



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	超低温貯蔵による粳の長期品質保持
Author(s)	竹倉, 憲弘; 川村, 周三; 伊藤, 和彦
Citation	農業機械学会誌, 66(6), 51-59 https://doi.org/10.11357/jsam1937.66.6_51
Issue Date	2004
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/70955
Rights	© 農業機械学会
Type	journal article
File Information	66_51.pdf



超低温貯蔵による粳の長期品質保持*

竹倉憲弘^{*1}・川村周三^{*2}・伊藤和彦^{*2}

要 旨

超低温貯蔵の長期間の品質保持効果を確認するため、粳を4年間にわたり氷点下で貯蔵する基礎試験を行った。その結果、貯蔵温度5℃以下での粳貯蔵では、4年にわたる長期間でも貯蔵前の品質や食味を保持できることが明らかになった。本試験の結果および実用規模の施設で超低温貯蔵試験を行った結果から、貯蔵期間中の平均穀温を5℃以下に保つことにより、長期間にわたる粳の品質保持が可能であると考えられる。

〔キーワード〕 氷点下, 備蓄, 発芽率, 脂肪酸度, 硬さ粘り比, 食味

Preserving Quality of Rough Rice Stored for Long Period
by Super-low-temperature Storage*Kazuhiro TAKEKURA^{*1}, Shuso KAWAMURA^{*2}, Kazuhiko ITOH^{*2}

Abstract

An experiment in which rough rice was stored below ice point for 4 years was carried out to determine whether it was possible to preserve the quality of rice stored for a long period by super-low-temperature storage. The results of the experiment showed that the quality of rough rice after storage for 4 years under 5℃ was comparable to that of rice before storage. The results of this experiment and the results of the experiment in which rough rice stored below ice point in farm-scale silos indicate that preservation of the quality of rough rice for long time is possible by storing rice at an average temperature under 5℃ during storage.

〔Keywords〕 temperature below ice point, rice stockpile, germination rate, free fat acidity, hardness-stickiness ratio, eating quality

I 緒 言

米を低温で貯蔵すると、貯蔵中の呼吸や物質代謝の速度が低下するとともに害虫の発生や微生物の増殖が抑制されるため、米を高品質に保持可能であることが明らかになっている (Tani et al., 1964; Chikubu et al., 1965; Yoshikura et al., 1970; Suzuki and Matsumoto, 1971; Yamazawa et al., 1971; Itoh et al., 1972; Miwa et al., 1993)。また、玄米を-15℃で貯蔵した基礎試験により、現在普及している低温貯蔵 (15℃以下での貯蔵) より氷

点下での貯蔵の方が品質を保持できることが明らかになり、氷点下での貯蔵は超低温貯蔵と名付けられた (Kawamura, 1996; Kawamura et al., 1997)。ただし、実用規模の貯蔵においては、とくに氷点下で貯蔵温度を一定に保つことはコストの面から考えて困難である。そこで、実用的な超低温貯蔵は「貯蔵期間中の穀温が1カ月以上0℃以下」となる貯蔵と定義されている (Kawamura, 1996)。この超低温貯蔵は、北海道のカントリーエレベータにおいて冬季の寒冷外気を利用することにより実用化され、新しい貯蔵技術として普及している (Take-

* 2003年4月 第62回農業機械学会年次大会 (生研機構) にて一部講演

*1 会員, 北海道大学大学院農学研究科 (〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目 TEL 011-706-2558)
Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Kita9, Nishi9, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-8589, Japan
現在: 中央農業総合研究センター (〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1 TEL 029-838-8909)
Present Address: National Agricultural Research Center, 3-1-1 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8666, Japan

*2 会員, 北海道大学大学院農学研究科

kura et al., 2003a~d)。

通常、米の貯蔵期間は11月ごろから翌年10月ごろまでの1年以内である。この期間を超える1年以上の貯蔵は、長期間の貯蔵といえる。粳の超低温貯蔵では、1年を超える長期間の高品質保持が可能であると予想された。過去には、粳を氷点下で100日間程度貯蔵した研究(Seno et al., 1975)、玄米を氷点下(-1℃および-5℃)で60日間貯蔵した研究(Fukai et al., 2003)、粳および玄米を常温で3年間貯蔵した研究(Tsuruta et al., 1977)、粳を低温(3~4℃)で18年間貯蔵した研究(Morishima et al., 1995)などが行われている。しかし、粳を氷点下で長期間貯蔵した研究については過去に例がない。米の不作に備えた備蓄貯蔵では、米を数年にわたり高品質に貯蔵する必要がある。そこで、-50℃から25℃までの6段階に貯蔵温度を設定して粳を4年間貯蔵し、超低温貯蔵の長期間の品質保持効果を確認する基礎試験を行った。さらに、実用規模の施設において1年以内の超低温貯蔵を行った結果(Takekura et al., 2003a~d)と比較し、超低温貯蔵による粳の長期品質保持が実用化できるかどうかを検討した。

II 方 法

1. 供試試料

供試試料は1998年北海道雨竜産「ほしのゆめ」の粳で、粳水分は15.6%であった。また、貯蔵後の品質測定における対照試料として、2002年北海道雨竜産「ほしのゆめ」の粳(供試試料と同じ生産者が栽培収穫した粳)を用いた。対照試料の粳水分は14.6%であった。

2. 貯蔵方法

供試試料を容量20Lのポリエチレン製容器に12kgずつ入れ密封し、-50℃、-20℃、-5℃、5℃、15℃、25℃で貯蔵した。各貯蔵区の貯蔵中の穀温を温湿度計(エスベックミック製RS-10)を用いて1時間間隔で測定した。

