

穀粒の厚層乾燥特性に関する研究 (第2報) - 玄米乾燥への適用 -

楊 志偉¹・後藤清和²・水野英則³・岩澤秀朗⁴

¹岐阜大学大学院連合農学研究科 〒501-1193 岐阜市柳戸1-1

²岐阜大学応用生物科学部 〒501-1193 岐阜市柳戸1-1

³㈱サタケ 〒739-8602 東広島市西条西本町2-30

⁴全農営農総合対策部 〒254-0016 平塚市東八幡5-5-1

Study on the Deep Bed Drying Characteristics of Various Grains (Part 2) -Application to the Brown Rice Drying-

ZhiWei YANG¹, Kiyokazu GOTO², Hidenori MIZUNO³, Hideaki IWASAWA⁴

¹The United Graduate School of Agricultural Science, Gifu University, Gifu 501-1193, Japan

²Faculty of Applied Biological Sciences, Gifu University, Gifu 501-1193, Japan

³Satake Corporation, Higashi-hiroshima, Hiroshima, 739-8602, Japan

⁴Zen-noh Agricultural R & D Center, 254-0016, Higashi-Hachiman, Kanagawa, Japan

Abstract

The use of rack type grain drying facility with a simple operation mode is increasing in recent years, which is useful for establishing a traceability system for grain production. In the previous paper, we developed a simulation program to analyze characteristics of deep bed drying of a cereal grain. In this paper, the application of the deep bed drying to brown rice was discussed. The skin damage degree, broken grain rate, change of fatty acid and taste quality value were measured for the rice grain produced by the brown rice drying in comparison to the paddy drying. It was then clarified that the brown rice drying does not cause any quality defect in practical use when the proper drying condition is selected.

Key Words : deep bed drying, brown rice drying, quality, skin damage, fatty acid

緒 言

乾燥装置の歴史は静置型から始まっている。これらは厚層乾燥であり、通風の風上側と風下側とで乾燥むらが生じる大きな欠点があった。循環乾燥機が開発されテンパリング乾燥が普及することにより、乾燥むらや攪拌作業という重労働が解消され、厚層乾燥は特殊な作業以外にほとんど見られなくなった。

近年、乾燥施設の方式として自動倉庫の概念を利用したラック式乾燥施設が増加し、米麦や大豆等への利用が進められている。約1 t容量の乾燥コンテナを使用した個別乾燥の形態であるので、トレーサビリティのシステム構築には有効である。この方式は静置型の厚層乾燥で

あるが、適当な時期に攪拌混合する装置を備えているので、水分の均一化を図ることが可能となっている。前報¹⁾において、穀物の厚層における乾燥過程、特に、通風温度や風量比等の乾燥条件が穀物の水分分布の変化に与える影響について述べた。その結果、乾燥条件を適切に選ぶことにより、水分分布の拡大を抑制できることがわかった。

玄米乾燥は可食部分ではない籾殻の乾燥が不要である等の理由により省エネルギー化が可能である²⁾³⁾。しかし、通常の循環乾燥を行うと粒同士の接触、摩擦による肌ずれの発生が著しく、調製後の品質維持に問題を残している。そこで、乾燥中に肌ずれの発生が少なく、品質維持が可能と考えられる静置式乾燥方式の玄米乾燥への適用

* 2 Corresponding author, e-mail address: goto@gifu-u.ac.jp

について検討した。

実験方法

玄米乾燥の方式として、ラック式乾燥を前提とした厚層の玄米通風乾燥および籾殻混合乾燥の試験を行った。後者は乾籾殻を水分吸収剤とする乾燥法であり、籾殻を対象として実用化されている。また、玄米乾燥の対照区として厚層による籾通風乾燥を行った。平成16年10月に2度同様の実験を行い（実験1；10月4日実施，実験2；10月12日実施），玄米乾燥の特性について検討を加えた。

