

大谷石採掘跡を利用した玄米の貯蔵法について

青木岳央*・鈴木正行**・山口正篤・近嵐幸夫***・中山喜一

I 緒言

近年消費者からは、おいしくて安全な米への要望が強まる中、本県は全国でも有数の米の生産県として、「コシヒカリ」を中心とし銘柄米を全国各地に出荷している。

一方、年間を通して品質の高い米の安定供給を図るには、米の変性を避ける適正条件下での貯蔵が必要となってくる。米の貯蔵においては、夏場の高温多湿の時期の管理が特に問題となるが、貯蔵中の品質低下を抑制するために、低温貯蔵が有効であることはすでに実証されている^{1,3)}。夏場を経過する貯蔵の場合、常温貯蔵では品質の低下を招くため、低温及び準低温倉庫が利用されている。

しかし、本県は他の生産県に比べ低温倉庫の設置数が少なく、年間を通して低温貯蔵による米を安定的に供給することが困難となっている。現在の農協関連の農業倉庫の最大収容量は42万トンであるが、この内の低温倉庫における最大貯蔵量は6万トンで、全体の約14%に過ぎない。現在年間を通しての低温貯蔵による米の安定供給を考慮すると、低温倉庫の必要量はおよそ10万トン程度と考えられ、収容量で4万トン程度の低温貯蔵倉庫が不足していることになる。このため、低温倉庫の建設や改造が進められているが、建設や改造には莫大な費用が必要となる。

このような状況のもと、低コストの貯蔵法の確立が求められているが、自然の低温帯を利用した貯蔵法の一つとして、大谷石採掘跡における玄米の貯蔵の可能性を検討することになった。

今までも自然の低温帯を利用した貯蔵法試験は実施されている。滋賀県琵琶湖での水中貯蔵²⁾はその代表的なものであるし、大谷石採掘跡においても鶴田⁶⁾によって既に試験が実施されている。大谷石採掘跡は洞窟内の温度が低温であるため貯蔵には適しているものの、湿度は玄米の水分と平衡する湿度より高い。このことから鶴田は坑内における玄米貯蔵においては、玄米袋を防湿膜で包むか、貯蔵庫内を除湿する必要のあることを指摘している。鶴田⁶⁾は前者の方法で試験を実施しているが、今回筆者らは、貯蔵庫内を除湿する方法も加えて、低温条件下における貯蔵玄米の品質、食味および平衡水分について検討し、若干の知見を得たので報告する。

II 試験方法

1. 試験場所

栃木県宇都宮市大谷町の大谷石採掘跡で実施した。試験は1986~1988年と1988~1990年の2回にわたり実施し、1回目は地下約15mの横坑、2回目は地下約50mの横坑を用いた。なお対照とした低温貯蔵（以下低温区と略す）は栃木県宇都宮市内の経済連倉庫で実施し、常温貯蔵（以下常温区と略す）は栃木県農業試験場内の倉庫で保管した。

2. 試験期間

試験は1986年12月~1988年11月と1988年12月~1990年11月の2回実施した。玄米の品質および食味についての調査は、いずれも入庫時と翌年の5月（6カ月後）・9月（10カ月後）、翌々

*現栃木県足利農業改良普及所 **現栃木県小山農業改良普及所 ***現食品工業協会

年の5（18カ月後）・9月（22カ月後）の計5回実施した。なお気温、湿度、玄米水分の調査については適宜実施した。

3. 試験試料

対象米には栃木県農業大学校で収穫された、1986年産および1988年産のコシヒカリと星の光を用いた。

4. 試験方法

1) 玄米の品質および食味について

各試験処理区の温・湿度を第1表に示した。坑内の湿度は年間を通して90～98%と多湿の環境にあり、貯蔵玄米がこうした湿度の影響を受けることを防ぐ必要がある。このため1986～1988年は予備試験として除湿機を用い湿度を調整する区（以下除湿区と略す）を設け、貯蔵の可能性を探った。1988～1990年の試験では、除湿区と玄米袋をビニルシートで被覆する区（以下被覆区と略す）を設けた。2回の試験とも除湿区では簡易ハウスを設け、ハウス内に除湿機を設置し、年間の湿度を1986～1988年は60～80%、1988～1990年は70%前後に制御した。なお低温条件下（15℃以下）での玄米貯蔵において、微生物の繁殖を防ぐための玄米水分は14.5%以下であることから、目標とする玄米水分を14.5%とした。一方被覆区は玄米袋をビニルシートで被覆し、坑内にそのまま設置した。

