

原 著

## 乳酸生成糸状菌 (*Amylomyces rouxii*) 添加ポテトパルプサイレージ 貯蔵中における化学成分および発酵品質の経時的変化

岡田 舞<sup>1</sup>・渡邊 彩<sup>1</sup>・松岡 栄<sup>1</sup>・三浦 俊治<sup>2</sup>  
小田 有二<sup>3</sup>・河合 正人<sup>1</sup>

<sup>1</sup>帯広畜産大学, 帯広市 080-8555

<sup>2</sup>雪印種苗株式会社技術研究所, 江別市 069-0832

<sup>3</sup>北海道農業研究センター, 芽室町 082-0071

### Change in chemical composition and fermentation characteristics of potato pulp silage added the fungus *Amylomyces rouxii* during ensiling process.

Mai OKADA<sup>1</sup>, Aya WATANABE<sup>1</sup>, Sakae MATSUOKA<sup>1</sup>, Toshiharu MIURA<sup>2</sup>,  
Yuuji ODA<sup>3</sup> and Masahito KAWAI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro 080-8555

<sup>2</sup>Snow Brand Seed CO., LTD. Technical Research Institute, Ebetsu 069-0832

<sup>3</sup>National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Memuro 082-0071

キーワード: ポテトパルプサイレージ, 化学成分, 発酵品質, 乳酸生成糸状菌

Key words: Potato pulp silage, Chemical compositions, Fermentation characteristics, *Amylomyces rouxii*

#### Abstract

The change in chemical compositions and fermentation characteristics of potato pulp with *Amylomyces rouxii* (APS) during ensiling were compared to those of potato pulp silage without additive (CPS). *Amylomyces rouxii* was added as a rice malt at the rate of 1% of fresh weight. APS and CPS were ensiled in separate 900 ml silos for 3, 5, 7, 14, 28, 42 and 70 days. There were no differences in the CP content throughout the ensiling period in both silage. NDF and ADF contents decreased by 5 to 7% for 70 day storage in both silage. The starch content on dry matter basis decreased from 62.0% at day 0 to 52.7% and 54.8% at day 70 in APS and CPS, respectively, and the content of APS was lower than that of CPS from day 14 to 70. The pH of APS was lower ( $p < 0.05$ ) than that of CPS throughout the ensiling period. The concentration of lactic acid in APS was higher ( $p < 0.05$ ) than that in CPS from day 3 to 42. *Amylomyces rouxii* promoted the degradation of starch and lactic acid fermentation of potato pulp during ensiling process.

#### 要 約

アミロマイセスを新鮮物重あたり1%添加したポテトパルプサイレージ (APS) の化学成分および発酵品質の経時的変化を無添加ポテトパルプサイレージ (CPS) と比較した。サイロは900 mlビンを用い、3, 5, 7, 14, 28, 42, 70日間貯蔵した。どちらのサイレージも貯蔵期間中のCP含量に大きな変化はなく、NDF

およびADF含量は70日間の貯蔵で5~7%程度の減少がみられた。原料のデンプン含量は乾物中62.0%, 70日目のCPS, APSでそれぞれ乾物中54.8%, 52.7%であり、14日目以降はAPSの方が低く推移した。pHは貯蔵期間を通してAPSの方がCPSより低く推移し ( $p < 0.05$ )、乳酸含量は42日目までAPSにおいて高く推移した ( $p < 0.05$ )。アミロマイセスをポテトパルプに添加することにより、サイレージ貯蔵中におけるデンプンの分解と乳酸発酵が促進された。

受理 2005年1月24日

## 緒 言

北海道では、毎年 100 万 t のバレイショが十数か所の工場でデンプンへと加工されている。このときポテトパルプと呼ばれるイモからデンプンを取り除いた固形物が発生し、その量は年間 10 万 t にも達する。デンプン工場では、周囲に対する悪臭といかに処理するかという問題を抱えており、ポテトパルプの大半は焼却、または埋め立てられているのが現状である。一方、ポテトパルプ中には未抽出のデンプンが多く含まれ、生産後間もないポテトパルプの TDN 含量はビートパルプに比べ高かったという報告があり (橋爪ら, 1974)、家畜の飼料として有効利用できると考えられる。しかし排出直後の嗜好性が劣り、夏季は、水分が非常に多いために腐りやすく長期保存しにくいなどの点から十分に活用されていない (三浦ら, 2002)。そこで飼料としてポテトパルプの利用を考える場合、まずその貯蔵性を高めることが重要となる。