1) 実験材料

実験材料として平成16年度広島県産の「ひのひかり」を用いた。収穫後、できる限り均一に混合を行い、速やかに後述の3種の乾燥実験を開始した。

2) 乾燥方式

厚層の玄米乾燥方式として通風乾燥および乾燥した籾殻を玄米と混合して乾燥させる籾殻混合乾燥を行った。また、比較対照のために、通常の籾での通風乾燥を行った。

(1) 玄米および籾の通風乾燥

個別乾燥が可能である特長を活かして、現在、普及が進んでいるラック式乾燥を想定した厚層通風乾燥実験を行った。本実験により玄米および比較対照区としての籾に対する厚層の通風乾燥過程および外観品質や貯蔵時の品質変化を測定し、検討した。

乾燥室は断面が一辺200mmの正方形である四角柱の容器を積み重ねて高さを約800mmとし、底は金網になっている。籾を脱ぶし、玄米としたとき、その体積が70%になると仮定して、籾乾燥時は堆積層高さを約800mm、玄米乾燥時は堆積層高さを約600mmとした。

通風空気の状態を制御するために、玄米通風乾燥においては電気ヒーターの他に加湿器および除湿器を装備し、籾通風乾燥においては電気ヒーターのみを装備した。また、いずれも通風量調節用の開閉ダンパを設けた。堆積層に所定の空気条件で通風を行い、入気から排気までの空気の状態変化を熱電対で記録した。

(2) 籾殻混合乾燥

玄米と乾籾殻をできる限り均一に混合して静置することにより、主に両者の周囲の空気を介して玄米から籾殻に水分が移動する。この方法は通風が行われないので、乾燥室モデルとして寸が610×410×315mmのプラスチック容器を用い、フタをビニルテープで密閉して籾殻混合乾燥の実験を行った。

3) 実験手順

(1) 玄米通風乾燥

収穫直後の籾をできる限り均一に混合後、インペラ式籾すり機（株大竹製作所製，FC-4）により脱ぶした。脱ぶ率はほぼ100%であったので、未脱ぶ籾の選別および再脱ぶを行わずそのまま乾燥実験に供した。堆積高さを600mmに設定し、約18.5kgの玄米を張り込んだ。通風

の温度と相対湿度は、従来の研究成果を活用し、胴割れや精白時の碎米発生が抑制できるように、温度を25～26℃、相対湿度を60%、風量比0.65 m³/(s・t)に設定した²⁾³⁾。ただし、電気ヒーターの容量がやや不足したことと湿度を手動で調整を行ったことにより、温湿度とも一定に保つことはできなかった。乾燥中、入排気の温度変化をT型熱電対で測定記録するとともに、底面から20mmと400mmの位置に設けた測定孔に携帯型温度計（株佐藤計量器製作所製，PC9400）を差し入れて堆積層内の温度変化を15分間隔で記録した。乾燥中の水分測定のための試料は底面から80mm、240mmの位置および表面から3時間毎に約200粒ずつ採取し、単粒水分計（株サタケ製，STS-800）により測定した。風量については層の表面において風速を集風管で大きくして風速計で測定した。なお、乾燥中に生ずる堆積高さによる水分むらを解消するための攪拌作業は、実用化を考慮して6時間毎に行った。

(2) 籾殻混合乾燥

前述の玄米通風厚層乾燥の場合と同様の手順で得られた高水分玄米と約70～80℃の熱風乾燥で4～5%w.b.に調製された乾籾殻を乾燥容器内でできる限り均一に混合した。現在行われている籾に対する籾殻混合乾燥では玄米と籾殻の容積混合比を1：1.5で運転されているが⁴⁾、玄米の場合、乾燥速度を抑制するために混合比を1：1とした。その結果、玄米11.2kgに対して乾籾殻1.7kgの混合状態となった。実験開始後3時間間隔で水分測定用の試料を採取し、6時間間隔で乾籾殻を交換した。

(3) 籾通風乾燥

収穫直後の籾を均一に混合した後、通風乾燥室に張り込み、すぐに通風を開始した。籾の堆積高さを800mmに設定すると、質量は約18.5kgとなった。通風温度は通常の貯蔵乾燥を想定して外気温より概ね5℃高くなるように設定した。風量比は0.25 m³/(s・t)として通風を行った。乾燥中の温度変化の測定は玄米通風乾燥と同様である。乾燥中の水分測定のための試料は底面から80mm、400mmの位置および表面から3時間毎に約200粒ずつ採取した。

