

# 生籾の乾燥貯留体系に関する研究

## 第2報 高水分籾の高速予備乾燥方法

加藤雄久・矢田貞美・水城光男

### 要 約

加藤雄久・矢田貞美・水城光男(1976)：生籾の乾燥貯留体系に関する研究。

第2報 高水分籾の高速予備乾燥方法。広島農試報告 37：1～12

前報で半乾籾の一時貯留水分は約20%以下が適当とした。本報では生籾をこの水分まで高速乾燥するための基礎実験および市販乾燥機の代表的3形式における当初含水率と高速乾燥の許容限界について検討した。高水分籾の乾燥胴割れは偏在する粒内水分が乾燥停止後に均等化するときに発生する。米粒の水分が約19%以上では含水量の増減とともに膨張収縮するが、これ以下では容積変化が少ない。このためか乾燥過程で19～20%に近づくと胴割れしやすい。乾燥胴割れは外国稲の極大粒や極小粒では少なく、中粒の日本稲で多発し粒の大小より玄米の質的な影響が大きい。高速予備乾燥には常時通風循環型が他の形式より胴割れや発芽障害が少なく、常時通風静置型はむら乾きによる障害が多い。間断通風循環型は胴割れ以前に発芽障害を受けた。前記3形式の当初含水率と水分の低下許容量の関係式および発芽障害をうけない籾層温度と水分の関係式が得られた。

### I 緒 言

前報<sup>6)</sup>では高水分籾を一時貯留するには品質保持からみて20%を下まわる水分が望ましいことを述べた。しかし、乾燥施設への生籾の搬入は時期的にも1日の時間も集中するので、約20%まで短時間に乾燥する方法がないと安全水分での貯留は実施しにくい。高水分籾を高速乾燥した場合には胴割れが発生しやすいことが知られており<sup>2,16)</sup>、また高温で加熱乾燥した場合には品質や食味の低下があることも指摘されている<sup>18)</sup>。

本報では籾の乾燥に伴う胴割れの発生について基礎的な調査を行うとともに形式が異なる市販乾燥機での安全な高速予備乾燥の許容条件を実験的に求めてみた。ここにいう予備乾燥とは生籾から約20%までの乾燥である。本報の実験1と2は報告者の一人加藤が農林省北陸農業試験場で行い(1967)、その他は広島県立農業試験場で行った。

### II 胴割米の発生に関する基礎的実験

胴割米の発生に関しては多くの報告があり、籾が吸湿する場合の胴割れは立毛下でも発生し<sup>8)</sup>、その程度は品種の特性が影響すること<sup>3)</sup>および当初含水率が21%以下の乾いた状態から吸湿した場合<sup>14)</sup>や粒幅の膨張が大きいときに多発<sup>9)</sup>することが知られている。また乾燥過程では粒内水分分布の差による膨張のひずみ<sup>2,19)</sup>、あるいは温度変化による熱応力のひずみ<sup>4)</sup>および外層が永久変

形した米粒中心部での乾燥に伴う引張応力による割れ現象が推定<sup>23)</sup>されている。そこで実験1では乾燥下での胴割れを追跡調査し、実験2では籾および玄米の水分量と容積の変化を調べて胴割れ現象を考察しようとした。

#### 1. 実験方法

実験1 水分が均等な籾の高速乾燥と胴割れの発生

材料の調製：成熟後に乾燥の履歴がなく各粒の水分が均一な材料を得るため、品種越米の収穫適期10日前から水中登熟させた。この穂から稔実が良好な籾をとり蔭干しにより水分を数段階に調製後8℃下に数日おいて各集団内の水分の均一化をはかった。

乾燥方法：高水分籾を200粒ずつ多数秤量後均熱乾燥器(110ℓ)内で乾燥し、処理開始後30分ごとに200粒単位でとり出し秤量後乾燥を停止した。停止する場合は試料をポリエチレンフィルムで密着させて包み、さらにアルミカン(10cc)に密封後乾燥と同温度下に1日間保持した。このような実験を温度と風量をかえて検討した。また高速乾燥の停止後1日かけて40℃から23℃に徐冷した場合と停止直後に20分間で23℃に冷やした場合の胴割れを調査した。粒大が著しく異なる外国稲と日本稲の籾を用いて胴割れ発生難易についても調査した。

調査方法：含水率は135℃15時間乾燥法<sup>13)</sup>によった。胴割れの調査は同一材料について一定時間ごとにX線撮影により追跡調査した。露出は65V, 5mA, 150秒、

現像はS DK, 20°C, 3分とした。撮影および秤量は処理温度よりやや低い室温下(温度差5~8°C)で約3分以内に行い、実験中の処理変動を少なくした。

実験2 玄米の含水率と容積の変化

実験1と同じ方法で各種段階に水分調製した品種越栄の材料から1点各500粒をとり、秤量後蒸留水を入れたビューレットに籾を流し込んで容積をはかった。これを直ちにとり出して水滴をろ紙でふきとり迅速に脱秤して玄米の容積も同様に求め、各区の平均乾物重を基準に容積を補正した。