対照区として1986～1988年は低温区を、1988～1990年は低温区と常温区を設け、通常の管理を行い、推移を対比した。

また1988～1990年の試験では参考区として大谷石採掘跡の坑内に設置してある低温倉庫（湿度80%・気温5℃、以下多湿区と略す）に玄米袋をそのまま入庫し、多湿条件下での玄米品質についても調査を実施した。

2) 玄米の平衡水分について

1988年12月～1990年11月の試験において、除湿区と同様に洞窟内に簡易ハウスを設置し、除湿機によりハウス内湿度を60～80%間で調整し、

第1表 各試験区の年間温湿度

| 試験期間 | 試験区 | 除湿区 | 被覆区 | 低温区 | 常温区 | 多湿区 |
|---------|-----|--------|-------|-------|-------|-----|
| 1986～88 | 温度℃ | 10～15 | — | 4～12 | — | — |
| | 湿度% | 65, 80 | — | 65～85 | — | — |
| 1988～90 | 温度℃ | 2～10 | 4～10 | 4～12 | 3～27 | 5 |
| | 湿度% | 70 | 90～98 | 50～85 | 50～85 | 80 |

低温条件下での玄米の平衡水分値について調査を実施した。

5. 品質の測定方法

1) 玄米の水分

玄米水分計（ケット社 PB-1D）による測定値。

2) 玄米の脂肪酸度

ベンゼンで抽出するAACC法によって遊離脂肪酸の酸度を測定した。

3) 発芽歩合

玄米の整粒100粒をシャーレ内で蒸留水にひたし、25℃に保ち5日後の発芽粒を数えた。

4) アミログラム

精米を50～80メッシュに粉碎し、乾物8%濃度でカートリッジ700cmgを使用した。

5) 微生物の測定方法

各試験区から玄米36粒を3反復で任意に抽出し、50ppmストレプトマイシン添加PDA培地に置床した。その後伸長した菌糸先端をPDA斜面培地へ移植し、検鏡により糸状菌の属を固定した。

6) 米飯の食味

食糧庁の食味試験実施要領に準じて行い、穀物検定協会および栃木県農業試験場の2カ所で実施した。

Ⅲ 結果

1. 品質および食味の推移

1) 1986～1988年（予備試験）

第1回目の試験は鶴田⁶⁾の結果をもとに、大谷石採掘跡で除湿機を使用し、庫内湿度を調整した場合の玄米貯蔵の可能性を探ることを目的

大谷石採掘跡を利用した玄米貯蔵法について

として予備試験を実施した。なお対照とした低温区との比較をおこなった。

(1) 温・湿度および玄米水分

大谷石採掘跡の坑内温度は年間を通して2～10℃間を緩慢に上下しており、玄米の貯蔵には適した温度条件を得ることができた。しかし除湿区は除湿機が大型であったため、除湿機の運転の際に気温の上昇がみられ、年間の庫内温度は10～15℃となった。一方低温区は4～12℃で推移した。

除湿区の湿度は1986～87年は65%に調整したが、この場合の玄米水分は13%台となり、目標とした14.5%よりやや低い結果となった。このため1988年は除湿の程度を弱め、80%前後に調整した。この時の玄米水分は16%台となり、目標水分を上回った。また低温区は外湿度の影響を受けるため年間65～85%で経過し、玄米水分も湿度に順応し、年間14.5～16.5%で推移した。

(2) 玄米の発芽率および脂肪酸度

玄米の発芽率および脂肪酸度の推移を第2表に示した。発芽率は入庫から18カ月の時点では除湿区および低温区とも90%以上で経過し、入庫時とほとんど変化はみられなかった。また22カ月では70%台に低下した。一方脂肪酸度は10カ月の時点までは、除湿区および低温区とも入庫時と変化はみられず、18カ月、22カ月では20

KOHmg台と高くなった。

以上より、庫内温度が年間を通して15℃以下の環境なら、貯蔵後10カ月では発芽率および脂肪酸度に変化はみられず、品質の低下はなかったものと考えられた。このため除湿機利用による大谷石採掘跡での貯蔵の可能性がみいだせた。