4) 測定項目

前報で作成した厚層通風乾燥過程のシミュレーションプログラムによる乾燥過程の近似を検討した。また、それぞれの乾燥方法で仕上げられた籾および玄米を精白米に調製し、胴割れや碎米等の外観の品質と食味計値や脂肪酸度等の内部品質を測定して比較検討した。乾燥籾の籾すりはゴムロール式（株サタケ製，THU-35A），精白は摩擦式（株サタケ製，CBS2200A）を使用した。玄米および精白米に関する外観品質の測定は、光学的に判定を行う穀粒判定機（株サタケ製，RGQI 10A）を用いた。本機はきわめて多くの粒数を測定対象とするので、それに比べて少数の粒の測定を行う従来の肉眼判定より精度がよい。

玄米乾燥後の米粒の各種形態（玄米，通常精白米および無洗米）の貯蔵中における脂肪酸度を測定し，品質維持の方策を検討した。ここで，無洗米はヌカがほぼ完全に除去された精白米であるため，そこに含まれる脂質の含有量がきわめて少なく，脂肪酸の生成が少ない。本実験においては湿式無洗米を使用した。米粒の脂肪酸度は全農営農技術センターに依頼し，AACC法により測定した。また，食味計値は炊飯米を測定する方式の食味計（株式会社サケ製，STA1A）を用いて測定した。

実験結果

1) 乾燥過程

それぞれの乾燥における通風等の条件および乾燥過程の概要を第1表に示す。玄米通風乾燥は籾に比べて，温度が約5℃低く湿度が約10%高いにもかかわらず，平均乾燥速度が約50%大きく，そのために乾燥時間がかかなり短くなっている。籾殻混合乾燥の乾燥速度については，玄米と籾殻の混合割合や籾殻の交換時期によっても異なるのは明らかであるが，本実験では両方の通風乾燥の中間的な値となった。

2) シミュレーションによる乾燥過程の近似

前述のように，ヒーターの容量不足のために，温度およびそれにともない相対湿度を一定に保つことができなかった。したがって，実験において測定された実際の入気温度と湿度を前報¹⁾で作成したシミュレーションプログラムに入力して，その近似を検証した。その際必要となる玄米の平衡水分乾燥定数の特性値は従来の数値⁵⁾を調整して用いた。温度および湿度の測定値とその変化を多項式で近似した変化を第1図に示す。また，玄米通風乾燥における実際の層別乾燥過程と計算結果を第2図に示す。本論文の第1報で述べたように，乾燥定数等の乾燥特性値を若干調整することにより，6時間毎の均一な攪拌混合を含めて，両者の差を小さくすることができる。この結果，玄米乾燥における通風空気の状態条件が変動しても，シミュレーションにより乾燥過程が近似可能であることが確認された。

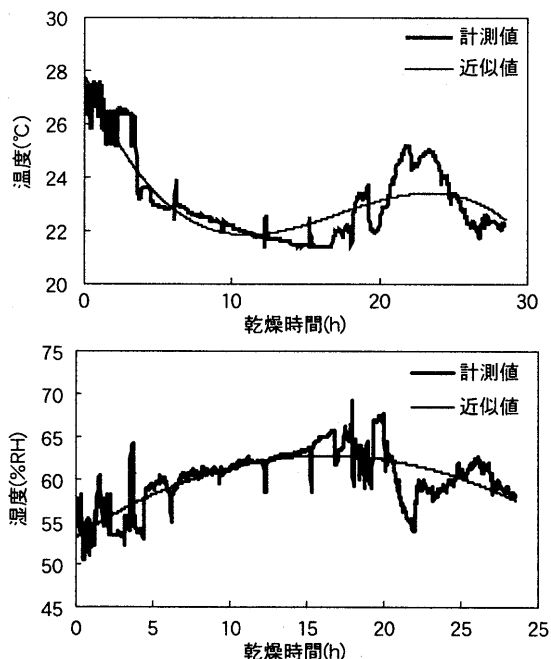
3) 胴割れの発生

それぞれの乾燥方法で仕上げられた玄米，および一定の方法で精白された精白米の胴割れ率を第3図に示す。穀粒判定機による胴割れ率の測定では，農業機械学会で規定される「米の胴割れ測定方法の基準」⁶⁾による軽胴割れはほとんど計数されず大半は重胴割れである。したがって，ここでの胴割れ率はいわゆる重胴割れ率を意味する。試料はできる限り均一に混合した後に穀粒均分機（藤原製作所製）により約2000粒を選択したものである。胴割れ率が低い場合は，多数の試料の測定が必要であり，本機は有用である。2度の実験を総合的に検討した結果，混合乾燥は重胴割れの発生が少ないことがわかった。以前に提案されている適切な通風空気条件を使用すれば胴割れ率は低い値で推移した。玄米通風乾燥は籾対照区と

