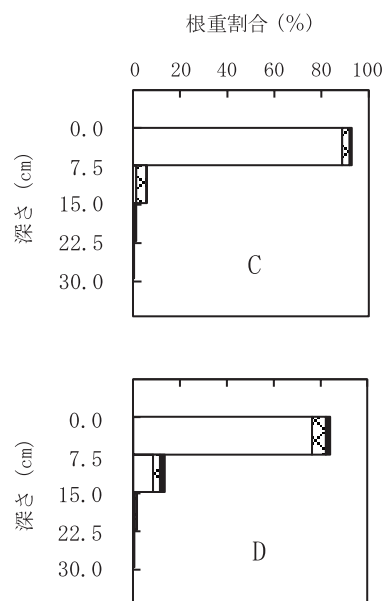
第4図に、1茎あたりの出液速度の推移を示した。対照区では出穂期前まで直線的に増加し、その後低下した。節水区の出液速度は灌水停止により減少し、処理期間中は明らかに対照区よりも小さかったが、処理が終了して再灌水が始まると急上昇し、その後は対照区とほとんど変わらず推移した。

第5図は、処理終了1週間後の根系の状態を示したものである。節水区では根量は少なかったものの白い新根が多数発生していたが、対照区の根は茶褐色に変色していた。

第6図には、成熟期における根乾物重の分布を示した。株あたりの全根乾物重は対照区46.5 g、節水区10.9 gであり、節水区の根量は対照区の約1/4であったが、その分布には明瞭な違いがみられた。すなわち、対照区では、株の左右5 cm以内で深さ7.5 cm以内の中央部に根重全体の88.9%が集中していたのに対し、節水区における中央部の根重割合は76.2%であった。一方、株の中心から左右5



第5図 処理終了1週間後の根系（2013年）。
D：節水区，C：対照区。



第6図 成熟期の根系分布（2013年）。
C：対照区，D：節水区。
□：株から0～5 cm，▣：同5～10 cm，
■：同10～15 cm。

cmを超える部分に分布する根乾物重の割合は対照区9.3%、節水区14.4%で節水区の方が多く、7.5 cmより深くに分布する割合は対照区7.2%、節水区15.8%で節水区の方が対照区を2倍以上上回っていた。

4. 収量

第3表に出穂期と収量構成要素および収量を示した。出穂期は、2012年は対照区が節水区よりも1日遅かったが、他は対照区と節水区で変わらなかった。収量（2012年は3カ所各25株の坪刈収量、2013年は5 a、2014年は10 aの全刈収量）は、2012年は節水区の方が対照区よりも6%少なかった。2013年と2014年の収量は、処理区間に有意差

第3表 出穂期と収量構成要素および収量.

試験年	処理	出穂期 (月・日)	穂数 (本/m ²)	1穂粒数 (粒/穂)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	収量 (g/m ²)
2012年	C	9・5	328 (100)	79.6 (100)	79.8 (100)	24.8 (100)	548 (100)
	D	9・4	332 (101)	74.9 (94)	80.0 (100)	25.4 (102)	515 (94)
2013年	C	9・3	335 (100)	95.8 (100)	86.3 (100)	23.6 (100)	704 (100)
	D	9・3	249 (74)	94.6 (99)	82.0 (95)	23.4 (99)	514 (73)
2014年	C	9・4	377 (100)	95.2 (100)	80.7 (100)	23.0 (100)	727 (100)
	D	9・4	278 (74)	88.4 (93)	89.2 (110)	23.9 (104)	573 (79)
分散 分析	処理	—	*	ns	ns	ns	ns
	年次	—	ns	ns	ns	ns	ns

C: 対照区, D: 節水区, (): 比率. 収量: 2012年は3カ所各25株の坪刈収量, 2013年は5aの全刈収量, 2014年は10aの全刈収量. 分散分析: 2013年と2014年について反復なしの年次と処理の2元配置による分散分析. *: 5%水準で有意差あり, ns: 有意差なし.

第4表 玄米の外観品質.

試験年	処理	整粒 歩合 (%)	未熟粒 歩合 (%)	被害粒 歩合 (%)	その他 (%)
2012年	C	83.6	15.1	0.80	0.30
	D	87.2	11.4	1.00	0.40
2013年	C	72.9	25.1	1.40	0.60
	D	68.8	28.6	2.10	0.50
2014年	C	62.6	35.0	0.60	1.85
	D	77.8	21.2	0.60	0.50
分散 分析	処理	ns	ns	ns	ns
	年次	ns	ns	ns	ns

C: 対照区, D: 節水区.

分散分析: 2013年と2014年について反復なしの年次と処理の2元配置による分散分析. ns: 有意差なし.

第5表 白米の理化学的食味特性.

