

**地域未利用資源活用による
環境配慮型養豚技術の確立に関する研究**

**Studies on environmental-conscious pork production
using local by-products**

本多 昭幸

Akiyuki HONDA

2013

目次

第1章 緒論	-----	1
第2章 長崎県内で排出される地域未利用資源の飼料調製法の検討		
第1節 シロップ廃液を活用したリキッド飼料の給与が肥育豚の産肉性および血清成分に及ぼす影響		
1. 緒言	-----	9
2. 材料および方法	-----	11
3. 結果	-----	16
4. 考察	-----	20
5. 摘要	-----	27
第2節 規格外バレイシヨのサイレージ調製条件が発酵品質に及ぼす影響		
1. 緒言	-----	28
2. 材料および方法	-----	29
3. 結果	-----	35
4. 考察	-----	37
5. 摘要	-----	43
第3章 バレイシヨ澱粉を配合した低タンパク質飼料の給与が肥育豚の窒素排泄量およびアンモニア揮散量に及ぼす影響		
1. 緒言	-----	45
2. 材料および方法	-----	46
3. 結果	-----	54
4. 考察	-----	60
5. 摘要	-----	64

第4章 地域未利用資源を組み合わせた環境配慮型飼養管理技術の検討

第1節 シロップ廃液および規格外バレイショサイレージを配合した低タンパク質飼料の給与が肥育豚の窒素排泄量およびアンモニア揮散量に及ぼす影響

1. 緒言	-----	66
2. 材料および方法	-----	68
3. 結果	-----	73
4. 考察	-----	77
5. 摘要	-----	82

第2節 シロップ廃液および規格外バレイショサイレージを配合した低タンパク質飼料の給与が肥育豚の血液性状，産肉性および肉質に及ぼす影響

1. 緒言	-----	83
2. 材料および方法	-----	85
3. 結果	-----	92
4. 考察	-----	100
5. 摘要	-----	107

第5章 総合考察 ----- 109

総括 ----- 119

Summary ----- 121

謝辞 ----- 123

引用文献 ----- 124

第 1 章 緒論

経済のグローバル化が進展する中、世界の食料事情が大きく変化してきている。中国をはじめとした新興国では、急激な経済成長とともに食生活の改善が図られ、特に畜産物や油脂などの消費が拡大している。また、20 世紀は人口爆発の時代と言われたが、この人口増加は今後も継続し、現在の世界人口が約 70 億人に対して 2050 年には 90 億人に達すると予測されており (United Nations Population Division 2010)、世界の食肉消費量は現在より 73% 近く上昇すると見込まれている (FAO 2011)。これら畜産物に対する需要の拡大はすでに、家畜飼料に欠かせないトウモロコシなどの価格の高騰として影響しはじめている。また、海外でこれまで飼料原料向けに栽培されてきたトウモロコシが近年、新たに石油代替エネルギーとしてのバイオエタノール原料に対する需要が増す中、飼料需要と競合する形で国際穀物価格の高騰に拍車をかけている (上田 2011)。さらに、地球温暖化やそれに伴う異常気象などは世界の穀倉地帯における生産量の変動リスクとして顕在しており、今後益々世界の食料需給は逼迫することが予想される。

飼料穀物の多くを輸入に依存してきたわが国の畜産業にとって、この国際穀物価格の高騰は生産費の大部分を占める飼料費の上昇として経営を圧迫している。わが国でも今日の新興国と同様に、戦後復興から高度成長を遂げる過程において畜産物の需要が増す中、供給量を補うために畜産業の着実な規模拡大が進行した。しかし、その背景には大量かつ安価に入手が可能で、集約的な管理に適した輸入穀物の存在が大きかった。その結果、畜産物生産に係る濃厚飼料

自給率は急激に低下し、10%前後の危機的水準で推移することとなった（農林水産省 2012a）。このことは、先進国において最低水準に位置するわが国の食料自給率に大きく影響しており、食料安全保障の観点からも早急な改善が求められている。平成 22 年 3 月に閣議決定された「食料・農業・農村基本計画」（農林水産省 2010a）では、平成 32 年のカロリーベースの食料自給率を現在の 40% から 50% まで引き上げる方針が示された。この内、濃厚飼料自給率の向上に向けては、食品残さの飼料利用を積極的に推進しており、その利用供給体制の構築に向けた取り組みが全国各地で進められている（配合飼料安定機構 2009）。

一方、環境問題に対する消費者の意識の高まりとともに、環境への負荷が少ない循環型社会の構築が求められている。平成 13 年には「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律（食品リサイクル法）」が施行され、食品関連事業者には食品廃棄物を、発生抑制とあわせて、飼料や肥料等の原材料として再生利用することが義務づけられた。このような社会的背景が食品循環資源のカスケード利用の観点において、より上位に位置する飼料化への取り組みを更に加速させている。食品残さの飼料利用に向けては、それらの飼料栄養成分の評価（佐伯ら 2001, 2004；丹羽ら 2003）や家畜への給与技術（三津本ら 2006；井尻ら 2007；大口ら 2007；大森ら 2007）に関する研究が近年盛んに行われている。また、食品残さ飼料の利用促進に向けての利用者のモチベーションとして、現在の濃厚飼料給与体系と比較した際の優位性が重要と考えられることから、飼料費の低減（鈴木と内田 2004）、畜産物の高品質化（入江 2007）、環境影響への評価（荻野 2007）やそれらをもとにした経営戦略（淡路 2007）などの検討も行われている。しかしながら、これらの多くは比較的水分含量が低く、乾燥処理が

容易で飼料として利用しやすい製造粕類が中心である。これに対して、水分含量の高い食品製造副産物や、排出量が年間を通して不安定な農業副産物などの多くは、現在も未利用のまま廃棄処分されている。

国内のフルーツゼリー市場でトップシェアを誇る長崎県内の食品工場からは、果肉入りゼリーの製造過程において缶詰シロップ廃液（シロップ廃液）が年間約 4,000 t 排出されている。このシロップ廃液は高い糖含量を有することから、有効な飼料資源になり得ると考えられるが、水分含量が高く、常温では腐敗が進行しやすいため、再利用が難しい食品残さの一つとされる。また、長崎県におけるバレイショの生産量は全国 2 位と多いが、その流通過程で傷、過大・過小などの理由により、生産量の約 14% に当たる年間 15,098t もの規格外品が排出されている（長崎県 2005）。バレイショは以前から飼料原料として養豚生産に利用されてきた（森本 1985）が、シロップ廃液と同様に水分含量が高く、保存や給与の面で多頭飼育に適さないため、輸入穀物を中心とした配合飼料が普及するに従って利用されなくなった。近年、食品残さの飼料としての利用価値が再検討される中で、嶋澤ら（2007）は高品質な地域特産畜産物の生産に規格外バレイショの飼料利用の可能性を示しているが、サイレージでの給与を前提としているため規模拡大が進む養豚農家での利用が難しく、一部の零細な生産者による利用に限られている。このため、規格外バレイショの多くが現在も堆肥化や産業廃棄物として処理されている。

このような低・未利用の食品残さを現在の飼養管理技術に応用していくことが、今後の飼料自給率の向上に向けて重要な課題となる。そのためには、規模拡大が進む養豚場でも利用可能な食品残さの貯蔵から給与に係る一連の技術体

系の確立が求められる。食品残さの飼料化技術として大きく分類すると乾燥法、サイレージ法およびリキッド法があり、利用する残さの種類と利用する畜産農家の飼料給与方法に適した方法を選択する必要がある（川島 2007）。高水分の食品残さを飼料として利用する場合、現在主流の乾燥飼料を前提とした給与体系では、それらの乾燥に係るコストや化石燃料の利用に伴う環境負荷などを考慮するとメリットは少ない。一方、ヨーロッパでは自給のソフトグレインや高水分の食品製造副産物を飼料利用する方法として、近年、リキッドフィーディングによる養豚経営が行われており（畜産技術協会 2011）、わが国でも、特に焼酎製造が盛んな南九州地方において焼酎粕の利用を中心に導入されはじめている（川井田ら 1992；渡邊ら 2008）。水分含量の高い飼料原料を高水分の養豚用飼料として栄養設計を行い、自動給与が可能なリキッド法はシロップ廃液および規格外バレイシヨを飼料利用する際にも有効と考えられるが、同様の方法でブタに給与した報告は見当たらない。

他方、規模拡大が著しい養豚生産者における経営の持続的な発展には、周辺地域の住環境に配慮した経営が求められている。畜産経営に起因する苦情の発生において、近年では総発生件数はほぼ横ばい傾向で推移しているものの、依然として悪臭および水質汚濁に関連するものが高割合で発生している（農林水産省 2012b）。農家戸数の減少を加味すると、戸数当たりの件数はむしろ上昇しており（羽賀 1998）、農村と都市部の混住化が進行する地域や、畜産経営の規模拡大に伴い局所的に環境負荷が増大する地域などではより深刻な問題となっている。このような中、平成 16 年に「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律（家畜排せつ物法）」が施行され、畜産農家では糞尿処理に

係る施設を整備し，その適正な運用が図られている．

豚舎から発生する臭気のほとんどはブタから排泄された糞尿に由来する．臭気の中でもアンモニアは発生量が多く，特に開放型豚舎では周辺地域に拡散しやすいことから苦情の原因になりやすい．アンモニアの発生は糞尿中の窒素含量に大きく影響される（山本ら 2003a）ため，糞尿への窒素排泄量の低減が豚舎からの臭気低減に有効であると考えられる．斎藤（2001）は，豚肉の生産過程における窒素排泄量の低減には飼料中のタンパク質含量を低くすること（低 CP 飼料）が有効であると述べている．さらに，近年では，食物繊維である非澱粉多糖類（NSP）含量の高いビートパルプやリンゴジュース粕など，これまで養豚用飼料としては栄養価値が低かった製造粕類を低 CP 飼料の原料に用いることで，アンモニア揮散量を低減する方法が提案されている（Canh ら 1998；Yamamoto ら 2002a, b；山本ら 2003b）．一方，バレイシヨの主成分である澱粉は，他の澱粉と比較して胃や小腸で消化されにくいレジスタントスターチ（RS）の割合が高いことが知られている（Weurding ら 2001）．この RS は NSP と類似した消化特性を有するため，養豚用の飼料原料に供することで同様のアンモニアの発生に対する抑制効果が期待されるが，バレイシヨ澱粉を肥育豚用の飼料原料に利用した研究は少なく（Martinez-Puig ら 2003），環境負荷物質の低減を目的として規格外バレイシヨを飼料原料に応用した研究は見当たらない．

