HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	冬季の寒冷外気を利用した籾の超低温貯蔵技術の開発と普及
Author(s)	川村, 周三; 竹倉, 憲弘; 小河, 健伸 他
Citation	低温生物工学会誌, 49(2), 119-124 https://doi.org/10.20585/cryobolcryotechnol.49.2_119
Issue Date	2003
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/71303
Rights	© 2003 低温生物工学会
Type	journal article
File Information	49_KJ00001038972.pdf



Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Japanese Society for Cryobiology and Cryotechnology

低温生物工学会誌〔Cryobiology and Cryotechnology〕, Vol. 49, No. 2, 119～124, 2003

冬季の寒冷外気を利用した籾の超低温貯蔵技術の開発と普及

北海道大学大学院農学研究科
川村　周三，竹倉　憲弘，小河　健伸，伊藤　和彦

Development and Extension of Techniques for Super-Low-Temperature Storage of Rough Rice Using Fresh Chilly Air in Winter

Shuso KAWAMURA, Kazuhiro TAKEKURA, Takenobu OGAWA and Kazuhiko ITOH

Graduate School of Agricultural Science, Hokkaido University,
Kita 9 Nishi 9, Kita-ku, Sapporo 060-8589, Japan

The objective of this project was to develop new on-farm rice storage techniques at a temperature below ice point, known as super-low-temperature storage, using fresh chilly air in winter. Two on-farm storage experiments were conducted in two country elevators in Hokkaido from 1996 to 2000. When rough rice was aerated from the bottom to the top of the silo in winter, the temperature of whole rice grains in the silo fell below ice point. At the end of the storage period in summer, the temperature of rice grains in the center of the silo was still below ice point, whereas the temperature of rice grains near the silo wall increased to about 20℃. However, there was no deterioration in the quality of rice grains near the silo wall. The quality of rice stored in the silo was preserved at a level similar to that of freshly harvested rice. The combination of rice storage at a temperature below ice point and utilization of fresh chilly air in winter enables the quality of rice to be preserved at a high level without the requirement of any cooling unit and electricity. The use of new techniques for super-low-temperature storage in cold regions of Japan has been increasing in recent years. In Hokkaido, 23 country elevators have been constructed since 1996. The total storage capacity of rough rice in Hokkaido has been increasing in recent years and reached 104,000 t in 2002.

(Received for publication August 30, 2003)

緒　　言

わが国では古くから玄米貯蔵が一般的に行われている．これは，籾を収穫後に乾燥し，ただちに籾摺して玄米の状態で倉庫に貯蔵する．玄米貯蔵には，常温貯蔵と低温貯蔵とがある．常温貯蔵では，倉庫内の温度制御を行わずに玄米を貯蔵する．そのため，春から夏にかけて外気温度が上昇すると庫内温度が高くなり，害虫（コクゾウムシやコクガ）が発生し，米の品質も劣化する場合が多い．一方，低温貯蔵では冷却装置を使い年間を通して倉庫内温度を15℃以下に保ち，害虫の発生や米の品質劣化を抑える．全国各地にある玄米の低温貯蔵倉庫は年々増加しており，2001年３月には玄米貯蔵能力は合計で約660万tとなり，国内で消費される米の約６割を貯蔵することが可能となっている．

玄米ではなく籾で貯蔵をおこなうと，籾殻が玄米を物理的生物的に保護するため，害虫や微生物の侵

第49回低温生物工学会研究報告５．
[Key words : Country elevator, Natural low temperature energy, Rice quality, Taste, Super-low-temperature storage ; カントリーエレベータ（穀物共同乾燥調製貯蔵施設），自然低温エネルギー，米の品質，食味，超低温貯蔵]

NII-Electronic Library Service

Japanese Society for Cryobiology and Cryotechnology

入を防ぎ，米の生理活性を抑制する．そのため，籾貯蔵は玄米貯蔵に比べて品質保持効果が高い．わが国では籾貯蔵を行うカントリーエレベータ（穀物共同乾燥調製貯蔵施設）が1964年にはじめて建設された．近年はカントリーエレベータが全国的に増加しており，2001年３月で国内の籾貯蔵能力は196万tであり，わが国の籾収穫量の２割近くに達している．しかし，玄米貯蔵に比較すると籾貯蔵の割合は少ない．

