

氏名(本籍)	なかの	かず	ひろ	和弘	(鹿児島県)
学位の種類	農	学	博	士	
学位記番号	博	甲	第	172	号
学位授与年月日	昭和58年	3	月	25	日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当				
審査研究科	農学研究科	農林工学専攻			
学位論文題目	とうもろこしのサイロ貯蔵時の発熱に関する研究				
主査	筑波大学教授	農学博士	山	澤	新 吾
副査	筑波大学教授	農学博士	井	上	嘉 幸
副査	筑波大学教授	農学博士	相	原	良 安
副査	筑波大学教授	理学博士	椿		啓 介

論 文 の 要 旨

本論文は、とうもろこしのサイロ貯蔵時の発熱機構を解明し、発熱防止対策を講ずることを目的として行った研究である。

とうもろこしのサイロ貯蔵時におこる発熱は、穀温が40～50°Cにも達し、ときに変敗・腐敗をおこし、飼料や製粉の原料に供することができなくなり、品質上および経済的に大きな損失をまねくことがある。これらは、とうもろこし自体の呼吸熱およびそれに付着する微生物の増殖に伴う基質分解熱によるものと推測される。しかし、現在までサイロ貯蔵時の発熱機構は解明されておらず、穀物備蓄、品質管理、需給調整上大きな障害と損失をまねいている。

以下に本論文の概要を述べる。

1) 日本入港時のとうもろこしの穀温と水分の統計的考察

輸入とうもろこしが日本に到着した時の穀温および水分のデータから、両者の関係を統計的に処理し、以下の結果を得た。(i)日本入港時のとうもろこしの穀温は9.0～50.0°C、水分は11.0～21.6%w.b.の範囲にあり、高水分のとうもろこしがサイロへ搬入される可能性がある。(ii)入手したデータ733例における穀温と水分の間には0.1%の有意水準で正の相関関係($r=0.4735$)がある。(iii)F検定の結果より、日本入港時の穀温が高いことは、高水分であるためと考えられる。

2) 穀物用サイロ内での水平面穀温分布の変動

2次元非定常熱伝導方程式を円筒極座標系で表わした数値計算モデルを用いて、水平面での穀

温分布の変動を求めて、以下の結果を得た。(i)那覇における気象データを用いてモンテカルロ法により各日別に外気温変動を割振って1ヶ月間貯蔵の計算を行なった結果、断熱材の施していないスチールサイロの内壁面温度は、外気温と日射の影響を受けて西面で21~47°Cの変動がある。しかし、断熱材を施した場合の内壁面温度はほとんど変化しない。(ii)釧路におけるデータを用いて、(i)と同様の計算を行なった結果、断熱材の施していないスチールサイロの内壁面温度の日変化は、外気温とほぼ同様の変動を示す。また、方位による気象条件の影響は見られない。(iii)サイロ貯蔵時の異常な穀温上昇の原因は、気象条件によるものではなく、サイロ内のとうもろこしの呼吸熱および発熱がほとんどである。

3) サイロ頂部における飽和および結露

微生物増殖の要因である水分増加を引き起こす結露現象について検討し、次の結果を得た。(i)寒冷地においては、日最低気温がヘッドスペース部内の空気の露点以下に低下する時に結露が生じる。結露しない場合でも、ヘッドスペース部では相対湿度のかなり高い状態が持続する。(ii)結露状態が持続すると物理的に水分が増加し、相対湿度の高い状態が持続すると吸湿により平衡水分が増加する。このことは微生物増殖の要因となる。

