

水稻登熟期間の夜間灌水の効果

井上 健一*・土田 政憲**

Effects of the Night-time Irrigation during Ripening Period in Rice

Ken-ichi INOUE* , Masanori TSUCHIDA**

用水のパイプライン化に伴う比較的低温の水の利用法として、従来の日中に灌水する方法に対して夜間に灌水する方法がイネの生育に及ぼす影響について検討した。夜間灌水により夜間～翌日午前中の地表温度が低下し、その期間の稈からの出液量が増加する傾向が認められた。収量や収量構成要素に及ぼす影響は小さいが、良質粒の増加や胴割粒の低減による玄米の見かけの品質の向上と玄米タンパク含量の低下や味度値の向上など食味関連要素の向上効果が確認され、品質食味面で評価が高まることを明らかにした。

キーワード：灌水，食味，水稻，登熟期間，品質

I. 緒言

水稻生育期間中の気温の上昇が進み、各地で出穂期や成熟期が早まるなどの事例が多く報告されている。また、温暖化は発育の進展のみならず、米の品質にも大きな影響を及ぼしている。白未熟粒の発生実態を数多く解析した森田¹⁾は、九州地域では日照不足をともなう高温や夜温の上昇が登熟不良、白未熟粒多発の大きな要因であると指摘している。また、中川ら²⁾も2010年の北陸地域を中心とした高温による米の品質低下を解析し、コシヒカリの白未熟粒の多発は登熟気温の高さのみならず、窒素栄養条件の低下や多照条件が発生を助長したことを示唆している。これらの報告から、登熟期間の高温を避けるとともに、窒素栄養を基本とする稲体の生理的な条件を適正な状態に維持することが、高品質米を生産するうえで重要であるといえる。

高温登熟を避ける点からは、移植時期を遅らせて出穂後20日間程度の平均気温を低下させる、「遅植え」が各地で推奨されている。著者ら³⁾は、「遅植え」が登熟気温を低下させるのみならず、 m^2 あたり粒数がやや少なめに維持されることにより登熟歩合と1粒重の増加速度が高まり、それが大きな収量低下を招かず品質を維持するうえで重要な役割を果たしていることを示した。

また、中山間地では平均気温が低く日射量も幾分少ないが、現在の生産レベルでは品質食味の良好な米の生産に適していることも示した⁴⁾。

一方、福井県では主要河川である九頭竜川、日野川の用水のパイプライン化が進展しており、工事完成時の受益面積は福井県の耕地面積の40%以上を占めると想定されている。このため、その水を効率的にどう利活用するかは大きな課題である。パイプライン化により、ポンプ場を稼働させて揚水する配水法から自然圧で流下させることができるようになり、24時間の利用が可能となり水管理の自由度が高まるとともに、水管理に要する経費は削減されるなどのメリットは大きい。それに加えて、その水をどう生産性の向上に活用するかも求められている。

そこで、水稻の高温に伴う品質低下を低減するための登熟期間の水管理の効果について、簡単に取り組むことができる昼間灌水と夜間灌水の違いを比較検討した。これは、パイプライン敷設前は基幹用水路から分水するポンプ場の稼働時間が基本的に昼間であり、灌水時間の自由度が小さかった。そのため、水管理の自由度が高まるパイプライン化を契機として水を有効に活用したいとのねらいを受けた設定である。なお、本稿の水試験区は、夜間灌水を夜水区、昼間灌水を昼水区と称することとする。

* 福井県農業試験場作物部

** 丹南農林総合事務所

II. 試験方法

1. 調査場所と水管理方法、栽培条件

水管理に関する調査は、2006～2008年と2011～2013年の6年間に、福井県内現地計14ヶ所のコシヒカリ移植圃場（10ヶ所）および直播圃場（4ヶ所）で実施した。前三ヶ年はパイプライン化される前の圃場、後三ヶ年はパイプライン化された後の圃場の調査である。基本的に、隣接圃場で夜間灌水（原則18:00～翌日6:00）と昼間灌水（同6:00～18:00）の両区を設定した。試験区の反復は行わなかった。灌水は出穂期前後より開始し、上記時刻の間入水し、入水終了とともに自然条件で落水し、それを繰り返した。灌水のタイミングは農家の判断に委ね、記帳を依頼して集計した。したがって、降雨が多い年次の灌水頻度は低く、乾燥が続く年次の頻度は高かった。また、試験圃場によっては夜水区と昼水区の水持ちがやや異なり、灌水回数も同じではなかった（第1表）。なお、品種はすべてコシヒカリとしたが、栽培法は基本的に両区同じとして農家慣行に準じ、出穂期までの施肥量や肥培管理は夜水、昼水圃場を同一として農家に委ねた。