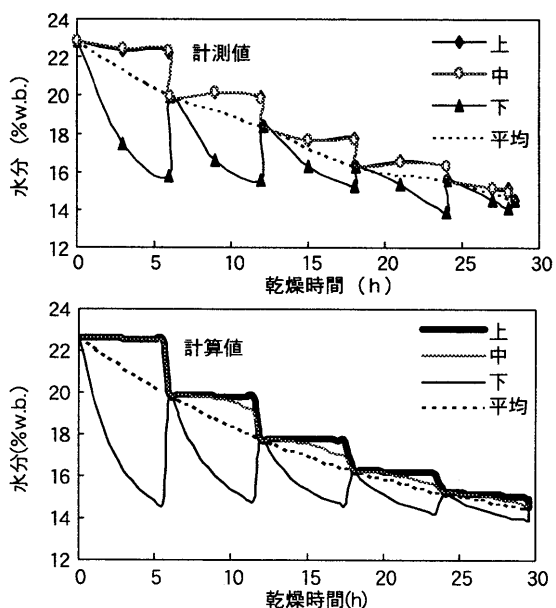
第1表 乾燥過程の概要

実験1	玄米通風乾燥	籾殻混合乾燥	籾通風乾燥
初期水分(%wb.)	22.8	22.8	22.8
仕上げ水分(%wb.)	14.5	14.9	15.0
風量比 (m ³ /s.t)	0.70~0.55	-	0.34~0.24
温度(°C)	22~27	25.0	22~28
湿度(%RH)	50~68	-	40~65
堆積高さ(m)	0.6	-	0.8
反転間隔(h)	6.0	6.0	6.0
乾燥時間(h)	28.5	33.5	42.0
乾燥速度(%wb./h)	0.29	0.23	0.19

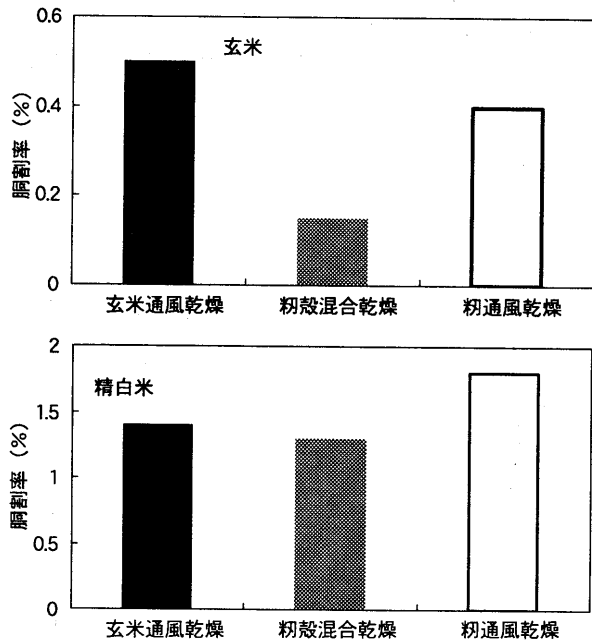
実験2	玄米通風乾燥	籾殻混合乾燥	籾通風乾燥
初期水分(%wb.)	24.7	27.7	26.0
仕上げ水分(%wb.)	14.8	14.9	14.4
風量比 (m ³ /s.t)	0.60	-	0.30
温度(°C)	15~25	21.0	15~27
湿度(%RH)	36~65	-	26~60
堆積高さ(m)	0.6	-	0.8
反転間隔(h)	6.0	6.0	6.0
乾燥時間(h)	42.0	46.5	51.0
乾燥速度(%wb./h)	0.24	0.21	0.23