4) とうもろこし貯蔵時の発熱に及ぼす微生物増殖の影響

とうもろこしを断熱密閉容器内に貯蔵して穀温上昇を測定した。貯蔵条件はとうもろこしを殺菌した場合と微生物の増殖した場合の2種類である。測定結果より、とうもろこし内の糖の酸化反応を表わす式における2次反応定数 k_2 を各実験区毎に求め、20°C基準に換算した k_2 の値と水分またはコロニー増殖率との関係を検討した。その結果は次のとおりである。(i)初期コロニー数が大きいても貯蔵中にその増殖が抑えられれば、穀温上昇はとうもろこし自体の呼吸熱のみにより引起こされ、20°Cでの2次反応定数 k_2 と水分 w ($13.3 \leq w$ (% , w.b.) ≤ 29.1) の関係は、次の一次関数で表わされる。 $k_2 = 1.39 w - 4.27$ (ii)コロニー増殖率 η ([実験終了時のコロニー数]/[初期コロニー数])が大きいときの k_2 は、呼吸作用による k_2 の値よりかなり大きい値を示し、 k_2 と η ($0.695 \leq \eta \leq 3550$) の関係は次の指数関数で表わされる。 $k_2 = 34.33 \eta^{0.171}$ (iii)貯蔵中の微生物増殖が著しくて、容器内への酸素供給がある場合は、さらに急激な穀温上昇となる。

5) 発熱に関する総合的考察

1)~4)の研究結果をまとめて総合的考察を行ない、次の結果を得た。

(1) サイロ内の発熱のプロセスには、(i)入港時のとうもろこしが高水分ですでに微生物が増殖しており、サイロ貯蔵開始直後に発熱する場合、(ii)高水分のとうもろこしの貯蔵中に微生物が増殖して発熱する場合、(iii)低水分のとうもろこしの貯蔵中に相対湿度の高い状態の持続ないしは結露により水分が増加し、その後微生物が増殖して発熱する場合の3つが挙げられる。

(2) 基本的な発熱防止対策は、次のとおりである。

(i) 日本に入港した時のとうもろこしの水分が高い場合には、呼吸作用や微生物増殖を抑えるために、サイロ搬入前に乾燥処理して低水分にしておく必要がある。

(ii) ヘッドスペース部での結露防止のための換気については、外気の絶対湿度に近づくのに必

要な時間を計算すると、岡山では換気回数 $n(1/\text{hr})=0.5$ の時約4時間であり、釧路では $n=1$ の時約3時間である。

(iii) 微生物が増殖したときの穀温上昇速度を N ($^{\circ}\text{C}/\text{hr}$)、呼吸熱のみの穀温上昇速度を S_2 ($^{\circ}\text{C}/\text{hr}$) とするとき、 $R_2(N/S_2)$ を用いた穀温上昇速度の比較法を導入することにより、貯蔵時の急激な穀温上昇を未然に防止することができる。

(iv) 微生物増殖時の発熱防止対策として、やむをえず高水分のとうもろこしを搬入した場合、あるいは貯蔵時の穀温が急激に上昇しはじめた場合は、酸素の供給を断つためにエアレーションおよびローテーション、換気などは中止して、速やかに搬出して流通させるべきである。

審 査 の 要 旨

とうもろこしのサイロ貯蔵時の発熱機構の解明とその防止対策の確立は、とうもろこしのみでなく、多くの輸入穀類の損失防止、品質管理、備蓄上重要な研究課題である。特に、サイロ貯蔵の装置工学的研究に対し、微生物学的概念を導入し、貯蔵中における微生物の発熱の原因を解明したことは、境界領域的な研究として評価できる。

本論文は、サイロ貯蔵されたとうもろこしについて

- (1) 微生物増殖の原因となる高水分と穀温の関係を、日本入港時のデータより統計的に明らかにしたこと。
- (2) サイロ外部の気温、太陽日射などの気象条件によりサイロ外の穀温が如何に上昇するかを検討したこと。
- (3) サイロのヘッドスペース部での結露の定量的計算法と、相対湿度の高い状態や結露による水分増加の可能性を検討したこと。
- (4) 高水分のとうもろこしを貯蔵した時、呼吸作用ならびに微生物増殖による発熱を実験により定量的に検討したこと。
- (5) とうもろこし貯蔵時の発熱機構を総合的に解明し、その防止対策を検討したことである。

以上の研究内容の展開とその研究成果において、本研究は、実験的、理論的に解明され、優れた独創性があり、また、今後の穀物貯蔵技術の開発上応用性の高い研究であると判断した。

よって、著者は農学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。