2. 実験結果および考察

1) 高速乾燥下における胴割れの発生時期

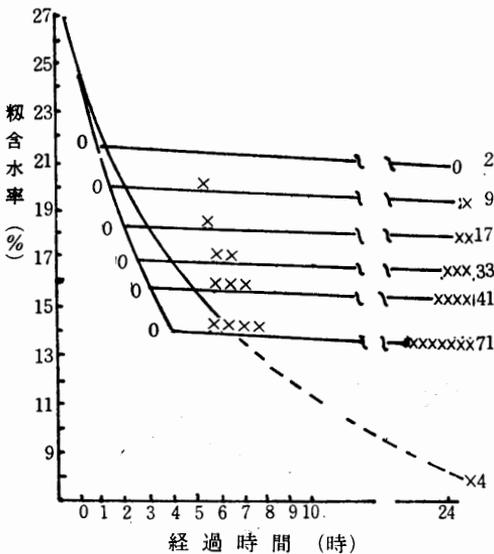
当初含水率が27.2%の籾を50°C, 関係湿度21%の送風条件下で継続乾燥し、30分きざみに処理を停止した場合の乾燥と胴割米発生の経過を第1図に示した。高水分籾を4時間で14%まで高速乾燥しても処理中は全く胴割れせず、停止後約2時間目から割れはじめ、24時間後には乾燥の進んだものほど多く割れた。また途中からビニールの袋に入れて乾燥機内におき減速乾燥した場合には、水分が8%に達しても4%しか胴割れしなかった。乾燥の温度をかえて停止段階と胴割れの発生との関係を見ると高速乾燥条件下では短時間処理でも多く割れ、処理時間

が長いほど割れも多発し、低速条件下では比較的長時間にわたって乾燥を継続しても胴割れが少なかった(第2図)。

玄米の乾燥過程における胴割れは粒内の乾燥が進んだ部分の収縮と未乾燥部での非収縮部分とのひずみが原因であるとすれば、乾燥が進行している途中のひずみが最も大きく、このときに胴割れも多発すると考えられる。しかし、実験1では毎時4~5%で高速乾燥しても処理中は全く割れず、粒内の部分的乾燥による収縮応力だけでは胴割れの原因を説明できない。急激な乾燥を停止すると一定時間後に割れ始め、その時間は長戸<sup>15)</sup>が示した粒内水分の均等化に要する時間(2時間)に相当し、また乾燥の終期をゆるやかに停止すれば胴割れが少ないことからみて胴割米の発生は高速乾燥を停止して粒内水分が均等化するときに起きると考えられる。第2図の結果から、乾燥停止後の粒内水分の均等化に伴う胴割れへの影響は乾減率が大きい場合や処理時間が長いほど大きいことを示している。

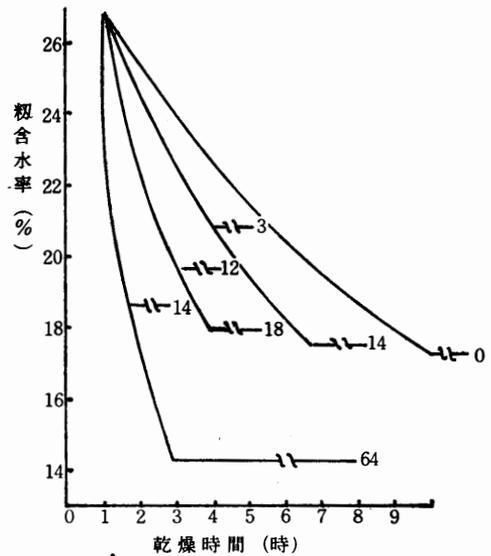
2) 玄米の膨張収縮に伴う胴割れの発生

玄米の容積は吸水によって膨張し、また乾燥によって収縮することは既に知られている。近藤<sup>9)</sup>らは吸湿により粒幅方向の伸びが大きく粒厚方向は少ないとし、山口<sup>24)</sup>らは比容積と含水率の比例的関係を示し、また



第1図 乾燥の停止と胴割米の発生程度(1967)

注) ○は胴割れ5%以下, ×印は1個10%, 数字は胴割率を示す。50°C・RH21%・風量比∞。



第2図 各種の高速乾燥を停止した場合の胴割率(1967)

注) 図中の数字は停止24時間後の胴割率。

Arora<sup>1)</sup>は熱膨張における係数から胴割れの危険温度差を求めている。しかし、籾の水分含量と容積の関係がある段階で変化することについては述べていない。実験2の結果では低含水率から19%弱までの容積変化は少なく、19%から28%までは水分量に比例して増大し、これ以上では膨張していない。つまり、19%以下では乾燥によって玄米内に空隙が生ずることを示し、28%以上の水分は付着水であることを意味している。古浦<sup>11)</sup>は乾燥米を減圧下で吸水させると気泡が発生して米粒内の気体と置換するのを認め、吸水過程を組織間、細胞間、細胞内吸水に分けられると提唱しており、このことから吸水の初期は組織内空間への毛管水的侵入があり、吸水と見かけの膨張とは直接結びつかない段階があると考えられる。このような玄米の膨張経過に対して籾の大きさは低水分から21%までの変化がなく、21%から28%までは水分に比例して増大した。これは19%から21%までは玄米の膨張により籾殻内の空隙が圧縮されたと考えられる。この圧縮の程度は籾殻内での玄米の充実度によって異なると推定される（第3図）。

以上の1)と2)で得られた結果から胴割れ現象について次のような推定ができる。

玄米の乾燥継続中は脱水しやすい外層の乾燥が先行して収縮し粒中心部は圧縮応力をうけ、外層は引張応力をうけるが糠層の強度が大きい<sup>21)</sup>ので胴割れを生じない。そこで外層の水分が収縮しない段階（約19%）以下に達したとき乾燥を停止すると、粒内水分の均等化に当たって多湿部分はさらに収縮を続けるから外層の固定部分に対して内層に引張応力が生じる。このときの乾燥先行部分における均等化に当たっての吸湿が19%を超え膨

張段階に戻る場合には停止後に乾燥する部分との引張応力はさらに大きくなる。

また、吸湿過程では玄米表層からの吸湿が考えられるが、古浦<sup>10)</sup>によれば胚芽部からの水分侵入が多いので玄米の外層あるいは胚芽側の水分が19%を超えて膨張を開始しても、中心部あるいは背側がこの段階に達しない場合は粒内の低水分付近に引張応力が生じき裂が発生する。Kunze<sup>12)</sup>らは玄米を円柱と考えて吸水胴割れを同様な観点から考察している。寺中<sup>22)</sup>らは吸水が20%に達すると胴割れが多くなったとし、長戸<sup>14)</sup>らが21%以下からの吸水で胴割れの多発を認め、これ以上の水分では胚乳が柔軟になるとしている。また、伴<sup>2)</sup>は初期含水率が18~20%以下の乾燥では高水分籾からの乾燥に比べて胴割れの許容限界が急上昇することを認め、川村<sup>7)</sup>らが玄米切片の引張応力が20%を境にして機械的特性が異なると指摘したことなどを考え合わせると玄米は19~20%の含水率を境にして膨張・収縮程度および物理性が変わるように考えられる。