食品残さの飼料利用は飼料自給率の向上や資源循環などの大局的な立場から有効であることに違いないが，最終的にはそれらの利用が養豚生産者の経営メリットとして判断される場合にのみ採用される．豚枝肉の格付けにおいて，脂肪厚とともに脂肪の質は評価の際の重要な項目であるが，脂質含量の多い食

品残さや過酸化脂質を多く含む脂質残さを多給すると、流通や加工に適さない軟脂豚や風味が悪い黄豚などの発生が懸念される。かつて多数存在していたいわゆる「残飯養豚」では、飼料費を安く抑えられる反面、生産された豚肉の品質低下が顕著であったため市場価値を有さず、次第に衰退していった経緯がある。これに対し、シロップ廃液に含まれる糖やバレイシヨに含まれる澱粉などの炭水化物は生体内で飽和脂肪酸優勢の体脂肪に変換され、脂肪を硬くする(農業・生物系特定産業技術研究機構 2005)ことから、軟脂豚の発生防止や利用法によっては脂肪質を改善する働きが期待される。また、最近では食品残さを飼料に利用することで、ロース内脂肪含量に富む「霜降り豚肉」として、通常の豚肉よりも高品質な豚肉の生産が可能なこと(岩本ら 2004; 家入ら 2007; 王ら 2008)や、残さを主体とした飼料により生産された豚肉の食味が一般的な豚肉よりも高く評価され(嶋澤ら 2007)、多くの消費者に支持されていること(Sasakiら 2007)なども示されており、食品残さの利点を活かした飼料を利用することで、これまでのトウモロコシ主体の飼料で生産されてきたものとは異なる特徴を有する養豚の展開が期待される。

以上のことを背景として、本研究では長崎県内で大量に発生する低・未利用の食品製造副産物および農業副産物に焦点を絞り、大型養豚場でのリキッドフィーディング利用を想定したこれらの貯蔵から給与に係る技術の確立を目的に調査を行い、環境に配慮した食品循環資源の高度利用技術について検討した。

まず、第2章では長崎県内で排出される地域未利用資源として、食品製造副産物のシロップ廃液および農業副産物である規格外バレイシヨの2種類を取り上げた。これらは、いずれも飼料価値が高いにも関わらず、貯蔵や給与の面で

大型養豚場での飼料利用が困難なため廃棄されてきたものである。そこで、第1節ではシロップ廃液の簡易貯蔵技術の検討とともに、リキッドフィーディング用の飼料原料として栄養調整を行い、長期間給与した場合の肥育豚の生産性および健康状態について調査し、その飼料資源としての価値を評価した。また、第2節では規格外バレイシヨの貯蔵方法について、バンカーサイロを用いた簡易かつ省力的なサイレージ調製のための発酵条件の検討と調製したサイレージの発酵品質および飼料栄養成分の変動について調査した。

第3章では、バレイシヨに含まれる澱粉の飼料特性を評価するため、肥育豚の栄養制御により生産過程で排出される環境負荷物質の低減を試みた。難消化特性を有するバレイシヨ生澱粉を主原料に、通常より粗タンパク質含量を低く調整した飼料を肥育豚に給与する窒素出納試験を行い、糞尿への窒素排泄量および糞尿混合物からのアンモニア揮散量の調査を行った。また、同飼料が一般的な飼養環境下において臭気低減効果としてどの程度寄与するかについても同時に検討した。

第4章では、飼料自給率の向上を目的に、第2章で示したシロップ廃液および規格外バレイシヨサイレージの地域未利用資源を主原料にリキッド飼料を調製した。その際、飼料の粗タンパク質含量が一般的な肥育飼料より低くなるように栄養調整して肥育豚に給与することで、環境に配慮した豚肉生産の可能性について検討を行った。この内、第1節ではバレイシヨ生澱粉の飼料特性を実際の規格外バレイシヨに応用した場合の環境負荷物質の低減効果を確認するため、第3章と同様に窒素出納試験による糞尿への窒素排泄量および糞尿からのアンモニア揮散量を調査した。さらに第2節では、第1節で用いた未利用資源

が主体の同飼料の長期間給与が肥育豚の健康状態および生産性に及ぼす影響について調査した。また、それにより生産された豚肉の理化学的特性および食味官能評価を行い、一般的な配合飼料を給与して生産された豚肉と比較した。

以上の第2章から第4章までに得られた地域未利用資源を肥育豚用飼料として利用する際の貯蔵、飼料調製および給与に係る一連の飼養管理技術と、生産された豚肉の品質に関する結果をまとめ、第5章では、豚肉の生産過程における環境への影響を考慮した飼養管理技術の確立とともに、輸入穀物に代わる国産飼料を基盤とした豚肉生産の可能性について総合的に考察した。

第2章 長崎県内で排出される地域未利用資源の飼料調製法の検討

第1節 シロップ廃液を活用したリキッド飼料の給与が肥育豚の産肉性および血清成分に及ぼす影響

1. 緒言

食品残さの中には飼料の栄養成分としてみた場合、有効な資源と思われるものの、残さの排出先からの収集・運搬やそれに係るコスト、給与までの貯蔵、給与した豚肉品質への影響など多くの場面でその利用が制限され、未利用のまま廃棄処分されているものがまだ多く残されている。スーパーや学校給食などから排出される食品製造副産物のように日によって内容や栄養成分が異なるものや、油分が多く肉質への影響が懸念されるものなどがこれにあたる。特に、栄養価が高く、かつ水分含量が高い残さは腐敗の進行も早いことから飼料としての安全性の確保が難しく、乾燥に係るコストも大きいいため、利用を敬遠する場合が多い。

フルーツゼリーの製造過程において残さとして発生するシロップ廃液もその一つで、長崎県内の食品工場からは年間約4,000 tもの量が排出されている。このシロップ廃液は高い糖含量を有する反面、液状残さであること、また、常温では腐敗が進みやすいことなどから、これまで多額のコストをかけて廃棄処分されてきた。シロップ廃液の主成分であるショ糖は家畜の嗜好性が高く（森本 1985）、消化率も高い（農業技術研究機構 2001）ことから、貯蔵および給与に係る課題が解決されれば、その利用価値は大きいと考えられる。

シロップ廃液の利用に関しては、乳牛の暑熱対策として採食量の減少を抑制する効果が示されている（廣川ら 2005）が、日々の排出量からすると利用率は低い。しかし、従来の乾燥法での利用は大規模な乾燥施設を要する他、乾燥コストや環境負荷も大きくなる。一方、近年、水分含量の高い食品残さなどを、液状の飼料として家畜に給与するリキッドフィーディング技術が注目されている。リキッドフィーディングによる養豚生産の有効性については Brooks(2003) が詳しく解説しており、九州地域で多く発生する焼酎粕の利用(川井田ら 1992)にも同様の方法が検討されている。シロップ廃液も液状のまま給与できれば、飼料化の過程で乾燥に係るコストや環境負荷を生じることなく、最も安価に利用できる方法と考えられるが、これまでシロップ廃液を主原料としたリキッドフィーディングに関する報告はみられない。

食品工場から排出されたシロップ廃液は現在、その処理を業者に引き継ぐまでの一定期間、腐敗を防止するために 60℃ の恒温槽で貯蔵される。畜産現場で飼料として利用することを考えると、常温に一旦戻して給与する必要があるが、その場合、温度低下とともに細菌や酵母の繁殖に適した温度域を通過するため、腐敗が進行する。このため、シロップ廃液の排出先から家畜への給与に要するまでの輸送を含めた一定期間、腐敗を防止して飼料の安全性を確保する必要があるが、シロップ廃液の飼料利用を前提とした、安価で簡易な液状保存に関する報告はみられない。

そこで本節では、まず、甘藷焼酎粕の保存性の改善に効果のあるギ酸製剤の添加（大塚ら 2007）がシロップ廃液の貯蔵における有効性について検討した。また、一時貯蔵したシロップ廃液をリキッド飼料原料として肥育豚に給与した

際の産肉性および血液性状に及ぼす影響について調査し，その飼料資源としての価値について検討した．

2．材料および方法

2-1．シロップ廃液

試験に用いたシロップ廃液は長崎県内の食品工場より排出されたもの（60の恒温貯留槽でプール）を2週間毎に500 Lポリタンクに採取して研究室まで輸送した．この一部をシロップ廃液の性状を確認するため，糖含量および保存性の調査に供した．また，残りのシロップ廃液は肥育試験用に，腐敗防止のため63.2%ギ酸製剤（ファームエース，ダイセル化学工業，大阪）を0.4%添加して飼料調製まで常温で保存した．

2-2．リキッド飼料給与試験

1) 供試豚および試験区分

供試豚には長崎県農林技術開発センターにおいて母豚4腹から生産された三元交雑種（WL・D）16頭（去勢雄8頭，雌8頭，平均体重62.9 kg）を用いた．市販配合飼料を給与する対照区と，シロップ廃液混合リキッド飼料（シロップリキッド飼料）を給与するシロップ区の2試験区を設け，平均体重，性別比および各腹から選抜される頭数が等しくなるように両試験区に4頭ずつ配置し，2009年1月から同年4月の間に2回の試験を反復した（1回目：2009年1月21日～同年3月11日，2回目：2009年3月11日～4月29日）．

2) 飼養管理

試験に用いた給与飼料の配合割合および飼料成分を表 2-1 および表 2-2 に示した。

対照区への給与飼料は仕上げ期用の市販配合飼料（ポーク H，伊藤忠飼料，東京）とし，ウェットフィーダーで不断給餌した。

一方，シロップ区へはシロップ廃液を主原料（75.0%）に，他の原料と混合して水分含量 66.7%のリキッド飼料として調製したものを給与した。なお，シロップリキッド飼料は日本飼養標準・豚（農業・生物系特定産業技術研究機構 2005）で示された肥育豚のエネルギー，必須アミノ酸，ビタミン・ミネラル類の養分要求量を全て満たし，風乾物換算した飼料の粗タンパク質（対照区 vs. シロップ区：16.6 vs. 15.6%）および可消化養分総量（TDN）（77.0 vs. 77.5%）が対照区の飼料とほぼ同等となるように設計した。その際，シロップ廃液は日本標準飼料成分表（農業技術研究機構 2001）に示されたブドウ糖の一般成分および豚での消化率を参考に，14%ブドウ糖液として取り扱った。シロップ区の飼料は 1 日 2 回（10：00 および 17：00），残飼が出ない程度の量を給与直前に調製して給与した。なお，本研究におけるリキッド飼料の給与は，すべての試験区で，全頭が一斉に採食するのに十分なスペースを確保した 4 頭間口の専用の給餌器を用いて，手給餌により行った。

3) 調査項目

(1) シロップ廃液の性状

シロップ廃液の糖の分類とその含有量の検査は検査機関（食品環境検査センター，長崎）に委託した。

Table 2-1 Composition of ingredients in syrup waste liquid feed

Ingredient	Percentage
Syrup waste ¹⁾	75.00
Commercial feed ²⁾	19.72
Soybean meal	4.93
Dicalcium phosphate	0.10
Calcium carbonate	0.15
Vitamin and mineral mixture	0.10

¹⁾Syrup waste was estimated as a 14% glucose solution.