3. 貯蔵期間

貯蔵期間は、1998年10月9日から2002年9月28日までの48カ月間(1450日間)であった。

4. 品質測定

貯蔵開始時、2カ月後、4カ月後、6カ月後、9カ月後、12カ月後、24カ月後、36カ月後、48カ月後に約500gの試料を取り出し、以下に列記した項目の測定を行った。ただし、炊飯米テクスチャログラム特性の測定は貯蔵開始時と24カ月後、36カ月後、48カ月後に、食味評価は48カ月後にのみ行った。

取り出した試料は、米粒表面に結露を生じさせないためにポリエチレン製袋に入れて一定時間実験室内に放置し、室温まで昇温させてから測定に用いた。また、とくに発芽勢などは室温に取り出してからの時間により測定値が変動する可能性が考えられることから、試料を取り出してから測定を行うまでの時間が一定になるようにし

た。

玄米を対象とした測定に用いる試料は、ロール式粳摺機(サタケ製粳摺試験機THU35A, ロール間隙1.7mm)で粳摺し、粳摺後に回転型縦目篩選別機(サタケ製選別試験機TWS, 網目幅1.90mm)で粒厚選別して調製した。精白米を対象とした測定に用いる試料は、摩擦式精米機(サタケ製モータワンプスMCM-250)で搗精歩留が90.5%(±0.1%)となるように搗精して調製した。

(1) 粳水分

烘乾法の10g粒135℃24時間法で粳水分を測定し、湿量基準で表した。測定は3回反復した。

(2) 玄米白度

白度計(ケット科学研究所製C-100-3)を用い、玄米白度を測定した。測定は10回反復した。

(3) 玄米色調

色彩色差計(ミノルタカメラ製CR-200b)を用い、国際照明委員会(Commission Internationale de l'Eclairage: CIE)の公認表示法である $L^*a^*b^*$ 表色系によって、玄米の L^* (明度)、 a^* (赤緑軸)、 b^* (黄青軸)の値を求めた。測定は10回反復した。

玄米色調のうち、 a^* 値の上昇は玄米表面に赤味が増したことを意味し、 b^* 値の上昇は黄色味が増したことを意味する。

(4) 玄米発芽率

食糧庁の標準計測方法に準じ、玄米の整粒100粒を0.3%(w/w)の過酸化水素水に浸漬して20℃の恒温器内に静置し、72時間以内に発芽した粒数割合を発芽勢、7日以内に発芽した粒数割合を発芽率とした。測定は3回反復した。

玄米発芽勢は米の休眠性の強弱を示す指標となり、玄米発芽率は米の発芽能力の有無(種子としての生死、生命力)を示す指標となる。休眠性と種子の呼吸や物質代謝には密接な関係があり、休眠性の強弱は種子の生命力に影響を与え、休眠性が弱まると米の自己消耗が早くなる。

玄米発芽勢が低く玄米発芽率が高い場合は、休眠性が強いいため短時間(72時間)では発芽しないが最終的には(7日後までには)休眠が打破されて発芽する能力がある(種子として生命力がある)ことを示している。また、玄米発芽勢が高く玄米発芽率も高い場合は、休眠性が弱くかつ生命力があることを示している。一方、玄米発芽勢が低くかつ玄米発芽率も低い場合は、米の生命力が失われていることを示している。以上のように、玄米発芽勢と玄米発芽率とを組み合わせることで、稲の種子である米の休眠性と生命力とを判断することが可能である。

(5) 玄米脂肪酸度

AACC(American Association of Cereal Chemists)の迅速法に準じた滴定法で玄米脂肪酸度を測定した。脂肪酸度の単位(mg.KOH/100g.DM)は、以下ではmgと

略記する。測定は3回反復した。

脂肪酸度は品質劣化の指標となり、20～25 mg 以上で劣化を示すとされている (Ishibashi, 1971 ; Tsuruta, et al., 1977)。

(6) 炊飯米テクスチュログラム特性

稲津の方法 (Inatsu, 1988) に準じて測定した。精白米 20 g をアルミ製容器に入れ、蒸留水を加えて室温下で 30 分間浸漬した。貯蔵開始時の測定では、試料の加水量を 30 mL とし、その後の測定では貯蔵開始時の試料と加水後の水分が同じとなるように加水量を調整した。浸漬後、電気炊飯器 (東芝製 RC-184) の外釜に 163 mL の水を入れ、アルミ製容器 5 個を円形に配置して炊飯した。炊飯時間は約 20 分で、炊飯終了後は保温状態のまま炊飯器の蓋を開けずに約 20 分間蒸らした。炊飯開始から 40 分後に木製一合升に炊飯米を移し、ガーゼを被せ 1 時間静置して測定に用いた。測定にはテクスチュロメータ (全研製 GTX-2) を用い、付着性強調アーム (2 本アーム) を使用した。プランジャは直径 22 mm のルサイト製の円柱を用い、試料台とプランジャとのクリアランスは 0.2 mm、プランジャスピードは 6 ストローク/min (Low)、咀嚼回数は 1 回、チャートスピードは 375 mm/min とした。感度は力 1 kg (9.806 N) に対する出力としてチャート紙上の 1 目盛に調整した。測定は炊飯開始から 1 時間 40 分後に開始し、一合升の中央部から粒形の整った 3 粒を取り、試料台の上に放射状に置いて行った。チャート紙に記録されたテクスチュログラムからベースラインより上部のピーク高を硬さ (H)、ベースラインより下部のピーク高を粘り (－H) として読み取り、硬さ粘り比 (H/－H) を求めた。一合升 1 つにつき 3 粒ずつ 7 回測定を行い、これを 3 反復した (1 試料につき 63 粒について測定)。

