

## 水稻種子の水分含量を低下させることによる温湯消毒時の高温耐性の向上

金勝一樹<sup>1)</sup>・三田村芳樹<sup>1)</sup>・岡崎直人<sup>1)</sup>・佐野直人<sup>1)</sup>・山田哲也<sup>1)</sup>・村田和優<sup>2)</sup>

(<sup>1)</sup> 東京農工大学農学部, (<sup>2)</sup> 富山県農林水産総合技術センター農業研究所)

**要旨：**水稻種子の温湯消毒法は、化学農薬を使用しないクリーンな農業技術である。この消毒法の防除効果を向上させるためには、できるだけ高温で処理することが重要である。そのためには多くの品種において種子の高温耐性を強化する必要がある。本研究では、種子の水分含量を低下させることによる高温ストレス耐性の変化を調査した。それぞれ乾もみの水分含量が14.7%および15.0%の「日本晴」と「こがねもち」の種子を66℃で10分間処理すると発芽率は90%を大きく下回った。これに対して種子の水分含量を9~10%程度まで低下させておくと、どちらの品種の種子も同じ温湯処理条件で90%以上の発芽率を示した。さらに、種子の水分含量低下によるこのような発芽率の向上効果は、「ひとめぼれ」や酒米品種である「富の香」の種子でも認められた。以上のことから、温湯消毒を行う前に種子を乾燥させることは、高温耐性の改善に効果的であることが示唆された。

**キーワード：**温湯消毒, 高温耐性, 種子消毒, 種子の水分含量,

水稻種子の温湯消毒は、お湯に種子を浸漬するだけの簡単な消毒法で、現在では「60℃・10分間」という処理条件が最も一般的とされている(岡部ら2009)。この技術は、化学農薬を使用しないので有害な廃液が生じないこと、熱で病害虫を防除するので薬剤耐性菌にも効果があること、減農薬を望む消費者のニーズにも合致すること等、優れた特徴を多く含んだ消毒法である。これらのことから温湯消毒法は、一部の地域では急速に普及しつつある。しかしながら、イネばか苗病やイネもみ枯細菌病については「60℃・10分間」という処理条件では完全には防除ができない場合がある(江口ら2000, 林ら2002)。これらの病害に対して十分な防除効果を上げるためには、さらに厳しい条件で消毒を行うことが求められる。その一方で、「こがねもち」や「ヒメノモチ」等の糯米品種は、種子の温湯処理により発芽率が著しく低下することも報告されている(早坂ら2001, 林ら2002)。このような品種については「60℃・10分間」の処理さえも行うことが困難であり、処理時間を短縮して消毒が行われるケースも見られる(岡部ら2009)。これらの事例を考慮すると、温湯消毒法を安定した技術として広く普及させるためには、多くの品種や系統の種子に強い高温耐性を付与し、少しでも防除効果の高い条件で消毒できるようにすることが重要である。

温湯処理に対する高温耐性には明らかな品種間差がある。我々は「ひとめぼれ」の種子が「日本晴」と比較して高温での温湯処理に著しく強い耐性を示すことを見出した(濱田ら2011)。また、穎を除去した玄米に対する温湯処理実験から、「ひとめぼれ」の種子が高温耐性を示す要因は、穎と玄米の両方にあることも明らかにしている。さらに「ひとめぼれ」の示す強い高温耐性は、生産年度や生産地が異なる種子でも安定しているため、遺伝的に支配される形質であることが示唆されている。したがって「ひとめぼれ」

の持つ有用な遺伝子を高温耐性の弱い品種に導入すれば、厳しい条件で温湯処理しても発芽能の低下を防ぐことができ、効果的な消毒を行うことができる。しかしながら、遺伝的な改良を行って種子の高温耐性を強化した品種を作成するには極めて長い時間を要する。また、「ひとめぼれ」の種子が示す高温耐性機構の解明や、それを支配する遺伝子の特定にも未だ至っていない。このような状況では、育種以外の方法で種子の高温耐性を強化することが求められる。

