

収穫期以降の作業が「ふさおとめ」種子の発芽に与える影響

中村充明^{*1}・鎌形民子^{*2}・篠田正彦^{*3}

キーワード: 「ふさおとめ」種子, 損傷籾, 発芽率, エンジン回転速度, 粗籾水分

I 緒 言

千葉県内の水稻奨励品種の種子は、「主要農作物種子法」に基づき、県内6地域（鴨川市、君津市、富津市、いすみ市、長南町、旭市）にある種子生産組合において、332ha、1,327 t（2008年度実績）生産されている。種子生産の流れは以下のとおりである。県の指定種子生産圃場では、種子生産のマニュアル（千葉県、2008）に準じた適正な生産管理を行い、収穫前に実施する圃場審査に合格した圃場について、個々の種子生産農家が所有する一般用コンバイン（非種子用）による収穫が行われる。収穫された籾は、循環型乾燥機による乾燥後、生産物審査として農業事務所での発芽試験、また、種子検査員による外観品質の下見検査に合格した籾が種子センターの一貫種子調製機械によって調製される。さらに、種子検査員によって種子の外観品質として、品種固有の色、整粒比率、異種穀粒及び異品種粒の混入、被害粒（褐変粒、かび粒、汚染粒、ふ割粒等）を審査する農産物検査で合格したものが種子として一般生産者へ流通する。しかし、近年、種子検査に合格した早生品種「ふさおとめ」の種子において、低温期の育苗（播種期3月上旬ごろ）や栽培指針を逸脱した低水温で浸種した場合、特に低温貯蔵種子で発芽率が低下する事例が現地から報告されている。

平井ら（2008）は、低温浸種による発芽率の低下は機械作業（コンバイン収穫－循環型乾燥機－種子調製機）で生産された種子にみられるが、すべてを手作業（手刈り－天日乾燥－人力脱穀・選別）で生産した場合はみられず、収穫期以降の機械作業が発芽率の低下に関与していることを明らかにした。さらに、機械作業に伴う物理的衝撃が種子の発芽力や貯蔵性を低下させ、低温貯蔵種子における育苗の不安定さの一要因となっていることを示唆している。低温貯蔵種子は種子の安定供給の面から重要性が増しており、収穫期以降の機械作業を点検し貯蔵性の高い種子を生産する方法を明らかにする必要がある。

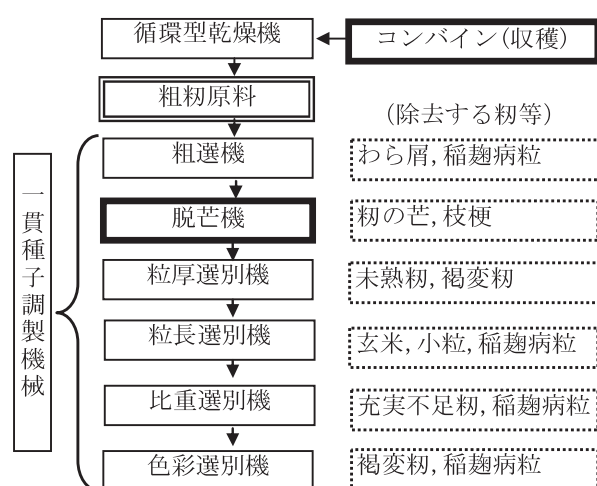
そこで、貯蔵性に優れた種子を収穫・調製する方法を明らかにするため、収穫期以降の機械作業による損傷籾の発生状況を調査し、機械作業が種子の発芽率に与える影響について検討した。

なお、本研究を実施するに当たり、採種生産現場での課題の聞き取り調査及び試験用の供試材料の採取等において、夷農農林振興センター職員並びに種子生産農家の方々にご協力をいただいた。また、前育種研究所水稻育種研究室長の斎藤幸一氏、同研究室長の藤代淳氏に多くのご助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表する

II 材料及び方法

1. 種子調製の作業工程

県の指定種子生産圃場及び種子生産組合の種子センターにおける種子調製作業の工程と使用する機械について、第1図に示した。本報告では、機械作業に伴う籾への物理的衝撃が大きいと考えられるコンバイン及び脱芒機に注目し、コンバインによる収穫時の籾水分及びエンジン回転速度、さらに、脱芒機の脱芒方式が、損傷籾の発生及び乾燥調製後の種子の発芽率に及ぼす影響を検討した。