炊飯米テクスチュログラム特性の粘り (－H) と食味の総合評価との間には正の相関があり、硬さ (H) や硬さ粘り比 (H/－H) と食味の総合評価との間には負の相関がある (Endo et al., 1980 ; Inatsu, 1988)。また、炊飯米の H/－H はテクスチャの差をより拡大して捉えることができ、H/－H の値が低いほど貯蔵状態が良いと判断できる (Inatsu, 1988)。

(7) 食味評価

食糧庁の食味試験実施要領に準じて食味評価を行った。評価は 2002 年産「ほしのゆめ」を基準米とした相対比較法で行った。精白米 1,100 g を炊飯し、加水量は基準米について試料の 1.3 倍 (1,430 g) として、基準米以外の試料については炊飯米の水分が基準米と同じになるように精白米水分に応じて加水量を調整した。パネルの人数は 48 人で、男女比は 32 : 16、年齢構成は 29 才以下 40 人、30 才～49 才 3 人、50 才以上 5 人であった。評価項目は精白米外観、炊飯米外観、香り、硬さ、粘り、総合評価の 6 項目とし、評価の範囲は±5 (硬さと粘りの評価は±3) とした。

III 結果および考察

1. 穀 温

貯蔵中の粳の穀温を表 1 に示した。穀温は貯蔵期間を通じてほぼ設定温度に制御されていた。－50℃ の貯蔵条件については穀温を実測できなかったが、貯蔵庫内温度は平均－49.3℃、温度範囲－48.3～－50.2℃ に制御されていた。

2. 品 質

表 2 に貯蔵開始時と 48 カ月貯蔵後の品質および対照試料とした 2002 年産「ほしのゆめ」の品質を示した。以下、それぞれの項目について述べる。

(1) 粳水分

25℃ で貯蔵した試料の粳水分が、24 カ月後から減少傾向にあり、貯蔵開始時に 15.6% であった水分が 48 カ月後には 14.4% になった。15℃ 以下で貯蔵した試料の粳水分は、貯蔵中に変化しなかった。2002 年産「ほしのゆめ」は 14.6% と、1998 年産「ほしのゆめ」の貯蔵開始時の水分より低かった。

(2) 玄米白度

図 1 に貯蔵中の玄米白度を示した。

玄米白度は、12 カ月後までは大きな変化が見られなかった。12 カ月後以降、25℃ で貯蔵した試料の玄米白度が徐々に低下した。これは、貯蔵の経過にともなって、糠層の褐変が進んだためと考える。肉眼による観察でも、25℃ で貯蔵した試料の玄米は明らかに褐変していることが認識できた。

(3) 玄米色調

図 2、図 3 に貯蔵中の玄米色調を示した。

25℃ で貯蔵した試料の玄米色調は、貯蔵の経過にともなって a* 値と b* 値がともに上昇した。また、15℃ で貯蔵した試料の玄米色調は、a* 値、b* 値ともに上昇する傾向にあった。よって、15℃ および 25℃ で貯蔵した試料は、貯蔵により褐変が進んだと見られる。

5℃ 以下で貯蔵した試料の玄米色調は、a* 値、b* 値ともに値が上下したものの、貯蔵開始時と 48 カ月後の値にはほとんど差がなかった。また、5℃ 以下で貯蔵した試料の 48 カ月後の玄米色調は、対照試料の 2002 年産「ほしのゆめ」と同程度であった。よって、貯蔵温度 5℃

表 1 貯蔵中の粳の穀温
Table 1 Temperature of rough rice during storage

貯蔵温度 (℃)	穀温 (℃)		
	平均	最高	最低
－50	—	—	—
－20	－19.9	－19.2 (+0.7)	－20.6 (－0.7)
－5	－4.7	－3.9 (+0.8)	－5.4 (－0.7)
5	5.4	7.9 (+2.5)	3.3 (－2.1)
15	14.7	15.3 (+0.6)	13.9 (－0.8)
25	24.5	26.7 (+2.2)	22.6 (－1.9)

() 内は平均との差 —は測定不能

表 2 1998 年産「ほしのゆめ」の貯蔵開始時と 48 カ月貯蔵後の品質および 2002 年産「ほしのゆめ」の品質
Table 2 Quality characteristics of 1998 Hoshinoyume and 2002 Hoshinoyume before and after 48-month storage

貯蔵温度 (°C)	貯蔵開始時	籾水分 (%w.b.)	玄米 白度 (-)	玄米色調			玄米 発芽勢 (%)	玄米 発芽率 (%)	玄米 脂肪酸度 (mg)	炊飯米 H/-H (-)
				L*	a*	b*				
		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(%)	(%)	(mg)	(-)
		**	**	**	**	**	**	**	**	**
1998 年産 「ほしのゆめ」	貯蔵開始時	15.6 ◎	16.4 ◎	52.7 ◎	1.8 ◎	13.1 ◎	47.0 ◎	98.7 ◎	9.8 ◎	5.4 ◎
	-50	15.5	16.9**	53.1*	1.9	13.0	62.0**	98.0	11.4	6.2
	-20	15.6	16.8**	53.3**	1.8	13.0	63.7**	99.0	11.4	6.5
	-5	15.5**	16.9**	53.1	1.8	13.1	96.3**	98.7	10.6	6.3
	5	15.3**	17.0**	53.3**	2.1*	13.1	95.0**	97.7	11.9*	6.4
	15	15.5*	16.8**	53.6**	2.3**	13.8**	0.3**	0.3**	17.2**	8.0**
2002 年産「ほしのゆめ」	25	14.4**	15.3**	52.7	3.2**	14.5**	0.0**	0.0**	43.9**	23.1**
		14.6**	16.1**	52.5	1.9	13.2	62.7**	99.7	11.0	6.7