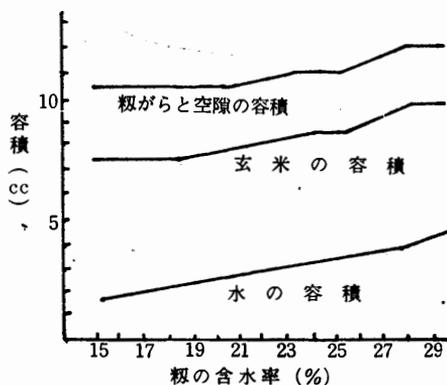
このように高水分籾の乾燥に当たって含水率が19%近くに達すると胴割れしやすい性格があるならば、この水分段階を継続的に通過することを避け、19%に達しない段階で一たん乾燥を休止して粒内水分の均等化を計れば前の乾燥（予備乾燥）も後の乾燥（仕上げ乾燥）も胴割れの危険を避けられると考えられる。この水分段階は前報<sup>6)</sup>での高水分籾の一時貯留に好都合な含水率の上限に属することに注目したい。

### 3) 玄米の大小と胴割れの難易

玄米内の水分の偏在が胴割れを誘発するならば、大粒と小粒では水分の部分差の程度が異なり、胴割れの難易にも差があると考えられる。そこで玄米の大きさが大粒の外国籾センヤ(32mg)、ストライプ(27mg)と中粒の日本籾であるタレホナミ(22mg)、ハツコウダ(21mg)、シモキタ(21mg、胴割れ難といわれる)、小粒種の平一本(17mg)、外国籾タデューカン(18mg)を用いて高水分状態から高速乾燥した。その結果、大粒種と小粒種の胴割れが少なく、中粒の日本籾品種では多くの胴割れ米が発生した(第1表)。伴<sup>2)</sup>は日本籾での粒大が異なる材料を用いて大粒の方が割れやすいことを認めているが、胚乳の性質が著しく異なる場合には粒大よりも質的な差が大きく影響するように考えられる。

### 4) 乾燥停止後の急冷と胴割れの発生

高水分籾を高速乾燥し、終了直後に急冷した場合には徐々に冷やした場合よりも胴割れ米が多発する(第2表)。Arora<sup>1)</sup>は玄米の温度変化が著しい場合(43°C)には胴割れの危険があるとしているが、粒内の水分勾配



第3図 籾の各含水率における構成部分別の500粒容積の変化 (1967)

第1表 玄米の大小と乾燥による胴割れの発生 (1968)

品種名	粒重 mg	送温 風度 °C	送時 風間 分	籾含水率		毎時 乾減率 %	胴割 米率 %
				乾燥前 %	乾燥後 %		
平一本	17	40	{ 60 90 120	27.1	21.7	5.4	0
				27.1	20.9	4.1	0
				27.1	19.6	3.8	0
ダデューカン	18	40	{ 60 90 120	22.5	18.0	4.5	2
				22.5	16.5	4.0	1
				22.5	15.1	3.7	1
シモキタ	21	45	{210 240	28.4	18.9	2.7	8
				29.8	18.1	2.9	28
ハツコウダ	21	45	{195 240	28.5	19.7	2.7	31
				29.0	15.7	3.3	63
タレホナミ	22	45	{180 240	29.0	19.2	3.3	20
				31.5	15.8	3.9	47
ストライプ	27	45	{210 240	29.9	16.9	3.7	0
				30.3	16.0	3.8	1
セシヤ	32	45	{180 210	28.6	18.2	3.5	5
				27.7	16.2	3.3	10

による応力があった場合には少ない温度変化（この場合は17°C）でも胴割れを助長すると考えられる。伴<sup>2)</sup>の実験では乾燥直後の変温による胴割れへの影響が認められていないが、この場合は当初含水率が約20%からの乾燥であり、もっと高水分から乾燥して胴割れに危険な含水率を乾燥範囲に含む場合は乾燥停止直後の変温は胴割れに悪影響を及ぼすものと思われる。

第2表 予乾後の冷却方法と胴割れの発生 (1966)

当初 含水率 %	停止時 含水率 %	毎時 乾減率 %	冷却 方法	胴割率 %
32.0	21.2	3.6	急冷	11.0
32.5	21.7	3.6	徐冷	2.0
26.5	18.8	2.6	急冷	10.5
26.2	18.2	2.7	徐冷	7.5
26.6	17.4	2.3	急冷	35.2
26.4	17.3	2.3	徐冷	12.1
24.4	17.6	2.3	急冷	8.5
24.8	17.5	2.4	徐冷	6.6
24.5	16.5	2.0	急冷	19.6
24.5	16.5	2.0	徐冷	11.0
23.6	16.0	2.5	急冷	18.5
23.6	16.2	2.5	徐冷	17.5
23.7	15.4	2.1	急冷	33.0
23.6	15.3	2.1	徐冷	28.0