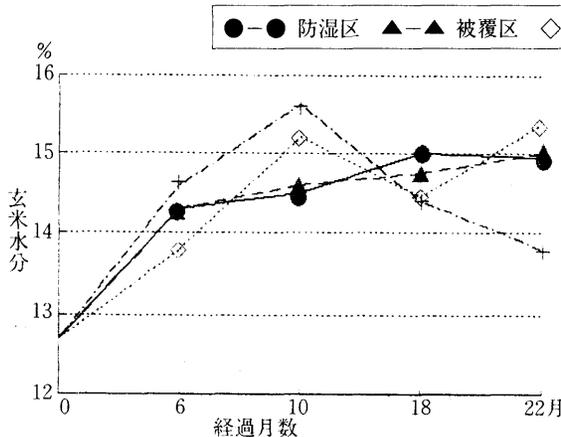
2) 1988～1990年

(1) 温・湿度

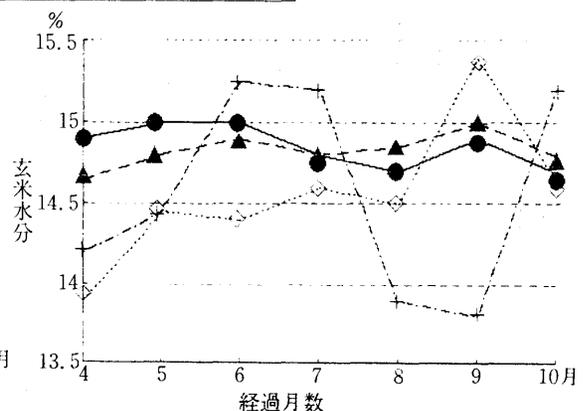
大谷石採掘跡の坑内温度は年間を通して2～10℃間を緩慢に上下しており、除湿区および被覆区は坑内温度と同様に経過した。このため比較対照区とした低温区と変りない低温条件を確保することができた。低温区は夏期に温度管理を行っているため、年間の温度が4～12℃であったが、常温区は外気温の影響を受けるため年間の気温は3～27℃と変動が大きかった。

第2表 発芽率および脂肪酸度の推移 (1986～88)

| 調査時期 | 発芽率 % | | 脂肪酸度 KOHmg | |
|-------------|-------|-----|------------|------|
| | 除湿区 | 低温区 | 除湿区 | 低温区 |
| 86.12 (入庫時) | 98 | 98 | 10.7 | 10.7 |
| 87.5 (6カ月) | 96 | 95 | 10.6 | 11.0 |
| 87.9 (10カ月) | 94 | 95 | 11.2 | 12.1 |
| 88.5 (18カ月) | 95 | 96 | 21.6 | 22.8 |
| 88.9 (22カ月) | 74 | 70 | 20.7 | 23.6 |



第1図 貯蔵期間全般の玄米水分の推移 (1988.12入庫)



第2図 年間の玄米水分の推移 (1990)

なお各試験区の年間湿度は除湿区70%，被覆区90～98%，低温区および常温区は50～85%で経過した。

(2) 玄米水分

貯蔵期間全般の玄米水分の推移を第1図に、年間の玄米水分を第2図に示した。除湿区および被覆区は湿度が一定であることから、徐々に吸湿し14.5～15.0%で平衡状態となった。両試験区とも坑内湿度の影響を受けた現象はみられなかった。一方、低温区および常温区では庫内湿度の変化は大きく、玄米水分は庫内湿度の影響を受け、これに順応して変化していた。

(3) 玄米の発芽率

各試験区の玄米の発芽率は第3図のとおりである。常温区では10カ月後の時点で明らかに低下し、22カ月後ではほとんど発芽力を失った。しかし、常温区以外は18カ月後までは入庫時とほとんど変化なく、90%以上で推移している。22カ月後では低温区で80%とやや低下したが、除湿区および被覆区では90%前後の発芽率を保つことができた。除湿区および被覆区では年間を通して低温であることと、湿度が一定であるため玄米水分が安定しており、発芽率の低下が少なかったものと考えられる。