測定項目の下の「**」と「*」は、分散分析によりそれぞれ危険率 1% または 5% でその測定項目において試料間に有意差があることを示す。
測定値の右の「**」と「*」は、母平均の差の検定により「◎」の試料（1998 年産「ほしのゆめ」の貯蔵開始時の試料）に対して、それぞれ危険率 1% または 5% で有意差があることを示す。

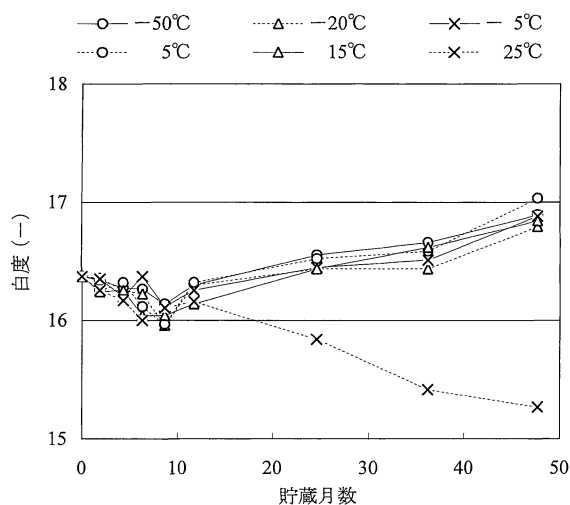


図 1 貯蔵中の玄米白度
Fig. 1 Whiteness of brown rice during storage

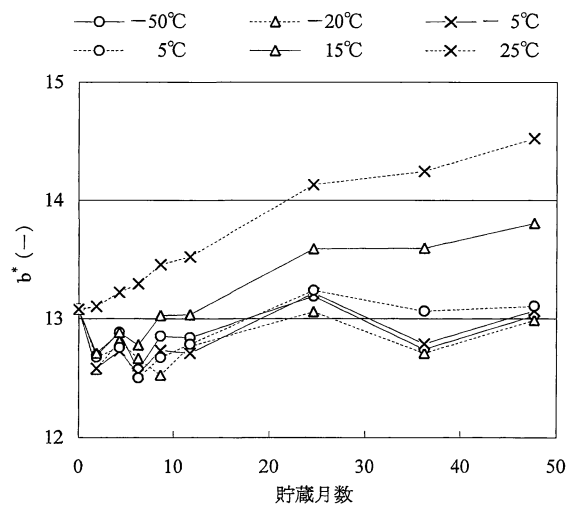


図 3 貯蔵中の玄米色調 (b*)
Fig. 3 Tone of color of brown rice during storage (b*)

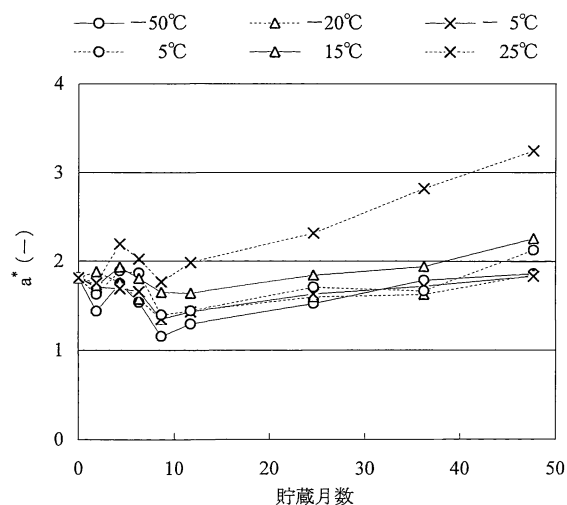


図 2 貯蔵中の玄米色調 (a*)
Fig. 2 Tone of color of brown rice during storage (a*)

以下での籾貯蔵では、4 年にわたる長期間の貯蔵でも玄米を褐変させないことがわかった。

(4) 玄米発芽率

図 4 に貯蔵中の玄米発芽勢を、図 5 に貯蔵中の玄米発芽率をそれぞれ示した。

-50°C および -20°C で貯蔵した試料の 48 カ月後の玄米発芽率は 100% 近くであり、玄米発芽勢は 48 カ月後も貯蔵開始時の低いままであった。したがって、-50°C および -20°C で貯蔵した 48 カ月後の試料は、休眠性が強く発芽能力もあることがわかった。-50°C および -20°C で貯蔵した試料は、貯蔵温度が低かったために 48 カ月貯蔵後も休眠性が強いままであり、貯蔵中の呼吸や物質代謝が抑えられた状態であったために、自己消耗せずに 4 年にわたり発芽能力（生命力）が保たれたと考える。