注) 急冷20分間, 徐冷24時間で40°C→23°C。

5) 均一少量材料での実験結果の大量乾燥への適用

第1図のゆるやかな乾燥結果が示すように、水分27%の籾を6時間で14%に(乾減率2.2%)、引続いて24時間後には8%まで乾燥しても4%しか胴割れしなかった。これに対して大量籾を常時通風循環型乾燥機を用いて同程度の当初含水率から乾燥したのは第5表のBとaがこれに相当する。両区とも約3時間に21.2%まで乾燥して胴割れが5%に達し(乾減率約2.0%)、これ以上乾燥を継続すると被害が増大した。つまり少量均一材料の実験に対して、大量籾の乾燥では低い乾減率で短時間乾燥しても胴割れの危険が高く、少量実験は大量乾燥の危険予測に利用し難い。このような差異が生ずる理由の一つとして大量籾での粒別含水率の変異があげられる。大量生籾の中に高水分籾があれば早く胴割れする危険があり、均一材料に比べると平均含水率の割合に胴割れしやすいことになる。立毛下の穂の籾含水率は低水分籾から高水分籾まで分布の幅が広く(15~30%)、しかも階級分布の形が天候によって異なる<sup>5)</sup>ので変異の予測も困難である。したがって、大量籾での胴割れの危険予測は水分変異を含んだ大量の実験結果に基づくのが適当と考えられる。

### III 実用的乾燥機での高速予備乾燥の限界

コンバイン収穫籾を用い第3表に示す3型式の乾燥機で高水分籾を一時貯留が可能な水分(19~20%)まで5%以下の胴割れで高速乾燥する場合の許容限界を調べた。

## 1. 実験方法

供試機械：間断通風循環型乾燥機（SH-17D）  
 常時通風循環型乾燥機（NCD-800）  
 山形樋送風静置型乾燥機（F-8）

供試材料：中生新千本の稚苗移植標準栽培した成熟籾を自脱型コンバインで収穫し、乾燥機に投入後2時間かくはんして実験に供した。供試材料の当初含水率が異なるものを得るには自然状態で目標の水分になるように登熟程度の早晩や天候状況に収穫時期を対応させ、収穫後の人為的な水分処理はしなかった。

調査方法：温度と湿度の測定は鋭感湿度計を用い、籾含水率は135°C乾燥法によった。胴割れの調査には採取試料を12時間以上保温状態におき、1点300粒について観察計数した。胴割れ程度の軽と重は区別せず合計値を胴割れとした。籾の発芽率は28°C下に5日間おき1.06での比重選籾の1点200粒について調査した。

## 2. 実験結果および考察

### 1) 間断通風循環型乾燥機（SH-17D）

第4図に示すように籾はバケットエレベータで揚穀され貯留そうを流下し、下方から一定量ずつ繰出されて循環する。その下部に通風部があり籾層の厚さが10cmで6分間熱風にさらされる。貯留そう容量の1.7tに充満した籾が1循環するのに85分を要し、これに対して約0.8tの籾を供試したからこの実験における1循環は40分強で1回の通風が6分となる。調査資料は40分間隔に採取し、その試料の翌日の胴割率が5%以下に留まる乾燥条件を調べた（第4表）。

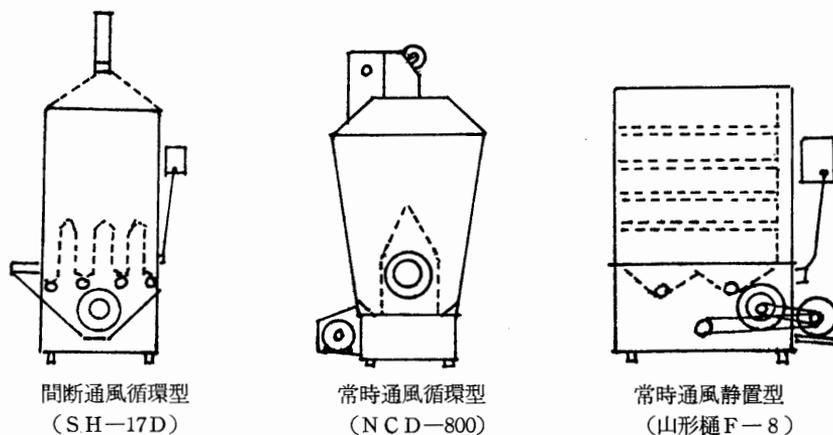
高水分籾を継続乾燥（この場合は間断通風の継続）し

た場合の当初含水率と胴割れが5%以下に留まる含水率の低下許容量の関係は、当初含水率が異なっても許容量の変化が少なくほぼ2.5%から4%の間であった（第5図）。送風温度を高めて毎時乾減率を大きくすると許容量は小さく、乾減率を小さくすれば許容量が大きくなる（第6図）。しかし、高水分籾を高湿送風（70°C以上）により高乾減率（毎時1.5%以上）で乾燥した場合は胴割れ以前に発芽障害を受けており（第4表の\*印）、そのときの籾層温度は42°C以上で該当する材料の当初含水率は22%以上であった。したがって、発芽障害を回避するためには送風温度を低くすることになる。実験の結果から発芽障害を受けない送風条件は約65°C以下、毎時乾減率は1.4%以下で含水率の低下許容量は3~4%となる。この条件では23~24%以上の籾は予備乾燥の目標含水率の20%に達しないのでさらに低温で送風し、乾減率も低

第3表 供試乾燥機の仕様

型 式		SH-17D 間断通風 循環型	NCD-800 常時通風 循環型	F-8 常時通風 山形樋
機 体 寸 法	全 長 mm	2,980	1,600	1,680
	全 幅 mm	1,300	1,680	1,440
	全 高 mm	3,860	2,595	(2,660)
	容 量 t	0.5~1.7	0.5~0.8	0.5~0.8
	重 量 kg	420	280	193
送 風 機	直 径 mm	380	380	350
	回 転 数rpm	2,060	2,100	2,300
	風 量 m <sup>3</sup> /min	42	48	47
所 要 馬 力 PS		1.0	0.75	0.53
通風層の厚さ mm		100	238~544	115