第1図 種子調製作業のための選別機械と除去籾の種類

受理日2011年8月22日

^{*1} 現夷農農業事務所

^{*2} 元千葉県農林総合研究センター

^{*3} 現千葉県農業大学校

2. 種子製品中の損傷粉の混入率及び発芽率 (試験1)

千葉県山武市成東にある千葉県農林総合研究センター育種研究所水稻育種研究室成東育成地 (以下、成東育成地) の原種生産圃場で、「ふさおとめ」を種子用コンバイン (機種: イセキHA33G) を使用し、種子用の標準的なエンジン回転速度で収穫し、循環型乾燥機で乾燥後、一貫種子調製機械による種子調製後の原種製品の中から採取した。なお、ここでは、損傷粉を収穫・調製の機械作業の中で生じる内外穎の一部が摩滅、欠損した粉とし、立毛中に生じる内外穎の鈎合部が開いた開穎粉と区別した。また、両者を併せて割れ粉とした。損傷粉の混入率は、2002年～2006年産の原種について粉400粒中から目視で開穎粉と損傷粉を抽出し、混入率を算出した。

粉の損傷が発芽率に及ぼす影響は、2007年産の原種を供試した。発芽試験は、収穫後2か月間常温で保管した粉を、「主要農産物種子法」の種子農産物検査の方法と同様に、乾熱処理 (50℃・5日間) で休眠打破後、発芽試験用のシャーレを用いて1シャーレ当り種子100粒を置床し、20mLの蒸留水を加えた。これをインキュベーター内で、25℃定温で1日予浸後、蒸留水を8mL入れ替えてから、25℃定温で14日間静置後の正常発芽粒数を調査し、発芽率を算出した。発芽試験は4反復で行った。正常発芽粒の定義は、「第1葉が鞘葉長の1/2以上抽出し、かつ健全な種子根を有するもの」(千葉県, 2008)とした。なお、生産物審査における合格基準は「正常発芽粒の割合が90%以上」である。

3. コンバイン収穫時の粉水分が損傷粉の発生と種子の発芽率に及ぼす影響 (試験2)

2006年に、成東育成地の原種生産圃場で「ふさおとめ」を種子用のコンバイン (機種: イセキHA33G) を使用し、種子用の標準的なエンジン回転速度で収穫した生粉を供試材料とした。収穫当日は晴天であり、収穫開始時の午前9時と作業開始後2時間が経過した午前11時に、生粉を採取した。生粉の水分は、午前9時は27.9%、午前11時は24.1%であった。採取した生粉は、天日で水分14.5%程度に乾燥後、未調製の状態で紙袋に入れ、半年間は実験室内に常温で保管した。その後1年間は温度15℃、湿度30%の低温貯蔵庫に保管した。発芽試験は、種子農産物検査の時期に準じて収穫2か月後 (以下、2か月後)、一般栽培の播種時期に準じて収穫半年後 (以下、半年後) 及び低温貯蔵種子に準じて収穫1年半後 (以下、1年半後) に行った。なお、発芽試験を行う直前に、手作業による脱芒、篩目幅2.2mm粒厚選別を行った。発芽試験の方法は、2か月後については、種子農産物検査における発芽試験方法と同様に、乾熱処理 (50℃・5日間) により休眠打破後、発芽試験用のシャーレを用いて25℃定温で14日間静置後の正常発芽粒数を調査した。また、半年後、1年半後の発芽試験は、一般の育

苗作業 (浸種・催芽・出芽) を想定して水温10℃で10日間 (積算温度100℃) 浸種した後、30℃定温で7日間静置後の正常発芽粒数を調査した。

4. コンバイン収穫時のエンジン回転速度が損傷粉の発生と種子の発芽率に及ぼす影響 (試験3)

県の指定種子生産圃場で収穫に用いられる一般用のコンバイン (非種子用、機種: ヤンマー CA215GP) 及び成東育成地所有の種子用のコンバイン (機種: イセキHA33G) を供試した。一般用のコンバインによる収穫は、2007年に千葉県いすみ市の「ふさおとめ」指定採種圃で行った。コンバインのエンジン回転速度を標準回転区 (2,600rpm) 及び低回転区 (2,200rpm) の2段階で収穫した。種子用コンバインによる収穫は、2006年に成東育成地の「ふさおとめ」原種生産圃場で行った。コンバインのエンジン回転速度を、種子収穫時の標準である種子用標準回転区及び最大に上げた高回転区の2段階に設定し収穫した。なお、収穫後の粉乾燥、保管、種子調製及び発芽試験の方法は試験2に準じた。