-5°C および 5°C で貯蔵した試料の玄米発芽率は

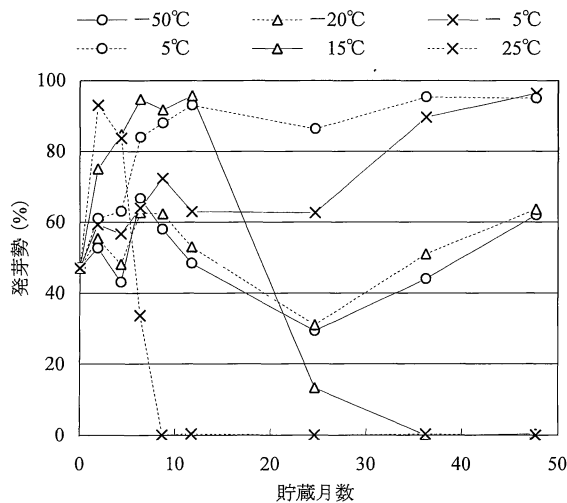


図 4 貯蔵中の玄米発芽勢

Fig. 4 Vigor rate of brown rice during storage

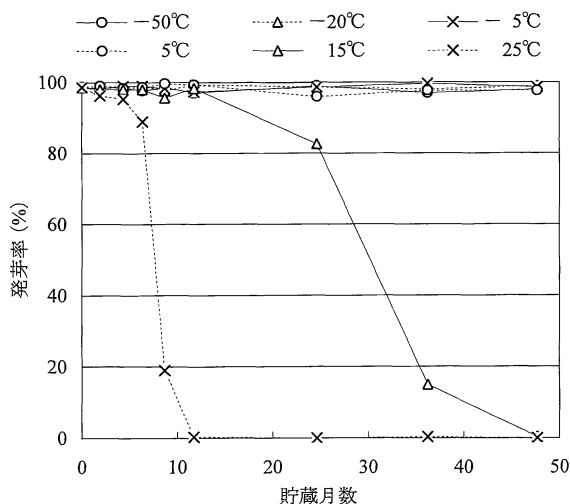


図 5 貯蔵中の玄米発芽率

Fig. 5 Germination rate of brown rice during storage

100% 近くに保たれ、玄米発芽勢は徐々に高くなって 48 カ月後には 95% 以上になった。したがって、 -5°C および 5°C で貯蔵した 48 カ月後の試料は、休眠性が弱いが発芽能力はあることがわかった。すなわち、 -5°C および 5°C で貯蔵した試料は貯蔵中に徐々に休眠性が弱まったものの、発芽能力が失われるまでには至らなかったと考える。玄米発芽勢が高くなり始める時期が 5°C に比べて -5°C の方が遅かったことから、 5°C での貯蔵より -5°C での貯蔵の方が長く休眠性を保ち呼吸や物質代謝を抑えた状態で貯蔵されたと考える。 5°C で貯蔵した試料は発芽勢が 12 カ月後には 90% を超えてそのまま高く保たれたことから、 -5°C 以下で貯蔵した試料に比べると、呼吸や物質代謝が活発であったと考える。したがって、貯蔵温度 5°C では貯蔵期間がさらに長く 4 年以上になった場合に、発芽率の低下や脂肪酸度の増加などの品

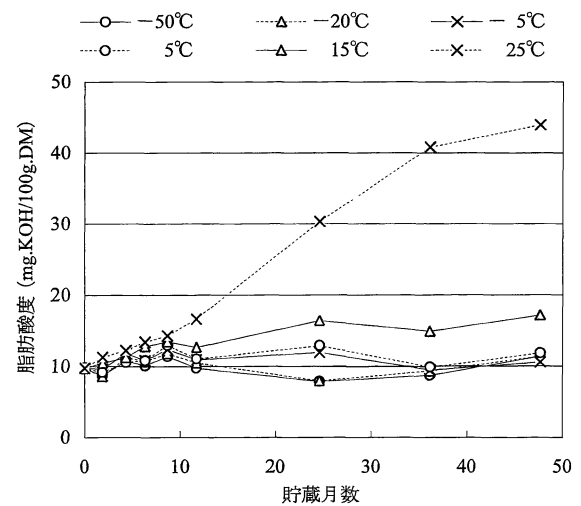


図 6 貯蔵中の玄米脂肪酸度

Fig. 6 Free fat acidity of brown rice during storage

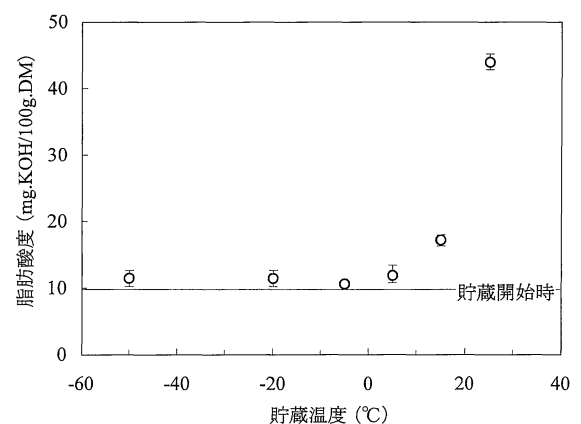


図 7 48 カ月貯蔵後の玄米脂肪酸度

Fig. 7 Free fat acidity of brown rice after 48-month storage

質劣化の傾向が徐々に現れてくると推察する。

15°C で貯蔵した試料の玄米発芽勢は、6 カ月後から 12 カ月後にいったん 90% 以上に上昇した後に、36 カ月後に 0% まで低下した。 25°C で貯蔵した試料の玄米発芽勢は、2 カ月後に 90% 以上に上昇した後に、9 カ月後に 0% まで低下した。 15°C で貯蔵した試料の玄米発芽率は、玄米発芽勢の低下に続いて 12 カ月後以降に低下しはじめ、48 カ月後に 0% になった。同様に、 25°C で貯蔵した試料の玄米発芽率は 6 カ月後に 90% を下回り、12 カ月後に 0% になった。よって、 15°C および 25°C で貯蔵した試料は、貯蔵温度が高かったことにより休眠性が弱まった状態で貯蔵され、貯蔵中に呼吸や物質代謝が活発になり、自己消耗して 15°C では 48 カ月後に、 25°C では 12 カ月後に完全に生命力を失うに至ったと考える。

(5) 玄米脂肪酸度

図 6 に貯蔵中の玄米脂肪酸度を、図 7 に 48 カ月貯蔵

後の玄米脂肪酸度をそれぞれ示した。

5℃以下で貯蔵した試料の玄米脂肪酸度は増加することがなく、貯蔵中の変化もわずかであった。また、5℃以下で貯蔵した試料の48カ月後の玄米脂肪酸度は、貯蔵開始時(9.8mg)および対照試料である2002年産「ほしのゆめ」(11.0mg)と同程度であった。よって、貯蔵温度5℃以下での粳貯蔵では、4年にわたる長期間でも玄米脂肪酸度を増加させないことが明らかになった。また、5℃以下では試料間に玄米脂肪酸度の差が見られなかったことから、5℃以下では玄米脂肪酸度の増加を抑える効果に差がないと考える。