2. 温度のモニタリングと蒸発量の算出

各圃場の試験区に簡易型自記温度計（タバイ製 RT-13）を設置し、地表面と地上80cmの温度（以下それぞれ地表温、群落温度と記す。群落温度は2011～2013のみ）を30分おきにモニタリングして集計した。また、水温については、九頭竜川は福井市浄水場、日野川は日野川用水土地改良区の日別データを入手し、水温変化の解析に使用した。両データともにパイプラインの取水口に近い場

所で測定しているため、取水口データとして近似した。

また、福井地方気象台の気温、日射量、湿度、風速データを用いて、高見¹³⁾の方法により日蒸発量を算出し、灌水の必要性を気象面から推測するために活用した。

3. 生育収量の調査方法

調査場所は各試験区に2ヶ所設置し、それぞれ移植後及び直播2葉期頃に植付本数（3～5本/株）や苗立ち本数（100本/m²前後）を適正に調整した。また、それぞれ12株を出穂前からSPADを用いた葉色調査に供試した。出穂後は7～10日おきに止葉葉色を継続調査した。2013年には、登熟中期の夜間灌水実施日に稲株を地上10cmより切断し、脱脂綿にポリエチレン袋をかぶせて夜間（16:00～9:00）および翌日昼間（9:00～16:00）の出液量を測定し、1穂あたりで表示した。

各調査は作物調査基準⁹⁾に準じて行った。収量調査は、移植、直播ともに3～4m²を地際より坪刈りし、稲架干し後脱穀して収量構成要素を計測した。品質は2006年のみ目視調査を行ったが、それ以降は品質判定機（静岡製機製 ES-1000）を用いて測定した。食味関連要素については、食味計（静岡製機製 TM-3500）および味度メーター（東洋精米機製）を用いて測定するとともに、搗精歩留り90%に設定して精米し、官能試験に供試した。

なお、イネの収量や品質はm²あたりの粒数に大きく左右されるため、解析にあたっては両区の出穂期までの生育量は同じである条件で比較すると的前提で、m²あたりの粒数の差が2,000粒以内となる場所のみ（10ヶ所：移植7、直播3）のデータを使用し、それ以外は解析から除外した（第1表）。また、得られたデータの解析には、対応のある場合の平均値の差の検定を行った。

表1 年次ごとの調査場所と栽培方法

年次	調査場所	栽培法	圃場配置	灌水回数*		解析に供試
				夜水	昼水	
2006	坂井市丸岡町四ツ屋	移植	隣接	7	7	○
	坂井市三国町楽円	移植	やや離れる	11	13	○
2007	永平等町嶺家	移植	隣接	4	5	○
	坂井市春江町中筋	移植	隣接	9	5	○
	坂井市三国町楽円	移植	やや離れる	7	6	○
2008	坂井市春江町中筋	移植	隣接	7	13	○
	坂井市三国町楽円	移植	やや離れる	8	8	—
2011	坂井市坂井町下兵庫	直播	隣接	10	9	○
	坂井市坂井町上兵庫	移植	やや離れる	7	7	—
	坂井市春江町福島	移植	かなり離れる	6	4	—
2012	鯖江市四方谷町	移植	一筆を2分	10	11	○
2013	南越前町脇本	直播	隣接	4	4	○
	鯖江市四方谷町	移植	一筆を2分	6	6	—
	福井市竹生	直播	隣接	5	5	○