5. 脱芒機の脱芒方式の違いが損傷粉の発生に及ぼす影響 (試験4)

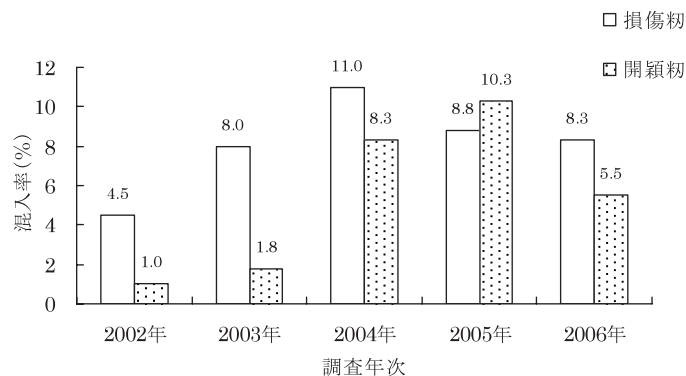
組選機、脱芒機、粒厚選別機、粒長選別機、比重選別機を備えた一貫種子調製機械は、収穫、乾燥後の粗粉から、芒や枝梗、粒厚の薄い充実不足の粉、粉が剥けてしまった玄米、小粒粉、褐変粉等を除去し、製品として仕上げる機能を持っている (第1図)。この一貫種子調製機械の中で、種子調製中の粉が物理的な外圧力を最も強く受けると考えられるのが脱芒機である。そこで、脱芒機の方式の違いが損傷粉の発生に及ぼす影響を明らかにするため、種子調製後の損傷粉率を現在普及している金属羽根回転式脱芒機と近年導入され始めたブラシ回転式脱芒機との間で比較した。

2006年に、成東育成地の原種生産圃場の「ふさおとめ」を種子用のコンバイン (機種: イセキHA33G) を使用し、エンジン回転速度を種子用標準回転で収穫した。循環型乾燥機で乾燥後、一貫種子調製装置に張り込み、調製を行った。損傷粉の混入率は、採取した粉400粒中から、試験1の基準に準じて目視で損傷粉の混入粒数を調査し算出した。

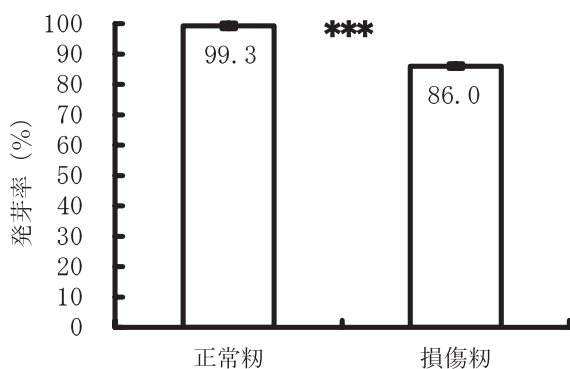
Ⅲ 結 果

1. 種子製品中の損傷粉の混入率及び混入した損傷粉の発芽率 (試験1)

標準的な方法で生産・調製された原種「ふさおとめ」には、調査を行った5か年で、損傷粉が4.5～11%、開穎粉が1～10%認められたが、各混入率は年次によって異なった。また、開穎粉の混入率の高い年には損傷粉の混入率も高い傾向もみられたが、2003年のように、開穎粉が少なくても