²⁾Same as the control diet.

Table 2-2 Compositional percentage of syrup waste liquid feed

	Control diet	Syrup diet ¹⁾
Moisture	10.3	66.7
Crude protein	16.6	15.6
Ether extract	4.0	2.3
Nitrogen free extract	59.2	61.7
Crude fiber	2.9	1.9
Crude ash	4.4	4.1
Lysine	0.75	0.74

¹⁾ Values except for moisture were calculated based on air-dried feed.

採取直後のシロップ廃液に対して、63.2%ギ酸製剤（ファームエース，ダイセル化学工業，大阪）の添加量を0.2，0.4および0.6%の3段階を設けて，無添加（0%）のシロップ廃液とpHおよび糖含量の推移を比較した．pHおよび糖含量の測定はpHメーター（SEVEN EASY S20；メトラー・トレド，東京）およびデジタル糖度計（PR1；アタゴ，東京）を用いて実施した．また，肥育試験の飼料調製時にギ酸製剤添加後のシロップ廃液の糖度をデジタル糖度計（PR1；アタゴ，東京）により測定した．

（2）肥育成績

毎週1回体重測定を実施し，両試験区の平均体重が105 kgを超えた時点で試験終了とした．試験期間における増体量および肥育日数から1日平均増体量を求めた．また，両試験区の飼料摂取量および増体量より飼料要求率を算出した．飼料要求率の算出には，シロップリキッド飼料が対照区飼料と比較して水分含量が高いことから，両飼料を乾物換算した飼料摂取量を用いた．

（3）屠体成績

枝肉調査は，湯はぎ法により屠畜解体した枝肉を24時間冷蔵後に，豚産肉能力検定実務書（日本種豚登録協会1991）に従い実施した．調査項目は枝肉重量および枝肉歩留，右枝肉半丸の背脂肪厚（カタ，セ，コシ），屠体幅，屠体長，背腰長 および としての．さらに，左枝肉半丸を第4-5胸椎間および最後腰椎-仙椎間で3分割したロース長，第4-5胸椎間のロース芯面積とその肉色（ポーカカラースタンダード）を調査した．

(4) 血清生化学成分

採血は両試験区の試験終了日の 13:00 に外頸静脈から実施した。血液から遠心分離 (3,000 回転/分, 30 分間) した血清を, -20 で凍結保存し, 分析時に融解して試料とした。総タンパク (TP), アルブミン (A1b), 尿素窒素 (BUN) および総コレステロール (T-Cho) の 4 項目は乾式臨床化学自動分析装置 (スポットケム SP-4420, アークレイ, 京都) を用いて測定し, 得られたデータより A/G 比 [A1b / (TP - A1b)] を求めた。アルカリフォスファターゼ (ALP), アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ (AST), γ -グルタミルトランスぺプチターゼ (γ -GTP), 乳酸脱水素酵素 (LDH) およびアミラーゼ (AMY) の 5 項目 (日本臨床化学会標準化対応法) と, グルコース (Glu, ヘキソキナーゼ UV 法), ロイシンアミノペプチターゼ (LAP, L-ロイシル p ニトロアニリド基質法) およびインスリン (化学発光酵素免疫測定法) の 3 項目は臨床検査機関 (ピー・シー・エル, 長崎) に委託し, 各々の方法で生化学分析を実施した。

2-3. 統計処理

肥育成績と枝肉歩留を除く屠体成績および血清生化学成分は個体 (n=8) を反復として, 処理 (市販配合飼料, シロップリキッド飼料) および性 (去勢雄, 雌) を要因とした 2 元配置法による分散分析を行った。屠体成績の枝肉歩留については得られたデータを逆正弦変換した後, 同様の方法により分散分析を行った。

3. 結果

3-1. シロップ廃液の性状

ギ酸製剤の添加がシロップ廃液の pH および糖度の経時変化に及ぼす影響を図 2-1 および図 2-2 に示した。

食品工場より排出直後のシロップ廃液の pH は 3.41 であったが、ギ酸製剤の添加量の増加に伴って低下し、0.6%量を添加することで 3.01 まで低下した。その後、経過日数とともに無添加区では pH の低下が認められ、0.2%区でも試験開始から 10 日目以降に同様の低下が認められた。しかしながら、0.4 および 0.6%区ではギ酸製剤を添加した直後の値を維持して推移した。

排出時におけるシロップ廃液の原物中の糖含量は 16.0% (ブドウ糖 6.1%、果糖 6.2%、ショ糖 3.7%) であった。このシロップ廃液にギ酸製剤を添加しなかった無添加区では、pH と同様に保存日数の経過に従い Brix 糖度は低下した。一方、ギ酸製剤を添加した他の試験区の Brix 糖度はいずれも、試験開始時と同程度に維持されて推移した。

3-2. 肥育成績

試験開始日が 7 週間異なる 2 回の肥育試験を 2009 年 1 月より実施した。得られた成績を両試験間で比較した結果、差を認めなかったため、以後 2 回の試験成績をまとめて試験区間での比較を行うこととした。

シロップリキッド飼料が肥育豚の生産性に及ぼす影響を表 2-3 に示した。すべての項目において、性の効果および処理と性の交互作用は認められなかった。

仕上げ期の肥育豚にシロップリキッド飼料を給与したシロップ区の 1 日平均

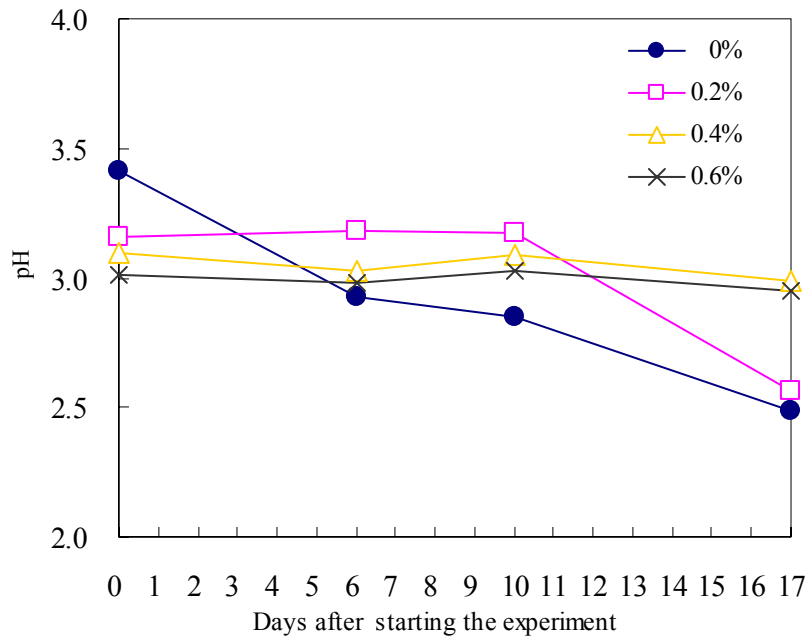


Figure 2-1 Changes in pH of the syrup waste by the addition of the formic acid preparation

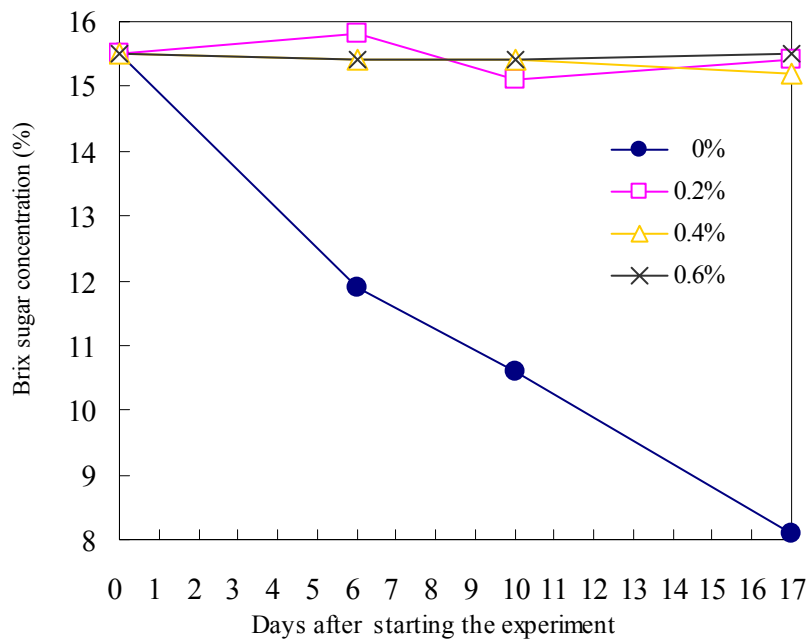


Figure 2-2 Changes in the sugar content of the syrup waste by the addition of the formic acid preparation

Table 2-3 Effect of syrup waste liquid feed on growth performance in finishing pigs

	Control (n=8)	Syrup treatment (n=8)
Initial weight (kg)	63.1 ± 3.3	62.8 ± 3.1
Final weight (kg)	108.9 ± 5.2	109.8 ± 6.7
Fattening period (day)	49	42
Daily gain (g/day)	936 ± 58 ^A	1118 ± 101 ^B
Feed intake ¹⁾ (g/day)	3807 (3415)	10186 (3388)
Feed conversion ratio ²⁾	3.61	3.03

Mean ± standard deviation .

¹⁾ Values in parentheses were the ones calculated by DM basis.

²⁾ DM basis.

^{AB} Values in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.01$).

Table 2-4 Effect of syrup waste liquid feed on carcass characteristics in finishing pigs

	Control (n=8)	Syrup treatment (n=8)
Carcass weight (kg)	76.3 ± 4.0	76.8 ± 5.6
Dressing percentage	70.0 ± 1.4	69.9 ± 1.5
Carcass width (cm)	34.8 ± 1.1	34.9 ± 0.7
Carcass length (cm)	94.2 ± 2.6	92.7 ± 1.9
Back loin length I (cm)	78.4 ± 2.1	77.3 ± 1.4
Back loin length II (cm)	68.6 ± 2.9	67.3 ± 1.2
Loin length (cm)	56.6 ± 2.1	55.6 ± 1.6
Loin eye area (cm ²)	21.6 ± 2.8	20.7 ± 3.0
Japanese pork color standards	3.6 ± 0.2	3.5 ± 0.3
Backfat depth (cm)		
Shoulder	4.6 ± 0.4	4.9 ± 0.5
Back	2.0 ± 0.3	2.3 ± 0.6
Loin	3.5 ± 0.3	3.6 ± 0.6

Means ± standard deviation.