( ) は投入パイプを含む。



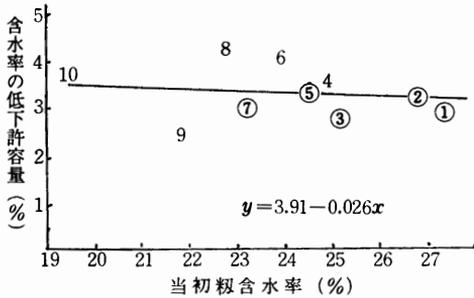
第4図 供試乾燥機の概略図

くしなければならぬ。間断通風乾燥機で高水分籾を短時間で乾燥する場合は通風休止の回数および時間が少なくて水分調整の効果があらわれる余裕がない。一方、常時通風に比べて高温送風を必要とするため短時間の高温による発芽障害を受けやすく、高速予備乾燥には適当でないと考えられる。

2) 常時通風循環型乾燥機 (NCD-800)

籾はバケットエレベータで揚穀されて通気そうに落下し、0.8tの籾が40分間で1循環する。通気部分の上層は厚く(544mm)、下層は薄くなって最下部は266mmとなり、風量比からみて弱い乾燥と強い乾燥を1循環の間にゆるやかに繰返す方式である。全籾量と全風量からみた平均風量比は0.1m<sup>3</sup>/sec/100kgとなる。

胴割米発生率を5%以下とした場合の含水率の低下許容量とこれに伴う乾燥条件を第5表に示した。各種の送風温度で毎時乾減率が1.2%から2.2%までの範囲では含水率の低下許容量に一定の傾向がみられない(第7図)。

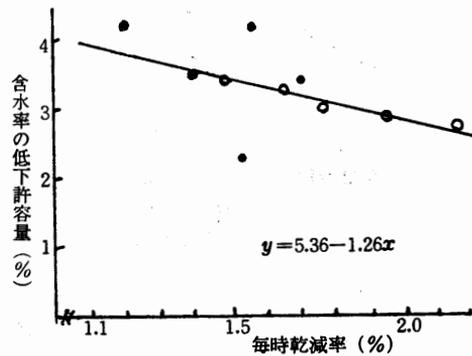


第5図 当初含水率と乾燥の低下許容量の関係 (SH-17D)

○は胴割以前に発芽障害を受けたもの。

しかし、これを当初含水率別にみると高水分籾は許容量が大きく、低水分籾は小さく、当初含水率(x)と含水率の低下許容量(y)の間には  $y = 0.47x - 6.9$  の関係が示された(第8図)。

この式では当初含水率が低い場合には乾燥が不能となるので、x(当初含水率)は約22%以上のものに適用すべきと考えられる。このように送風条件に関係なく当初含水率によって高速乾燥の許容範囲が決められるのは、高温送風(50~60°C)では外気に多少の湿度や温度の差があっても、熱風での湿度差が少ないためと考えられる。また、この範囲の送風条件では発芽障害を認めず、籾層温度は40°C以下であった。このときの毎時乾減率は1.2%から2.2%であるから前記の間断通風型に比べると高速乾燥が可能となる。この型での高速予備乾燥には送



第6図 毎時乾減率と含水率の低下許容量の関係

(SH-17D) ○は発芽障害を受けたもの。

第4表 間断通風循環型での胴割れからみた乾燥許容限界

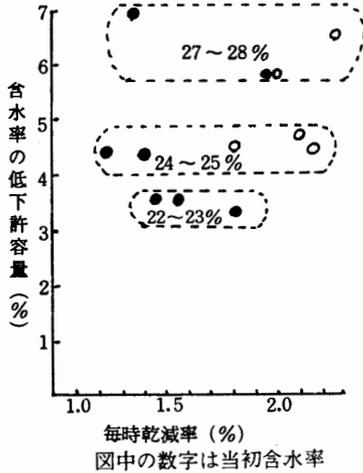
番号	当初含水率 (%)	停止含水率 (%)	乾燥時間 (時分)	乾減率 (%)	胴割率 (%)	送風温度 (°C)	籾層の温度 (°C)
1	26.4	23.5	1.30	1.9	1.4	76	42○
2	25.9	22.6	2.00	1.7	4.0	75	42○
3	24.1	21.3	1.20	2.2	2.6	70	42○
4	23.8	20.4	2.00	1.7	3.8	65	41*
5	23.6	20.2	2.40	1.5	4.4	75	42○
6	23.0	18.8	2.40	1.6	4.2	60	41*
7	22.2	19.2	1.40	1.8	6.1	70	45○
8	21.8	17.6	2.30	1.2	4.9	53	41*
9	20.8	18.5	1.30	1.5	6.3	53	41*
10	18.5	15.0	2.30	1.4	2.1	55	42*

注) 胴割れを5%以下に留めるために乾燥を停止すべき時点の籾含水率、乾減率、温度条件。○は発芽障害を受けたもの、\*は受けしないもの。(1969~1971, SH-17D)

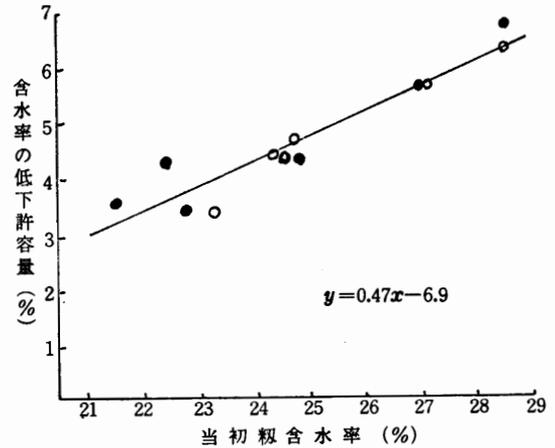
風の飽差が70~120g, 籾温が40°C以下で前式の含水率の低下許容範囲で乾燥すれば能率的であり, 当初含水率が約25%のものでは, 少なくとも約4時間以内に20%以下に処理できる。