15℃で貯蔵した試料の玄米脂肪酸度は、徐々に増加して48カ月貯蔵後には17.2mgとなり、貯蔵開始時の試料や5℃以下で貯蔵した試料より高くなった。しかし、品質劣化の指標である20mgを超えることはなかった。25℃で貯蔵した試料の玄米脂肪酸度は、12カ月後に16.6mg、24カ月後に30.4mg、36カ月後に40.8mg、48カ月後に43.9mgと大きく増加し、品質劣化の指標である20mgを12カ月後から24カ月後の間に超えた。よっ

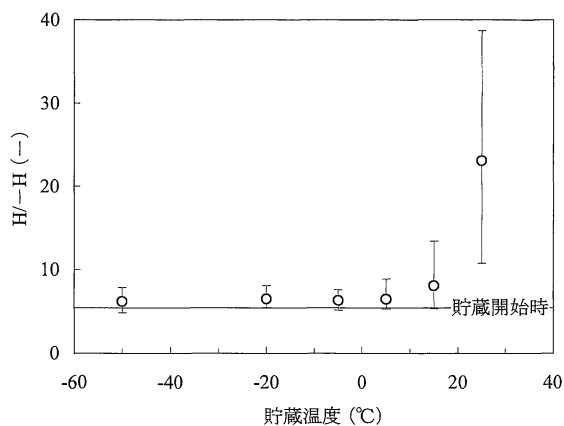


図8 48カ月貯蔵後の玄米テクスチャログラム特性硬さ粘り比(H/-H)

Fig. 8 Hardness-stickiness ratio of cooked rice after 48-month storage

て、貯蔵温度25℃での粳貯蔵では貯蔵期間が1年以上に及ぶと、品質劣化したと判断できる程度に脂肪酸度が増加することがわかった。

(6) 精白米テクスチャログラム特性

図8に48カ月貯蔵後の炊飯米テクスチャログラム特性の硬さ粘り比(H/-H)を示した。

5℃以下で貯蔵した試料のH/-Hは貯蔵中の変化がわずかであり、48カ月後のH/-Hは貯蔵開始時(5.4)および2002年産「ほしのゆめ」(6.7)と同程度であった。よって、貯蔵温度5℃以下では4年にわたる長期間の貯蔵でも炊飯米のテクスチャに変化を与えないことが明らかになった。また、5℃以下では試料間にH/-Hの差が見られなかったことから、5℃以下ではテクスチャの変化を防ぐ効果に差がないと考える。

15℃で貯蔵した試料のH/-Hは、24カ月後以降徐々に増加して、48カ月後には8.0となり、貯蔵開始時や5℃以下で貯蔵した試料より高くなった。25℃で貯蔵した試料のH/-Hは、24カ月後に12.4、36カ月後に15.8、48カ月後に23.1と大きく増加していった。よって、貯蔵温度25℃での粳貯蔵では貯蔵期間が2年以上に及ぶと、炊飯米のテクスチャが著しく悪くなることがわかった。

(7) 食味評価

表3に48カ月貯蔵後の食味を示した。また、図9に48カ月貯蔵後の食味の総合評価を示した。

5℃以下で貯蔵した試料の食味の総合評価は、基準米に用いた2002年産「ほしのゆめ」(基準米であることから総合評価は0.0)とほぼ同じ値であった。よって、5℃以下で粳を貯蔵すると、4年にわたる長期間でも新米と同程度の食味を保持できることがわかった。

15℃および25℃で貯蔵した試料は、5℃以下で貯蔵した試料に比べて精白米外観や炊飯米外観が悪く、香りが劣り、硬くて粘りが少なかった。総合評価の平均値は15℃で貯蔵した試料が-0.95、25℃で貯蔵した試料が-3.57と、基準米や5℃以下で貯蔵した試料に比べて低かった。また、15℃および25℃で貯蔵した試料の総合評価は、母平均の差の検定において、基準米および5℃

表3 48カ月貯蔵後の食味
Table 3 Eating quality after 48-month storage

貯蔵温度 (°C)	精白米 外観	炊飯米				総合評価
	**	外観 **	香り **	硬さ **	粘り **	
-50	0.34	0.56**	0.18	-0.44	0.20	0.11
-20	0.43	0.22	-0.09	0.38	0.04	0.14
-5	-0.11	-0.38	-0.16	-0.02	-0.36	-0.25
5	0.39	0.09	-0.13	-0.27	-0.27	0.00
15	-0.61**	-0.84**	-0.89**	0.13	-0.51*	-0.95**
25	-3.02**	-3.98**	-2.73**	1.70**	-2.20**	-3.57**

評価項目の下の「**」と「*」は、分散分析によりそれぞれ危険率1%または5%でその評価項目において試料間に有意差があることを示す。評価値の右の「**」と「*」は、母平均の差の検定により基準米(2002年産「ほしのゆめ」)に対して、それぞれ危険率1%または5%で有意差があることを示す。