増体量は対照区と比較して有意に改善され (936 vs. 1118 g/日 , $P<0.01$) , 出荷までに要した肥育日数は7日間短縮された (49 vs. 42 日) . シロップリキッド飼料の嗜好性は良好で , シロップ区は一日当たり約 10 kg/頭のシロップリキッド飼料を摂取し , そのうちのシロップ廃液の摂取量は 7639 g/頭であった . シロップ区の飼料摂取量を乾物換算すると , 3388 g/頭となり , 対照区の 3415 g よりやや少なかった . その結果 , 飼料要求率では増体性に優れるシロップ区が対照区より低くなった (3.61 vs. 3.03) .

3-3 . 屠体成績

シロップリキッド飼料が肥育豚の屠体成績に及ぼす影響を表 2-4 に示した . すべての項目において処理の効果 , 性の効果および処理と性の交互作用は認められなかった .

対照区とシロップ区の両試験区間に枝肉重量の差はなく (76.3 vs. 76.8 kg) , 枝肉歩留についても有意な差は認められなかった (70.0 vs. 69.9%) . 屠体幅 (34.8 vs. 34.9 cm) および枝肉の長さの形質に関する屠体長 (94.2 vs. 92.7 cm) , 背腰長 (78.4 vs. 77.3 cm) と (68.6 vs. 67.3 cm) , ロース長 (56.6 vs. 55.6 cm) のいずれにも同様に , 両区間に差は認められなかった . また , ロース芯面積 (21.6 vs. 20.7 cm²) , 肉色 (3.6 vs. 3.5) および背脂肪厚のカタ (4.6 vs. 4.9 cm) , セ (2.0 vs. 2.3 cm) , コシ (3.5 vs. 3.6 cm) においても有意な差は認められなかった .

3-4. 血清生化学成分

シロップリキッド飼料が肥育豚の血清生化学的性状に及ぼす影響を表 2-5 に示した。すべての項目において、性の効果および処理と性の交互作用は認められなかった。

シロップ区の TP (6.4 vs. 6.1 g/dL, $P < 0.05$) および Alb 濃度 (3.7 vs. 3.4 g/dL, $P < 0.01$) は対照区と比較して有意に低い値を示した。しかしながら、A/G 比 (1.4 vs. 1.3) は両区間に差を認めなかった。また、BUN 濃度 (17.3 vs. 15.9 mg/dL) はシロップ区で低い値を示したが有意な差ではなく、Glu (86.0 vs. 82.1 mg/dL) および T-Cho 濃度 (78.6 vs. 71.3 mg/dL) にも両試験区間に差はなかった。

血清酵素活性については、ALP (348 vs. 371 U/L), AST (27.9 vs. 26.4 U/L), -GTP (34.9 vs. 35.0 U/L), LDH (480 vs. 401 U/L), LAP (67.1 vs. 57.9 U/L) および AMY (1984 vs. 1902 U/L) についてそれぞれ調査したが、いずれも両区間に差を認めず、インスリン (20.9 vs. 22.8 μ U/L) でも同様に差は認められなかった。

4. 考察

本節では、食品工場から排出されるシロップ廃液を肥育豚用のリキッド飼料として有効利用するため、排出から給与に係る飼料としての安全性の確保および飼料給与による肥育豚の健康状態や生産性に及ぼす影響について検討した。

Table 2-5 Effect of syrup waste liquid feed on serum biochemical constituents in finishing pigs

	Control (n=8)	Syrup treatment (n=8)
Total protein (g/dL)	6.4 ± 0.2 ^a	6.1 ± 0.3 ^b
Albumin (g/dL)	3.7 ± 0.2 ^A	3.4 ± 0.2 ^B
Albumin-globulin ratio	1.4 ± 0.2	1.3 ± 0.1
Blood urea nitrogen (mg/dL)	17.3 ± 3.1	15.9 ± 4.0
Glucose (mg/dL)	86.0 ± 5.0	82.1 ± 9.3
Total cholesterol (mg/dL)	78.6 ± 7.6	71.3 ± 8.0
Alkaline phosphatase (U/L)	348 ± 44	371 ± 66
Aspartate aminotransferase (U/L)	27.9 ± 6.4	26.4 ± 10.2
γ-Glutamyltranspeptidase (U/L)	34.9 ± 4.1	35.0 ± 5.9
Lactate dehydrogenase (U/L)	480 ± 86	401 ± 58
Leucine aminopeptidase (U/L)	67.1 ± 27.9	57.9 ± 9.7
Amylase (U/L)	1984 ± 464	1902 ± 421
Insulin (μU/L)	20.9 ± 10.7	22.8 ± 13.6

Means ± standard deviation.

^{AB}Values in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.01$).

^{ab}Values in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

4-1. シロップ廃液の保存性

食品工場から排出されたシロップ廃液を無処理のまま常温に放置した場合、経過日数に従い pH および糖度は低下した。一方、ギ酸製剤を添加した他の 3 区では、排出直後のシロップ廃液の pH を低く抑えることで、試験期間を通して糖度が維持され、0.4 および 0.6% 区では pH も安定していた。大塚ら (2007) は甘藷焼酎粕に 0.2% 量のギ酸を添加することで pH の低下により細菌や酵母の増殖が抑制され、腐敗の抑制や遅延化に効果があることを報告しているが、シロップ廃液でも同様の効果が期待できると考えられた。また、10 日間以上の長期保存を要する場合には pH の安定性と添加に係るコストを考慮すると 0.4% 量のギ酸製剤の添加が有効と考えられた。

飼養試験期間中に飼料調製に供したシロップ廃液は 0.4% 量のギ酸製剤を添加して保存したが、腐敗等による悪臭や目視によるカビの発生は認められなかった。この間、ギ酸製剤添加後のシロップ廃液の糖度は Brix 14.9% から 17.5% の範囲であり、試験期間を通して高濃度の糖含量を維持していた。このことから、シロップ廃液はギ酸製剤を添加することで常温による液状保存が可能であり、栄養価の高い有用な飼料原料になり得ると考えられた。

4-2. 肥育成績

Canibe と Jensen (2003) は肥育豚への非発酵リキッド飼料 (乾燥飼料 : 水 = 1 : 2.5) の給与により、乾燥飼料および同様の混合割合での発酵リキッド飼料と比較し、飼料摂取量の増加に伴い増体性が優れたことを報告している。国内の報告でも、食品残さを主体としたリキッド飼料または発酵リキッド飼料給与

による発育改善（三津本ら 2006）や，発育と飼料効率の改善（井尻ら 2007；大
口ら 2007）が同様に示されている．一方，大森ら（2007）のコンビニエンスス
トアから排出された消費期限切れ食品を主体とする発酵リキッド飼料の給与で
は増体量に差はないとしているが，飼料摂取量が少ないにもかかわらず肥育成
績に差が認められないことを示しており，有意な差ではないが飼料要求率はリ
キッド飼料給与により改善されている．本研究でもシロップリキッド飼料の給
与により，対照区に対して 19.4%の増体量と 16.1%の飼料要求率の改善が認め
られ，これまでの報告と一致した結果が得られた．Brooks（2003）はこれまで
のリキッドフィーディングに関する一連の研究から，乾燥飼料に対してリキッ
ド飼料を給与した場合の肥育豚の増体量と飼料要求率の向上率はそれぞれ
4.4%および 6.9%としているが，本研究におけるシロップリキッド飼料給与で
は増体量でその約 4.4 倍，飼料要求率で約 2.3 倍の高い効果が得られた．これ
は，水分含量の高いリキッド飼料給与による肥育豚の増体性および飼料効率の
改善効果と合わせて，シロップ廃液がエネルギー利用効率に優れる飼料原料と
して相乗的に寄与したものと思われた．

また，廣川ら（2005）は乳牛飼料へのシロップ廃液添加が飼料の嗜好性向上
や暑熱時の採食量向上に有効であることを報告している．シロップ廃液の主成
分であるショ糖（砂糖）は飼料の嗜好性を増進する効果がある（森本 1985）こ
とから，シロップ廃液は食品残さ飼料の嗜好性向上に有効であるとともに，リ
キッド飼料の原料に供することで肥育豚の生産性向上に資する有効なエネルギ
ー源といえる．

4-3. 屠体成績

シロップリキッド飼料を給与した肥育豚の屠体成績は、すべての項目で通常の市販飼料を給与したものと遜色なかったが、背脂肪厚においてカタ(4.6 vs. 4.9 cm)、セ(2.0 vs. 2.3 cm)、コシ(3.5 vs. 3.6 cm)のそれぞれでシロップ区が対照区と比較して高い値を示し、やや厚脂になる傾向がみられた。三津本ら(2006)の報告ではTDN含量の高い食品残さ発酵リキッド飼料を不断給餌した場合、生体重の増加とあわせて背脂肪厚の増加がみられるとしているが、大森ら(2007)は粗脂肪含量の高いコンビニ残さ発酵リキッド飼料を期待増体量に沿って制限給餌することで厚脂は生じなかったことを報告している。本研究ではシロップ廃液の飼料成分(糖含量)を考慮し、日本飼養標準・豚(農業・生物系特定産業技術研究機構 2005)に示された栄養価に従って飼料設計を行い、対照区と同等量の飼料を給与した。しかし、実際のシロップ廃液の糖含量は上述した通り16%と当初想定した値(14%)より2%高かったため、調製したりキッド飼料のTDN含量は設計値より高かった可能性があり、このことがシロップ区で厚脂傾向を示した要因であると考えられた。加えて、シロップ廃液は嗜好性に優れることから、飽食での飼料摂取量の増加に伴う急激な成長やシロップ廃液の偏食は、皮下脂肪厚の更なる増大による枝肉品質の低下をもたらす可能性があるが、糖含量の適切な把握や給与方法に十分留意することで、シロップ廃液を主体としたリキッド飼料でも市販配合飼料と遜色ない豚肉生産が可能であると考えられた。