北海道では1965年と1971年にカントリーエレベータが２ヵ所に建設された．しかし当時は，寒冷地で籾貯蔵を行う技術が確立されていなかったために，やがて数年で籾貯蔵を行うことを取りやめた．それ以後，北海道のような寒冷地においてはカントリーエレベータでの籾貯蔵は不適切であるとされてきた．

ところが，1995年に食糧管理法が廃止され，新食糧法が施行され，米の商取引が自由になり産地間競争が一段と厳しくなった．そこで北海道では，大ロットで均質かつ高品質な北海道産銘柄米の確立を目指して大規模なカントリーエレベータの建設に着手した．そして1996年秋に北海道鷹栖町に，当時としては北海道で唯一のカントリーエレベータが竣工し，本格的な籾貯蔵が開始された．

一方で，基礎実験により氷点下で米を貯蔵すると，従来の低温貯蔵や常温貯蔵よりも品質保持効果が高いことを明らかにした[1,2]．そこで，氷点下で米を貯蔵することを超低温貯蔵と呼んだ．この超低温貯蔵とは，従来の低温貯蔵（15℃以下）よりも低い温度である氷点下で貯蔵することから名付けた．ところが，実用規模のサイロや貯蔵庫では外気温度の季節変化があり，米の温度を常に氷点下に保つことは，貯蔵コストを考慮すると，実用的ではないと思われた．そこで，実用レベルにおける米の超低温貯蔵として，「貯蔵期間中の穀温が１ヵ月以上氷点下である貯蔵方式」と定義した[1]．

1996年に北海道で唯一のカントリーエレベータが完成した時点では，氷点下で米を貯蔵する超低温貯蔵技術は実用化されていなかった．その最大の理由は，米を氷点下で貯蔵するためには冷却装置の設備費やその運転経費がかかると予想されたためである．ところが，北海道のような寒冷地では冬季の自然の冷気を米の冷却に利用することができるため，超低温貯蔵が実用的に可能であると考えた．

そこで，北海道のような寒冷地の特徴を最大限に生かした低コスト省エネルギで高品質な籾貯蔵を行う新技術を確立することを目的に，鷹栖町のカントリーエレベータにおいて1996年から1998年に超低温貯蔵を実用化するための実証試験を行った．さらに新たに建設された北海道雨竜町のカントリーエレベータで1999年から2000年にかけて再度実証試験を行い，その有効性を確認した．

試　験　方　法

鷹栖町のカントリーエレベータ（上川ライスターミナル）のサイロ（高さ26 m，直径6.4 m）１基を用いて，きらら397の籾378 tを貯蔵した．貯蔵期間は1997年11月から1998年８月までの約９ヵ月間であった．1998年２月２日から２月10日の間に，－５℃以下の外気を断続的に延べ113時間サイロへ通風した．

雨竜町のカントリーエレベータ（雨竜町ライスコンビナート）ではサイロ（高さ23.2 m，直径7.4 m）２基を用いて，きらら397の籾500 tとほしのゆめの籾494 tをそれぞれ貯蔵した．貯蔵期間は1999年11月下旬から2000年７月中旬までの約８ヵ月間であった．2000年１月20日から１月27日の間に，－７℃以下の外気を断続的に延べ91時間サイロへ通風した．サイロへの通風は２基同時におこなった．

いずれの貯蔵試験においても，サイロ貯蔵と並行して比較対照のために－５℃貯蔵（冷凍庫），低温貯蔵（サイロの近隣にある低温倉庫），室温貯蔵（大学の実験室）の３条件で，それぞれ約15～20kgの籾を貯蔵した．

貯蔵期間中は各部の温度や籾温度などを測定した．米の品質測定として，水分（10g，粒，135℃，24時間法），発芽率（食糧庁標準計測方法），脂肪酸度（American Association of Cereal Chemists 迅速法），食味評価（日本穀物検定協会北海道支部に委託し，食糧庁の米の食味試験実施要領に準じて実施）などを測定した．

NII-Electronic Library Service

Japanese Society for Cryobiology and Cryotechnology

結果と考察

1．貯蔵中の温度

1997年から1998年にかけての貯蔵期間中，外気温度の日最低気温が氷点下であったのは11月下旬から4月上旬までの約5ヵ月であった．貯蔵中の最低気温は2月7日の−21.9℃であった．