温湯処理に対する種子の高温耐性は、遺伝的に支配される形質でもあるが、それ以外の要因にも影響を受けることが知られている。同じ場所で栽培された同一品種の種子を同じ条件で温湯処理しても、生産した年度によって発芽率が異なることがある(濱田ら2011)。また、種子の貯蔵期間もその高温耐性に影響を与えるとの報告もある(角田ら2002)。一般に貯蔵期間が長いほど温湯処理後の発芽率の低下がみられる。これらのことは、水稻の栽培環境や保存状況が種子の高温耐性に大きく関わることを示している。これらの遺伝的以外の要因の中でも、特に処理前の種子の水分含量が高温耐性に重要であることが指摘されている(岡部・馬場2011)。早坂ら(2001)は、「はえぬき」の種子を温湯消毒する直前に30分~5時間浸種処理をしてその影響を調査し、その結果長時間の浸種処理によって種子の水分含量が高くなると、温湯処理後の発芽率が著しく低下することを明らかにした。角田ら(2002)も「コシヒカリ」と「日本晴」の種子において、塩水選後のもみを長時間湿潤した状態で置いておくと温湯処理後の発芽率が低下することを報告している。これらの試験結果から水稻種子の温湯消毒では、乾もみを使うか、もしくは塩水選などで水に浸したもみでは浸種開始後1時間以内に温湯処理をすることが適切であるとされている(岡部・馬場2011)。

第1表 「ひとめぼれ」, 「日本晴」および「こがねもち」の種子の水分含量と66℃で10分間処理した時の発芽率.

品種	乾燥処理前		乾燥処理4日後	
	水分含量 (%)	発芽率 (%)	水分含量 (%)	発芽率 (%)
ひとめぼれ	13.8	98.7 ± 0.7	10.6	99.3 ± 0.7
日本晴	14.7	77.3 ± 4.8	9.1	96.0 ± 1.2**
こがねもち	15.0	82.0 ± 2.3	10.3	91.3 ± 1.8*

発芽率は吸水後10日の値を平均値±標準誤差で示した (n = 3). 同一品種の乾燥処理前の発芽率に対し, 逆正弦変換後のt検定により, \*は5%水準, \*\*は1%水準で有意差があることを示す.

水稻の場合, 種子の水分含量と発芽率の維持の関係については, 種子寿命の観点からの解析が進められている. 一般に種子寿命に大きな影響を及ぼす要因は, 貯蔵温度とともに種子の含水量である. Roberts (1972) は種子寿命と貯蔵温度および水分含量の関係を表す実験式を示し, 伊藤 (1975) はこの実験式を用いて水稻の種子の発芽率が90%以下に低下するまでに要する期間を試算している. それによると10℃の貯蔵条件下では, 水分含量が14%の種子は2年で90%を下回るが, 水分含量を10%まで落とすとその期間が7年に延び, さらに4%まで落とすと67年にもなると試算されている. これらの数値はあくまでも計算上のものであるが, 種子の水分含量を低下させれば長期間発芽率を高く維持できることはよく知られていることである. 水稻では乾もみとして流通している種子の水分含量は, 農産物検査法の規定により概ね14%程度であることが多い. 先に述べた早坂ら (2001) や角田ら (2002) の試験では, 流通している種子, もしくはそれと同等のものをを用いているので, 乾もみであっても水分含量は14%程度であると考えられる. そしてこの乾もみに対して浸種処理後に温湯消毒をしているので, 種子は吸水して14%以上の水分含量となり, その時の高温耐性を評価したことになる. 伊藤 (1975) の種子寿命の試算では, 水分含量を4~10%にする高い発芽率が維持できることを示しており, 温湯消毒の場合にも水分含量を14%から例えば10%以下に低くしてみると, 高温耐性が強化される可能性がある. このことが確認できれば, 「こがねもち」や「ヒメノモチ」のような温湯処理で発芽率が低下する糯米品種の種子でも, 現在普及している「60℃・10分間」での温湯消毒を行うことができるかもしれない. また, 「ひとめぼれ」のように種子の高温耐性が強い品種については, 防除効果の高いさらに厳しい条件での消毒を行えるようになることも期待できる. しかしながら, 流通している乾もみよりも低い水分含量の種子を温湯消毒した詳細な試験は行われていない. そこで本研究では, 乾もみをさらに乾燥させて水分含量を14%以下に落とした種子の温湯消毒時の高温耐性について解析した.