IIの基礎実験の考察では玄米の膨張収縮からみて水分

が19%に達した場合は胴割れしやすい状態になることを予測した。そこで常時通風されてむら乾きも少ない循環型(NCD-800)での胴割れが開始する時期をみると水分が20%前後に達すると胴割れが5%になっている。しかし, 著しい高水分籾(28.5%)ではこれより高い水分



第7図 毎時乾減率と含水率の低下許容量の関係 (NCD-800)  
●1973年, ○1974年



第8図 当初籾含水率と高速乾燥の含水率低下許容量の関係 (NCD-800)  
●1973年, ○1974年

第5表 常時通風循環型での胴割れからみた乾燥許容限界

区年	名次	当初含水率 (%)	停止含水率 (%)	乾燥時間 (時分)	乾減率時 (%)	送風温度 (°C)	送風の差 (g)
1974	A	28.5	22.0	2.53	2.24	59	111
	B	27.0	21.2	2.55	2.00	54	91
	C	24.4	19.9	2.07	2.14	58	102
	D	24.7	19.9	2.17	2.09	57	101
	E	24.5	20.0	2.43	1.80	55	89
	F	23.3	19.9	1.55	1.79	50	73
1973	a	27.0	21.2	2.58	1.96	60	115
	b	28.5	21.6	5.05	1.36	55	90
	c	24.8	20.4	2.53	1.40	52	80
	d	22.8	19.3	2.17	1.54	54	86
	e	21.5	17.9	2.27	1.47	50	73
	f	22.4	18.0	3.38	1.22	45	57

注) 胴割米発生率は停止後密封保温翌日で5%以下 (NCD-800), その他は第4表と同じである。

(22%)で胴割れし、当初が低水分(22%)のものは約18%に達するまで割れていない。平均含水率が28%のものは多量の付着水があったと考えられ、この水分が除去されるまでには低い水分粉の中には限界を超えるものがあると思われる。間断通風型に比べると当初含水率が高くても胴割れ開始の含水率がやや低く、高水分粉の予備乾燥に適用しやすい(第5表)。

3) 山形樋送風静置型乾燥機(F-8)

貯留そう内に開口山形樋を平行して内蔵し、交互の樋が送風および排风管となっている。通風の靱層の厚さは約12cm、風量比は約0.1m<sup>3</sup>/sec/100kgである。静置型ではむら乾燥となるので40分ごとに風を止めて5分間ずつ靱を循環させてから調査試料をとった。

試料の胴割れが5%以下に留まる乾燥条件を第6表に示した。当初含水率(x)と含水率の低下許容量(y)(胴割れ5%以下)の関係は  $y = 0.3x - 3.93$  で示された(第9図)。当初含水率が高い場合に低下許容量が大きいのは常時通風循環型と同様であるが、当初含水率から低下許容含水率だけ乾燥しても一時貯留に適当な水分の20%に達せず、さらにゆるい条件で乾燥しなければならない。本実験での毎時乾減率は0.9~1.4%で他の型式より少なく、これ以下にした場合は14%までの継続乾燥と差がない。静置型では熱風が常時特定の靱に当たり局部的障害を受けやすい。通風の靱層厚さが12cmで40分ごとにかくはんしてもこのように障害を受けるから、厚い靱層ではさらに大きな障害を受けることになる。

4) 乾燥の温度と発芽障害の関係

乾燥下における品質的障害の調査については靱の活力をTZ値で示す方法<sup>20)</sup>、熱損傷粒歩合の観察的測定<sup>17)</sup>、官能的食味評価<sup>20)</sup>などがある。本実験では胴割れ以前に発芽障害を認めており、種子用に限らず食用米でも発芽力の低下は貯蔵下での品質保持に悪影響が考えられる

ので発芽障害との関係をまとめて検討してみた。

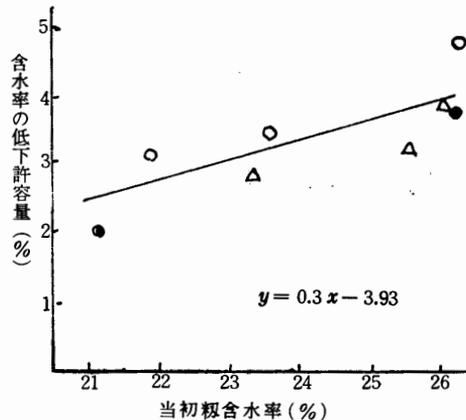
(1) 密閉加熱下における発芽への影響

含水率が26.1%, 20.4%, 15.1%の3とおりに異なる靱をビニールフィルムに包んでアルミカンに密閉し、40℃・50℃・60℃の3温度条件下に時間をかけて処理した結果を第7表に示した。

靱の発芽力には高温、高水分、長時間ほど被害の影響が大きい。40℃では靱含水率に関係なく36時間以内には障害がなく、50℃では20%・24時間以上ではわずかな影響を受け、26%では同温度でも12間時以上は危険であり60℃では3時間で障害を受けた。このように発芽障害には温度・靱含水率・時間の3要因が相互に関係する。

(2) 乾燥下における発芽障害を受けた例

1969年から1974年の間に間断通風循環型乾燥機を用いた乾燥過程で発芽障害を認めた場合の送風条件を第8表に示した。1と2の実験では靱層温度が40℃に達しない



第9図 当初靱含水率と高速乾燥での含水率の低下許容量の関係(F-8)

注) ○38.40℃, △45.47℃, ●50℃。

第6表 常時通風静置型での胴割れからみた乾燥の許容限界

区番号	A 当初 含水 率 %	B 停止 含水 率 %	A - B %	乾燥 所要 時間 時分	毎時 乾減 率 %	送風温度 °C	送風飽差 g
1	26.3	22.5	3.8	2.40	1.46	50	76
2	26.0	22.1	3.9	3.33	1.10	45	54
3	25.6	22.4	3.2	3.05	1.03	47	60
4	26.3	21.4	4.9	5.00	0.98	38	37
5	23.3	20.4	2.9	2.52	1.00	45	57
6	23.6	20.2	3.4	3.25	0.99	40	41
7	21.1	19.0	2.1	1.30	1.40	50	75
8	21.9	18.8	3.1	3.30	0.89	40	42

