

氏 名 (本 国 籍)	楊 志 偉 (中華人民共和国)
学 位 の 種 類	博士 (農学)
学 位 記 番 号	農博甲第 453 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 19 年 3 月 13 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 3 条第 1 項該当
研 究 科 及 び 専 攻	連合農学研究科 生物環境科学専攻
研究指導を受けた大学	岐阜大学
学 位 論 文 題 目	穀物厚層乾燥の実用化に関する基礎的研究
審 査 委 員 会	主査 岐阜大学 教授 後 藤 清 和 副査 岐阜大学 教授 前 澤 重 禮 副査 静岡大学 助教授 山 脇 和 樹 副査 信州大学 助教授 春 日 重 光

## 論 文 の 内 容 の 要 旨

楊 志偉氏は、近年日本で普及が進んでいるラック式穀物乾燥施設および乾燥方法に着目し、その利点を活かす研究を行った。ラック式乾燥装置は、現在、穀物に対して通常行われている乾燥方式とは異なり、基本的に厚層乾燥方式である。厚層乾燥には種々の欠点があり、最近では利用されることはなかったが、この欠点さえ克服できれば、厚層乾燥方式が有する利点を生かすことができる。本研究において、ラック方式における乾燥特性を把握するとともに、現在、実際には導入されていない玄米乾燥を一つの適用例としてその実用化の考察を行った。周辺の技術が開発されることによって、これまで利用されなかった技術がより良い状態で復活する場合がある。

本研究では水分むらを考察するために、従来考慮されていなかった厚層乾燥の大きな欠点である水分分布を重点的に検討できるプログラムが作成された。開発した厚層乾燥のシミュレーションプログラムを用いて、実際に穀粒の乾燥を合理化する対象の一つとして、玄米乾燥が想定された。従来から玄米乾燥の研究はなされており、それらの成果として、種々の面での低コスト化が可能となることが示されている。しかし、籾殻がない状態で乾燥作業を受けることによる肌ずれの多発およびそれに伴う脂肪酸度の著しい増加が大きな障害となっていた。玄米を厚層乾燥することができれば、乾燥中の移動が少ないため肌ずれを最小限に止めることができ、実用化が可能であると推察できる。シミュレーションプログラムの作成および玄米乾燥への適用に関して得られた知見を次に述べる。

### 1. シミュレーションプログラムの作成

穀粒層を薄層に分割し、風上側から風下側に向かった層順および計算刻み時間にしたがって順次計算を進める手順とした。ある層における入気と穀粒の状態より計算刻み時間内の乾燥過程が計算される。この計算が繰り返されて、全層における穀粒水分および空気

状態が経時的に得られる。プログラム言語はベーシック（F-BASIC）を用いた。

乾燥過程はすべて減率乾燥であり、指数関数での近似を用いた。乾燥定数は穀温の関数であり、アーレニウス式を適用した。また、平衡含水率の近似式としては一般的に精度が高いとされている Chen-Clayton の式を用いた。本プログラムは、乾燥過程における平均水分変化とともに水分の分布状態も把握できるところに特徴がある。堆積層を薄く細分し、順次乾燥過程を計算する手法は従来と同じであるが、一層毎の水分分布を混合して全体の分布を構築する計算手順を開発できたため、厚層で乾燥しながら適宜混合したときの乾燥むらの状況把握が可能となった。

作成したシミュレーションプログラムを用いて、乾燥条件（温度、湿度、風量穀物比、初期水分）が乾燥過程に及ぼす影響について検討され、乾燥条件の最適化が図れるようになった。

## 2. 玄米厚層乾燥への適用

玄米乾燥は通常の籾乾燥に比べて不可食部である籾殻を乾燥しないことおよび水分移動抵抗が小さいことから熱エネルギーの節約が期待される。また、玄米の容積は籾の約 60% であり、機械費や施設建設費などの低コスト化が期待できる。作成したシミュレーションプログラムにおいて乾燥定数と平衡含水率を玄米に対応する値に変更し、種々の乾燥条件による実際の乾燥実験と計算結果をほぼ一致させた。

ラック方式を用いた玄米乾燥として①玄米厚層通風乾燥、②低水分籾殻との混合乾燥、および対照区としての③籾厚層通風乾燥の 3 方式を検討した。これらの乾燥実験を行い、乾燥過程、仕上がり粒の品質について比較を行った。文献で提案されている値を参考として乾燥条件を設定し、実験を 2 度繰り返した。

- (1) 実際の玄米乾燥過程において、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、実際の過程をよく近似できることが確認された。
- (2) 玄米通風乾燥における胴割れ率および碎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。
- (3) 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。
- (4) 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。また、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。