## 材料と方法

### 1. 供試種子

材料として用いた品種は, 「ひとめぼれ」と「日本晴」, さらに糯米品種の「こがねもち」と酒米の「富の香」とした. 「ひとめぼれ」, 「日本晴」, 「富の香」の種子は, 2010年度に富山県農林水産総合技術センターで栽培したものを, 「こがねもち」の種子は市販の2011年度産を購入して用いた. 割れ籽はあらかじめ取り除き, 種子は実験に供試するまで4℃で保存した. また全ての種子は, 25℃で吸水させたときの10日後の発芽率が95%以上であることをあらかじめ確認して実験に用いた.

### 2. 種子の乾燥処理と水分含量の測定

種子の乾燥処理は, 劣化による活力の低下を防ぐために過度の高温下に置くことは避けて行った. 湿度25~30%で25℃に制御された部屋に扇風機で送風しながら種子を4日間放置することで乾燥させた. 「ひとめぼれ」の種子については, 2日, または7日間放置した種子も用いた. このように処理した種子の水分含量は, (株) ケット科学研究所の米麦水分計ライスタ f を用いて簡易的に測定した.

### 3. 温湯処理と発芽率の調査

温湯処理, および発芽率の調査については, 濱田ら (2011) の方法に従って行った. 温湯で処理する時間はすべての実験で10分間とし, 温度条件は実験ごとに異なっているのでその都度明記した. なお「発芽」は種子から芽が穎を破って現れた段階とし, 吸水後10日後に発芽した種子の比率を発芽率とした. 発芽試験は全ての処理区において50粒ずつ3反復で行い, その値を平均して発芽率を示した.

## 結 果

### 1. 「日本晴」と「こがねもち」の種子の高温耐性の強化

「ひとめぼれ」と「日本晴」, および「こがねもち」の種子の乾燥処理前の水分含量は, それぞれ13.8%, 14.7%および15.0%であった. これらの種子を, 現在普及している温湯消毒法の条件である「60℃・10分間」で処理したところ, どの品種の種子も90%以上の発芽率を示した(デー

タはなし)。そこで処理温度を 66℃ に上げた。その結果、吸水後 10 日目の発芽率が 90% 以上となったのは「ひとめぼれ」だけであった(第 1 表)。これに対して「日本晴」の発芽率は 77.3%, 「こがねもち」は 82.0% となった。次に、事前に乾燥させた種子についてもこの条件で温湯処理を行った。4 日間の乾燥処理を行うと、「日本晴」の水分含量は 9.1% に、「こがねもち」では 10.3% に低下した。これらの種子を「66℃・10 分間」で処理したところ、「日本晴」および「こがねもち」も吸水後 10 日後の発芽率は乾燥処理前の値を大きく上回り 90% を超えた。