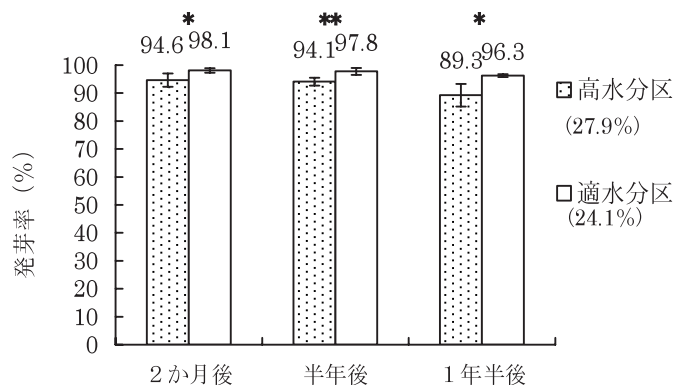


第2図 損傷粉と開穎粉の混入率の年次推移



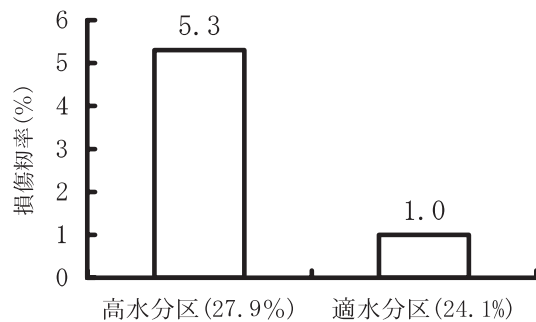
第3図 正常粉と損傷粉の発芽率

注1) 図中の範囲は標準偏差を示す。
2) ***は0.1%水準で有意差あり (t検定)。

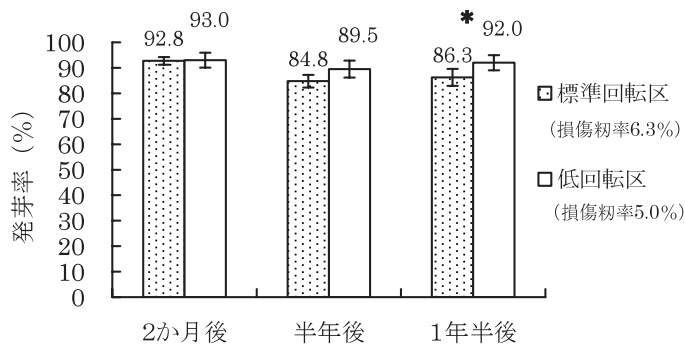


第5図 コンバイン収穫時の粉水分と種子の発芽率

注1) 図中の範囲は標準偏差を示す。
2) **, *は1%, 5%水準で粉水分間の発芽率の差に有意差あり (t検定)。



第4図 コンバイン収穫時の粉水分と損傷粉率



第6図 一般用コンバイン収穫時のエンジン回転速度と損傷率及び種子の発芽率

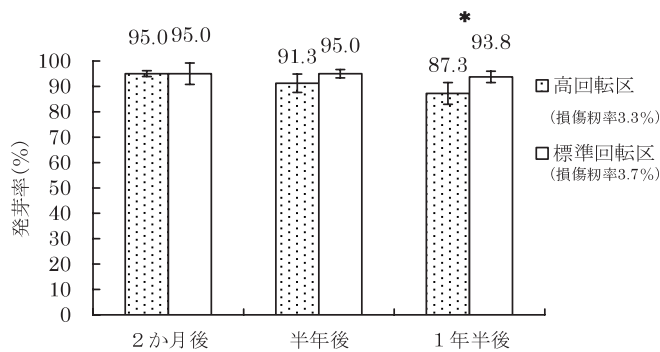
注1) 図中の範囲は標準偏差を示す。
2) *は5%水準で有意差あり (t検定)。

損傷粉が多い年もみられた (第2図)。

標準的な方法で生産・調製された原種「ふさおとめ」の中から採取した正常粉の発芽率は99.3%であった。これに対して、損傷粉の発芽率は86.0%で、損傷粉の発芽率は明らかに低下した (第3図)。

2. コンバイン収穫時の粉水分が損傷粉の発生と種子の発芽率に及ぼす影響 (試験2)

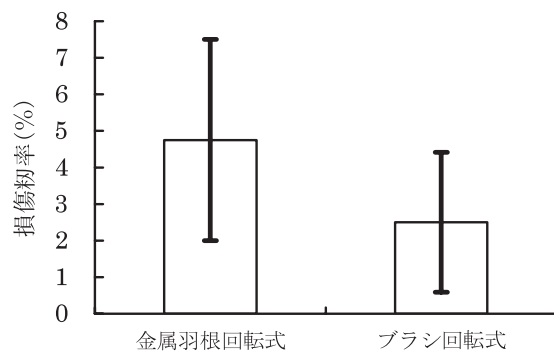
収穫時の粉水分が24.1%の適水分時収穫粉 (以下、適水分区と示す) では、損傷粉率が1.0%にとどまったのに対して、粉水分が27.9%の高水分時収穫粉 (以下、高水分区と