以上述べたように、穀物の厚層乾燥における空気や穀粒の水分状態（平均値、水分分布）をシミュレーションにより推測可能となった。また、プログラム中に、均一混合の過程を加えることにより、乾燥むら解消の状況を把握できる。近年、普及しているラック乾燥方式を前提として玄米乾燥の実用化試験を行った。その結果、玄米乾燥終了後、早期に精白あるいは無洗米化することにより、あらゆる面での品質は十分維持されることが明らかとなった。

## 審 査 結 果 の 要 旨

楊 志偉氏は、近年日本で普及が進んでいるラック式穀物乾燥施設および乾燥方法に着目し、その利点を活かす研究を行った。ラック式乾燥装置は、現在、穀物に対して通常行われている乾燥方式とは異なり、基本的に厚層乾燥方式である。厚層乾燥には種々の欠点があり、最近では利用されることはなかったが、この欠点さえ克服できれば、厚層乾燥方式が有する利点を生かすことができる。周辺の技術が開発されることによって、これまで利用されなかった技術がより良い状態で復活する可能性がある。

本研究では水分むらを考察するために、従来考慮されていなかった厚層乾燥の大きな欠点である水分分布を重点的に検討できるプログラムが作成された。開発した厚層乾燥のシミュレーションプログラムを用いて、実際に穀粒の乾燥を合理化する対象の一つとして、玄米乾燥が想定された。従来から玄米乾燥の研究はなされており、それらの成果として、種々の面での低コスト化が可能となることが示されている。しかし、籾殻がない状態で乾燥作業を受けることによる肌ずれの多発およびそれに伴う脂肪酸度の著しい増加が大きな障害となっていた。

シミュレーションプログラムの作成及び玄米乾燥への適用に関して得られた知見を次に述べる。

### 1. シミュレーションプログラムの作成

穀粒層を薄層に分割し、風上側から風下側に向かつての層順および計算刻み時間にしたがって順次計算を進める手順とした。ある層における入気と穀粒の状態より計算刻み時間内の乾燥過程が計算される。この計算が繰り返されて、全層における穀粒水分および空気状態が経時的に得られる。

乾燥過程はすべて減率乾燥であり、指数関数での近似を用いた。乾燥定数は穀温の関数であり、アーレニウス式を適用した。また、平衡含水率の近似式としては一般的に精度が高いとされているChen-Claytonの式を用いた。本プログラムは、乾燥過程における平均水分変化とともに水分の分布状態も把握できるところに特徴がある。堆積層を薄く細分し、順次乾燥過程を計算する手法は従来と同じであるが、一層毎の水分分布を混合して全体の分布を構築する計算手順を開発できたため、厚層で乾燥しながら適宜混合したときの乾燥むらの状況把握が可能となった。

作成したシミュレーションプログラムを用いて、乾燥条件（温度、湿度、風量穀物比、初期水分）が乾燥過程に及ぼす影響について検討され、乾燥条件の最適化が図れるようになった。

### 2. 玄米厚層乾燥への適用

玄米乾燥は通常の籾乾燥に比べて不可食部である籾殻を乾燥しないことおよび水分移動抵抗が小さいことから熱エネルギーの節約が期待される。また、玄米の容積は籾の約 60%であり、機械費や施設建設費などの低コスト化が期待できる。

ラック方式を用いた玄米乾燥として①玄米厚層通風乾燥、②低水分籾殻との混合乾燥、および対照区としての③籾厚層通風乾燥の3方式を検討した。

- (1) 実際の玄米乾燥過程において、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、実際の過程をよく近似できることが確認された。
- (2) 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。
- (3) 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。
- (4) 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。また、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。

以上述べたように、シミュレーションにより穀物の厚層乾燥特性の検討が可能となった。均一混合の過程を加えることにより、乾燥むら解消の状況を把握できる。近年、普及しているラック乾燥

方式を前提として玄米乾燥の実用化試験を行った。その結果、玄米乾燥終了後、早期に精白あるいは無洗米化することにより、あらゆる面での品質は十分維持されることが明らかとなった。

これらのことより、審査委員全員一致で本論文が岐阜大学大学院連合農学研究科の学位論文として十分価値あるものと認めた。

<発表論文>

- 1) 楊 志偉, 後藤清和, 水野英則: 穀粒の厚層乾燥特性に関する研究 (第 1 報) - 水分分布のシミュレーション-. 農業生産技術管理学会誌 13(2): 50-56, 2006
- 2) 楊 志偉, 後藤清和, 水野英則, 岩澤秀朗: 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-. 農業生産技術管理学会誌 14(1): 印刷中, 2007