図1に貯蔵中の籾温度を示した．11月から2月にかけてサイロ内壁付近の籾の穀温は，自然放冷により低下した．しかし，サイロ中心部の籾の穀温は貯蔵開始時とほぼ同じであった．2月上旬にサイロ内へ外気を通風することにより，サイロ内すべての籾の穀温が氷点下になった．最低穀温は，2月上旬に内壁付近が約−7℃であった．サイロ中心部の籾の穀温は，7月中旬まで氷点下であった．サイロ内すべての籾の穀温が氷点下であった期間は，2月上旬から3月下旬にかけての約1.5ヵ月間であった．すなわち，自然の寒冷外気を米の冷却に利用することにより，実用的に超低温貯蔵（氷点下での米の貯蔵）が可能であることが実証された．

対照貯蔵の室温貯蔵では穀温は概ね15℃以上であり，7月上旬には約25℃にまで上昇した．低温貯蔵の穀温は最低で−1℃程度であり，夏季に庫内温度が高くなると冷却装置が作動して，穀温は12℃程度に保たれた．貯蔵中の平均穀温は，サイロ貯蔵のサイロ中心部が0.7℃，内壁付近が3.5℃，−5℃貯蔵が−5.1℃，低温貯蔵が5.0℃，室温貯蔵が18.6℃であった．

2．籾の比熱と熱伝導率

水分16%程度の籾の比熱は1.5～2.0 kJ/kg/K である[3-6]．これは木材の1.3 kJ/kg/K やコンクリートの0.8 kJ/kg/K，鉄の0.5 kJ/kg/K などと比較して大きい．そのため，籾はいったん冷却されると籾そのものが保冷材の役割を果たす．また，籾の熱伝導率は0.07～0.10 W/m/K である[7,8]．これは鉄の80 W/m/K やコンクリートの1 W/m/K などと比較して小さく，木材の0.15 W/m/K やポリスチレンの0.1 W/m/K，グラスウールの0.04 W/m/K などと同程度の熱伝導率である．そのため，籾そのものが断熱材の性質を持つ．

このように比熱が大きくて熱伝導率が低いという籾の物理特性により，いったん氷点下にまで冷却された籾の穀温がそのまま夏季まで低く保たれ，実用規模のサイロ貯蔵において超低温貯蔵が可能となった．

3．サイロ内の温度差が品質に与える影響

図1に示したように，冬季の寒冷外気の通風によりサイロ全体の穀温は氷点下となり，その後は籾を静置するだけで，サイロ中心部の穀温は7月中旬まで氷点下に保たれた．しかしサイロ内壁付近の穀温は，3月下旬までは氷点下に保たれるが，その後は外気温度の影響により徐々に上昇し，7月中旬には20℃近くとなった．このサイロ内壁近付近の穀温上昇が籾の品質に悪影響を与えている懸念があった．そこで，貯蔵終了直前にサイロ内各部から試料を採取し，その品質を測定した．試料はサイロ中心部とサイロの東西南北の内壁から約15 cm 内側の位置で，籾堆積表面から深さ0.1 m，0.5 m，1.0 m，2.0 m，4.0 m の位置の籾をそれぞれ採取した．

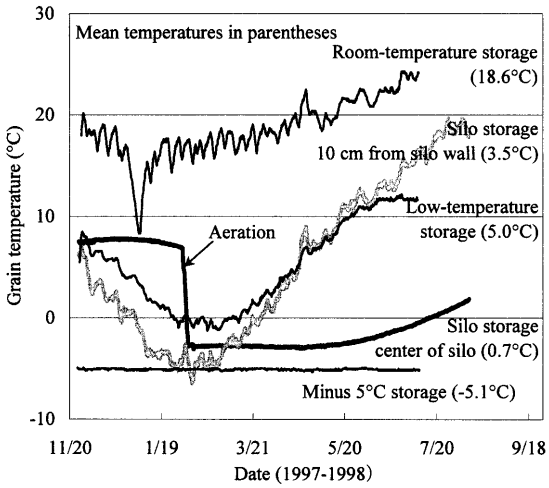


Fig. 1. Rice grain temperatures during on-farm silo storage and control storage conditions.