(4) 玄米の脂肪酸度

各試験区の脂肪酸度の推移を第4図に示した。

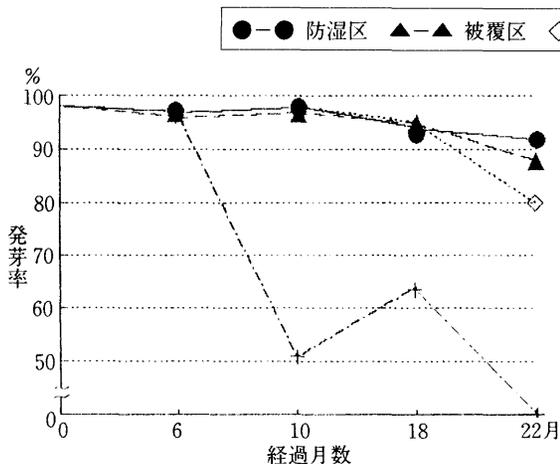
常温区では10カ月の時点でやや高くなる傾向がみられ、さらに18カ月、22カ月と貯蔵期間が長くなるにしたがい急激に上昇した。しかし、除湿区、被覆区、低温区では10カ月の調査では貯蔵開始時と差はみられず、18カ月、22カ月の調査でもやや高くなったものの、常温区のような大きな上昇はみられなかった。

(5) アミログラムの測定結果

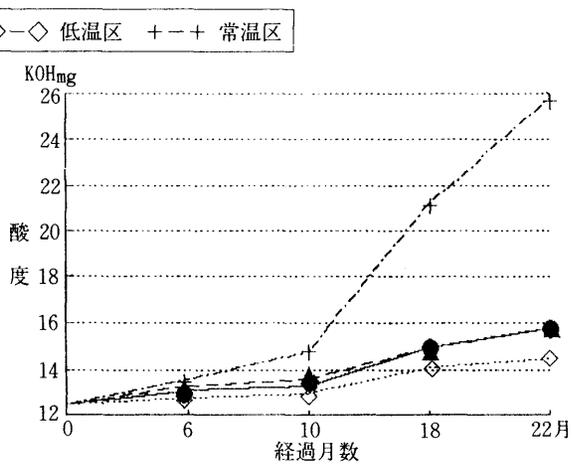
アミログラムの測定結果は第3表のとおりである。糊化温度はいずれの試験区ともほとんど変化しなかった。最高粘度は貯蔵開始後10カ月の調査で、いずれの試験区も増加したが、18カ月、22カ月の調査では常温区で増加傾向がみられたものの、除湿区、被覆区、低温区では大きな変化はみられなかった。またブレイクダウンおよびコンシステンシーは総体的にやや動きがあるが、貯蔵による差は明らかでなかった。

(6) 玄米に存在する微生物の推移

貯蔵玄米に存在する微生物の推移は第4表のとおりである。貯蔵玄米水分との関係から温度条件が満たされると繁殖が憂慮される低湿性の *Penicillium* は、夏場の玄米水分が16%を超える低温区および常温区で増加する傾向がみられた。しかし、玄米水分が貯蔵期間を通して15%以下で経過した除湿区、被覆区では *Penicillium* の増殖はみられなかった。また *Penicillium* 以



第3図 発芽率の推移 (1988.12入庫)



第4図 脂肪酸度の推移 (1988.12入庫)

大谷石採掘跡を利用した玄米貯蔵法について

外の菌種では貯蔵期間中に大きな変化はみられなかった。

(7) 食味試験

米飯の食味については、官能検査法による総合評価として示したが、穀物検定協会による食味試験結果を第5図に、本県農業試験場での結果を第6図に示した。穀物検定協会の試験では滋賀県産の日本晴を基準にしてコシヒカリを用いた。いずれの調査時期においても総合評価は

＋となり、処理区間では低温区より除湿区、被覆区で評価がやや上回った。また本県農業試験場ではコシヒカリを用い、基準を低温区で実施した。常温区は貯蔵期間が長くなるにしたがい明らかに食味が劣ったが、除湿区、被覆区では低温区と同程度の評価が得られた。

以上より、穀物検定協会および栃木県農業試験場の結果とも低温区に比較して、除湿区、被覆区では同程度の評価が得られたことから、大

第3表 アミログラムの変化 (1988.12入庫)

| 試験区 | 糊化温度 °C | | | | | 最高粘度 BU | | | | |
|-----|---------|------|------|------|------|---------|-----|------|------|------|
| | 入庫時 | 6ヵ月 | 10ヵ月 | 18ヵ月 | 22ヵ月 | 入庫時 | 6ヵ月 | 10ヵ月 | 18ヵ月 | 22ヵ月 |
| 除湿区 | 75.0 | 75.0 | 75.5 | 75.0 | 75.0 | 363 | 360 | 390 | 380 | 400 |
| 被覆区 | 75.0 | 75.3 | 75.8 | 75.8 | 76.0 | 363 | 370 | 400 | 400 | 400 |
| 低温区 | 75.0 | 75.2 | 75.0 | 75.0 | 75.0 | 363 | 380 | 400 | 420 | 410 |
| 常温区 | 75.0 | 76.0 | 76.3 | 76.3 | 76.5 | 363 | 390 | 410 | 450 | 440 |