ポテトパルプを貯蔵する方法の一つとしてサイレージ化が考えられる。しかし、ポテトパルプ中のデンプンは堅い細胞壁内部に存在しており、生デンプン分解性を備えた乳酸菌でも容易に利用できる状態ではない。また原料をそのままサイレージ化すると発酵期間が長くなり、秋に調製した場合には冬季には凍結し、給与が困難になる (三浦ら, 2002)。一方、乳酸を生成する糸状菌がポテトパルプ中のデンプンを素早く分解して乳酸を生成することが報告されており (小田ら, 2001)、ポテトパルプ添加剤としての利用が可能であると考えられる。しかし乳酸生成糸状菌の添加がポテトパルプサイレージの発酵品質やサイレージ貯蔵中の発酵様相に及ぼす影響については明らかではない。そこで本実験では、ポテトパルプへの乳酸生成糸状菌添加がサイレージ発酵過程における化学成分および発酵品質の経時変化に及ぼす影響について検討した。

## 材料および方法

平成 15 年 9 月 11 日にデンプン工場から排出されたポテトパルプを圧搾機で脱水処理し、約 50 kg を原料として採取した。分析用の原料サンプルを採取した後、これを 2 等分し、一方は原料のまま (CPS)、一方には乳酸生成糸状菌である *Amylomyces rouxii* CBS 438.76 を麹としてポテトパルプ新鮮物重量に対し 1% 添加し (APS)、900 ml ビンに約 1 kg ずつ詰め込んで暗所に保存した。麹は滅菌した小麦ふすまに *A. rouxii* を接種後、室温 25 度で 4 日間培養して調製した。詰め込み後 3, 5, 7, 14, 28, 42 および 70 日目に CPS, APS をそれぞれ 3 つずつ開封した。原料および開封した CPS と APS は、分析に供するまで冷凍保存した。

原料および各サイレージの水分含量は 30 時間の凍

結乾燥法、粗灰分 (Ash)、粗タンパク質 (CP) および粗脂肪 (EE) 含量は常法 (阿部, 2001) により測定した。中性デタージェント繊維 (NDF) および酸性デタージェント繊維 (ADF) 含量は GOERING and VAN SOEST (1970) の方法に従って測定した。総エネルギー (GE) 含量は熱研式ボンブカロリメーター (島津製作所; CA-4P) を用いて測定した。ペクチン含量は TAYLOR and BUCHANAN-SMITH (1992) の方法を用いて比色検定した。デンプンおよび総繊維含量は酵素分析を利用した簡易定量法 (阿部, 1988) で分析した。また可溶性炭水化物 (WSC) 含量は、 $100 - (CP + EE + Ash + \text{デンプン} + \text{総繊維})$  として算出した。サイレージの発酵品質において、pH はガラス電極メーター (HITACHI; HORIBA F-7AD)、VFA 含量はガスクロマトグラフィー (島津製作所; GC-14A) を用いて測定した。乳酸含量は BARKER and SUMMERSON (1961) の方法、アンモニア態窒素 ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) 含量は CONWAY and O' MALLEY (1942) の微量拡散法により測定した。

## 結果および考察

### 1. 化学成分組成の経時変化

原料と 70 日間貯蔵した CPS および APS の化学成分を表 1 に示した。原料のポテトパルプは、排出直後に脱水処理を行なったものの、水分含量は 80% と比較的高かった。CP 含量は乾物中 4.9% であり、NDF、デンプン、WSC 含量はそれぞれ乾物中 21.3%、62.0%、4.7% であった。本実験で供試した原料の水分、CP、EE および有機物 (OM) 含量は日本標準飼料成分表 (2001) に記載されているデンプン粕 (バレイショ・生) とほぼ同程度であった。サイレージの水分含量は 80% 前後、CP 含量は 5% 前後であり、70 日間貯蔵してサイレージ化しても、両者ともに原料と大きな違いはみられず、NDF、ADF など繊維成分含量は CPS と APS 間に有意な差はなかった。一方、原料と比較するとサイレージは 5~7% 程度低く、またペクチン含量も約 22% 低かった ( $p < 0.05$ )。APS のデンプン含量は原料より 15% ( $p < 0.05$ )、CPS より 2% 低かった ( $p < 0.05$ )。逆に WSC 含量は 70 日間の貯蔵で原料より CPS、APS でそれぞれ 228、260% も高く、APS においてより高い傾向がみられた。