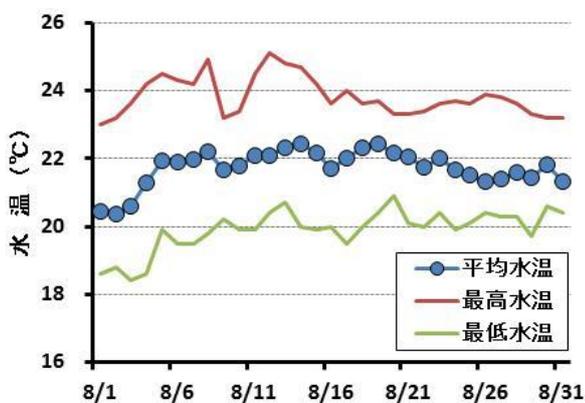
注) * 灌水回数の平均値は、夜水7.2回、昼水7.4回。

Ⅲ. 調査、解析結果と考察

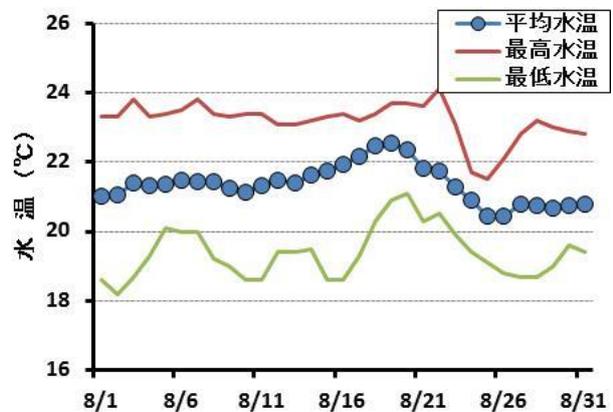
1. 夏期のパイプライン水温の変化

夏期のパイプライン中を流下する水の水温変化は軽微であり、取水口の水温が15km程度下流まで維持される。これに対して、開水路の水温は場所にもよるが3～4℃上昇する^{11,12)}。加えて、水量が減少して流速が低下すると、水温は容易に30℃を上回る。したがって、パイプラインを流下する距離が長くなるほど、同じ距離を流れた後のパイプラインと開水路の用水の水温差は大きくなることになる。このことから、取水口の水温がどのように変動するかがわかれば、パイプライン末端の水温がどの程度になるかを推測できる。そこで、年次によって夏期の河川水温がどのように変動するかについて、過去の水温データをベースとして解析した。

2007～2013年の8月の日別の九頭竜川（取水口）の平均、最高、最低水温を第1図に、同様に集計した日野川（取水口）のデータを第2図に記した。これによると、8月の水温は18～25℃の間で推移し、平均水温は九頭竜川21.7℃、日野川21.4℃で、取水口の水温は比較的良好に似ていた。また、両河川ともに、最高水温は24℃前後、最低水温は18～21℃の間で推移した。8月の平均水温を年次間で比較すると、九頭竜川で20.5℃～23.3℃、日野川で20.4℃～22.1℃と年次間差は比較的小さかった。九頭竜川よりも日野川のほうが8月の日別の平均水温の変動が大きい傾向があるが、これは、水源から取水口までの距離が九頭竜川で長く日野川では短いこと、および日野川ではダムからの距離が短いことによると考えられ、特に日野川の最低水温の変動が大きいのは、ダムの水位



第1図 8月の九頭竜川の水温
(2007-13: 福井市浄水場調査)



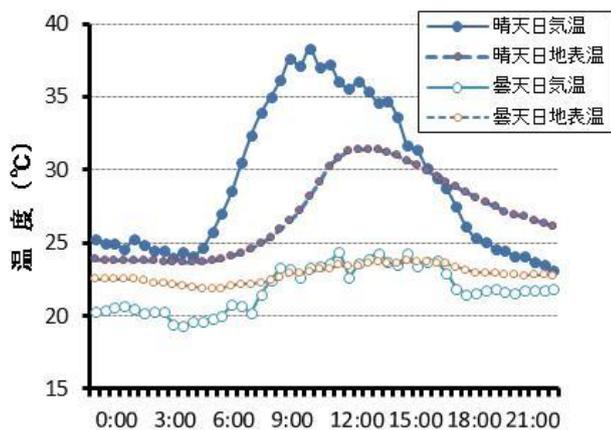
第2図 8月の日野川取水口の水温
(2007-13: 越前市浄水場調査)