4-3. 血清生化学成分

シロップリキッド飼料を給与した肥育豚の血清成分において、シロップ区の TP および Alb 値が対照区と比較して明らかに低かった。この原因として、シロップ区の日乾物飼料摂取量が対照区より少ないこと、また、シロップリキッド飼料の粗タンパク質含量が対照区の市販配合飼料よりもやや低いこと(16.6 vs. 15.6%)に起因した食餌タンパク質摂取量の減少が考えられた。一般に、食餌タンパク質の摂取が不足すると各種タンパク成分、特にアルブミンの合成の低下および濃度の減少により低タンパク血症を呈し、削瘦が著明となり、被毛の粗剛、体重の減少および発育の停滞がみられる(村上 1997)。しかし、肥育成績でも示した通りシロップ区の発育はむしろ対照区よりも良好であり、籠田(1999)の豚における血液性状の参考値(TP;5.2~8.3 g/dL, Alb;1.9~4.2 g/dL)と比較しても、TP および Alb の低値は健康上問題ないものと考えられ、A/G 値にも影響を及ぼさなかった。これに関連して、タンパク質以外の窒素化合物である BUN 値もシロップ区で低い値を示しているが有意な差ではなく、概ね正常値にあると考えられた。さらに、脂質関連として T-Cho 値を調査したが両試験区間に差はなかった。

血清酵素活性については肝・胆道系疾患の指標となる ALP, AST, γ -GTP, LDH および LAP についてそれぞれ調査したが、いずれも両試験区間に差は認められなかった。シロップ区はシロップ廃液から一日当たり約 1070 g/頭と多量の糖類を摂取した計算となるが、糖代謝に関連する Glu, AMY およびインスリンについても異常は認められなかった。また、表には示さなかったが供試豚の屠畜検査でも、対照区で胸膜炎が 2 頭、シロップ区で胸膜肺炎が 1 頭観察された以外

に、他の主要臓器における炎症は認められなかった。このことから、シロップリキッド飼料の給与による肥育豚の血清成分や消化器系への悪影響は認められず、肥育成績や屠体成績から考慮しても、健康上の問題はほとんどないものと推察された。

以上の結果から、長崎県内の食品工場より排出されるシロップ廃液は糖含量が高く、栄養価の高い食品残さであり、他の飼料原料と混合したりキッド飼料として栄養調整することで、嗜好性の高い肥育豚用飼料としての利用が可能であった。そのシロップリキッド飼料は、肥育豚の厚脂に関する注意が必要ではあるが、増体性および飼料効率においては改善効果を示した。また、血清生化学的性状から判断する健康面への影響もないものと考えられることから、シロップ廃液は肥育豚に対して極めて利用性の高い飼料資源であることが示された。さらに、シロップリキッド飼料はシロップ廃液により肥育豚の TDN 要求量の約 35% を代替可能であり、飼料自給率の向上にも資する可能性も示唆された。

食品残さの飼料化には飼料費の低減や飼料自給率の向上、資源循環による環境負荷の低減など多くの効果が期待されるが、排出される食品残さの内容によっては栄養成分、それらのバランスや変動、排出量や収集・運搬などの様々な条件で、その利用が制約される場合も少なくない。しかしながら、本研究で用いたシロップ廃液は糖類単体の食品残さであり、栄養価が高く、その変動も小さいことから、リキッドフィーディングを前提とした飼料設計をする上で利用性の高い飼料原料といえる。また、家畜の嗜好性も良好で、発育や飼料効率にも優れることから、生産性向上や飼料費低減などの経営面へのメリットも大きく、今後の生産現場での実用化が期待される。

5. 摘要

地域未利用資源であるシロップ廃液を飼料として利用するため，シロップ廃液の貯蔵方法ならびに肥育豚へのリキッドフィーディングによる産肉性および血清性状に及ぼす影響について検討した．

シロップ廃液の貯蔵にはギ酸製剤の添加(0,0.2,0.4および0.6%)を行い，経時的な pH および糖度の変化を調査した．シロップ廃液の給与試験は供試豚に WL・D16 頭(62.9 kg)を用いて，対照区およびシロップ区の両試験区に性別比や平均体重を考慮して4頭ずつ配置する試験を2反復した．対照区には市販配合飼料(TDN77.0%，CP16.6%)を給与した．シロップ区には1日2回，シロップ廃液を75%配合したリキッド飼料(TDN77.5%，CP15.6%)を給与した．両試験区の平均体重が105 kgを超えた時点で屠畜した．

シロップ廃液はギ酸製剤の0.4または0.6%量の添加により pH および糖度が安定し，常温での液状保存が可能であった．シロップ区の日増体量は対照区より高く($P<0.01$)，肥育日数は7日間短縮された．また，シロップ区の乾物飼料摂取量および飼料要求率は対照区より低かった．屠体成績では，シロップ区でやや厚脂の傾向がみられた．血清総蛋白($P<0.05$)およびアルブミン($P<0.01$)は対照区と比較してシロップ区で低い値を示したが，正常値の範囲であり，その他の血清成分に関する測定項目に両区間で有意な差は認められなかった．

以上より，シロップ廃液は健康状態に影響を及ぼすことなく，肥育成績を改善することから，肥育豚用のリキッド飼料原料として有効であることが示された．

第2節 規格外バレイシヨのサイレーヅ調製条件が発酵品質に及ぼす影響

1. 緒言

食品の製造・生産過程で生じる廃棄物のうち、循環資源として飼料に利用できるものの中で、パン屑などに代表される比較的水分含量が低く、安定して入手可能な食品製造副産物等と比較して、水分含量が高く、排出時期が収穫期に限られる農業副産物などでは、年間を通して安定した飼料供給体制を整えることが難しく、未だ利用が進んでいない現状にある。しかし、バレイシヨの生産量が全国2位と多い長崎県では、その流通過程で大量に廃棄されている規格外品を家畜用飼料として有効活用することが強く望まれている。

バレイシヨは水分含量が高いものの澱粉質に富むことから、栄養価の高い養豚用飼料として利用されてきた歴史がある（Whittemore 1975；米田ら 1984；森本 1985）が、多頭飼育に伴い、給与飼料が輸入穀物を中心とした配合飼料へと変遷し、自動給餌機が普及したことにより、その利用は衰退した。しかし近年では、飼料としての価値が見直されてきた食品残さを、地域特産畜産物の生産などに関連づけた新たな利用方法として、規格外バレイシヨの飼料利用が再検討されている（嶋澤ら 2007, 2009）が、水分含量が高いサイレーヅでの給与を前提としているため、その利用はやはり小規模の養豚場に限定されている。

そこで、今後の規格外バレイシヨの利用の拡大に向けては、大型養豚場でも利用可能な給与体系を構築することが求められている。これまで、養豚生産者は栄養成分が保証された配合飼料を安定して入手できることを前提に、多頭化して集約的な豚肉生産を行うことで作業の効率化や経営の安定を図ってきた。

しかし、世界的に穀物の需給構造が大きく変化し、配合飼料価格が高騰している今日において、飼料費低減対策の一手段として食品残さの利用意義は非常に大きい。一方、安定した養豚経営を維持する上で、食品残さの利用による生産性や豚肉品質の低下は避けなければならない課題であることから、これらの積極的な利用を推進するためには、一定の品質ならびに栄養成分が保証された飼料として安定的に供給できることが利用に際する最低条件となる。

大型養豚場における規格外バレイシヨの利用を想定した場合、バレイシヨの水分含量を考慮すると、自動給餌施設が整うリキッドフィーディングでの給与が望ましいと考えられるが、短期的に集中して排出される規格外バレイシヨは新鮮物のまま給与しても利用量が限られてしまう。このことから、最終的なりキッド法での給与を前提に、サイレージ法により高水分の状態バレイシヨを一旦大量に貯蔵しておき、リキッドフィーディング用の飼料原料として常時供給可能な体制を整えておくことが利用拡大に向けては有効と考えられる。

そこで、本節では、規格外バレイシヨを簡易かつ効率的に一時貯蔵するため、サイレージの調製条件が発酵品質に及ぼす影響について調査した。また、バンカーサイロを用いた実規模でのサイレージ調製を行い、飼料の発酵品質および栄養成分の変動を調査することで、規格外バレイシヨの保存性ならびに飼料としての利用性について検討した。

2. 材料および方法

2-1. 小規模発酵試験（試験1）

1) サイレージ調製

バレイショサイレージの調製は 2008 年 6 月に実施した。

バレイショは長崎県内のバレイショ選果場より，過大・過小，傷などの理由により商品に不適合として選別された規格外品を用いた。その際，緑化したものや腐敗したものを選別・排除後，水洗し，細断機にて 1 cm から 2 cm 程度の大きさに調製したものをサイレージ用の材料とした。

サイレージの調製条件は，水分調整用の副資材の配合割合，バレイショの加熱の有無，糖類の添加の有無の 3 要因とした。副資材にはフスマを用いて，配合割合が 20，35 および 50%（原物%）の 3 水準を設けた。バレイショの加熱については，規格外バレイショを細断後，そのままサイレージ調製に供するものと，沸騰浴中で 30 分間の加熱処理（水煮）を加えるものの 2 水準を設けた。糖類の添加については，添加の有無の 2 水準を設け，添加区には温水で 2 倍希釈した糖蜜を，バレイショとフスマを混合する際に外付けで 3% 量（原物%）を添加した。以上の条件により混合・調製したものを田中と大桃（1995）の方法に従いプラスチックフィルム（ポリフレックスバッグ飛竜 KN-210，旭化成パックス，東京）に詰め込み，市販のヒートシーラーで脱気して密封し，暗所に常温で保存した（図 2-3）。

2) サイレージの発酵品質

サイレージは，調製から 2 ヶ月後に開封して発酵品質を調査した。サイレージ 30 g に蒸留水 170 g を加え，振とうしながら冷蔵庫中で一晩浸漬し，濾液を抽出した。この濾液を分析試料として pH をガラス電極 pH メーター（SEVEN EASY S20，メトラー・トレド，東京）により測定した。さらに，同試料の揮発性塩基