ポテトパルプ貯蔵期間中における化学成分の経時変化を図 1 に示した。水分は 80%、乾物中の OM、EE 含量はそれぞれ 98%、0.4% 前後で貯蔵期間中はほぼ一定で推移し、またサイレージ間にも差はみられなかった。CP 含量は APS においてアミロマイセスを麹として添加した分 CPS より高かったが ( $p < 0.05$ )、どちらもほぼ一定で推移した。NDF および ADF 含量の変化はサイレージ間で大きな差はなく、どちらも緩やかに減少した。また GE 含量にも大きな変化はなく、乾物 1

Table 1 Chemical composition and gross energy of material potato pulp and potato pulp silage ensiled for 70 days.

|                                  | Material          | CPS               | APS               |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Moisture (%)                     | 80.5 <sup>a</sup> | 80.3 <sup>a</sup> | 79.7 <sup>b</sup> |
| Organic matter (%DM)             | 98.4              | 98.3              | 98.3              |
| Crude protein (%DM)              | 4.9 <sup>b</sup>  | 4.9 <sup>b</sup>  | 5.3 <sup>a</sup>  |
| Ether extract (%DM)              | 0.5               | 0.4               | 0.4               |
| Neutral detergent fiber (%DM)    | 21.3 <sup>a</sup> | 20.1 <sup>b</sup> | 20.2 <sup>b</sup> |
| Acid detergent fiber (%DM)       | 20.7 <sup>a</sup> | 19.2 <sup>b</sup> | 19.4 <sup>b</sup> |
| Pectin (%DM)                     | 12.5 <sup>a</sup> | 9.8 <sup>b</sup>  | 9.5 <sup>b</sup>  |
| Starch (%DM)                     | 62.0 <sup>a</sup> | 54.8 <sup>b</sup> | 52.7 <sup>c</sup> |
| Water soluble carbohydrate (%DM) | 4.7 <sup>b</sup>  | 15.4 <sup>a</sup> | 16.9 <sup>a</sup> |
| Gross energy (MJ/kgDM)           | 16.9              | 16.9              | 16.9              |

CPS; Potato pulp silage without additive., APS; Potato pulp silage added 1% *A. rouxii* as rice malt.

<sup>a,b,c</sup> Means within row followed by different letters are different ( $p < 0.05$ ).

kgあたり約16.9 MJで推移した。

サイレージ貯蔵期間中におけるペクチン、デンプンおよびWSC含量の経時的变化を図2に示した。ペクチン含量はCPS, APSともに貯蔵後3日目で、原料に対し約13%の急激な減少がみられた。また貯蔵後7日目までのペクチン含量はサイレージ間に有意な差はみられなかったが、14日目以降はAPSにおいて低く推移する傾向にあった。デンプン含量もCPS, APSともに貯蔵直後から減少し、14日目以降はAPSの方がCPSより低く推移した ( $p < 0.05$ )。ペクチンには水溶性、一部水溶性、難溶性の種類が存在することが知られている (ALKORTA *et al.*, 1998; KASHYAP *et al.*, 2001)。貯蔵7日目までの発酵初期段階ではまず水溶性ペクチンが分解されたため、サイレージ間に差はみられなかったが、乳酸生成系状菌はペクチン分解酵素を有しており (小田ら, 2002)、14日目以降はAPSにおいて難溶性ペクチンの分解が促進されたと考えられる。またこのペクチン分解酵素が、細胞同士を引き裂がすと同時に細胞壁を溶解させ、乳酸発酵の基質となるデンプンを露出させる可能性があることも報告されており (小田ら, 2002)、APSにおいてよりデンプンの分解を促進したと推察される。