サイロ内各部から採取した試料の発芽率を図2に示した．発芽率は稲の種子としての生命力を測定した値であり，米の鮮度を示す指標ともなる．発芽率が高いと新米と同様な品質の良い状態であることを示す．発芽率はいずれの試料も高く，平均で98.3%であり，新米と同様な発芽率であった．

脂肪酸度は米の脂質が酵素リパーゼにより加水分解されて生成する遊離脂肪酸の量を測定した値である．米の主成分の中でデンプンやタンパク質に比較して脂質の加水分解が最も早く進み脂肪酸が増加す

NII-Electronic Library Service

Japanese Society for Cryobiology and Cryotechnology

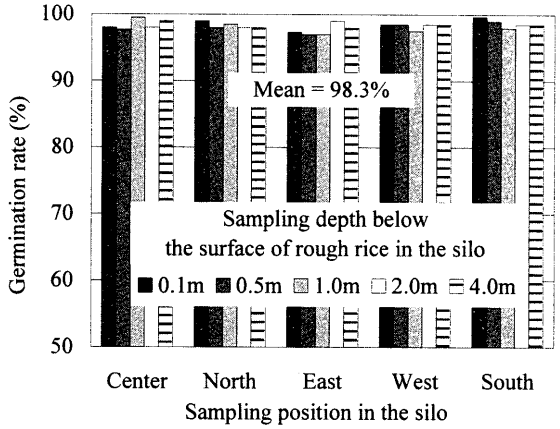


Fig. 2. Germination rates of rice grains sampled from different parts of the silo.

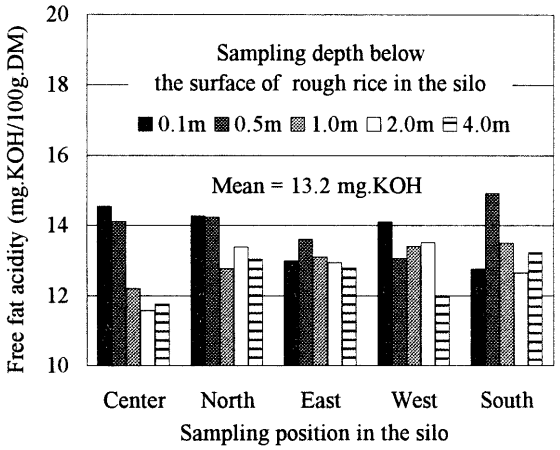


Fig. 3. Free fat acidities of rice grains sampled from different parts of the silo.

る[9,10]ため，脂肪酸度が品質劣化の指標として広く用いられている．脂肪酸度は，いずれの試料も品質上問題となるような大きな増加はなく，平均で13.2 mg. KOH であった（図３）．

サイロ内壁付近の穀温は，貯蔵終了時の７月下旬では20℃程度であるが，冬季は約３ヵ月間氷点下であり，貯蔵期間中の内壁付近の平均穀温は3.5℃と低かった．その結果，サイロ内壁付近の籾の大きな品質劣化はなかったと考えられる．

４．貯蔵前後の品質

図４から図６に貯蔵前後の発芽率，脂肪酸度，米飯テクスチュログラム特性（硬さ/粘り比）を示した．

貯蔵後の発芽率は－５℃貯蔵が最も高く，次にサイロ貯蔵と低温貯蔵が高く，いずれも貯蔵前の発芽率とほぼ同じく90%以上であった．一方，室温貯蔵の発芽率は大きく低下し，10%となった．

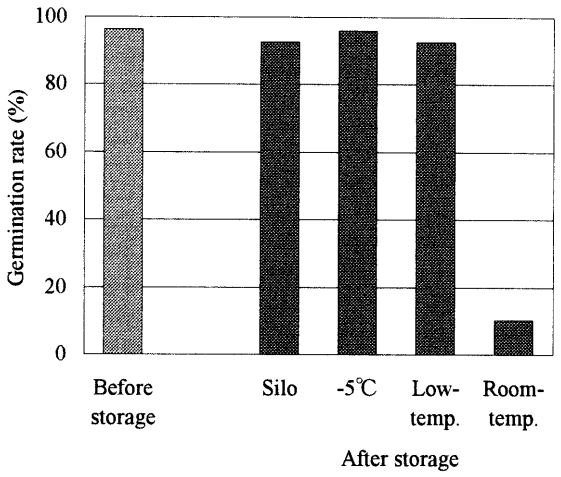


Fig. 4. Germination rates of rice before and after storage.