第7図 種子用コンバイン収穫時のエンジン回転速度と損傷率及び種子の発芽率

注1) 図中の範囲は標準偏差を示す。

2) *は5%水準で有意差あり (t検定)。



第8図 脱芒方式の違いと損傷率

注) 図中の範囲は標準偏差を示す。

示す) は、5.3%と高かった (第4図)。

一方、発芽率は、収穫2か月後では適水分区が98.1%に対して、高水分区は94.6%とやや低下した。また、収穫半年後では、適水分区が97.8%に対して、高水分区は94.1%とやや低下した。さらに、収穫1年半後では、適水分区は収穫2か月後、収穫半年後と変わらない96.3%であったのに対して、高水分区は89.3%と大きく低下した。(第5図)。

3. コンバイン収穫時のエンジン回転速度が損傷粉の発生と種子の発芽率に及ぼす影響 (試験3)

一般用のコンバインによる収穫では、損傷率は、標準回転区では6.3%、低回転区では5.0%であり、標準回転区がわずかに高かった。収穫2か月後の発芽率は、標準回転区が92.8%に対して、低回転区は93.0%でありエンジン回転速度間の発芽率の差はなかった。収穫半年後の発芽率は、標準回転区が84.8%に対して、低回転区は89.5%とやや高かったが、有意差は認められなかった。さらに、収穫1年半後の発芽率は、標準回転区が86.3%に低下したのに対して、低回転区が92.0%と明らかに高かった。(第6図)。

種子用のコンバインによる収穫では、損傷率は、種子用標準回転区で3.7%、高回転区で3.3%であり、回転速度間で大きな差はなかった。収穫2か月後の発芽率は、種子用標準回転区、高回転区とも95.0%で差はみられなかった。収穫半年後の発芽率は、種子用標準回転区が95.0%に対して、高回転区は91.3%でやや低下したが、有意な差は認められなかった。しかし、収穫1年半後では、種子用標準回転区が93.8%に対して、高回転区は87.3%に低下した(第7図)。

4. 脱芒機の脱芒方式の違いが損傷粉の発生に及ぼす影響 (試験4)

損傷率は、脱芒方式間で有意差は認められなかったが、平均値では金属羽根回転式が4.8%に対して、ブラシ回転式では2.5%と低かった (第8図)。

IV 考 察

県内の指定採種圃では、毎年約1,300 t の水稻種子を生産している。収穫された種子は、その多くが翌年に流通するが、作柄に左右されずに種子を安定供給することを目的として、本県では年間約40 t の低温貯蔵種子が流通している。しかし、低温貯蔵種子で発芽能力が低下する事例がみられる。

そこで、本研究では、種子の収穫・調製の機械作業と貯蔵後の発芽能力の関係を調べ、貯蔵性に優れる種子を収穫・調製するための留意点を明らかにしようとした。

種子用コンバインを用い、種子用の標準的なエンジン回転速度で収穫後、標準的な乾燥・調製作業を行った場合でも、種子生産の機械作業の過程で物理的な衝撃により生ずる損傷粉が4.5~11%発生した。さらに、収穫後2か月間、常温で保管した早生品種「ふさおとめ」において、外観上の損傷を受けた粉では発芽率が86.0%と低かった。したがって、種子の収穫・乾燥・調製作業で損傷粉の発生を防ぐことが種子の発芽能力を維持する上で重要と考えられた。

さらに、割れ粉は発芽力や貯蔵性が正常粉より劣る(千葉県, 2008)ことから、損傷粉に併せて開穎粉の混入率の調査を行った。2003年を除くと、原種製品中の開穎粉の混入率が高い年は損傷粉の混入率も高い傾向がみられた。収穫以降の機械作業中の物理的な衝撃により、開穎粉の一部が損傷粉に変わっているためと考えられた。藤塚ら(1979)は、開穎粉をコンバイン収穫すると、その衝撃によって開穎程度が進み、異常発芽をするので、立毛状態で開穎が目立つ稲はコンバイン収穫に適さないと報告している。しかし、開穎粉混入率が低いにもかかわらず損傷粉が多い年も見られており、開穎粉の発生以外に後述の収穫時の粉水分条件等の別の要因も損傷粉の発生にかかわっていると考え