試験年	処理	AC	PC	MV	BD
2012年	C	21.3	6.85	272	119
	D	21.5	6.90	274	98
2013年	C	16.4	7.25	203	75
	D	15.8	6.70	223	75
2014年	C	16.5	7.00	186	68
	D	17.1	6.20	201	69
分散 分析	処理	ns	ns	ns	ns
	年次	ns	ns	ns	ns

C: 対照区, D: 節水区. AC: アミロース含有率(%), PC: タンパク質含有率(%), MV: 最高粘度(RVU), BD: ブレックダウン(RVU). 分散分析: 2013年と2014年について反復なしの年次と処理の2元配置による分散分析. ns: 有意差なし.

は認められなかったが, 2年間の平均収量は対照区 716 g/m², 節水区 544 g/m²であり, 節水区の方が対照区よりも24%少なかった.

収量構成要素のうち穂数についてみると, 2012年では処理区間にほとんど差はなかったが, 2013年と2014年では有意な処理区間差が認められた. すなわち, 2013年と2014年の2年間平均の穂数は対照区 356 本/m², 節水区 264 本/m²で, 節水区における穂数の減少率は26%であり, 収量の低下率とほぼ等しかった. 1穂粒数は節水区の方が対照区よりも1~7%少なかったが, 登熟歩合と千粒重は, 2013年の登熟歩合以外は処理区間で差がないかむしろ節水区の方が大きい傾向がみられた. ただし, 2013年と2014年の処理区別1穂粒数, 登熟歩合, 千粒重に有意差はなかった.

なお, 2013年に調査した有効茎歩合(穂数/最高茎数)は対照区 62.6%, 節水区 67.5%であった.

5. 外観品質と食味

第4表に玄米の外観品質に関わる特性を示した. 整粒歩

合は, 2013年は節水区の方が対照区よりも4.1%低かったが, 2012年と2014年は逆に, 節水区の方が対照区をそれぞれ3.6%, 15.2%上回っていた. また, 2012年と2014年の節水区では, 整粒歩合の増加にほぼ見合う分だけ未熟粒歩合が低かった. しかし, 2013年と2014年の分散分析では, 全ての特性に有意な処理区間差は認められなかった.

第5表には白米の理化学的食味特性を示した. アミロース含有率とブレックダウンに特定の傾向はみられなかったが, タンパク質含有率については対照区と節水区が同等もしくは節水区の方が低く, 最高粘度は同等もしくは節水区の方が高かった. ただし, 外観品質と同様, どの特性においても処理区間差は有意ではなかった.

第6表は食味官能試験の結果を示したものである. t検定の結果ではいずれの項目にも有意な処理区間差は認められなかったが, 節水区は正の値をとる場合が多かった. 特に外観と総合は3年間とも正であり, 中でも2013年には約0.3の差がみられた.

第6表 食味官能試験.

試験年	処理	外観	味	粘り	硬さ	総合
2012 年	C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	D	0.20	0.07	0.00	0.27	0.13
	t 検定	ns	ns	ns	ns	ns
2013 年	C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	D	0.31	0.18	-0.29	-0.12	0.30
	t 検定	ns	ns	ns	ns	ns
2014 年	C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	D	0.17	-0.17	0.33	0.17	0.06
	t 検定	ns	ns	ns	ns	ns

C：対照区，D：節水区.

ns：有意差なし.

考 察

香川県における水稻の節水栽培に資する基礎的知見を得るために、ヒノヒカ리를供試して幼穂分化期前の灌水停止による節水処理が収量と品質、食味に及ぼす影響を調査した.

2013 年の調査によれば、節水処理区 (D) では処理開始後から生育が抑制され、対照区 (C) に比べて最高分げつ期の茎数は約 30% 少なく、出穂期の草丈は 10 cm 程度短かった (第2図). 出液速度も処理期間中は対照区より低く推移した (第4図). しかし、処理終了後に灌水が再開されると、茎数の処理区間差は次第に縮小し、有効茎歩合は節水区の方が対照区を上回った. また、節水区では灌水再開後に新根が多数発生して根系の活力が高まり、出液速度は対照区と変わらなくなった (第4図, 第5図). 成熟期における節水区の葉面積は対照区より小さかったものの、葉が群落内部に比較的均等に分布し、光が上層部で強く遮られることがなかった (第3図). さらに、節水区では根の横方向への広がりや深層部への伸長、特に深層部への伸長が大きかった (第6図). これらの結果は他の報告 (高井 1959, 俵田ら 2006, Kato ら 2006, 加藤 2007a, Matsuo and Mochizuki 2009) と一致していた.