WSC含量はサイレージ貯蔵期間中緩やかに増加し、APSでより高く推移する傾向にあった。一般的な牧草サイレージでは、乳酸菌などの微生物がWSCを利用するためサイレージ発酵過程で分解、消失する (増子, 1984)。WSC含量が本実験において減少しないのは、乳酸生成に消費される以上に、ペクチンやデンプンが分解されWSCが供給されているからではないかと考えられる。

## 2. 発酵品質の経時的变化

原料と70日間貯蔵したCPSおよびAPSの発酵品質を表2に示した。pHはCPS, APSともに4以下で

あったが、APSの方がCPSより低かった ( $p < 0.05$ )。乳酸含量はサイレージ間に有意な差はみられず、どちらも乾物中に4%以下であった。VFAではいずれのサイレージも酢酸のみが検出され、プロピオン酸および酪酸は検出されなかった。またNH<sub>3</sub>-N含量は4%未満と比較的低い値であった。サイレージ中のNH<sub>3</sub>-NおよびVFA含量を用いて発酵品質を評価するVスコア (柁木, 1994)は、CPS, APSともに100点であり、どちらも発酵品質は良好だったといえる。

ポテトパルプ貯蔵期間中における発酵品質の経時的变化を図3に示した。pHは貯蔵直後から急激な低下がみられ、CPSでは7日目に3.84と4以下にまで低下した。一方APSでは、3日目で4以下まで低下しており、70日目までの貯蔵期間を通してAPSの方がCPSより低く推移した ( $p < 0.05$ )。乳酸含量は、CPS, APSともに14日目まで急激に増加したが、APSの方が高く推移した ( $p < 0.05$ )。その後CPSでは70日目まで乳酸含量が漸増したのに対し、APSでは42日目以降の増加がみられなかった。酢酸含量の経時的变化にはCPSとAPSの間で大きな差はなく、どちらも14

Table 2 Fermentation characteristics of potato pulp silage ensiled for 70 days.

|                           | CPS               | APS               |
|---------------------------|-------------------|-------------------|
| pH                        | 3.41 <sup>a</sup> | 3.36 <sup>b</sup> |
| Lactic acid (%DM)         | 3.62              | 3.57              |
| Volatile Fatty Acid (%DM) |                   |                   |
| Acetic acid               | 0.82              | 0.78              |
| Propionic acid            | —                 | —                 |
| Butyric acid              | —                 | —                 |
| Ammonia N (%total-N)      | 3.33              | 3.81              |
| V-score                   | 100               | 100               |

CPS; Potato pulp silage without additive., APS; Potato pulp silage added 1% *A. rouxii* as rice malt.

<sup>a,b</sup> Means within row followed by different letters are different ( $p < 0.05$ ).