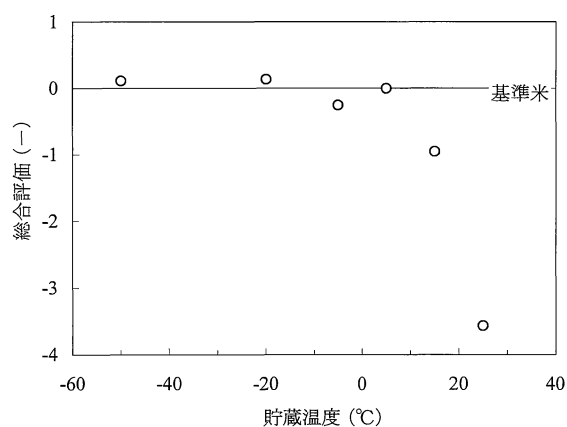


図 9 48 カ月貯蔵後の食味の総合評価

Fig. 9 Overall flavor of cooked rice after 48-month storage

以下で貯蔵した試料に対して危険率 1% で有意差が認められた。よって、15℃および 25℃で 4 年にわたり粳を貯蔵すると、5℃以下で 4 年間貯蔵した試料と比べて食味が顕著に低下することがわかった。

3. 超低温貯蔵による粳の長期品質保持

(1) 超低温貯蔵による粳の品質保持期間

5℃以下で貯蔵した試料は、4 年貯蔵後も貯蔵開始時と同程度の品質に保たれ、食味は新米と同程度であった。したがって、貯蔵温度 5℃以下で粳を貯蔵すると、4 年にわたり貯蔵前の品質を保持できることが明らかになった。また、5℃以下では -50℃、-20℃、-5℃、5℃と貯蔵温度に差があっても 4 年貯蔵後の品質に差が見られなかったことから、4 年までの貯蔵においては 5℃以下であれば貯蔵温度の差により品質保持効果に差が生じないことがわかった。しかし、玄米発芽率の測定結果から、貯蔵期間が 4 年より長くなると、貯蔵温度 5℃において品質劣化が現れてくると予想された。

15℃で貯蔵した試料は、貯蔵開始時の試料や 5℃以下で貯蔵した試料との間に 4 年貯蔵後の玄米発芽率や玄米脂肪酸度、炊飯米テクスチャグラム特性、食味などの測定項目で差があるなど、品質劣化の傾向が認められた。玄米発芽率の低下が 12 カ月後以降に見られたことから、貯蔵温度 15℃での粳貯蔵で貯蔵前の品質を保持できるのは、1 年程度であると考えられる。

25℃で貯蔵した試料は、玄米発芽率が 6 カ月後以降に 90% を下回り、玄米脂肪酸度が 12 カ月後以降に品質劣化の指標である 20 mg を超えた。また、4 年貯蔵後の炊飯米テクスチャグラム特性や食味にも、顕著な品質劣化の傾向が認められた。したがって、貯蔵温度 25℃での粳貯蔵で貯蔵前の品質を保持できるのは 1 年未満であると考えられる。

(2) 超低温貯蔵による粳の長期品質保持の実用化の検討

著者等は、カントリーエレベータのサイロにおいて、冬季の寒冷な外気を通風して貯蔵粳の冷却を行うことにより、粳を超低温貯蔵する実証試験を行った (Takekura et al., 2003 b~d)。その結果、11 月下旬から翌年 8 月中旬までの貯蔵期間中の粳の穀温は、サイロ中心部が最低で約 -2℃、最高で約 9℃、サイロ内壁付近が最低で約 -4℃、最高で約 21℃となった。また、貯蔵粳すべての穀温は 2 月上旬から 3 月下旬までの約 1.5 カ月にわたり氷点下に保たれ、貯蔵期間中の平均穀温は中心部で約 1℃、内壁付近で約 6℃になった。すなわち、サイロ中心部の粳は本試験で -5℃または 5℃で貯蔵した粳と同様な温度環境で貯蔵され、内壁付近の粳の穀温は季節による変化が大きいものの平均では本試験の 5℃貯蔵と同程度であった。

上記の実証試験においてサイロで貯蔵した粳の品質や食味は、対照として行った低温貯蔵 (平均穀温は約 7℃) の粳より高く、-5℃貯蔵 (穀温は -5℃一定) と同等で、貯蔵前と貯蔵後の品質や食味の差も小さかった (Takekura et al., 2003 c)。したがって、実用規模の貯蔵において穀温が一定ではなく季節変動があっても、貯蔵期間中の平均穀温を 5℃以下にすることにより、1 年程度の貯蔵においては新米と同等の品質や食味を保つことが可能であった。また、本試験において 5℃以下で 4 年にわたり貯蔵前の品質や新米と同等の食味を保持できたことから、平均穀温を 5℃以下に保つことにより 1 年以上の長期間の貯蔵においても高品質保持が可能であると考えられる。

現行の実用施設での粳貯蔵においては、貯蔵期間は 1 年以内である。著者等が開発し北海道で普及しているカントリーエレベータでの超低温貯蔵で 1 年以上の貯蔵を行う場合、寒冷外気という自然エネルギーを用いるのみで貯蔵期間中の平均穀温を 5℃以下に抑え、高品質保持が可能であると考えられる。すなわち、カントリーエレベータのサイロに粳を貯蔵し冬季の寒冷外気を用いて通風冷却することで、数年にわたり粳を高品質に保つ備蓄貯蔵を行う技術になると考える。

IV 摘 要

超低温貯蔵の長期間の品質保持効果を確かめるため、粳を 4 年にわたり超低温貯蔵する基礎試験を行った。さらに、超低温貯蔵による粳の長期品質保持の実用化について検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 貯蔵温度 5℃以下での粳貯蔵では、4 年にわたり貯蔵前の品質や新米と同等の食味を保持できた。
- 2) 貯蔵温度 15℃での粳貯蔵で品質や食味を保持できるのは 1 年程度であり、25℃では 1 年未満である。
- 3) カントリーエレベータのサイロに粳を貯蔵し冬季の寒冷外気を用いて通風冷却し、平均穀温を 5℃以下に保つことにより、長期品質保持が可能であることが示唆された。

謝 辞

本研究は、平成13年度～平成15年度科学研究費補助金基盤研究(C)「氷点下の温度を用いた米の長期高品質貯蔵技術の開発」(課題番号:13660252, 研究代表者:川村周三)の補助を得て行った。