| 試験区 | ブレイクダウン BU | | | | | コンシステンシー BU | | | | |
|-----|------------|-----|------|------|------|-------------|-----|------|------|------|
| | 入庫時 | 6ヵ月 | 10ヵ月 | 18ヵ月 | 22ヵ月 | 入庫時 | 6ヵ月 | 10ヵ月 | 18ヵ月 | 22ヵ月 |
| 除湿区 | 160 | 130 | 140 | 130 | 130 | 270 | 250 | 250 | 370 | 250 |
| 被覆区 | 160 | 170 | 160 | 140 | 140 | 270 | 320 | 270 | 400 | 290 |
| 低温区 | 160 | 150 | 150 | 120 | 110 | 270 | 260 | 250 | 420 | 290 |
| 常温区 | 160 | 160 | 160 | 180 | 130 | 270 | 270 | 260 | 430 | 290 |

注. コシヒカリ, 星の光の平均値

第4表 微生物の検出率の推移 (1988.12入庫)

| 菌種 試験区 | Penicillium | | | Aspergillus | | | Fusarium | | |
|-----------|-------------|------|------|-------------|------|------|----------|------|------|
| | 入庫時 | 10ヵ月 | 22ヵ月 | 入庫時 | 10ヵ月 | 22ヵ月 | 入庫時 | 10ヵ月 | 22ヵ月 |
| 除湿区 | 2.8 | 2.8 | 2.1 | | | | 6.5 | 1.0 | |
| 被覆区 | 5.6 | 0.9 | 10.4 | | | | 2.8 | | |
| 低温区 | 5.5 | 43.7 | 11.5 | | | | 2.8 | 1.9 | |
| 常温区 | 5.5 | 30.6 | 4.2 | 4.6 | 2.1 | | | | 4.2 |
| 多湿区 | 2.8 | 89.8 | 39.6 | | | | 6.5 | | |

注. コシヒカリおよび星の光の平均値. 単位: %

谷石採掘跡における除湿および被覆貯蔵による食味の劣化は認められなかった。

(8) 多湿区について

坑内に設置してある低温倉庫に設けた多湿区(気温5℃, 湿度80%)の玄米水分, 発芽率の推移は第5表のとおりである。玄米水分は庫内湿度の影響を受け, 貯蔵後急速に高まり6カ月の調査では16%を超え, 最終的には17%を上回った。一方発芽率は6カ月の調査では96%と貯蔵開始時とほとんど変化はみられなかったが, 10ヵ月以降は貯蔵期間が長くなるにしたがい低下した。また微生物についても *Penicillium* 菌が著しく増加(第4表)する結果となり, このことから, 水分の高い玄米の貯蔵については, 低温条件下においても留意する必要があるものと考えられた。

第5表 多湿区における玄米水分および発芽率の推移 (1988.12入庫)

| 調査項目 | 入庫時 | 6ヵ月 | 10ヵ月 | 18ヵ月 | 22ヵ月 |
|-------|------|------|------|------|------|
| 玄米水分% | 12.7 | 16.2 | 16.5 | 16.8 | 17.2 |
| 発芽率 % | 98 | 96 | 85 | 56 | 32 |

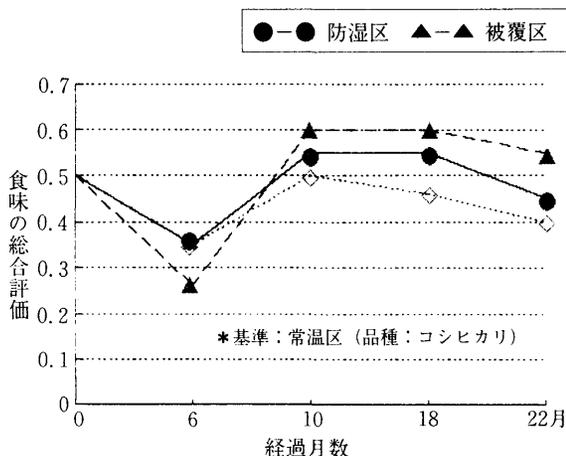
2. 平衡水分

大谷石採掘跡の低温帯(5~10℃)で庫内湿度60~80%における玄米の平衡水分値を第7図に示した。玄米の平衡水分値については, 玄米が水分を吸収する場合(吸湿)と玄米が水分を放出する場合(失湿)に得られる値がある⁴⁾。今回の試験では入庫時の玄米水分が12%台と低かったため, 吸湿の方向での平衡水分値を求めるにとどまった。庫内湿度65%時の平衡水分値は13.5%, 70%時の平衡水分値は14.5%, 80%時の平衡水分値は16.8%であった。