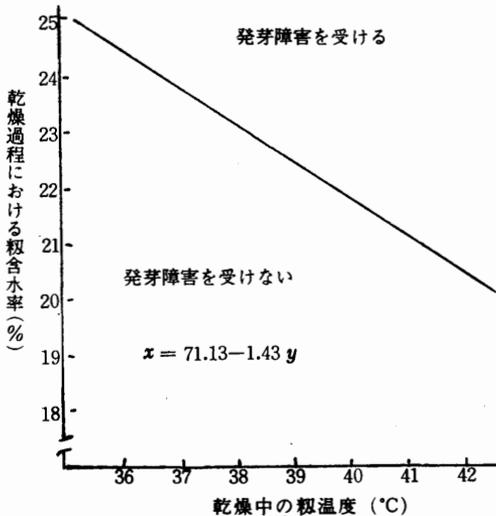
注) 胴割れ発生率が5%に達したときの乾燥条件を示す(1971~1972, F-8型)。

第7表 温度処理による籾発芽率への影響（1969）

温度 処理 °C	籾含水率 %	処 理 時 間 (時)					
		0	3	6	12	24	36
40	15.1	97	96	98	97	94	97
	20.4	95	97	97	98	97	97
	26.1	96	98	94	97	96	96
50	15.1	97	98	97	96	94	93
	20.4	95	96	97	97	95	95
	26.1	95	97	93	97	37	34
60	15.1	97	94	89	53	0	0
	20.4	95	47	2	0	0	0
	26.1	97	0	0	0	0	0
45	24.2	0*	50*	100*	150*	200*	250*
	↓ 14.3	98	97	92	90	88	82

注) 欄内数字は発芽率である。45°C処理は通風乾燥であり、\*は経過時間の分である。

うちに障害を受け、そのときの含水率は24~25%と推定される。また、18~19%に乾いた段階でも45~47°Cでは障害を受けている(■3.7)。密閉下では50°C・26%・12時間で障害を受けないのに、乾燥下では40°C・24~25%・40分間で障害を受け、一定水分条件の場合より乾燥下では被害を受けやすい。そこで各種実験の22例から乾燥中における籾層温度と含水率の調査から発芽障害を受ける範囲を第10図に示した。発芽障害を受けない籾層温度( $x$ °C)と乾燥過程の籾含水率( $y$ %)の関係は  $x = 71.13 - 1.43y$  以下で示される。



第10図 循環型乾燥機で乾燥中の発芽障害の限界

第8表 発芽障害を受けた乾燥の条件例

番 号	乾燥時間 分	籾含水率 %	籾層温度 °C	発芽率 %
1	0	26.4	20	98
	40	25.3	35	97
	80	24.0	39	94
	120	21.8	42	90
2	0	25.9	16	99
	40	25.3	34	92
	80	23.8	40	83
	120	22.6	42	83
3	0	24.1	18	97
	40	22.2	39	97
	80	21.3	42	89
	120	19.5	42	88
5	0	23.6	15	98
	40	22.8	37	97
	80	21.5	41	92
	120	21.2	42	90
7	0	22.2	15	99
	40	21.4	40	90
	80	20.0	44	88
	120	18.2	47	80

注) 間断通風乾燥機 (SH-17D)

## IV 摘 要

## 1. 高水分籾の乾燥胴割れ

1) 粒間水分が均一な籾を高速乾燥(27%から、4時間で14%まで)しても乾燥中は胴割れせず、乾燥を停止すると約2時間後から割れはじめ、その程度は乾燥の継続時間が長いほど、乾減率が大きいほど多く割れた。乾燥の停止をゆるやかにすれば胴割れが少なくなる。

2) 玄米の容積は含水率が19%以下では変化が少なく、19%から28%までは水分に正比例して増大し、28%以上では変化しない。

3) 高速乾燥の停止直後に急冷すると胴割れは多発し徐冷すれば少ない。極端な大粒外国種・小粒種は中粒の日本種より胴割れが少なかった。

## 2. 実用的乾燥機での高速予備乾燥

1) (1)間断通風循環型、(2)常時通風循環型、(3)山形種送風静置型(各0.8tを投入)を用い、高水分籾を高速乾燥して胴割れを5%以下に留めるための当初含水率( $x$ )と乾燥の低下許容量( $y$ )の関係を求め次の結果を得た。

$$(1) \text{では } y = 3.91 - 0.026x$$

$$(2) \text{では } y = 0.47x - 6.9$$

$$(3) \text{では } y = 0.30x - 3.93$$

ただし、 $x$ は約20%以上

2) の型が当初含水率に対して低下許容量が大きい。

2) (1)および(3)の型式の乾燥機では胴割米の発生以前に発芽障害を受ける危険がある。発芽障害は籾の含水率、温度、時間の3要因に影響され、同温度でも含水率が一定の場合より乾燥進行中の方が被害を受けやすい。乾燥下でも発芽障害を受けない籾層温度( $x^{\circ}\text{C}$ )と含水率( $y\%$ )との関係は $x = 71.13 - 1.43y$ で示された。

## 謝 辞

本報のIIの実験に当たっては北陸農業試験場・北村作物部長(当時)と山崎室長の御鞭撻および宮崎脩一技官(中四国農政局)の御協力をいただき、IIIの実験における供試乾燥機については山本製作所およびマカベ株式会社から提供され、試験用乾燥機は佐竹製作所において試作提供を受けたものである。ここに諸氏ならびに各社に対して厚く謝意を表する次第であります。