が変動して下層の低温水の放流の影響が大きいと推測される。なお、両河川の水温は、登熟期間の水田の地表温（第2表：日平均25～28℃）に比べると明らかに低いことがわかった。

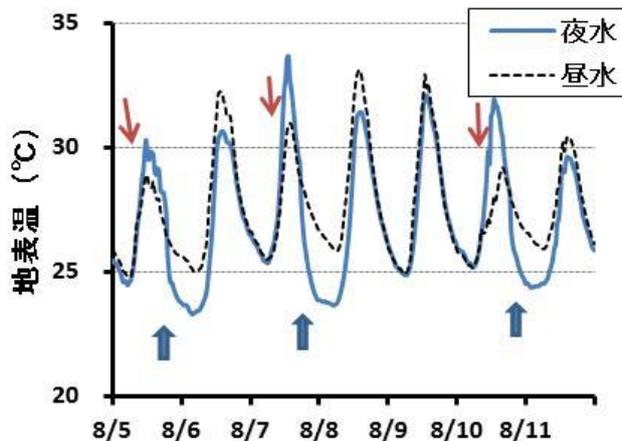
2. 水田の地表温および群落温度に及ぼす灌水の効果

水田の地表温、群落温度ともにきれいな日変化を示し、群落温度のほうが日較差が大きく、日中の温度は35℃を上回った。また、日射の影響が大きく、曇雨天日の日較差は小さくなった（第3図）。灌水試験では、基本的に夜水、昼水ともに同じ回数灌水する設計であるため、登熟期間など長期間で平均した温度には試験区間の有意な差は見られなかった（第2表）。

灌水の時間帯による温度の違いを比較すると、当初は灌水の影響がイネの群落表層にも及ぶ可能性を想定していたが、穂の位置の群落温度は灌水のやり方によってほとんど影響を受けなかった（第2表）。一方、地表温は灌水によって明らかに低下し、落水に伴って上昇した。このため、夜水区では夜間の地表温の低下が顕著であるとともに翌朝の地表温の上昇も緩慢であった。一方、昼水区では日中の地表温の上昇は緩和されるが夜間は低下しなかった（第4図）。したがって、夜水区で日較差が大きくなった。灌水頻度が最大でも2～3日に1回であるため、登熟期間など長期間の平均温度にはほとんど差が認められなかったが、日較差の拡大が登熟向上に効果的に働いている可能性があると考えられる²⁾。



第3図 晴天日と曇天日の温度の日変化
(2011.8.8および8.21)



第4図 地表温の日変化
(2011: 下兵庫, 矢印は灌水始)

第2表 年次ごとの群落温度および地表温

試験区		2006	2007	2008	2011	2012	2013	平均
夜水区	群落温度 (°C)	-	-	-	26.7	28.4	25.1	26.7
	地表温 (°C)	26.5	27.2	27.8	25.8	26.8	25.2	26.6
昼水区	群落温度 (°C)	-	-	-	26.9	28.1	25.7	26.9
	地表温 (°C)	26.3	27.1	27.6	26.1	26.3	25.2	26.4

注) 温度は解析に供試した各調査場所の登熟期間の平均値。

第3表 年次ごとの降水頻度, 平均蒸発量, 灌水回数, 良質粒の割合の試験区間差

年次	2006	2007	2008	2011	2012	2013
降水頻度 (回) *	10	12	14	16	11	19
降水量 (mm)	240.5	174.0	224.0	295.0	284.5	467.5
蒸発量 (mm/日) *	6.1	6.4	5.5	5.3	7.1	5.1
灌水回数**	9.5	6.0	6.0	7.2	10.5	5.0
良質粒の差(%)***	+4	+1	+2	+3	+6	+1