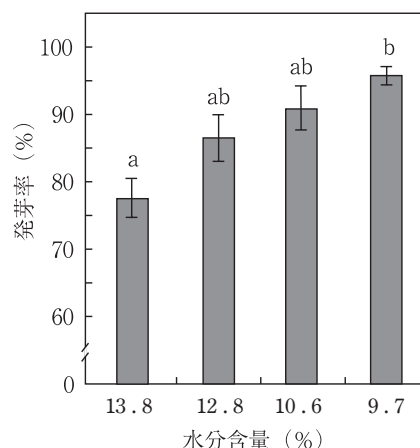
## 2. 「ひとめぼれ」の種子の高温耐性の強化

第 1 表の実験では、「ひとめぼれ」の種子も乾燥処理によって水分含量が 10.6% まで低下すると、66℃ で 10 分間の処理では高温耐性がわずかに強化される傾向が認められた。この結果は、「ひとめぼれ」のように温湯処理に対する高温耐性が強い品種の種子でも水分含量を 14% よりも低下させると、さらに厳しい条件で処理できる可能性を示唆している。そこで処理温度を 69℃ に上げて、乾燥させた「ひとめぼれ」の種子を温湯処理した。乾燥処理をしていない種子(水分含量 13.8%)を「69℃・10 分間」で処理すると発芽率は 90% を下回り 78.0% であった。一方、2 日間乾燥させて水分含量が 12.8% となった種子の温湯処理後の発芽率は 86.0% となり、さらに 4 日間乾燥させて水分含量が 10.6% まで低下した種子の場合は発芽率が 88.0% に達した。そして 7 日間の乾燥処理をした種子(水分含量 9.7%)は、69℃ の温湯で 10 分間浸漬しても 95% と高い発芽率を示した(第 1 図 A)。この時の種子の発芽の様子を第 1 図 B に示した。水分含量を 13.8% から 9.7% まで低下させると多くの種子が発芽して根や芽が伸長していた。以上のことから、「ひとめぼれ」でも、種子の水分含量を 14% よりも大きく低下させると高温耐性が強化され、69℃ という厳しい条件でも処理できることが明らかになった。

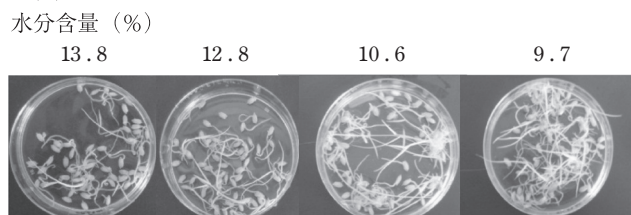
## 3. 酒米品種「富の香」に対する効果

酒米は、醸造用玄米として適した品種であり、食用の粳米品種とは異なる特性を持つ。本研究の予備的な実験においていくつか用いた酒米品種の中で、「富の香」の種子は温湯処理に対して比較的弱い特性を示した。そこで「富の香」の種子を乾燥させた時の高温耐性を評価した。乾燥処理をしていない「富の香」の種子の水分含量は 12.6% であり、この種子を「69℃・10 分間」で処理した時の発芽率はわずかに 33.0% であった(第 2 図 A)。一方、7 日間の乾燥処理を行うと水分含量が 9.1% まで低下し、この種子を 69℃ の温湯に 10 分間浸漬した場合には発芽率が 72.0% と大きく上昇した(第 2 図 A, B)。したがって酒米品種「富の香」についても、水分含量を 9.0% 程度まで大きく低下させると温湯処理時の高温耐性が強化されることが示され

(A)



(B)



第 1 図 水分含量を低下させたことによる「ひとめぼれ」の種子の温湯消毒時の高温耐性の改善。

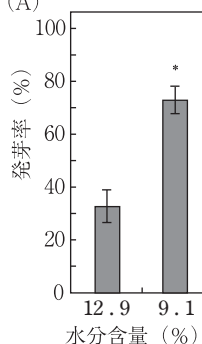
種子は、69℃ で 10 分間処理し、その後 25℃ 暗条件で 10 日間吸水させた。

(A)：乾燥処理した種子の水分含量と温湯処理した時の発芽率。図中の棒線は標準誤差 (n=3)。

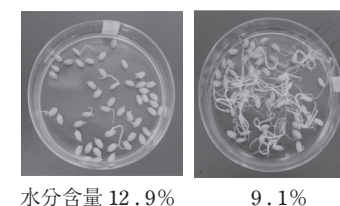
平方根変換後の Tukey の多重比較により、異なるアルファベットの間には、5% 水準で有意差があることを示す。

(B)：発芽中の種子。

(A)



(B)