Figure 2-3 Preparation of potato silage according to pouch method

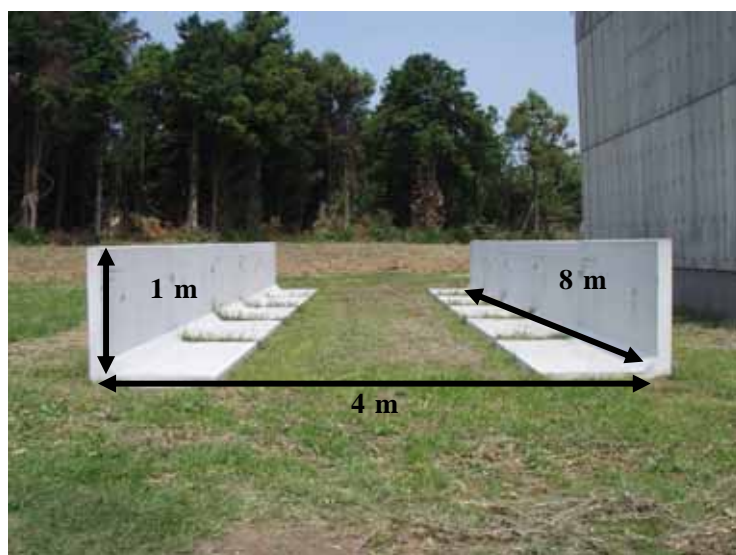


Figure 2-4 Overview of the bunker silo constructed the L-shaped concrete retaining wall

態窒素（VBN）を自動蒸留滴定装置（Kjeltec 1035，フォス・ジャパン，東京）を用いて水蒸気蒸留法で測定した。また，残りのサイレージを 60 で通風乾燥し，常法（飼料分析基準研究会 2005）により水分および全窒素含量を測定した。また，これらの値から VBN/TN を算出した。

3) 統計処理

統計処理には Harvey（1990）の最小二乗分散分析ソフト LSMLMW を用いて，処理（副資材の割合，バレイショの加熱および糖類の添加）を主効果とした 3 元配置分散分析を行った。

2-2. バンカーサイロへの貯蔵（試験 2）

1) サイレージ調製

実規模でのバレイショサイレージの調製は 2009 年 6 月に実施した。

土木工事で用いられる L 型コンクリート擁壁を 8 枚用いて，図 2-4 に示した間口 4 m，奥行 8 m，高さ 1 m のバンカーサイロを作成し，サイレージの貯蔵容器とした。規格外バレイショは試験 1 と同様のものを用いた。水分調整用の副資材には長崎県内で排出される食品残さとして脱脂米ぬかを使用した。また，糖類の添加については同様に，長崎県内のフルーツゼリーの製造工場より排出されるシロップ廃液を供した。シロップ廃液は食品工場から排出されたもの（60 の恒温貯留槽でプール）を 500 L ポリタンクに採取して研究室まで輸送し，腐敗防止のため 63.2% ギ酸製剤（ファームエース，ダイセル化学工業，大阪）を 0.4% 添加してサイレージ調製まで常温で保存した。

規格外バレイショ 12 t，脱脂米ぬか 5 t およびシロップ廃液 0.5 t を用いて

合計 17.5 t のサイレージを調製した。このことから、それぞれの配合割合は規格外バレイシヨ 68.6%、脱脂米ぬか 28.6% およびシロップ廃液 2.9% となった。なお、本試験ではバレイシヨの加熱処理は実施しなかった。サイレージの調製工程を図 2-5 に示した。調製する全体量を上記の通りとして、各々の材料を 10 分の 1 量ずつ混合し、10 回の調製を行った。その際、混合の都度、バンカーサイロへの詰め込みと踏圧作業を実施した。これらの混合、詰め込み、踏圧作業の工程はすべて、大型のショベルローダーを用いて実施し、サイレージの詰め込み作業が終了した後、直ちに農業用ビニール、土嚢および古タイヤを用いてバンカーサイロを密閉した。

2) サイレージの発酵品質

2010 年 6 月にバンカーサイロを開封した。開封日から毎日、奥行き 20 cm 分のサイレージを取り出した。この内、開封後 0 (開封日)、4、7、11、14、18 および 25 日目の 7 回、採取したサイレージを均質に混合し、新鮮物の発酵品質および飼料成分を調査した。サイレージの発酵品質は試験 1 と同様の方法で調製したサイレージ抽出液を分析試料に用いて、サンプリング日毎の pH および VBN 含量を測定した。また、試験 2 ではさらに、同試料の揮発性脂肪酸 (VFA) および乳酸含量を高速液体クロマトグラフィ (LC-2000 Plus series, 日本分光, 東京) により、ブロムチモールブルー (BTB) を用いたポストラベル法で分析した (自給飼料品質評価研究会 2001)。バレイシヨサイレージの飼料成分はサンプリング日毎に 60 で通風乾燥し、水分、粗タンパク質、粗脂肪、可溶性無窒素物、粗繊維および粗灰分の含量を常法 (飼料分析基準研究会 2005) により分析した。また、VBN/TN をこれらより算出し、V-score (自給飼料品質評



Collecting



Washing



Shredding



Mixing



Stuffing / Treading



Sealing



Storing



Completed potato silage

Figure 2-5 Process of potato silage preparation

価研究会 2001) による評点を求めた。

3. 結果

3-1. 小規模発酵試験 (試験 1)

規格外バレイシヨをサイレージ調製する際の諸条件 (副資材の割合, バレイシヨの加熱および糖類の添加) が発酵品質に及ぼす影響について, 要因ごとのサイレージの水分含量, pH および VBN/TN の最小二乗平均値および最小二乗分散分析の結果を表 2-6 に示した。なお, すべての項目において, 副資材の割合とバレイシヨの加熱, バレイシヨの加熱と糖類の添加, 副資材の割合と糖類の添加の交互作用は認められなかった。

サイレージの水分含量には副資材の割合による影響が認められ, 副資材の割合が 20, 35 および 50% と高くなるにつれ, サイレージの水分含量は 71.6, 61.6 および 51.2% と低下した ($P < 0.01$)。しかしながら, サイレージの pH および VBN/TN に対する水分含量の明らかな影響は認められなかった。一方, バレイシヨの加熱処理はサイレージの水分含量および pH に影響を認めないが, VBN/TN が非加熱のバレイシヨと比較して明らかに低かった (12.7 vs. 9.6%, $P < 0.05$)。また, 糖類の添加では, 各調査項目において有意な差は認められなかったが, 添加することにより水分含量は高まり (60.5 vs. 62.4%), pH (3.93 vs. 3.83) および VBN/TN (11.4 vs. 10.8%) は低い値を示した。

3-2. バンカーサイロへの貯蔵 (試験 2)

バンカーサイロに保存した規格外バレイシヨサイレージの発酵品質と, 開封

Table 2-6 Effects of preparation conditions of potato silage on fermentation quality

	Percentage of bran for moisture control (Mois)		Heating of potato (Heat)		Addition of sugar (Sugar)		Level of significance			
	20% (n=4)	35% (n=4)	50% (n=4)	- (n=6)	+	- (n=6)	+	Mois	Heat	Sugar
Moisture (%)	71.6	61.6	51.2	61.3	61.6	60.5	62.4	**	NS	NS
pH	3.80	3.86	4.00	3.90	3.87	3.93	3.83	NS	NS	NS
VBN/TN (%)	11.0	12.4	9.9	12.7	9.6	11.4	10.8	NS	*	NS

Least-squares means.

NS: not significant ($P > 0.05$), * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

後の品質変化について表 2-7 に示した。開封時のサイレージの発酵品質は pH が 4.00 で、VBN/TN が 9.80%、乳酸含量が 2.97%、酢酸およびプロピオン酸含量が 1.49 および 1.36%で酪酸以上の VFA は検出されなかった。以上より、V-score の評点は 80.4 ポイントで良と評価された。開封後 25 日目までのサイレージの発酵品質は pH が 3.86 から 4.39 (平均値 ± 標準偏差, 4.02 ± 0.19), VBN/TN が 7.30 から 11.00% ($8.80 \pm 1.32\%$), 乳酸含量が 2.25 から 3.73% ($3.21 \pm 0.50\%$), 酢酸含量が 0.22 から 1.49% ($0.58 \pm 0.45\%$), プロピオン酸含量が 0.12 から 1.36% ($0.52 \pm 0.49\%$) の幅で認められ、開封後 7 日目のみ酪酸が 0.13% 検出された。以上より、V-score は 67.9 から 93.5 ポイント (86.0 ± 9.2 ポイント) となり、可 (7 日目のみ) から良 (7 日目以外) に評価された。

バンカーサイロに保存した規格外バレイショサイレージの飼料成分とその成分変動について表 2-8 に示した。調査した 7 日間のサイレージの飼料成分は、水分が 57.0 から 60.2% ($58.6 \pm 1.3\%$), 粗タンパク質が 16.1 から 17.2% ($16.7 \pm 0.3\%$), 粗脂肪が 1.5 から 1.7% ($1.6 \pm 0.1\%$), 可溶性無窒素物が 63.8 から 66.1% ($65.2 \pm 0.8\%$), 粗繊維が 7.2 から 8.8% ($8.0 \pm 0.6\%$), 粗灰分が 8.0 から 9.3% ($8.6 \pm 0.5\%$) の幅で認められた(以上、水分以外は乾物換算値)。また、各成分の変動係数は 1.2 から 7.3 の範囲であった。

4. 考察

長崎県では、規格外バレイショが年に 2 回の収穫期に集中して大量に排出される。このため、飼料として利用するには排出直後の新鮮物を家畜に給与する場合を除いて、保存性を改善することで年間を通して安定した飼料供給体制を

Table 2-7 Changes in fermentation quality of potato silage stored in bunker silo after opening

Days after opening the silo	Day 0-25 ¹⁾									
	Day 0 (Open)	Day 4	Day 7	Day 11	Day 14	Day 18	Day 25	Day 25	Day 25	Day 0-25 ¹⁾
pH	4.00	3.86	4.39	4.12	3.93	3.88	3.93	3.93	3.93	4.02 ± 0.19
VBN/TN (%)	9.80	9.00	11.00	7.30	7.40	8.90	8.20	8.20	8.20	8.80 ± 1.32
Lactic acid (FM%)	2.97	3.53	2.25	3.09	3.33	3.73	3.58	3.58	3.58	3.21 ± 0.50
Acetic acid (FM%)	1.49	0.32	0.77	0.70	0.29	0.30	0.22	0.22	0.22	0.58 ± 0.45
Propionic acid (FM%)	1.36	0.16	0.73	0.60	0.12	0.15	ND	ND	ND	0.52 ± 0.49
Butyric acid (FM%)	ND	ND	0.13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
V-score	80.4	89.9	67.9	87.0	93.4	90.2	93.5	93.5	93.5	86.0 ± 9.2

¹⁾ Mean ± standard deviation (n=7).

ND: not detected.