注) * 8/1-9/10 の積算及び平均値. ** 試験場所の平均値. *** 夜水区-昼水区の値の平均値。

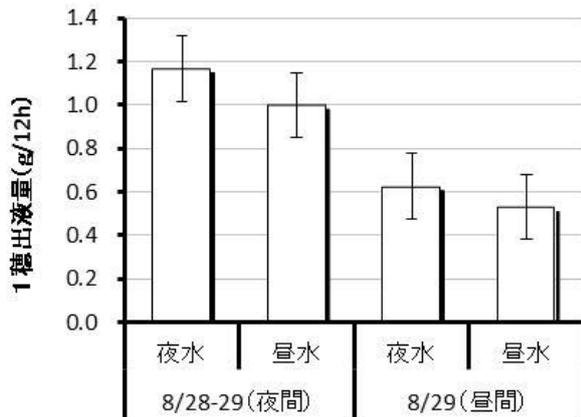
3. 気象条件と登熟期間の灌水頻度

試験年次の降水頻度, 蒸発量, 平均灌水回数と夜水区と昼水区の良質粒の割合の差を第3表に示した. コシヒカリの登熟日数は通常 35~40 日で, この期間に 10~19 日間の降水日があった. また, 1日当たりの平均蒸発量は 5~7mm であった. 登熟期間に 3日おきの間断灌水ならば 11~13 回の灌水回数となるが, それに近い灌水回数であったのは 2006年と 2012年, 他の年次は気温や降水量の影響によりその 1/2~2/3 程度の灌水回数であった. 年次ごとに比較すると, 2007年を除いて無降雨期間が長く蒸発量が大きい年次では灌水回数が多かった. また, そのような年次では夜水区と昼水区の良質粒の割合の差がやや大きい傾向がうかがえた. この結果は, 蒸発量の程度に応じて灌水を実施することが重要であることに加えて, 高温乾燥年次ほど夜間灌水の効果が大きくなることを示している.

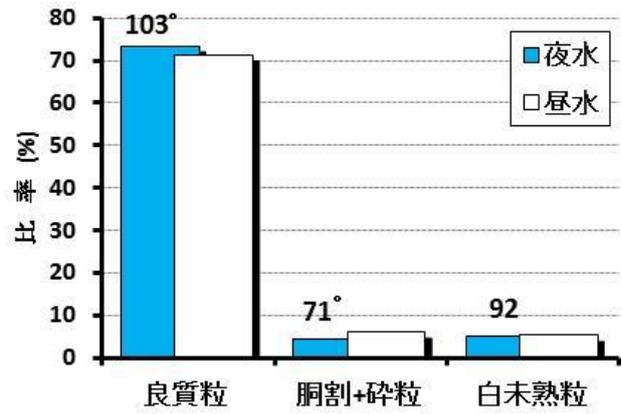
4. 登熟期間の夜間灌水の効果

1) 登熟期間の葉色と出液量

出穂後の止葉葉色は, 年次によっては夜水区でやや濃く維持される場合もあるが, 年次によって傾向が異なる場合もあり, 明らかな差は認められなかった(図省略). 葉色の変化は, 根からの窒素の吸収と葉身から玄米への窒素の転流経過を反映しているため, 地力が高く根系の状態が良好であれば葉色は登熟後半までやや濃く維持される. 20°C前半の比較的低温の水を灌水すると, 地上 40cm 程度までの株元の温度は低下するとの報告もあり¹⁰⁾, 外気温が高い条件では温度差が拡大し登熟向上に好影響をもたらすと想定される. 灌水が終了した成熟期前の根系形態には大きな違いはないが, 夜間灌水日の株元からの出液量は, 夜間, 昼間ともに夜水区でやや多くなる傾向が確認された(第5図).



第5図 1穂あたり出液量の比較
(2013 2ヶ所の平均値)



第6図 水管理と見かけの品質
(数値は昼水を100とした比。
°は10%水準で有意差あり)

第4表 収量および収量構成要素の比較

試験区	穂数 (本/m ²)	一穂粒数 (粒)	m ² 粒数 (百粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄米重 (kg/a)	収量比 (%)
夜水区	377±36	74.1±8.6	279±41	89.7±6.1	21.8±0.5	54.3±6.0	102
昼水区	383±50	73.1±9.2	279±42	88.8±6.6	21.7±0.5	53.2±5.4	100