収量についてみると、2013 年と 2014 年の節水区における収量は対照区に比べて 25% 前後低下したが、分散分析の結果では処理区間に有意差は現れなかった (第3表). しかし、統計的に有意差がなくても、農家にとって 25% の減収は大きすぎる. このため、2013 年と 2014 年に行った節水栽培法 (第1表, 第2表), すなわち幼穂分化期前に 30 日間灌水を停止するという方法 (節水率 25~30% 程度) をそのまま実用栽培に適用することは難しいと判断した. 一方、2012 年の節水区における収量低下は 6% にとどまった. したがって、2012 年に行った幼穂分化期前 22 日間の灌水停止 (節水率 20% 程度) が実用的な節水栽培の限界であると思われる.

収量構成要素に関しては、有意ではないが、1 穂粒数は節水区の方が対照区よりも少なく、登熟歩合と千粒重は同

程度が節水区がやや大きい傾向がみられた. しかし穂数は、2012 年では対照区と節水区でほとんど変わらなかったが、2013 年と 2014 年では処理区間に有意差が認められ、節水区の方が対照区よりも 26% 少なかった (第3表). したがって、2013 年と 2014 年の節水区における減収は穂数の不足が原因と考えられる. このため、2012 年の減収率と 2013 年および 2014 年の減収率が大きく異なった理由も、節水処理の開始時期と穂数との関係から説明することができる. すなわち、2013 年と 2014 年は 7 月 6 日に節水処理を開始したが、第2図にみられるように、この日は移植後 2 週間目で茎数が旺盛に増加し始める時期である. 一方、2012 年の処理開始は 7 月 16 日であったが、第2図に当てはめると、この頃には茎数は穂数と同程度にまで増えてきている. 第2図は 2013 年の調査結果であるが、出穂期が 3 年間ともほぼ同日であったこと (第3表) から生育ステージの年次による差は小さいとみられる. したがって、2012 年の節水処理開始時期は有効分げつ決定期頃であり、穂数に見合う位の茎数が既に確保されていたと推測される. このため、2013 年と 2014 年の節水区では灌水停止に伴う茎数の増加抑制によって穂数が大きく減少して減収したが、2012 年は灌水停止後に茎数増加が抑制されても無効分げつが減るだけで、最終的な穂数には強く影響しなかったと考えられる. したがって、有効分げつ決定期は節水栽培における灌水停止時期を決める一つの目安になると言える.

栽培方法と品質や食味との関係を明らかにすることは高品質・良食味米生産にとって極めて重要である. 松江 (2012) は、栽培条件による分げつ構成、穂相、粒重や粒厚、籾の水分含有率などの変化と品質や食味との関係を詳細に解析し、低節位、低次位から発生した太い有効分げつと 2 次枝梗粒着生上位優勢の穂型を有している稲体が品質と食味からみた理想型であることを明らかにした. また、水管理と食味との関係については、適切な中干しや適期落水など周回水管理を行うことで根の活力すなわち旺盛な吸水能力が維持され、籾水分含有率の低下による登熟中断が回避されるために登熟歩合が高くなり、デンプン蓄積量が多くてタンパク質含有率が低く、千粒重が重くかつ粒厚の厚い充実した良食味米が得られると述べている (松江 2012).

本試験における対照区産米と節水区産米の外観品質、理化学的食味特性および官能試験による食味評価に有意な処理区間差は認められなかった (第4表, 第5表, 第6表). しかし、統計的に有意ではないものの、節水区産米は整粒歩合が高く未熟粒歩合が低く、タンパク質含有率が低くて最高粘度が高く、飯米の外観が優れて総合評価が高いという傾向がみられた. これらは、節水栽培による品質、食味向上の可能性を示すものであり、今後の重要な研究課題になると思われる. また、節水栽培によって品質や食味が向上するとしたら、その理由は、節水栽培では早期に有効分げつが確保されて有効茎歩合が高く (第2図)、登熟歩合が高く千粒重が重い傾向にあり (第3表)、灌水再開後に

新根が多数発生し、根系が深くかつ広く分布して吸水力が高まる（第4図、第5図、第6図）ことで、松江（2012）が描いた品質食味に関する理想型に近い稲体が得られるためと推測される。しかし、本試験では分けつ構成や穂型、米の粒厚分布などは調査していない。また、出穂前20～10日頃に極端な水不足（干ばつ）に遭遇した米は、逆に、千粒重が減少してタンパク質含有率が高くなり、最高粘度とブレイクダウンが低下して食味官能評価が劣るという報告もみられる（松江ら1991）。したがって今後は、節水時期や節水強度と品質、食味との関係を分けつ構成、穂相、粒形質や水分含有率などの面からさらに詳しく検討する予定である。

謝辞：高松市上林町の山下淳二氏には、試験用水田を拝借したうえ日常の管理をお願いしました。さらに、栽培暦や日々の天候、水深、取水量などを記録していただいたばかりでなく調査の際の協力や冷たい物の差し入れなど、物心両面から暖かいご支援をいただきました。ここに記して心からお礼申し上げます。