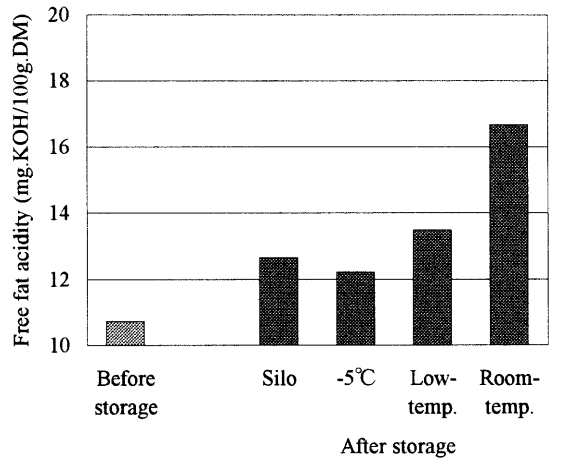


Fig. 5. Free fat acidities of rice before and after storage.

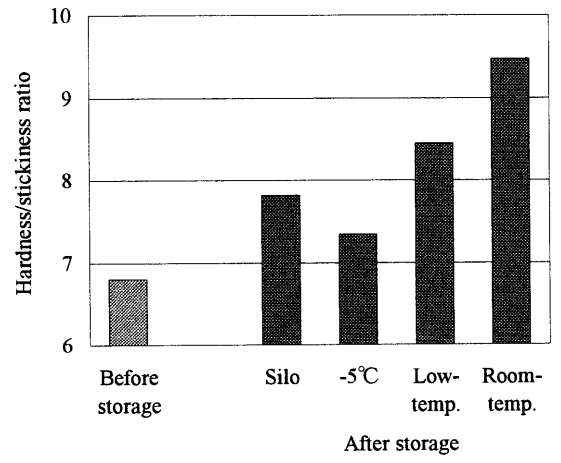


Fig. 6. Texturogram properties of rice before and after storage.

脂肪酸度は貯蔵後にいずれも増加したが，－5℃貯蔵が最も増加が抑制されており，次にサイロ貯蔵，

NII-Electronic Library Service

Japanese Society for Cryobiology and Cryotechnology

低温貯蔵と増加が大きく，室温貯蔵の増加が著しかった．

一般に，貯蔵により古米化が進むと米飯の硬さが増加し，粘りが減少する．したがって，テクスチュログラム特性の硬さ/粘り比が低いほど貯蔵状態が良いと判断される[11]．図6から貯蔵温度が低いほど硬さ/粘り比が低く，古米化が抑制されることが分かった．

図7に食味試験の総合評価を示した．貯蔵前に比較して総合評価は，サイロ貯蔵と－5℃貯蔵でわずかに良くなり，室温貯蔵では総合評価が大きく低下した．通常，米の食味が貯蔵後に良くなることはない．この試験でサイロ貯蔵と－5℃貯蔵の総合評価が貯蔵前に比べて，わずかながらも良くなったのは以下の理由による．

食味試験は，滋賀県産の日本晴を基準米として相対比較法で行う．貯蔵前の食味試験で基準米とした日本晴を冷蔵庫（3℃～5℃）に玄米で貯蔵し，貯蔵後の基準米とした．基準米も貯蔵中に品質が低下する．サイロ貯蔵と－5℃貯蔵では貯蔵中の平均温度が冷蔵庫よりも低く，かつ籾貯蔵であったため，貯蔵中の品質低下が基準米よりも抑制された．その結果，貯蔵後の総合評価が貯蔵前よりも相対的に良くなった．

5．冬季の寒冷外気を利用した籾の超低温貯蔵の特徴

基礎実験により乾燥後の米は－80℃まで冷却しても凍結しないことを確かめた[12]．したがって米は凍らないので，貯蔵温度は低ければ低いほど米の生理活性が抑制され品質が良い．しかしながら，米の温度を低下させるために冷却設備や電気エネルギを使うと貯蔵コストが増加するため，実用的には望ましくない．一方，北海道のような寒冷地では，冬季の寒冷外気という自然低温エネルギを利用することにより米を冷却することが可能である．

この貯蔵技術は，冷却設備や冷却のための電気エネルギを必要としない．すなわち，これは北海道のような寒冷地の自然環境を有効に利用し，低コスト省エネルギで高品質米を供給する貯蔵技術である．