注) 6年10場所の平均値。各項目ともに試験区間に5%水準で有意差なし。

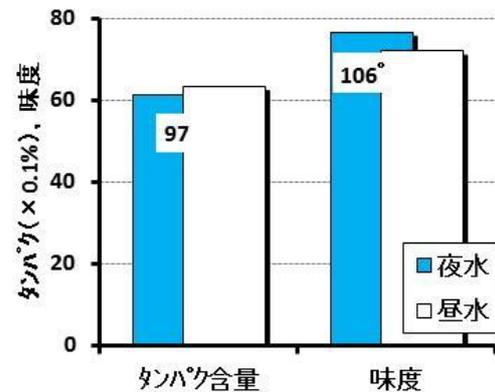
2) 収量と品質

収量と収量構成要素の平均値を第4表に示した。穂数、一穂粒数およびm²あたり粒数は両区ともによく揃い、ほぼ同等であった。夜水区では登熟歩合がわずかに高まり、同等な粒数でも精玄米重は2%程度増加したが、統計的には有意差は認められなかった。この結果より、水管理の違いのみで著しい収量向上を期待することは難しいが、夜間灌水によりわずかに登熟に対して向上効果があると推測される。

見かけの品質を比較すると、夜水区では胴割粒+砕粒および白未熟粒などの発生がやや減少し、良質粒の割合が3%高まった(第6図)。この結果は、登熟歩合の向上と同じ理由で玄米への炭水化物の転流が安定して生育後半まで継続したことを示していると考えられる。また、m²あたり粒数が35,000粒を上回るような条件では夜水区と昼水区の違いがはっきりする傾向があり(第7図)、粒数過剰や窒素不足など登熟が悪化する条件で水管理の効果がやや大きくなると推測される。

3) 食味関連要素

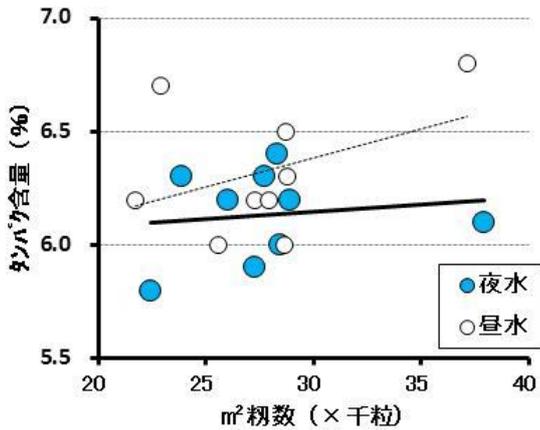
玄米のタンパク含量は米の食味評価との関連性が指摘され、比較的タンパク含量の低い米が好まれる傾向がある。一方で、多少のタンパクの違いでは食味への影響はほとんどなく、むしろ味度など米の表層の影響のほうが



第7図 灌水方法と食味関連要素
(数値は昼水を100とした比。タンパクはn=9,
味度はn=4。°は10%水準で有意差あり)

大きいとの報告もある³⁾。

玄米のタンパク含量には水管理間で平均0.2%の差がみられ、夜水区のほうがやや低かった。また、炊飯米の光沢やうまみとの関連が強い味度値についても、夜水区のほうが昼水区を4ポイント上回った(第8図)。タンパク含量についてm²あたり粒数との関係を解析すると、粒数の多少にかかわらず夜水区の回帰式の回帰係数は昼水区のそれより小さく、比較の変動が小さいといえる(第9図)。タンパク含量が低い理由として、窒素と炭水化物の玄米への転流程度の差が影響していると推測され、夜水区ではわずかながら相対的に炭水化物の転流量が大きかったと考えられる。また、味度値についても、夜水区では登熟前半の低地表温と登熟後半まで転流が円滑に行