られた。損傷粉と開穎粉の混入率の調査を行った5か年のうち、開穎粉の混入率をもっとも高かった2005年の稲作期間の気象は、6月から7月に日照時間が少なく、登熟期間の8月の気温が高かった。井上ら（1981）は、割れ粉は早期栽培で出穂期の早い品種で見られ、特に障害型冷害年、登熟良好な年次に多く発生すると報告している。早生品種は、幼穂の生長期にあたる幼穂形成期から出穂期を、梅雨期の低温や日照不足条件で経過することが多いことから、天候不良年では穎花のサイズが小さくなる年も多いと考えられる。その後の登熟期間が高温・多照に経過し、登熟が良好になった場合、穎花のサイズ以上に玄米のサイズが大きくなることで、開穎粉が発生すると推察された。以上のことから、幼穂形成期以降の天候により開穎粉が多いと予想される年は、物理的な衝撃をできるだけ軽減するような機械作業を行うことが重要と考えられた。早生品種「ふさおとめ」では、機械収穫時の粗粉水分含有率が24.1%では、損傷粉率が1.0%にとどまったのに対して、粉の水分含有率が27.9%では、5.3%と高かった。

藤塚ら（1979）は、種子粉の発芽力保持の観点から、コンバイン収穫時の粉水分は25%以下が安全で、これより水分が高いと、損傷粉の発生が多く、発芽率が低下すると報告している。これは、水分の高い粉ほど、コンバインの扱胴内部での流れが悪くなり、扱胴内部での滞留時間が長いことから損傷粉が増えるためと考えられた。収穫時の粉水分が24.1%では、収穫2か月後、半年後及び1年半後（低温貯蔵）の種子の発芽率に大きな差は認められず、貯蔵期間を通じて変化が見られなかった。しかし、収穫時の粉水分が27.9%では、24.1%に比べて各貯蔵期間ともに種子の発芽率が低下し、特に、収穫1年半後（低温貯蔵）では89.3%まで発芽率が低下した。このことから、高水分の粉をコンバインで収穫することが、損傷粉の発生ばかりでなく、外観上は正常な種子の貯蔵性の低下にも影響していると推察された。一般用のコンバインでは、収穫時のエンジン回転速度を標準より低い2,200rpmで収穫すると、標準的な回転速度2,600rpmと比較して損傷粉の発生が若干低下した。収穫2か月後の発芽率は、収穫時のエンジン回転速度にかかわらず高かったが、収穫半年後及び収穫1年半後（低温貯蔵）の発芽率では、低い回転速度の方が標準的な回転速度に比べて高い発芽率を示し、特に、収穫1年半後（低温貯蔵）では顕著であった。したがって、一般用コンバインを使い、貯蔵性の高い種子を生産するためには、標準的なエンジン回転速度より15%程度回転速度を下げて収穫することが重要である。

種子用コンバインによる収穫作業においても、作業を急ぐあまりエンジン回転速度を高回転で収穫する場合が想定される。種子用コンバインでは、収穫時のエンジン回転速

度の違いによる損傷粉の発生程度に大きな差はみられなかった。また、収穫2か月後の発芽率に差はみられなかったが、収穫半年後及び収穫1年半後（低温貯蔵）の発芽率は、種子用の標準回転速度に比較して高回転速度では低下する傾向がみられ、特に、収穫1年半後（低温貯蔵）では大きく低下した。藤塚ら（1979）も、種子用コンバインの回転速度が高い程、損傷粉が増加し発芽率が低下したと報告している。

一般用コンバインによる種子の収穫作業では、エンジン回転速度を下げることで、また、種子用コンバインによる収穫作業では、種子用の標準的なエンジン回転速度を守ることが重要である。損傷粉率に違いが見られないにもかかわらず、1年半貯蔵後（低温貯蔵）の発芽率が低下したことから、粉が高水分時のコンバイン収穫と同様に、エンジン回転速度を高めると、外見上は正常な種子粉の貯蔵性にも悪影響を与えると考えられる。一貫種子調製機械の中で、脱芒機は、種子調製中の粉が物理的な外圧力を最も強く受けると考えられる。脱芒方式による損傷粉率は、金属羽根回転式が4.8%に対して、ブラシ回転式では2.5%と低かった。これは、ブラシ回転式が金属羽根回転式より粉に与える衝撃が小さかったためと推察された。以上のように、機械作業に伴う物理的な衝撃や収穫時の粉の高水分が、損傷粉の発生及び貯蔵種子の発芽率の低下を助長することが明らかになった。したがって、貯蔵性の高い種子を生産するには、収穫・調製にあたって以下の点に注意すべきである。