第 2 図 水分含量を低下させたことによる「富の香」の種子の温湯消毒時の高温耐性の改善。

種子は、69℃ で 10 分間処理し、その後 25℃ 暗条件で 10 日間吸水させた。

(A)：乾燥処理した種子の水分含量と温湯処理した時の発芽率。図中の棒線は標準誤差 (n=3)。

水分含量 12.9% の発芽率に対し、逆正弦変換後の t 検定により、\* は 5% 水準で有意差があることを示す。

(B)：発芽中の種子。



た。

## 考 察

本研究では温湯消毒時の種子の高温耐性を強化することを目的に、流通している乾もみの水分含量をさらに低下させてその効果について検討した。その結果「日本晴」と「こがねもち」の種子では、流通している乾もみの発芽率が著しく落ちる条件である「66℃・10分間」で処理しても、あらかじめ種子の水分含量を9~10%まで低下させておけば90%以上の発芽率を維持できることが示された。またこの効果は、「ひとめぼれ」や酒米品種である「富の香」の種子でも認められ、「ひとめぼれ」の場合は極めて厳しい条件「69℃・10分間」で処理しても発芽率は90%以上となった。以上のことから、温湯処理を行う前に種子の水分含量を低下させれば高温耐性が強化され、より厳しい条件での消毒が可能となることが示唆された。

種子の水分含量が9~10%になると温湯消毒時の高温耐性が強化されるしくみについては、現時点では不明である。浸種処理や塩水選をすることで温湯消毒時の発芽率が低下する現象については、消毒前の乾もみが吸水して水分含量が14%よりも高くなると種子内部に熱が伝わりやすくなることがその要因であると考えられている（岡部・馬場 2011）。したがって9~10%の水分含量の種子についても熱の伝導性が高温耐性に関わることは考えられる。一方、種子寿命の研究においては、極度に乾燥した種子の細胞では細胞質がガラス化し、このガラス化が種子のストレスに対する安定性や発芽力の維持に関わるとの報告がある（Ballesteros and Walters 2011）。ガラス化した細胞質は粘性が極めて高く、分解や老化といった化学反応が起こりにくくなる。また、凍結するような低温に種子が曝されてもガラス化した細胞質の分子は容易には結晶化せず、結晶化による細胞構造の破壊は起こりにくいと考えられる。温湯消毒の場合も水分含量が極度に低下して細胞質がガラス化した状態にあれば、種子を高温で処理しても発芽に必要な分子の分解反応が起こりにくくなるのかもしれない。今後は、温湯処理と細胞質のガラス化に視点を置いた解析が重要であろう。

種子の水分含量を9~10%に低下させることによって温湯消毒時の高温耐性が向上することは、本研究で試験を行った4品種すべてに共通していた。このことは、現在栽培されている多くの品種に対してこの効果が期待できることを示唆している。「乾燥させる」という操作は極めて単純であるので、この操作により高温耐性を強化できるのであれば、農業現場ですぐに実践的に使用することが可能である。また温湯消毒法の最大の利点は化学的な薬剤を全く使用しない点であるが、「乾燥させる」だけの高温耐性の強化法は、この消毒法の利点を全く損ねることのない技術でもある。さらに育種により強い高温耐性を有した品種を作成することと比較しても、実用化までの年限は、はるか

に短期間で済むであろう。以上のように種子を乾燥させることにより温湯消毒時の高温耐性を強化する技術は、優れた点を多く含んでいるが、実用化するためには検討しておくべき課題がいくつか残されている。本研究では、高温耐性の評価を「発芽率」だけで行っている。しかし、温湯消毒を行った種子は、発芽率が高くてもその後の成長が悪く、結果として出芽率が低くなる場合があることが報告されている（岡部・馬場 2011）。したがって、少なくとも出芽までは調査する必要がある。また、本研究ではわずかに50粒の単位で温湯処理の試験を行っているが、生産現場では数百キログラム~数トンの規模で消毒を行っているところも少なくない。実用化するためには、現場の規模での消毒を行い、圃場レベルでの収量調査を含めた検証が不可欠である。その際に、防除効果を確認しながら試験を行うことも重要である。