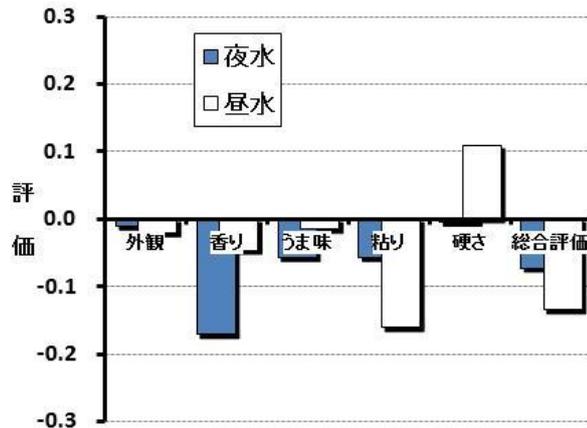
第8図 m²稈数とタンパク含量の関係

われたために数値が高まったと推測される。

一方、食味官能試験の結果を第9図に記した。明瞭な差は認められないが、平均するとわずかに夜水区で総合評価が良好であった。評価の内訳を概観すると、夜水区の炊飯米は粘り評価はまずまずであるが味評価に違いはなく、やや軟らかめの食感が条件によって総合評価を左右するようである。なぜ夜水区の香り評価が低かったかについては判然としなかった。

IV 総合考察

水温と水稻の生育収量に関する研究では、低水温による水稻の生育不良対策や、東北地域のやませによる冷害対策など、これまでは低温による障害をどう回避、低減するかの研究が主であった。冷水害は初期生育の停滞や登熟期間の不稔となって現れ、昼間の低水温のダメージが大きいことが指摘され、その対策として温水池や温水路の設置や止水灌水、夜間灌水などに効果があるとされている⁵⁾。この場合の夜間灌水は、昼間止水して水温を上昇させることに意味があると推測される。しかし、近年は夏期の気温の上昇が大きな問題であり、2010年に水稻品質が大きく低下した新潟県では、平坦地の灌水水温が30℃以上となり、それが品質低下を助長したとの解析事例がある(私信)。また、フェーン現象時に湛水して乾燥に備えることは基本的な栽培技術として徹底されている。しかし、高温による品質低下を回避するための方策として、水温をどう活用するかについて検討した研究はほとんど見られない。一方、近年では山間、中山間地域で比較的水稻の品質や食味が良好であるが⁴⁾、その理由についても水温より気温が低いこととの解釈に妥当性



第9図 食味評価の比較
(2011-13: 農試作況試験との比較, 4回平均)

がある。

本研究では、平坦地を中心に水温のデータを収集し、盛夏の気温が30℃を上回るような高温下でもパイプラインを経由する水温は25℃までと低く、地表温も35℃を上回ることはなく、灌水の低水温が地表温を低下させる効果をはっきりと示すことができた。

高温登熟条件で高品質米を生産するためには根の機能が重要であり、表層から下層までまんべんなく広がった大きな根系を持つイネでは、乾燥ストレスに対する耐性を保持しており、高温時の品質低下も小さい。また、最高茎数が多く有効茎歩合が低いイネでは、下層に伸長した根が枯死して脱落しやすく、コシヒカリでは倒伏と相まって品質が著しく低下しやすい¹⁾。このことから、生育中期までに形成された根の生理的な活性を成熟期まで高く維持することが高品質米の生産にとって非常に重要である。その観点からは、パイプラインを通して供給される比較的低温の水を夜間に供給することにより、夜間および翌日中の出液量が増加する事例があることから、根の機能の維持、向上に一定の効果があると判断される。なお、本試験では品質や食味関連のデータに夜間灌水と昼間灌水で有意な差は得られていないが、これは年次によって気温や灌水回数変動のために灌水の効果が不安定となるためである。高温乾燥年次を想定すると夜間灌水の効果は安定して得られると想定している。

試験圃場を管理した生産者は、おおむね3日に1回、大気乾燥が著しい場合には2日に1回灌水し、降雨日や曇天日には数日間灌水しない水管理を実施していた。また、灌水後は少しずつ落水し、灌水や降雨直後でなければ湛水状態でなく、比較的田面を湿潤あるいは落水状態とする水管理を続けていた。試験期間中には1日当たり蒸発量が10mmを上回る乾燥の著しい日があった中でも、ほとんどの場所でおおむね良質粒の割合は70%前後と高い状態を維持できた。したがって、湛水せずに田面