Table 2-8 Changes in nutritive values of potato silage stored in bunker silo after opening

Days after opening the silo	Day 0-25 ¹⁾									
	Day 0 (Open)	Day 4	Day 7	Day 11	Day 14	Day 18	Day 25	Day 25	Day 25	Day 0-25 ¹⁾
Moisture (%)	59.6	57.0	59.8	58.0	57.0	58.6	60.2	60.2	60.2	58.6 ± 1.3
Crude protein (DM%)	16.7	16.8	16.8	16.5	16.1	16.6	17.2	17.2	17.2	16.7 ± 0.3
Ether extract (DM%)	1.6	1.7	1.5	1.6	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6 ± 0.1
Nitrogen free extract (DM%)	64.8	66.1	65.7	65.7	65.4	64.7	63.8	63.8	63.8	65.2 ± 0.8
Crude fiber (DM%)	7.9	7.3	7.2	8.2	8.8	8.4	8.2	8.2	8.2	8.0 ± 0.6
Crude ash (DM%)	8.9	8.2	8.7	8.0	8.2	8.7	9.3	9.3	9.3	8.6 ± 0.5

¹⁾ Mean ± standard deviation (n=7).

CV: coefficient of variation.

整える必要がある．そこで，小規模発酵試験により異なるサイレージの調製条件が発酵品質に及ぼす影響について検討した．

嶋澤ら（2007）はこれまで，規格外バレイシヨの配合割合を 50%とし，トウモロコシ（35%）を主体とした飼料原料で水分約 50%に調整して密閉貯蔵したサイレージは発酵品質が良好で，ブタの嗜好性も高いとしている．本研究では，規格外バレイシヨの保存方法としてのサイレージ調製において，バレイシヨの貯蔵効率の改善と飼料費の低減を目的に，副資材の原料および配合割合についてさらに検討した．副資材には穀類より安価な飼料原料である糟糠類のフスマのみを用いることとし，その割合を嶋澤ら（2007）と同等の 50%から 20%まで引き下げることでバレイシヨの配合割合を 80%まで高めた．その結果，バレイシヨの割合が 50%から 15%ずつ高くなることで，サイレージの水分含量は 51.2%から約 10%ずつ上昇し，バレイシヨの割合が 80%(フスマの割合が 20%)のサイレージの水分含量は 71.6%であったが，いずれも pH および VBN/TN の低い良好な発酵品質を示した．バレイシヨはこれまでも糟糠類と混合してサイレージ調製されてきた（森本ら 1985）が，フスマのみを副資材とした場合，バレイシヨの配合割合を 80%まで高めても良質なサイレージの調製は可能と考えられた．

サイレージ発酵過程において，微生物によりタンパク質が分解された際に生じる VBN/TN は不良発酵の指標となるが，バレイシヨに加熱処理を施すことで非加熱の場合と比較して VBN/TN 値は約 3%単位低く抑えられた．木部（1966）も同様に，包装サイレージの貯蔵前の加熱処理は有機酸の生成を大きく抑制し，品質改善に有効であることを報告しており，加熱処理によりバレイシヨに付着

した微生物数が減少したことで、不良発酵が抑制されたものと考えられた。また、バレイショは加熱により細胞間結着物質のペクチンが水溶化して軟化、煮崩れを生じる(佐藤 2005)。このことは、副資材との混合、密閉過程において、非加熱のバレイショが一定の水分をバレイショ中に保持するのに対して、加熱後の煮崩れしたバレイショは水分が副資材と均質化されることで、貯蔵容器内の気密性が増すと考えられ、サイレージ発酵に適した嫌気条件が保たれやすいことも影響したものと推察された。

さらに本研究では、バレイショサイレージへの糖蜜の添加を試みた。牧草ならびに飼料作物のサイレージ調製における糖類の添加では、乳酸菌の増殖を促すことから発酵品質の改善に有効であることが報告されている(大山ら 1973; 服部ら 1993; 安宅 2012)。しかしながら、今回調製したバレイショサイレージの pH および VBN/TN の値は無添加の場合と比較して低かったものの、有意な改善効果は認められなかった。

以上の調製条件を考慮して、バンカーサイロへの実規模調製試験を実施した。その際、試験 1 ではバレイショを 80% 配合した水分 71.6% のサイレージでも良好な発酵品質を示したが、屋外でのサイレージ調製において、水分が 70% を超える高水分サイレージでは排汁の漏出に伴う栄養損失が懸念される(安宅 2012) ことから、副資材の配合割合を最小量の 20% より高い 28.6% とした。バレイショの加熱処理については、VBN/TN の低下としてサイレージの発酵品質の改善に有効であったが、同様の処理を実際の調製現場で行うには、規格外バレイショの排出量(処理量)や処理に伴う施設整備を鑑みて現段階では困難であると考えられた。また、Lindahl ら(1946)は加熱処理したバレイショをトレ

ンチサイロでサイレージ化した際，高温環境下（29.4℃）では中温環境下（17.2℃）と比較して栄養損失が大きいことを指摘しており，わが国における夏季の気温上昇を考慮して本研究では加熱処理を行わないこととした．また，乳酸発酵の促進が期待される糖類の添加を実施する条件で行った．

バンカーサイロに貯蔵したバレイショサイレージは，調製から1年後に開封したが，乳酸含量が高く，pH および VBN/TN が低い良好な発酵品質を示し，酪酸以上の VFA についても，開封後7日目において酪酸が0.13%認められた以外に検出されなかった．また，VBN/TN の平均値は8.80%と低く，貯蔵容器内の嫌気度がより高かったと考えられる試験1のパウチサイレージと比較しても，発酵品質は同等と考えられた．試験1では副資材としてフスマを，糖類の添加には糖蜜を使用した．試験2ではそれぞれ，脱脂米ぬかおよびシロップ廃液を使用した．片山ら（1994）によると，サイレージ調製に用いる副資材としての脱脂米ぬかは，フスマと比較して可溶性糖類が高い（8.9 vs. 2.4%）性質を有するとされる．さらに，シロップ廃液の原物中の糖含量は16%で，六炭糖（ブドウ糖；6.1%，果糖6.2%）の割合が高いが，これらは試験1で用いたショ糖を主成分とする糖蜜よりもサイレージ発酵過程で乳酸菌に効率的に資化される特徴がある（服部ら 1993）．このことは，脱脂米ぬかならびにシロップ廃液が規格外バレイショをサイレージ調製する際に，乳酸発酵に適した飼料原料であることを示しており，以上のことから，バンカーサイロを貯蔵容器とし，作業にはショベルローダーのみを用いた比較的簡易な調製条件でも，高品質なサイレージの調製が可能であると考えられた．

発酵品質とあわせて調査日毎の飼料成分についても調査したが，各成分の変

動係数は 1.2 から 7.3 と小さい範囲内にあり、発酵品質とあわせて栄養成分の変動も低く抑えられていた。供試材料から日本標準飼料成分表（農業技術研究機構 2001）の値により算出したサイレージの飼料設計値と比較しても水分（設計値 vs. 分析値：61.5 vs. 58.6%）および粗灰分含量（10.7 vs. 8.6%）が約 2% 低い程度で、粗タンパク質（16.6 vs. 16.7%）、粗脂肪（1.6 vs. 1.6%）、可溶性無窒素物（63.7 vs. 65.2%）および粗繊維含量（7.6 vs. 8.0%）では設計値とほとんど変わらなかったことから、保存期間中の栄養損失も少ないものと判断された。

食品残さを飼料化する際、日々排出される残さの内容が大きく変動する場合、乾燥飼料、リキッド飼料、サイレージなどのいずれの飼料調製においても、出来上がり飼料の品質の変動をもたらすことが懸念される。これらは必然的に栄養成分の変動を伴うことから、実際の給与段階においてさらに、家畜の栄養要求量に沿った飼料設計を行う必要がある。現在の大型化した養豚生産現場では生産性に優れ、斉一性のある豚肉生産を行う上で、飼料の品質や栄養成分の変動が少ない輸入穀物を主体とした配合飼料の利点に頼るところが大きいが、農業副産物は栄養成分の変動が厨芥残さなどと比較すると非常に小さいことから、安定した供給体制さえ整えばその利用価値は大きい。

これまで規格外パレイショは排出直後に飼料として利用するか、サイレージ化して一時貯蔵しながら利用する方法がとられてきたが、いずれも手給餌を前提とした小規模養豚場での利用に限られていたため、そのほとんどが利用されずに廃棄処分されてきた。本研究によるバンカーサイロを用いたサイレージ調製法はこれまでのサイレージ（嶋澤ら 2007）よりも規格外パレイショの配合割

合を高めて貯蔵効率を高めたほか，配合内容を簡素化したことで栄養成分の変動が小さく抑えられ，それを給与する肥育豚の安定生産につながるものと考えられた．また，その際，一時期に集中して排出される規格外バレイショを，大型機械により簡易かつ大量に調製しても良好な発酵品質となり，年間を通して長期的に保存できることが示された．このことから，本試験で行った規格外バレイショを用いたサイレージ調製体系は，大型養豚場でのリキッドフィーディング利用を視野に入れた飼料原料として安定的な供給体制構築の可能性を提示し，今後の規格外バレイショの利用拡大に寄与するものと考えられた．

5. 摘要

地域未利用資源である規格外のバレイショを飼料として利用するため，水分調整を主とする単純配合でのサイレージを調製し，発酵品質および栄養成分について検討した．

試験 1 では細断したバレイショ，フスマおよび糖蜜を材料に供した．フスマの配合割合（20％，35％，50％の 3 水準），バレイショの加熱の有無（2 水準）および糖類の添加の有無（2 水準）を要因とした調製条件がパウチサイレージの発酵品質に及ぼす影響を調査した．試験 2 では，非加熱のバレイショ，脱脂米ぬかおよびシロップ廃液をそれぞれ 68.6％，28.6％および 2.9％の割合で混合して，大型機械を用いたバンカーサイロへのサイレージ調製を行い，発酵品質および飼料の一般成分の変動を調査した．

試験 1 のバレイショサイレージの調製条件において，フスマの配合割合はサイレージの水分含量に影響するが，pH および VBN/TN には影響しなかった．一

方、バレイシヨの加熱処理は VBN/TN を低下させたことから、発酵品質の改善に有効であった。また、糖類添加の明らかな影響は認められなかったが、pH および VBN/TN の低下に作用した。試験 2 において、バンカーサイロに貯蔵したバレイシヨサイレージは乳酸含量(3.21%)が高く、pH(4.02)および VBN/TN(8.80)が低い良質なものであった。また、サイレージの栄養成分の変動や貯蔵期間中の栄養損失は小さかった。

以上の結果から、長崎県内で大量に発生する規格外バレイシヨをサイレージ調製する場合、同地域で発生する脱脂米ぬかとシロップ廃液を適切に混合・添加することで良質のサイレージが得られることが実証された。