6．超低温貯蔵技術の普及

北海道でカントリーエレベータが建設された1996年以降，籾の超低温貯蔵技術が実用化され，これを

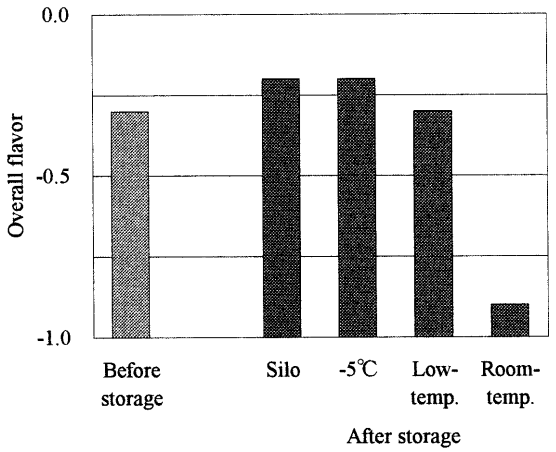


Fig. 7. Overall flavor of rice before and after storage as determined by sensory test.

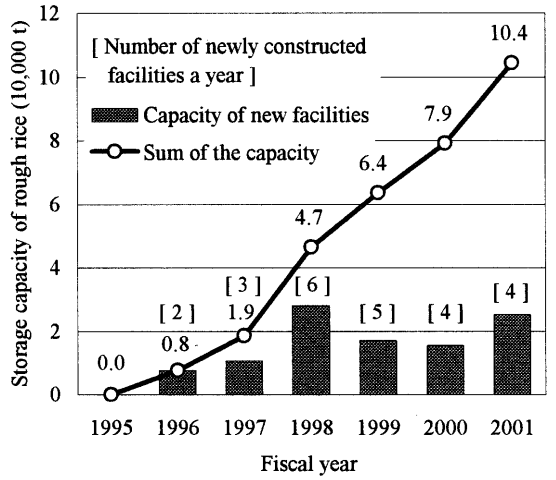


Fig. 8. Extension of storage capacity of rough rice in Hokkaido.

きっかけにカントリーエレベータの建設が進んでいる．北海道における籾貯蔵施設の普及の状況を図8に示した．籾貯蔵施設は23ヵ所となり，その籾貯蔵能力は2002年までに10万4千tとなった．

冬季の寒冷外気を利用した籾の超低温貯蔵技術は2000年1月の北海道農業試験会議の審議を経て北海道農政部から「指導参考」事項として認められた[13]．

摘　　要

冬季の寒冷外気をサイロ内に通風し籾の冷却を行うことにより，サイロ内の籾温度はすべて氷点下となり，実用施設で籾の超低温貯蔵が可能であることが実証された．貯蔵終了時（夏季）にはサイロ中心部と内壁付近の籾との穀温差が生じた．しかし，こ

NII-Electronic Library Service

Japanese Society for Cryobiology and Cryotechnology

の穀温差は品質に悪影響を与えなかった．貯蔵後の籾は新米と同様な良い品質であった．本試験により確立した超低温貯蔵は，寒冷地の自然環境を有効に利用し，低コスト省エネルギで高品質米を供給する貯蔵技術である．この技術開発により北海道では，籾貯蔵施設の普及が急速に進み，2002年までに23ヵ所に施設が建設され，籾貯蔵能力は合計で約10万4千tとなった．

参 考 文 献

1）川村：農機北支報，**36**，67（1996）．
2）Kawamura, S., M. Natsuga, S. Kouno and K. Itoh：Proc. of Int. Conf. on Agric. Eng. & Technol., Dhaka, Bangladesh, **3**, 820（1997）．
3）Morita, T. and R. P. Singh: Trans. of the Am. Soc. of Agri. Eng., **22**, 630（1979）．
4）山田：農化誌，**58**(1)，31（1984）．
5）村田，田川，石橋：農機誌，**46**(6)，547（1987）．
6）大下，清水，亀岡：農機誌，**54**(2)，67（1992）．
7）細川，増本：農機誌，**32**(4)，302（1971）．
8）瀬能，山口，相原，小原：農業施設，**6**(1)，10（1976）．
9）石橋，田中：農機誌，**33**(3)，312（1971）．
10）竹生：東京農大農学部集報，**40**(4)，199（1996）．
11）稲津：北海道立農試報告，**66**，1（1988）．
12）川村，小河，藤川，竹倉，伊藤：低温生物工学会誌，**49**(2)，97（2003）．
13）「北海道における籾調製貯蔵技術」，北海道農業試験会議資料，1（2000）．

NII-Electronic Library Service