の湿潤状態を維持しながら根の機能を維持する水管理が、水を節約しながら米の品質食味向上という点で合理的かつ重要である。なお、福井県には重粘な土壌が広く分布しているため、収穫作業を考慮して地耐力を維持したいという考えが根強く残っている。夜間灌水はその考えにも適合した技術と考えられる。また、盛夏の用水量は十分でない点を考慮すると、品質面での効果が指摘されているかけ流しを行うことは現実的に不可能であり、数日おきの夜間灌水で品質向上効果があるならばそのほうがより現実的と考えられる。

なお、パイプライン化前でもある程度の夜間灌水の効果が得られているため、品質向上効果は単なる水温の問題かどうかについて検討の余地がある¹⁰⁾。また、イネの登熟生理に対する細かな調査も進んでいない。このような残された課題はいくつかあるが、これだけ大まかな調査においても品質食味に対して夜間灌水の一定の効果が得られているため、今後はその効果を最大に引き出せる条件について、効率的な灌水方法を検討することも重要である。

なお、本調査、研究は、九頭竜川下流農業水利事業所、日野川用水土地改良区および福井市浄水場、越前市浄水場の職員の協力の下で実施した。記して謝意を申し上げる。

引用文献

1)井上健一・山口泰弘(2007)高温障害に強いイネ, 日作北陸支部・北陸育種談話会編, 養賢堂, 東京, 59-73.

- 2)井上健一・土田政憲(2012)登熟期間の水管理がコシヒカリの品質食味に及ぼす影響. 北陸作報 48(別):1.
- 3)井上健一(2012)福井県におけるコシヒカリの高温登熟回避の試み. 北陸作報 47:137-140.
- 4)井上健一・高岡聖子(2012)中山間地で栽培されたコシヒカリの登熟条件と品質・食味の関係. 北陸作報 47:51-54.
- 5)三原義秋(1970)冷水害. 農業気象ハンドブック:349-362. 養賢堂.
- 6)森田 敏(2011)イネの高温障害と対策:1-143. 農文協.
- 7)長田健二・小谷俊之・吉永悟志・福田あかり(2005)胴割れ米発生におよぼす登熟初期の水管理条件の影響. 日作東北支部報 48:33-35.
- 8)中川博視ほか23名(2012)2010年の夏季高温が北陸地域を中心としたコシヒカリの品質に与えた影響. 1. 外観品質について. 日作紀 81 別 1:126-127.
- 9)日本作物学会九州支部会(2013)作物調査基準:1-36.
- 10)西田和弘・宇尾卓也・吉田修一郎・塚口直史(2013)夜間掛流し灌漑による水田水温と葉温低下／農業農村工学会誌 81:297-300.
- 11)大塚直輝・坂田 賢(2013)パイプラインを利用した夜間灌漑実証試験. 農業農村工学会誌 81:301-304.
- 12)坂田 賢・友正達美・吉村亜希子・大塚直輝・倉田 進(2014)パイプライン用水路が有する夏季の水温上昇緩和効果. 農業農村工学会誌 82:印刷中.
- 13)高見晋一(2004)農学, 生態学のための環境物理学入門(10). 農及園79(10):1137-1141

Effects of the Night-time Irrigation during Ripening Period in Rice

Ken-ichi INOUE^{*} , Masanori TSUCHIDA^{**}

Key words:

grain appearance, irrigation, palatability, rice, ripening period

Summary

In Fukui and Sakai area in Fukui prefecture, pipeline irrigation system for paddy field has been prevailing in recent years. Water temperature which passed through the pipeline system became lower than that of open canal by the shading effect. Then, the effects of irrigation time during ripening period on the grain appearance and eating quality were examined for 6 years on 10 paddy fields.

In the night-time irrigation, from the evening to the morning in next day, the temperature on soil surface kept lower than that of the day-time irrigation. At the day of the night-time irrigation, the amount of bleeding sap per panicle becomes larger than the day-time irrigation. In yield component, ripening index became slightly improved in the night-time irrigation and grain yield became 2% higher than the day-time irrigation.

Grain appearance and eating quality were improved in the night-time irrigation. In the night-time irrigation, the percentage of perfect grain increased and that of white immature grain and cracked grain decreased. Also, the protein content in grain and mido value which showed close relationship to the eating quality were both slightly improved in the night-time irrigation. These results showed that the night-time irrigation is effective for high quality rice production.