- 1) 一般用のコンバインによる収穫では、エンジン回転速度を15%程度下げて収穫する。
- 2) 粉水分が25%以下になったことを確認してから収穫する。
- 3) 脱芒機はブラシ回転式を使用するのが望ましい。特に、開穎粉が発生しやすい早生品種では留意して収穫すべきである。なお、外見上、正常粉と区別される粉に対する物理的衝撃の影響については、今後、さらに検討を進める必要がある。

V 摘 要

機械作業体系で生産された本県の奨励品種である早生品種「ふさおとめ」種子の貯蔵後の発芽率低下に関与する要因と、これを防止する方法を明らかにした。

1. 収穫から種子調製までの機械作業で生じる内・外穎の一部が欠損した損傷粉は、外観が正常な粉に比べて発芽率が低いため、機械収穫から一貫種子調製作業の過程での損傷粉の発生を抑える。
2. 損傷粉の発生率は、種子用コンバインの適正なエンジン回転速度で収穫しても、収穫時の粉水分が24%程度を超えると、収穫時の損傷粉率が高まり、貯蔵期間を通じて発芽率が低下するため、粉水分の高い場合は収穫を避

ける。

3. 一般用コンバインの標準のエンジン回転速度での収穫は、収穫1年半後の発芽率が低下することから、貯蔵性の高い種子を生産するためには、エンジン回転速度15%程度落として収穫を行う。
4. 種子用コンバインのエンジン回転速度を標準より上げて収穫すると、1年半貯蔵後の発芽率が低下するので、種子用標準回転速度で収穫を行う。
5. 種子調製作業における脱芒後の粃の損傷率は、脱芒方式で異なり、ブラシ回転式の方が金属羽根回転式より低い。ため、脱芒機はブラシ回転式を使用するのが望ましい。

Ⅵ 引用文献

- 千葉県・千葉県農林水産技術会議 (2008) 水稻の採種栽培：30.
- 藤塚昭吾・諸橋準之助・市川儀夫 (1979) 種子粃の収穫乾燥調製機械化技術に関する研究. 新潟農試研報. 28：23-24.
- 平井達也・和田潔志・斎藤幸一 (2008) 水稻機械生産種子の低温期における浸種方法について. 千葉農総研研報. 7：27-34.
- 井上俊作・長谷川理成・大木寛幸・宮崎 豊 (1981) 割れ粃に関する調査研究. 千葉原研報. 3：1-6.

Effects of Post-harvest Rocprocessing on Germination of “Fusaotome” Rice Seed

Mitsuaki NAKAMURA, Tamiko KAMAGATA and
Masahiko SHINODA

Keywords: “Fusaotome” seed, unhulled rice damage, germination rate, engine rotation speed,
unhulled rice moisture content

Summary

We identified factors in the production process contributing to reduction in germination rate (and methods to prevent such reduction) of “Fusaotome” rice seed, which is an early-season rice variety designated as a “recommended variety” for Chiba Prefecture.

1. Given that the germination rate of rice grains receiving damage to the lemma or hull as a result of machine processing between harvest and preparation of grains for planting is reduced relative to grains that appear normal, it is important to prevent such damage.
2. The rate of damaged grains increases when the moisture content of rice grains at the time of harvest exceeds 24% or so, even if seed harvesters are operated at appropriate engine rotation speeds, resulting in progressive reduction in germination rate during storage. Thus, harvest should be avoided when the moisture content of rice grains is high.
3. Given that 1.5-year post-storage germination rate of rice seed harvested with conventional combine harvesters operated at standard engine rotation speeds is reduced, in order to produce seed with good storage performance, conventional combine harvesters should be operated at engine rotation speeds approximately 15% below standard.
4. Given that the 1.5-year post-storage germination rate of rice seed harvested with seed harvesters operated at higher-than-standard engine rotation speeds is reduced, seed harvesters should be operated at standard engine rotation speeds.
5. The rate of damage to unhulled rice seed during preparation for planting depends on the method of hulling. Given that rotating brush-type hullers result in less damage than rotating steel-blade-type hullers, rotating brush-type hullers are recommended.