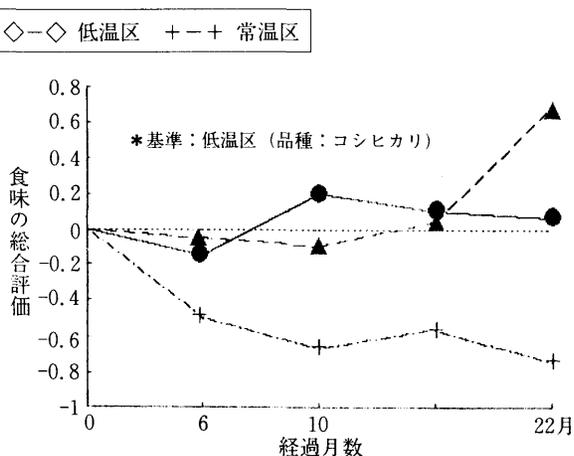
Ⅳ 考 察

大谷石採掘跡の坑内湿度は年間を通じて90%以上と多湿の環境であるため, 貯蔵庫内を除湿機により除湿する方法と玄米袋を防湿膜(ビニルシート)で被覆する方法を用い, 玄米の貯蔵試験を試みた。

除湿法では庫内の温度条件の異なる2試験区を設定した。年間の庫内温度が10~15℃程度では, 除湿を行い玄米水分を15%以下に保てば, 玄米の品質に変化はみられず, 貯蔵は可能であると考えられた。今回の結果からも1年間の貯蔵では品質等に影響はみられず, 玄米貯蔵についての問題はみられなかった。また年間の庫内温度が5~10℃の環境で除湿を行い, 玄米水分

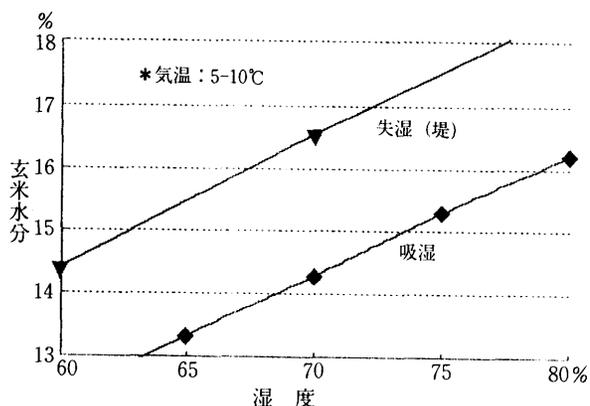


第5図 食味試験結果 (穀物検定協会)



第6図 食味試験結果 (農業試験場)

大谷石採掘跡を利用した玄米貯蔵法について



第7図 玄米水分と湿度の関係

を14~15%に維持した結果、発芽率、脂肪酸度に大きな変化はみられず、2年間の貯蔵が可能であると考えられた。

被覆法では年間の坑内温度が4~10℃、湿度が90%以上の環境でビニルシートで玄米袋を被覆した結果、玄米水分は14~15%で安定し、品質の変化はみられなかった。このことから、低温条件下なら被覆法でも玄米の貯蔵は可能であると考えられた。

以上のように、大谷石採掘跡の低温・多湿の条件下で、除湿法および被覆法によって、貯蔵期間中の玄米水分を15%以下に保った結果、玄米の品質の低下を防ぐことができ、貯蔵の可能性が見いだされた。

一方、多湿区の結果から、庫内温度が5℃というような低温条件下でも、玄米水分が15%を越え16%となるような環境では品質の低下が懸念された。このことから除湿法では庫内温度と玄米水分の関係について明らかにする必要があるため、筆者らは低温条件(5~10℃)での吸湿における平衡水分について、関係湿度65~80%の範囲で検討を行った。この結果、低温条件下で玄米水分を目標水分の14.5%前後にするには、庫内湿度を70%程度で制御すればよいものと考えられた。堤ら⁵⁾も温度10℃における平衡水分値について報告しているが、今回の筆者ら