引用文献

- Hayashi, S., Kamoshita, A. and Yamagishi, J. 2006. Effect of planting density on grain yield and water productivity of rice (*Oryza sativa* L.) grown in flooded and non-flooded field in Japan. *Plant Prod. Sci.* 9: 298-311.
- 早田茂一・大石浩之・知念有美・松本隆幸・和田達哉・磯部勝孝・石井龍一 2005. NERICA の乾物生産・収量特性に関する作物学的研究. 1. 畑条件で栽培した NERICA の乾物生産と収量特性. *日作紀* 74 (別1): 246-247.
- 平山正賢・岡本和之・宮本勝・平澤秀雄 2009. 畑栽培したイネの根量と気孔開度. *日作紀* 78 (別1): 250-251.
- 俵田智広・桂圭佑・堤礼華・堀江武・本間香貴・白岩立彦 2006. 稲の畑条件適応性の遺伝的変異とその要因. 第1報 多収陸稲品種の収量及び乾物生産特性. *日作紀* 75 (別2): 140-141.
- 香川県政策部水資源対策課 2011. 香川の水資源. 1-138.
- 鴨下顕彦・山岸順子 2007. 植物の根に関する諸問題 [166] - 水とイネの生産: 大学附属農場の研究教育プログラムから -. *農及園* 82: 614-620.
- Kato, Y., Kamoshita, A., Yamagishi, J. and Abe, J. 2006a. Growth of three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars under upland conditions with different levels of water supply. 1. Nitrogen content and dry matter production. *Plant Prod. Sci.* 9: 422-434.
- Kato, Y., Kamoshita, A. and Yamagishi, J. 2006b. Growth of three rice cultivars (*Oryza sativa* L.) under upland conditions with different levels of water supply. 2. Grain yield. *Plant Prod. Sci.* 9: 435-445.
- 加藤洋一郎 2007a. 畑条件下のイネ栽培における耐乾性とその遺伝的変異に関する研究. 東京大学学位論文 (国立国会図書館, 博士論文目録甲 22367).
- 加藤洋一郎 2007b. 植物の根に関する諸問題 [167] - 節水稲作技術としての畑条件下の稲栽培 -. *農及園* 82: 705-711.
- 桂圭佑・岡見翠・水沼博彰・加藤洋一郎 2009. 畑栽培におけるイネ (*Oryza sativa* L.) の多収性に関する研究. 2. 日射利用から見た乾物蓄積特性の解析. *日作紀* 78 (別2): 8-9.
- 松江勇次・矢野雅彦・浜田善弘 1991. 1990 年の京築地域における干ばつが水稻に及ぼした影響. 第2報 米の食味と理化学特性. *日作九支報* 58: 28-30.
- 松江勇次 2012. 作物生産からみた米の食味学. 養賢堂, 東京. 1-141.
- Matsuo, N. and Mochizuki, T. 2009. Growth and yield of six rice cultivars under three water-saving cultivations. *Plant Prod. Sci.* 12: 514-525.
- 森田茂紀・阿部淳 1999. 出液速度の測定・評価方法. 根の研究 8: 117-119.
- 高井静雄 1959. 水稻の節水栽培法. *農及園* 34: 323-326.
- 高井静雄 1970. 稲の灌漑の理論と実際. 農業図書株式会社, 東京. 1-191.
- 田坂幸平 2013. 人事を尽くして天命を待つ香川の水事情. 近中四農研ニュース 51: 2.

Water-saving Culture of Rice Cultivar Hinohikari in Kagawa Prefecture : Zhongqiu Cui¹⁾, Masanori Toyota²⁾ and Akihito Kusutani³⁾ (¹⁾Unit. Grad. Sch. of Agr. Sci. Ehime Univ., Matsuyama 790-8566, Japan; ²⁾Fac. of Kagawa Univ.; ³⁾Tianjin Agr. Univ.)

Abstract : The influence of water-saving culture on the yield, quality and palatability of rice was investigated using Hinohikari for 3 years from 2012 to 2014. Two water treatments were imposed: continuously flooded paddy field (C) and water-saving paddy field (WS). In WS, irrigation was stopped for 22 days before the panicle initiation stage in 2012, and for 30 days in 2013 and 2014. The total amount of input water (rainfall + irrigation water) in WS was 20.7% less than that in C in 2012, 27.4% less in 2013 and 24.3% less in 2014. The grain yield in WS was around 25% lower than in C both in 2013 and 2014. On the other hand, the yield decrease rate in WS was only about 5% in 2012. Thus the water-saving culture did not affect either quality or palatability.

Key words : Hinohikari, Kagawa prefecture, Palatability, Quality, Rice, Water-saving culture, Yield.