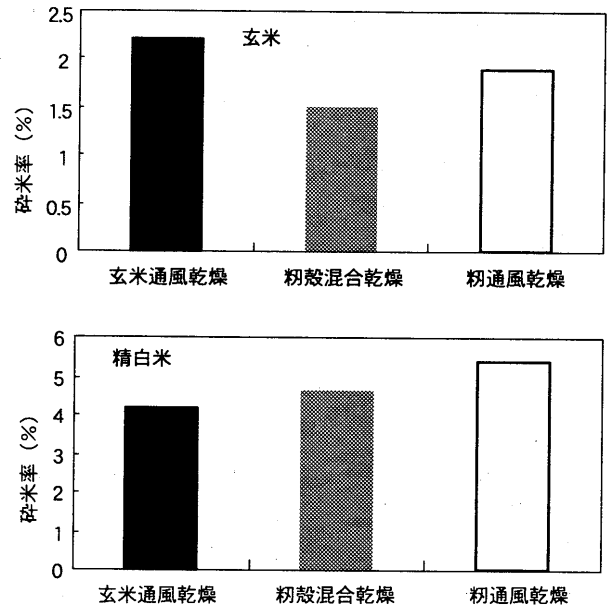
第1図 玄米通風乾燥時の入気温湿度変化



第2図 玄米通風乾燥の乾燥過程比較



第3図 乾燥方式と胴割れ率の関係



第4図 乾燥方式と碎米率の関係

比べてほとんど差がないので、今回採用した通風状態においては胴割れの問題はない。

4) 碎米率

籾すり後の玄米および精白後の精白米について穀粒判定機で測定した碎米率を第4図に示す。いずれの乾燥方法においても碎米率は玄米で1.5~2%, 精白米で4~5%であり、通常の調製状況であった。乾燥方法による差は見られず、碎米率に関しては、玄米乾燥に問題はない。

5) 肌ずれの発生

玄米乾燥では高水分籾の脱ぶが行われ、肌ずれが生じやすい。また、籾穀の保護がない状態で乾燥作業が行われるために、粒どうしの接触の際に通常の籾乾燥に比べて肌ずれの発生が多くなる。肌ずれが大きい玄米は脂肪酸の生成が早く⁷⁾、品質上問題となる。循環乾燥機による玄米乾燥は著しい肌ずれが発生することが報告されている³⁾。本実験における籾すり後の原料玄米および乾燥後の肌ずれの状態を第2表に示す。肌ずれ部分の最長部が1~2mmが肌ずれ(小)、同2mm以上が肌ずれ(大)として計数した。通常の籾乾燥および籾すりにより得られた玄米の肌ずれの発生は少なく、肌ずれは玄米乾燥の問題点であることが確認された。しかし、後述するように、玄米乾燥後、早期に精白を行う手順とすることにより、肌ずれの問題はないものと思われる。

6) 貯蔵中の脂肪酸度変化

玄米乾燥後の精白による精白米の脂肪酸生成の抑制を検討するために、玄米、精白米および無洗米の脂肪酸度を6ヶ月にわたって測定した結果を第3表に示す。脂肪酸度の増加速度は、玄米の場合貯蔵温度、含水率によって変化し、精白米の場合はそれらに加えて精白率にも影響を受ける。玄米乾燥のうちでは籾穀混合乾燥が通風乾

第2表 乾燥方式と肌ずれの関係

実験1		
	玄米	肌ずれ
玄米通風乾燥	原料	大(1.5%), 小(7.5%)
	仕上げ	-
籾穀混合乾燥	原料	大(1.5%), 小(7.5%)
	仕上げ	大(5%), 小(12%)
実験2		
	玄米	肌ずれ
玄米通風乾燥	原料	大(7%), 小(6.5%)
	仕上げ	大(12%), 小(3%)
籾穀混合乾燥	原料	大(7%), 小(6.5%)
	仕上げ	大(17%), 小(5.5%)

燥に比べて脂肪酸度の増加速度がやや大きい、大差はない。貯蔵開始後15日程度は籾通風乾燥で仕上げられた玄米とほぼ同じ数値で推移するが、その後は玄米乾燥による粒の脂肪酸度が大きくなり、6ヶ月を経過すると、籾通風乾燥による粒の1.5~2倍程度の値となる。したがって、玄米乾燥の後、玄米の形態での貯蔵は品質面から不適当であることが確認された。