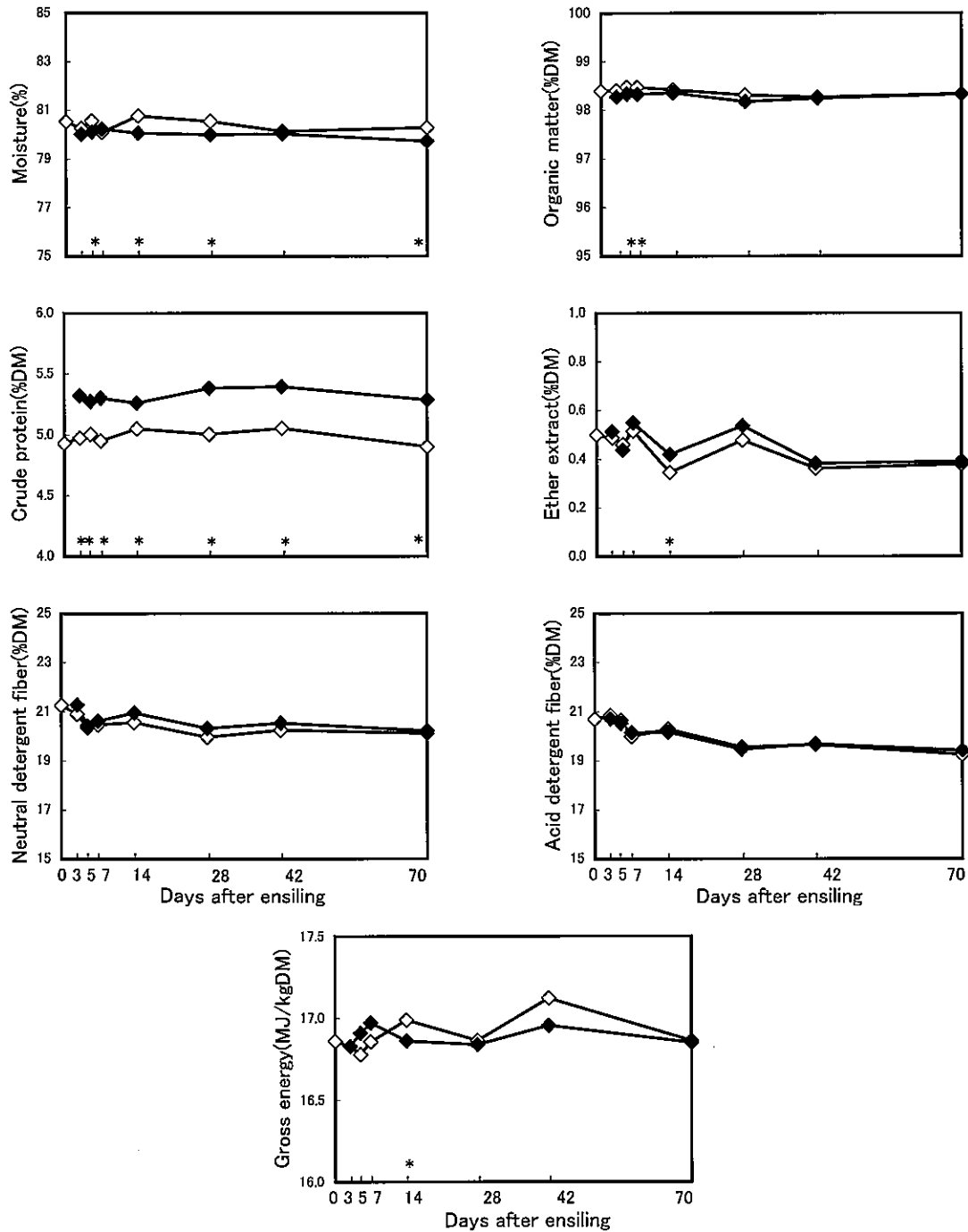


Figure 1 Change in chemical composition of potato pulp silage during ensiling for 70 days. CPS(◇); Potato pulp silage without additive., APS(◆); Potato pulp silage added 1% *A. rouxii* as rice malt. \* means significant difference ( $p < 0.05$ ) between CPS and APS.

日目までの増加が大きくその後70日目まで緩やかに増加した。NH<sub>3</sub>-N含量もCPS, APSともに14日目までの増加が大きく、その後APSにおいて高い値で推移する傾向にあったが、全窒素中4%未満と比較的低い値だった。

ポテトパルプは緩衝能が低く、少量の生成した乳酸でpHが下がりやすいため(大西と木下, 2002), APSよりも乳酸含量が低かったCPSでもpHは比較的早

く低下した。一方APSでは乳酸生成糸状菌のペクチン分解酵素により、ペクチンおよびデンプンの分解が促進され、WSCの増加も大きかった。増加したWSCが効率的に乳酸発酵に利用された結果、発酵初期の乳酸生成速度がCPSより速く、乳酸含量はより増加し、またpHが早く低下したと考えられる。さらにAPSでは42日目以降は乳酸、VFA、NH<sub>3</sub>-N含量の増加がほとんどなく、サイレージ発酵もまた早く終了するこ