## 引用文献

- 1) ARORA, V.K., S.M. HENDERSON and T.H. BURKHARDT : 1973. Rice drying cracking versus thermal and mechanical properties. Trans. ASAE 16 : 323~327.
- 2) 伴 敏三 : 1971. 人工乾燥における米の胴割れに関する実験的研究. 機械化研報告 8 : 8~9, 17~18.
- 3) 原城隆・中村公則 : 1966. 胴割米発生機構の解析に関する研究 第1報 寒冷地における立毛胴割米発生の実態と加温乾燥に伴う胴割米発生の変化について. 東北農試速報 6 : 47~52.
- 4) HENDERSON, S.M. : 1954. The causes and characteristics of checking. Rice Jour. 57 : 16~18.
- 5) 加藤雄久・山崎信蔵 : 1968. 生籾の貯蔵性に関する研究 第4報 生籾の含水率の粒別変異とその推移について(要旨). 日作紀 37 : 316.
- 6) ———・権藤昭博 : 1975. 生籾の乾燥貯留体系に関する研究 第1報 予備乾燥籾の貯留方法. 広島農試報告 36 : 1~16.
- 7) 川村 登・堀尾尚志・佐々木泰弘 : 1968. 籾の脱粒性と米粒の引張・圧縮強さについて. 農機誌 33 : 88~92.
- 8) 近藤万太郎・岡村 保 : 1930. 吸湿による胴割米の成生についての実験的研究. 農学研究 15 : 1~32.
- 9) ———・————— : 1932. 玄米が吸水せし時の膨張の方向と胴割米成生との関係. 農学研究 19 : 143~152.
- 10) 古浦二郎 : 1964. 清酒醸造における蒸米の研究 第2報 浸漬米の吸水状態について. 醸酵工学会16回講演要旨 13.
- 11) ——— : 1965. ————— 第3報 浸漬米の吸水および蒸米の弾性から見た大粒米と小粒米のちがいについて. 醸酵工学会17回講演要旨 9~10
- 12) KUNZE, O.R and M.S.U. CHOUDHURY : 1972. Moisture absorption related to the tensile strength of rice. Cereal Chem. 49 : 684~696.
- 13) 永原太郎・堤 忠一 : 1959. 乾燥法による米の水分定量. 食研報告 14 : 77~82.
- 14) 長戸一雄・江幡守衛・石川雅士 : 1964. 胴割米の発生に関する研究. 日作紀 33 : 82~89.
- 15) ———・岸 洋一 : 1967. 籾の乾燥法に関する基礎的研究. 日作紀 36 : 246~251.
- 16) 中江克己・菊地宏彰 : 1974. 円形乾燥貯蔵兼用施

設によるコンバイン収穫籾の乾燥及び貯蔵方式に関する研究．東北農試報告48：123～206．

17) 農林水産技術会議：1971．生籾の乾燥貯蔵法に関する研究．研究成果48：144～146．

18) ————：1974．米の食味改善に関する研究．研究成果77：44～53．

19) 佐藤正夫：1964．胴割れ機構．農および園39：1421～1422．

20) 食糧研究所：1969．米の品質と貯蔵利用．技術普及シリーズ7：20．

21) 清水 浩・坂井正孝：1974．曲げ荷重を用いる米粒の力学的性質の探究．農機誌36：108．

22) 寺中吉造・原城 隆：1967．胴割米発生機構の解析に関する研究 第2報サンプリング時の気象条件並びにコメ澱粉の粘性と胴割米との関係．東北農試速報7：37～43．

23) 山口信吉・堀内恵造・若林嘉一郎：1976．乾燥による玄米の胴割れ．農機学35回講演要旨107．

24) ————・若林嘉一郎・猪原明成：1976．玄米の乾燥収縮．農機学35回講演要旨 106．

## Studies on Drying and Storage Work System of Rough Rice

## 2. High speed drying method of the high moisture content rough rice

Kazuhisa KATO, Sadami YADA and Mitsuo MIZUKI

**Summary**

In order to study of high speed drying methods to 20 % from high moisture rough rice, the following experiments were done.

## 1. The rice check on drying of high moisture contents rough rice.

In the case of high speed dried with high moisture rough rice, there was no checking for the drying time and began checked in two hours after stop of blowing. The number of checked rice was much as longer time of drying as high speed of drying. There was a few checked rice in slowly dried at the finish time. The volume of a rice grain was not changed under 19 % of moisture and increase or decrease with moisture content from 19 % to 28 %, and it was constant in above 28 % moisture.

The checked rice was much in cooled immediately after drying and it was a few in slowly cooled. The number of rice checked by drying was fewer on the large or the small grains of foreign rice than the normal grains of japonica rice.

## 2. The grant drying moisture in high speed drying.

High speed drying methods with three types of the following driers were studied. 1) the intermittent blowing circulate type, 2) the continual blowing circulate type, 3) the angle conduit blowing repose type.

The relation between the initial moisture content of rough rice ( $x$ ) and grant drying moisture( $y$ ) under the high speed without rice check of above 5 % is shown by the following fomulas:

1) is  $y=3.91-0.026x$  2) is  $y=0.47x-6.9$  3) is  $y=0.3x-3.93$  in the end, 2) type drier is able to dry more moisture than the others. 1) type drier is could not practical use of intermittent blowing as few repeat of tempering in short time of preliminary drying. 3) type drier is made many check rice by the inequality drying for repose type blowing. 1) and 2) type drier has the risk of damage of germination before rice checking. In the process of drying the high moisture content rough rice, the damage of germination was effected by next three factors. The most damage was caused by high temperatures of long duration at high moisture content, the least by constant condition of moisture.

The limit of temperature without damage of germinate on drying is shown as next fomula.

$x=71.13-1.43y$   $x$  is grain temperature °C.  $y$  is moisture content % in drying.