一方、乾燥後に精白を行い精白米の形態で貯蔵した場合は、両玄米乾燥方式による試料が籾乾燥の試料よりも少し低い脂肪酸度を示すが、ほぼ同じと見られる。玄米乾燥による肌ずれは精白することによりその影響は残らないことが明らかである。玄米乾燥後2週間以内に精白することにより品質の維持が可能であり、玄米乾燥の実用化は可能であると判断した。

また、精白米を無洗米化すると、脂肪酸度は精白米と比較してきわめて低い値で推移しており、さらに品質維持に有効であることがわかる。

通常の精白米は傷ついた脂質顆粒が残存し、酵素の作用で脂肪酸の生成が行われるため、玄米より品質劣化が早く進む。しかし、玄米乾燥を行った場合は、肌ずれのため玄米の段階で脂質顆粒が傷ついているので、玄米の

第3表 乾燥方式と脂肪酸度変化の関係

実験 1	玄米				精白米				無洗米			
	乾燥後	15日後	45日後	6ヶ月後	乾燥後	15日後	45日後	6ヶ月後	乾燥後	15日後	45日後	6ヶ月後
15℃貯蔵												
玄米通風乾燥	9.4	10.9	22.3	43.5	2.2	6.3	13.2	24.2	0.2	2.7	4.2	7.5
籾殻混合乾燥	9.3	14.4	24.4	45.5	2.2	3.9	11.6	22.1	0.2	1.3	2.2	6.7
籾通風乾燥	8.1	11.1	19.2	31.1	3.2	8.0	17.4	31.5	1.1	2.5	6.2	12.1
実験 1	玄米				精白米				無洗米			
	乾燥後	15日後	45日後	6ヶ月後	乾燥後	15日後	45日後	6ヶ月後	乾燥後	15日後	45日後	6ヶ月後
25℃貯蔵												
玄米通風乾燥	9.4	16.1	41.8	75.4	2.2	9.7	25.8	43.6	0.2	3.8	6.0	12.4
籾殻混合乾燥	9.3	17.7	49.1	80.4	2.2	8.0	22.9	39.8	0.2	3.1	5.9	11.8
籾通風乾燥	8.1	17.0	30.9	49.5	3.2	12.9	31.3	30.8	1.1	4.5	9.8	16.7
実験 2	玄米				精白米				無洗米			
	乾燥後	15日後	30日後	6ヶ月後	乾燥後	15日後	30日後	6ヶ月後	乾燥後	15日後	30日後	6ヶ月後
15℃貯蔵												
玄米通風乾燥	9.5	15.0	20.9	41.7	0.2	1.3	1.7	6.9	0.2	0.2	1.4	4.6
籾殻混合乾燥	9.4	14.4	21.0	41.6	0.2	2.7	2.5	7.4	0.2	0.2	0.2	4.8
籾通風乾燥	6.6	8.0	10.8	20.1	1.3	2.1	3.6	8.9	0	0.2	2.1	5.3
実験 2	玄米				精白米				無洗米			
	常温貯蔵	乾燥後	15日後	30日後	6ヶ月後	乾燥後	15日後	30日後	6ヶ月後	乾燥後	15日後	30日後
常温貯蔵												
玄米通風乾燥	9.5	14.9	20.6	36.9	0.2	2.4	1.7	6.5	0.2	1.7	1.8	3.9
籾殻混合乾燥	9.4	16.0	20.9	37.3	0.2	3.2	2.7	7.2	0.2	1.3	1.4	3.9
籾通風乾燥	6.6	9.0	10.5	18.0	1.3	2.7	4.1	9.0	0.2	1.3	2.4	5.6

(mgKOH/100g)

形態で貯蔵すると脂肪酸の生成が著しくなる。そのため、乾燥後早い機会に精白を行い、ヌカとともに除去するのが品質維持に効果的である。また、精白米のヌカがほぼ完全に除去される無洗米は、さらに有効と考えられる。