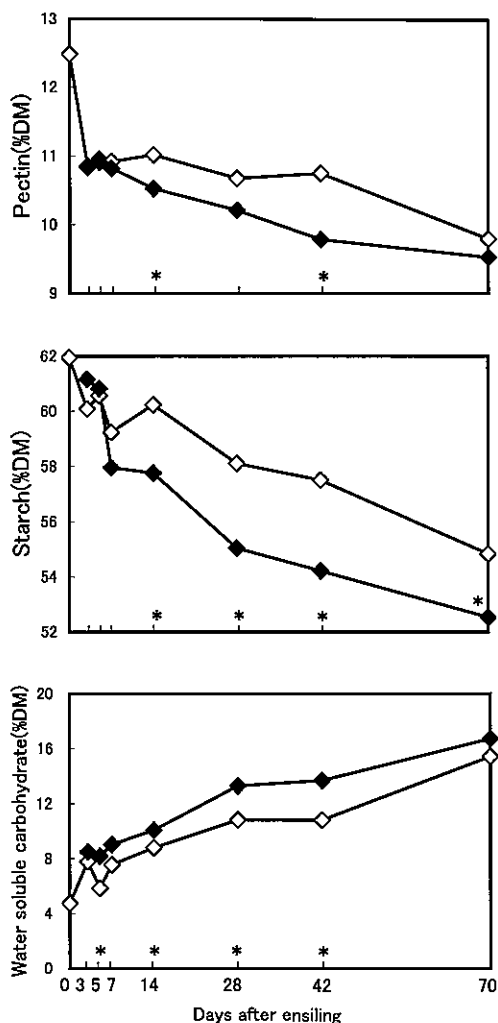


Figure 2 Change in non-fibrous carbohydrates of potato pulp silage during ensiling for 70 days. CPS(◇); Potato pulp silage without additive., APS(◆); Potato pulp silage added 1% *A. rouxii* as rice malt. \* means significant difference ( $p < 0.05$ ) between CPS and APS.

とが明らかとなった。

以上より、ポテトパルプに乳酸生成糸状菌を添加することにより、サイレージ貯蔵中のペクチンとデンプンの分解および乳酸発酵が促進され、またサイレージ発酵品質も早く安定することから、サイレージの早期利用が可能であると考えられる。

一方でWSC含量が高いことから、開封時の乳牛への嗜好性が高まるが、好気的変敗が促進される可能性があるため、開封後の管理方法を考慮すべきであろう。また窒素源としての分解性タンパク質含量の高い添加剤を乳酸生成糸状菌と併用し、ポテトパルプサイレージのCP含量を高めつつ、乳酸発酵をより促進できる可能性も考えられ、今後検討する必要があるだろう。

## 謝 辞

本実験の遂行にあたり、ポテトパルプを提供していただいた河西郡更別村の神野でんぷん工場(株)神野正博氏に謝意を表します。

## 文 献

- 阿部 亮 (2001) 第20章 栄養実験のための分析法 新編動物栄養試験法 第1版 石橋晃監修: 458-462, 462-464, 466.
- ALKORTA, I., C. GARBISU, M. J. LLAMA and J. L. SERRA (1998) Industrial applications of pectin enzymes. A review. *Proc. Biochem.*, **33**: 21-28.
- BARKER, S. B. and W. H. SUMMERSON (1961) The colorimetric determination of lactic acid in biological material. *J. Biol. Chem.*, **138**: 535-554.
- CONWAY, E. J. and E. O' MALLEY (1942) Micro diffusion method: ammonia and urea using buffered absorber (revised method for range greater than  $10\mu\text{N}$ ). *J. Biol. Chem.*, **36**: 661-665.
- GOERING, H. K. and P. J. VAN SOEST (1970) Forage fiber analyses. United States Department of Agriculture. *Agriculture Handbook.*, **379**: Washington, DC.
- 橋爪徳三・藤田 裕・松岡 栄・市川淳治・石井一良 (1974) バレイショ生でんぷん粕の飼料価値と貯蔵中の品質変化 帯広畜産大学学術研究報告 **8**: 595-604.
- KASHYAP, D. R., P. K. VOHRA, S. CHOPRA and R. TEWARI (2001) Application of pectinases in the commercial sector A review. *Biores. Technol.*, **77**: 215-227.
- 榎木茂彦 (1994) 粗飼料の品質評価ガイドブック 日本草地協会 東京.
- 増子孝義 (1994) サイレージの科学 第1版 24-26 デーリィ・ジャパン社 東京.
- 三浦俊治・北村 亨・篠田英史・田中秀俊・山下征夫 (2002) 乳酸生成糸状菌を利用したサイレージの調製試験 乳酸生成糸状菌による農産物加工副産物利用技術の開発 平成14年度研究成果報告書 78-92. 農業技術研究機構 (2001) 日本標準飼料成分表 第2版 74-75 中央畜産会 東京.
- 小田有二・斎藤勝一・山内宏昭・森元 幸 (2001) 乳酸生成糸状菌に関する基盤研究 乳酸生成糸状菌による農産物加工副産物利用技術の開発 平成13年度研究成果報告書 34-43.
- 小田有二・斎藤勝一・山内宏昭・森元 幸 (2002) 乳酸生成糸状菌に関する基盤研究 乳酸生成糸状菌による農産物加工副産物利用技術の開発 平成14年