種子の水分含量を効率的に低下させる手法の確立も実用化の上では検討課題となる。種子はもともと乾もみとして極度に乾燥した状態で流通しており、その水分含量をさらに低下させるにはある程度の時間と労力が必要となる。本研究でも14%の水分含量を9%程度まで落とすためには最大で7日間を要した。今回は加温を行わずに乾燥させたが、効率化を図るためには温度をかけることも検討すべきであろう。また、過度の乾燥は逆に種子の活性そのものを損なう危険性が報告されている（Harrington 1973）ので、温湯消毒時の高温耐性の強化に最も適した水分含量を明確にすることも重要である。いずれにしても、これらの課題を克服し、水分含量を低下させることにより種子の高温耐性を強化できる技術を実用化することができれば、防除効果の高い厳しい条件での処理が可能になり、温湯消毒法が安定して普及することにつながるであろう。

## 引用文献

- Ballesteros, D. and C. Walters 2011. Detailed characterization of mechanical properties and molecular mobility within dry seed glasses : relevance to the physiology of dry biological systems. *Plant J.* 68 : 607-619.
- 江口直樹・山下亮・武田和男・赤沼礼一 2000. 温湯処理機による水稻種子伝染性病害の防除. 関東東山病害虫研究会報告 47 : 27-29.
- 濱田晃次・三田村芳樹・佐野直人・山田哲也・金勝一樹 2011. 温湯消毒時における水稻品種「ひとめぼれ」の種子の高温耐性の解析. 日作紀 80 : 354-359.
- Harrington, J.F. 1973 *Viability : rules of thumb*. Seed ecology. Ed. W. Heydecker. Butterworths, London. 251-263.
- 早坂剛・石黒清秀・渋谷圭治・生井恒雄 2001. 数種のイネ種子伝染性病害を対象とした温湯種子消毒. 日植病報 67 : 26-32.
- 林かずよ・小山淳・石川志保・城所隆 2002. イネ種子伝染性病害に対する物理的・耕種的防除法. 宮城古川農試報 3 : 137-147.
- 伊藤博 1975. 作物種子の長期貯蔵とその育種の利用 (1). 農および園 50 : 849-852.
- 角田巖・中野学・湯浅和宏 2002. 温湯浸漬法によるイネ種子伝染性病害の発病抑制. 滋賀総七農試研報 42 : 8-16.

- 岡部繭子・馬場正・陶山一雄 2009. 日本における水稻種子温湯消毒の普及について. 日作紀 78 : 515-517.
- 岡部繭子・馬場正 2011. 水稻種もみの温湯消毒法. 信大農紀要 47 : 25-32.
- Robert, E.H. 1972 Storage environment and the control of viability. In viability of seeds. Ed. E.H. Roberts. Chapman and Hall, London. 14-58.

**Improvement of Tolerance to Heat Stress Given during Hot Water Disinfection of Rice Seeds by Reducing their Water Contents:** Motoki KANEKATSU<sup>1)</sup>, Yoshiki MITAMURA<sup>1)</sup>, Naoto OKAZAKI<sup>1)</sup>, Naoto SANO<sup>1)</sup>, Tetsuya YAMADA<sup>1)</sup> and Kazumasa MURATA<sup>2)</sup> (<sup>1)</sup>*Fac. of Agr., Tokyo Univ. of Agr. and Tech., Tokyo 183-8509, Japan;* <sup>2)</sup>*Toyama Pref. Agr. Fores. Fish. Res. Cent.*)

**Abstract :** Hot water disinfection of rice seeds is a clean farming technique that does not involve harmful chemical compounds. A higher temperature would have stronger disinfecting power, but would also lower seed germination ability. Thus it is important to increase the heat tolerance of the seeds of many cultivars. In the present report, we examined the effects of reducing the water content of seeds on their heat tolerances. The water content of rough rice of “Nipponbare” and “Koganemochi” was 14.7% and 15.0% respectively, and the germination rate of these seeds after immersion in hot water at 66°C for 10 minutes was less than 90%. However, when the water content of the seeds was reduced to 9-10% before the hot water treatment, more than 90% of the seeds germinated. Such an effect of seed drying before the hot water treatment was confirmed in “Hitomebore” and brewer’s rice “Tominokaori”. These results indicate that seed drying before hot water disinfection is effective for strengthening their tolerance to a high temperature.

**Key words :** Heat stress tolerance, Hot water disinfection, Rice, Seed disinfection, Seed water content.

---