References

- Chikubu, S., Iwasaki, T., Horiuchi, H., Tani, T., 1965. Changes of chemical quality in husked rice during low temperature (Part 2). *Journal of Japanese Society of Food and Nutrition*, 18 (3), 204-209.
- Endo, I., Yanase, H., Ishima, T., Chikubu, S., 1980. Texture measurement of a very small amount of cooked rice by texturometer (Part 1). *Report of National Food Research Institute*, 37, 1-8.
- Fukai, Y., Matsuzawa, T., Ishitani, T., 2003. Effects of moisture content and storage temperature of husked rice on taste and changes in physicochemical properties. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, 50 (5), 243-253.
- Inatsu, O., 1988. Studies on improving the eating quality of Hokkaido rice. *Report of Hokkaido Prefectural Agricultural Experiment Station*, 66, 1-89.
- Ishibashi, S., Tanaka, S., 1971. Theory of quality, drying and storage of rice (in Japanese). *Journal of JSAM*, 33 (3), 312-322.
- Itoh, K., Ikeuchi, Y., Matsuda, J., Yoshida, T., 1972. Studies on the drying-storage. *Journal of Hokkaido Branch of JSAM*, 13, 107-112.
- Kawamura, S., 1996. Promise of improving quality of Hokkaido-grown rice. *Journal of Hokkaido Branch of JSAM*, 36, 65-71.
- Kawamura, S., Natsuga, M., Kouno, S., Itoh, K., 1997. Super-low temperature storage for preserving rice quality. *Proceedings of Joint International Conference on Agricultural Engineering & Technology*, Dhaka, Bangladesh, 3, 820-824.
- Miwa, Y., Goto, K., Murase, K., 1993. Studies on paddy storage in country elevator (Part 1). *Journal of the Society of Agricultural Structures, Japan*, 24 (1), 39-44.
- Morishima, H., Tomita, S., Matsuzaki, K., Sakai, N., Hosaka, Y., 1995. Quality characteristics of rough rice stored for extremely long period (in Japanese). Summary of the 1995 Annual Meeting of the Society of Agricultural Structures, Japan, 474-475.
- Seno, T., Sahara, D., Yamaguchi, T., Kohara, S., 1975. Studies on grain storage by steel silo (1). *Journal of the Society of Agricultural Structures, Japan*, 5 (1), 9-22.
- Suzuki, Y., Matsumoto, F., 1971. Storage temperature of rice and eating quality of cooked rice. *Journal of Home Economics of Japan*, 22 (5), 288-295.
- Takekura, K., Kawamura, S., Itoh, K., 2003a. Development of techniques for storing rough rice in cold regions (Part 1). *Journal of JSAM*, 65 (4), 57-64.
- Takekura, K., Kawamura, S., Itoh, K., 2003b. Development of techniques for storing rough rice in cold regions (Part 2). *Journal of JSAM*, 65 (4), 65-70.
- Takekura, K., Kawamura, S., Itoh, K., 2003c. Development of techniques for storing rough rice in cold regions (Part 3). *Journal of JSAM*, 65 (5), 40-47.
- Takekura, K., Kawamura, S., Itoh, K., 2003d. Development of techniques for storing rough rice in cold regions (Part 4). *Journal of JSAM*, 65 (5), 48-54.
- Tani, T., Chikubu, S., Iwasaki, T., 1964. Changes of chemical qualities in husked rice during low temperature storage (Part 1). *Journal of Japanese Society of Food and Nutrition*, 16 (5), 436-442.
- Tsuruta, O., Endo, I., Takahashi, S., Chikubu, S., 1977. Long term storage of rice according to its form. *Report of National Food Research Institute*, 32, 11-20.
- Yamazawa, S., Yoshizaki, S., Maekawa, T., 1971. On the maintenance of rice quality at the low temperature. *Journal of the Society of Agricultural Structures, Japan*, 1 (1-2), 25-28.
- Yoshikura, J., Sawa, M., Nakagawa, K., Fujii, H., 1970. On the physical and chemical properties of rice (1). *Bulletin of the Hyogo Prefectural Agricultural Experiment Station*, 18, 47-50.

(原稿受理: 2003年10月3日・質問期限: 2005年1月31日)

コ メ ン ト

[読者のコメント]

北海道の粳貯蔵施設における米の品質・食味保持のためのポイントを主要技術、貯蔵条件の観点から具体的にコメント戴くと同時に、本研究での粳貯蔵試験（試料；ほしのゆめ, 初期水分；14.6%, 温度条件； -50°C , -20°C ）の品質・食味測定結果から、実験室における理想的な試験条件では、新米並に米の品質が保持されるのがどのくらいの期間と推定されますか。

[コメントに対する著者の見解]

北海道の粳貯蔵施設では、冬季に通風冷却を行って粳の穀温を氷点下に下げ、サイロ外壁の断熱により夏季の穀温上昇を抑えて、品質および食味を保持しています。また、北海道では8月中旬以降は外気温度が低下するため、引き続き貯蔵を行うと再び穀温が低下し、1年以上の長期貯蔵が可能になると考えます。

本試験で 5°C 以下で貯蔵した粳は、4年後も新米と同等の品質でした。しかし、 5°C で貯蔵した粳は発芽勢の高い状態が長く続いていたことから、貯蔵が4年以上に及ぶと徐々に品質低下が起こると推察します。遺伝資源としての種子保存では、 -10°C 以下で100年程度は発芽能力が保持されると予想されています。 -50°C および -20°C で貯蔵した粳は4年貯蔵後も発芽勢が低いままだったので、さらに長期、数十年は新米と同等の品質を保持できる可能性もあると考えます。