の試験でも、堤らとはほぼ同じ平衡水分値が得られた。

また、入庫時の玄米水分が15%以上と高い場合、品質の低下が懸念されることから、高水分の玄米貯蔵では水分を下げる必要がある。このため放湿時の平衡水分値についても考慮する必要があることから、堤らによる気温10℃における失湿時の平衡水分値を第7図に示した。これによると仮に入庫時の玄米水分が15%を上回るような場合、玄米水分を目標水分の14.5%に調整するには、庫内湿度を60%程度に設定する必要があると推考される。

一方、被覆法で15%を越えるような玄米の貯蔵をおこなう場合、放湿できないため常に高い水分で貯蔵されることになる。このような状態は、玄米の貯蔵条件としては適当でないと考えられ、玄米の品質の低下を招く恐れがある。したがって防湿膜で玄米袋を被覆する方法では、入庫時の玄米水分について留意すると同時に、管理の場面でも玄米が吸湿し水分が上がらないようにする必要がある。

V 摘要

大谷石採掘跡の低温帯を利用し、除湿機により貯蔵庫内を除湿する方法と防湿膜(ビニルシート)で玄米袋を被覆する方法を用い玄米の貯蔵試験を実施した。その結果を要約すると次のとおりである。

1. 除湿機を利用して庫内の湿度を70%前後に調整し、玄米水分を15.0%以下に保った。年間の庫内温度が10~15℃の場合、一年間の貯蔵では玄米の品質に変化はみられなかった。また庫内温度が5~10℃の場合、2年間の貯蔵で品質の変化は小さく、食味の劣化もみられなかった。

2. 玄米袋をビニルシートで被覆する方法でも、玄米水分を15.0%以下に保つことができ、貯蔵期間中の品質の変化も小さかった。しかし

被覆法では玄米水分を調節することができないため、入庫時の水分には留意する必要がある。

3. 年間の庫内温度が5℃と低い環境でも、玄米水分が15%を超え16%となるような場合、品質の低下がみられたため、貯蔵期間中の玄米水分は15%以下に維持する必要がある。

4. 低温条件(5~10℃)において玄米水分を15.0%以下に維持するには、庫内湿度を70%程度に調整すればよいと考えられた。

謝辞：本試験の企画と推進については、屏風岩石材、調査については日本穀物検定協会、栃木食糧事務所、清水建設、JA栃木経済連、栃木県農業大学校の関係者各位の御協力をいただいた。また調査実施にあたっては増淵清一氏に終始御協力いただいた。さらに調査の計画と取りまとめにあたり栃木喜八郎氏、吉田英雄両氏

に御指導いただいた。ここに記して心から感謝の意を表したい。

引用文献

1. 谷 達雄・竹生新治郎・岩崎哲也(1964) 栄養と食糧16:436
2. 谷 達雄・吉川誠次・木村 進・竹生新治郎・鶴田 理・遠藤 勲(1972) 食研報27:1
3. 竹生新治郎・岩崎哲也・堀内久弥・谷 達雄(1965) 栄養と食糧18:204
4. 堤 忠一・永原太郎(1965) 食糧研19:194
5. 堤 忠一・小泉英夫・谷 達雄(1968) 食糧研24
6. 鶴田 理(1972) 食研報28:10~18

The experiment of rice storage by utilizing an old mine of Ohya Stone.

Takeo AOKI, Masayuki SUZUKI, Masahiro YAMAGUCHI

Yukio CHIKARASHI and Kiichi NAKAYAMA

Summary

Since low temperature is desirable for maintaining the quality of husked rice during storage, the experiment of cave storage by utilizing natural low temperature was carried out for five years in an old mine of Ohya Stone. The temperature could be kept below 15℃ in the cave, but the relative humidity was higher than equilibrium value of moisture content of husked rice, and therefore, it was necessary to dehumidify the storage room. In case that husked rice containing over 15% moisture was tested, deterioration of rice quality was recognized. On the contrary, the quality of rice hardly changed in husked rice containing about 14.5% moisture. Therefore, it is considered that the relative humidity should be kept at about 70%, in order to keep the moisture of husked rice at 14.5% under low temperature (5~10℃) condition.

Bull. Tochigi Agr. Exp.
Stn. No.39: 1~8 (1992)