さらに、無洗米の場合、貯蔵温度による差が小さいので、温度を高く設定することができ、貯蔵コストを節減できる可能性がある。

7) 食味

精白直後の精白米の食味計値を測定した。1回目の実験における各乾燥法による精白米の食味計値はいずれも84~86点の範囲を示し、2回目の場合は76~77点の範囲であった。本機は5点以下の点数差は有意ではないと言われているので、乾燥方法による食味の差はないと判断された。

ここまでに、玄米通風乾燥、籾殻混合乾燥、籾通風乾燥で仕上げられた玄米および精白米（一部無洗米を含む）について、外観および内部品質の測定を行った。その結果、いずれの測定項目においても玄米乾燥は、比較対照とした籾通風乾燥に劣る点は見られなかった。ただし、玄米の形態で貯蔵した場合に脂肪酸の生成が多くなり品質劣化が進むが、早い機会に精白し、さらには無洗米化することによって解決できる。玄米乾燥では通風乾燥と籾殻混合乾燥の検討を行った。両方の乾燥方法で得られた仕上げ米の品質はほぼ同じであった。籾殻混合乾燥は均一な混合技術を要することに加え、乾燥容器の容積としての利用効率が低い点を考慮すると、通風乾燥が現実的であると判断される。

摘 要

近年、普及が進んでいるラック式乾燥装置では静置式で穀物の厚層乾燥が行われる。前報において、籾の厚層

乾燥における含水率の平均値および分布の状況を推測するシミュレーションプログラムを作成し、それを用いて乾燥過程に対する乾燥条件の影響を考察した。

本報では、コスト削減に効果があるものの循環乾燥機では肌ずれ発生が多くなり品質の維持が困難な玄米乾燥に厚層乾燥を適用するための検討を行った。

1) 玄米乾燥として、通風乾燥と籾殻混合乾燥を行い、比較対照区として通常の籾通風乾燥を行った。通風条件は文献で提案されたものを適用した。

2) 変動する通風温度と湿度を多項式で近似してシミュレーションを行った結果、実際の乾燥過程をよく近似できることが確認された。

3) 玄米通風乾燥における胴割れ率および砕米率は籾対照区と比べてほとんど差がなく低い値で推移する。今回採用した通風状態であればそれらの問題はないと言える。

4) 高水分籾を脱ぶしてから行われる玄米乾燥は、籾通風乾燥に比べて肌ずれの発生が多い。しかし、本実験で検討した乾燥方法による肌ずれ率は循環乾燥機による場合よりも非常に低い値となる。

5) 玄米乾燥で仕上げられた玄米は籾乾燥の場合に比べて約1.5倍の脂肪酸度となる。玄米乾燥後2週間以内に精白することにより脂肪酸度の差はなくなり、玄米乾燥の可能性が確認された。また、精白米を無洗米化すると、脂肪酸度は精白米と比較してきわめて低い値で推移し、さらに品質維持に有効であることがわかる。

6) 各乾燥方法から得られた精白米の食味計値はほぼ同じ値を示し、この面からの玄米乾燥の問題はない。

7) 検討した玄米乾燥の2つの方法について、作業性を考慮すると玄米通風乾燥が優れていると判断した。

引用文献

- 1) 楊 志偉 他 2 名. 穀粒の厚層乾燥特性に関する研究 (第 1 報). 農業生産技術管理学会誌 13 (2): 50-56.
- 2) 後藤清和 他 3 名. 1994. 玄米乾燥の実用化に関する研究 (第 1 報). 農機誌 56 (4): 21-26.
- 3) 劉 建偉 他 3 名. 1995. 玄米乾燥の実用化に関する研究 (第 2 報). 農機誌 57 (1): 17-23.
- 4) J A 全農施設住宅部編. 2000. 共乾施設のてびき (補追版). JA 全農. 東京. 91-96.
- 5) 農業機械学会編. 1984. 新版農業機械ハンドブック. コロナ社. 東京. 633-634, 45-49.
- 6) 山下律也. 1976. 「米の胴割れ測定方法の基準」についての提案. 農機誌 38 (2): 253-254.
- 7) 後藤清和. 2000. クリン米による米備蓄の低コスト化に関する研究. 科学研究費補助金 (基盤研究 (C)(2)) 研究成果報告書: 25-46.

(受付 2006年11月7日, 受理 2006年12月21日)