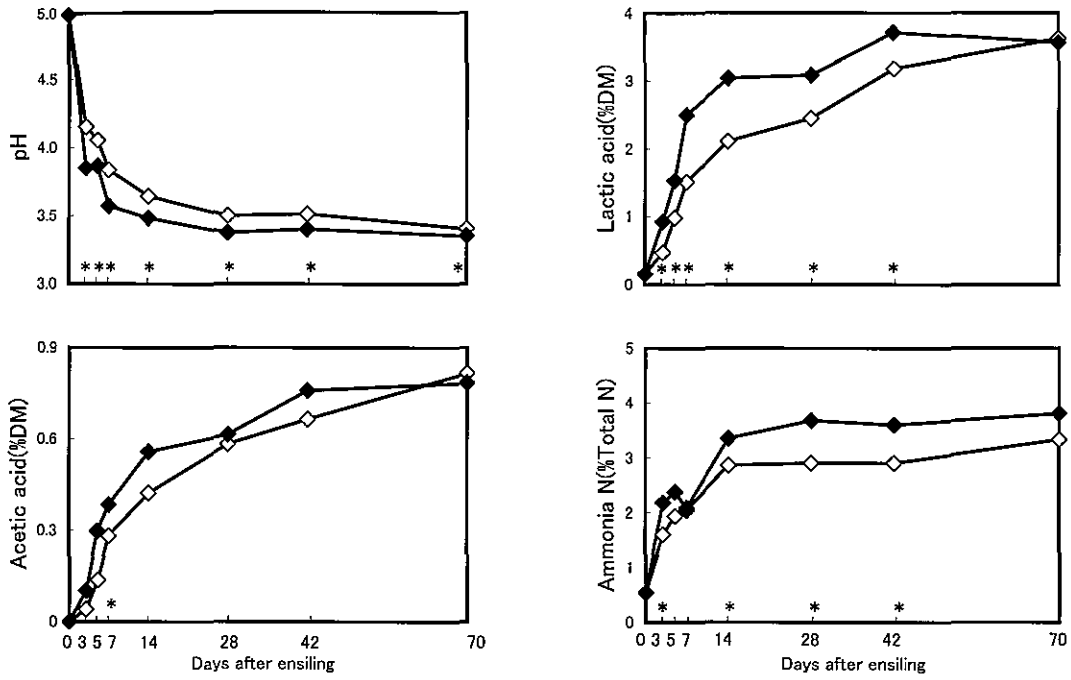


Figure 3 Change in fermentation characteristics of potato pulp silage during ensiling for 70 days. CPS(◇); Potato pulp silage without additive., APS(◆); Potato pulp silage added 1% *A. rouxii* as rice malt. \* means significant difference ( $p < 0.05$ ) between CPS and APS.

度研究成果報告書 42-65.

大西正男・木下幹朗 (2002) 乳酸生成糸状菌の脂質成分に関する研究 乳酸生成糸状菌による農産物加工副産物利用技術の開発 平成14年度研究成果報告書 68-76.

TAYLOR K. A. and J. K. BUCHANAN-SMITH (1992) A colorimetric method for the quantitation of

uronic acids and a specific assay for galacturonic acids. *Analytical Biochem.*, **201**: 190-196.

山崎 信 (2000) 未利用有機物資源の飼料利用ハンドブック 飼養試験からみた家畜への食品製造副産物・都市厨芥の給与法の項執筆 阿部 亮・吉田宣夫・今井明夫・山本英雄編 309-311 株式会社サイエンスフォーラム 東京.