第3章 バレイシヨ澱粉を配合した低タンパク質飼料の給与が肥育豚の窒素排泄量およびアンモニア揮散量に及ぼす影響

1. 緒言

近年、農村部の都市化に伴う混住化の進展や消費者の環境問題に対する意識の高まりを背景として、家畜の排泄物を原因とした悪臭や水質汚染に関する環境問題が指摘されている。養豚は飼養規模の拡大が著しく、畜種の中でも苦情の発生件数が最も多くなっており（羽賀 1998）、この内、悪臭および水質汚濁関連が約 8 割を占める（農林水産省 2012b）。特に、豚舎で発生する特有の臭気は周辺住民には不快に感じられ、苦情の対象となりやすいことから、「悪臭防止法」などの環境法令を遵守することとあわせて、可能な限り臭気の少ない飼養管理技術が求められている。

豚舎から発生する臭気のほとんどはブタから排泄された糞尿に由来する。臭気の中でもアンモニアは発生量が多く、開放型豚舎では周辺地域に容易に拡散するため苦情の原因になりやすい。山本ら（2003a）はアンモニアの発生には糞尿中の窒素含量が大きく影響することを指摘しており、糞尿への窒素排泄量の低減が豚舎からの臭気低減に有効な一方策になると考えられる。斎藤（2001）は、豚肉の生産過程における環境負荷物質の低減に向けて、飼料の栄養学的な面からの研究動向を解説したなかで、タンパク質含量を低めた飼料（低 CP 飼料）の給与が糞尿への窒素排泄量の低減に有効であると述べている。さらに近年では、低 CP 飼料の原料に非澱粉多糖類（NSP）含量の高いビートパルプやリンゴジュース粕などを用いた飼料給与により、アンモニア揮散量を低減する方法が

提案されている (Canh ら 1998 ; Yamamoto ら 2002a,b ; 山本ら 2003b) . これは NSP の消化特性を活用した体内での尿素循環 (Gargallo と Zimmerman 1981 ; Mosenthin ら 1992) による尿中窒素排泄量の減少を利用したものである . この尿素循環は難消化性の澱粉系成分であるレジスタントスターチ (RS) を給与した場合にも , 同様の作用を得られることが報告されている (Louise ら 1997 ; Van der Meulen ら 1997 ; Kishida ら 2001) .

第 2 章においてバレイシヨの生産量が多い長崎県では , 流通規格に副わない大量の規格外品が発生するため , それらをサイレージ調製する技術を提示し , 飼料化の可能性を示唆した . このバレイシヨに含まれる澱粉は , 澱粉粒が結晶構造をとるために α -アミラーゼによってほとんど加水分解されないことから RS の一つに分類されている (早川と柘植 1999) . したがって , NSP の効果と同様に , このバレイシヨ澱粉の消化特性が肥育豚の窒素排泄量やアンモニア揮散量の低減に有効に作用することが期待されるが , バレイシヨ澱粉を肥育豚用の飼料原料に応用した研究は少ない (Martinez-Puig ら 2003) .

そこで本章では , バレイシヨ生澱粉を配合した低 CP 飼料の肥育豚への給与が排泄物の性状 , 窒素排泄量および糞尿からのアンモニア揮散量に及ぼす影響について調査し , バレイシヨ生澱粉の機能性および規格外バレイシヨを飼料利用する際の利点について検討した .

2 . 材料および方法

2-1 . 窒素出納試験 (試験 1)

試験は 2009 年 4 月 9 日から 5 月 1 日にかけて実施した .

1) 試験区分および供試飼料

試験に供した飼料の配合割合および飼料成分を表 3-1 に示した。トウモロコシ、大麦および大豆粕を主体に配合した標準的な栄養水準の仕上げ期飼料を給与する対照区と、Martinez-Puig ら (2003) の研究を参考にバレイショ生澱粉 (つぶつぶでんぷん, 神野でんぷん工場, 北海道) を 20% 配合し、他の穀類等により栄養調整した低 CP 飼料を給与するバレイショ澱粉区の 2 区を設けた。バレイショ澱粉区の飼料は対照区と比較して TDN 含量が同等 (対照区 vs. バレイショ澱粉区: 76.1 vs. 76.3%) で、CP 含量が約 4% 単位低くなるように設計した (設計値: 15.7 vs. 11.6%, 分析値: 14.0 vs. 10.6%)。CP 含量の低下に伴い、日本飼養標準・豚 (農業・生物系特定産業技術研究機構 2005) に示された肥育豚のアミノ酸要求量に対してリジンのみが不足したため、L-リジン塩酸塩 (L-リジン協和, 協和発酵バイオ, 東京) を添加した。

2) 供試豚および飼養管理

供試豚には長崎県農林技術開発センターにおいて母豚 2 腹から生産された三元交雑種 (WL・D) の去勢雄 4 頭を用い、2 頭ずつの 2 群に分け、対照区とバレイショ澱粉区に割り当てた (1 期目の開始体重: 64.5 vs. 63.5 kg)。これらを環境制御室内の代謝ケージに収容し、6 日間の馴致期 (市販配合飼料を両試験区に給与) の後、1 期 8 日間の飼料反転法により窒素出納試験を行った。すなわち、予備期として 4 日間それぞれの試験用飼料を給与し、その後の 4 日間を試験期として糞尿を全量採取した。次いで、試験用飼料を反転して (2 期目の開始体重: 70.8 vs. 72.5 kg)、同様に予備期 4 日間、試験期 4 日間の窒素出納試験を実施した。以上により、1 飼料につき 4 頭のサンプルを得た。

Table 3-1 Percentage of the feed ingredients and nutritive values

	Control diet	Experimental diet	
Ingredients			
Raw potato starch	-	20.0	
Corn	68.6	34.3	
Fish meal (CP65%)	1.4	0.7	
Barley	12.6	32.4	
Soybean meal	15.0	9.0	
Vegetable fat	-	1.0	
Dicalcium phosphate	1.1	1.1	
Calcium carbonate	0.5	0.6	
Salt	0.4	0.4	
Vitamin and mineral premix	0.4	0.4	
Lincomycin premix	0.1	0.1	
Lysine HCL	-	0.1	
Calculated Values ¹⁾			
Crude protein	15.7	11.6	
Ether extract	3.2	3.2	
Nitrogen free extract	61.2	65.5	
Crude fiber	2.2	2.3	
Crude ash	4.6	4.3	
Lysine	0.79	0.64	
Total digestible nutrients	76.1	76.3	
Analysed values ¹⁾			
Crude protein	Exp. 1	14.0	10.6
	Exp. 2	14.9	10.3

¹⁾ Values were calculated based on air-dried feed.

飼料の給与量は予備期の直前に測定した体重の 3% (乾物量) に設定し, 1 日に 3 回 (9:30, 13:30, 18:30) に等分して給与した。水はニップル式給水器より自由飲水とした。なお, 試験期間中における残飼は観察されなかった。

3) 調査項目

予備期の直前と試験期の終了直後に体重測定を実施し, 各々の試験飼料を摂取した期間の 1 日平均増体量を求めた。また, 増体量および飼料摂取量から飼料要求率を算出した。

糞にはアルミバットを, 尿にはプラスチックバットを採取容器として用いた。尿の採取に際しては尿中の窒素成分の揮散を防止するため, あらかじめ一定量の希硫酸を採取容器に注入した。しかしながら, 試験期 4 日目(最終日)には, 一部を糞尿混合物からの *in vitro* アンモニア揮散量の測定に供するため, 原尿のみを採取した。日糞尿量の測定は, 試験期の 4 日間, 10:00 に行った。採取した糞は 1 日分ごとに 60 の通風乾燥機で 2 日間十分に攪拌・乾燥し, その後一昼夜室温に放置したものを風乾物試料とした。この風乾物試料を用いて乾燥法により糞の水分含量を求めた。また, 尿は 1 日量を均一に混合した後, 一定量を 100 ml のポリ容器に採取し, 分析まで -20 で保存した。

糞中の窒素含量の分析は, 風乾した糞をウィレー粉砕機により粉砕後, ケルダール分解し, 自動蒸留滴定装置 (Kjeltec 1035, フォス・ジャパン, 東京) を用いて行った。また, 尿中の窒素含量は凍結保存した試料を融解して室温に戻した後, 糞と同様の方法で測定した。得られた窒素含量値と糞尿の排泄量から糞尿への窒素排泄量を求めた。

腸内細菌数の分析用試料として, 試験期 4 日目(最終日)の午前中に 2 重に

したポリエチレン袋（ニューポリ袋 No.16，福助工業，愛媛）で新鮮糞の一部を採材し，保冷剤を入れたクーラーボックスに保管後，直ちに実験室での分析に供した．腸内細菌数の分析は光岡（1971）の方法に準じて実施した．新鮮糞 1 g を試験管に秤量し，9 倍量の腸内細菌検索用の希釈液で希釈し 10^{-1} 試料とした．これを順次 10 倍段階希釈を行うことで $10^{-1} \sim 10^{-8}$ の試料を得た．総好気性菌数の計測には，ウマ脱繊維血を 5% 添加した TS 寒天培地（トリプチケースソイ寒天培地，日本ベクトン・ディッキンソン，東京）に適切な倍率に希釈した試料を一定量接種し，37 °C の恒温機で 48 時間の好気培養を行った．総嫌気性菌数の計測には，ウマ脱繊維血を 5% 添加した BL 寒天培地（BL 寒天培地「ニッスイ」，日水製薬，東京）を用いて同様に試料を接種し，嫌気ジャーを用いたガスパック法（Anaero Pack・ケンキ，三菱ガス化学，東京）により 37 °C で 48 時間，嫌気培養を行った．各培地上に発育したコロニー数をカウントし，培地への試料の接種量と希釈倍率から新鮮糞 1 g 当たりの生菌数を算出した．また，試験期 4 日目の糞量から，それぞれの日排泄量を算出した．

In vitro アンモニア揮散量の測定には試験期 4 日目（最終日）の糞尿を用いた．それぞれ 1 日量を均一に混合した後，一部を分析まで 5 °C の冷蔵庫に保存した．アンモニア揮散量の測定は図 3-1 の実験装置を用い，畜産で利用される臭気対策資材の効果判定方法（農業・生物系特定産業技術研究機構 2002）に準じて実施した．すなわち，糞 40 g と尿 160 ml を家庭用ミキサーで 15 秒間攪拌・混合し，2 本のプラスチック管が付いたポリカーボネート製の培養器（容積は約 1 L）に移し入れた．アンモニアの捕集には 4% ホウ酸溶液を 300 ml 入れた 500 ml の三角フラスコを用いた．吸気にはダイヤフラムポンプ（N86KN.18，

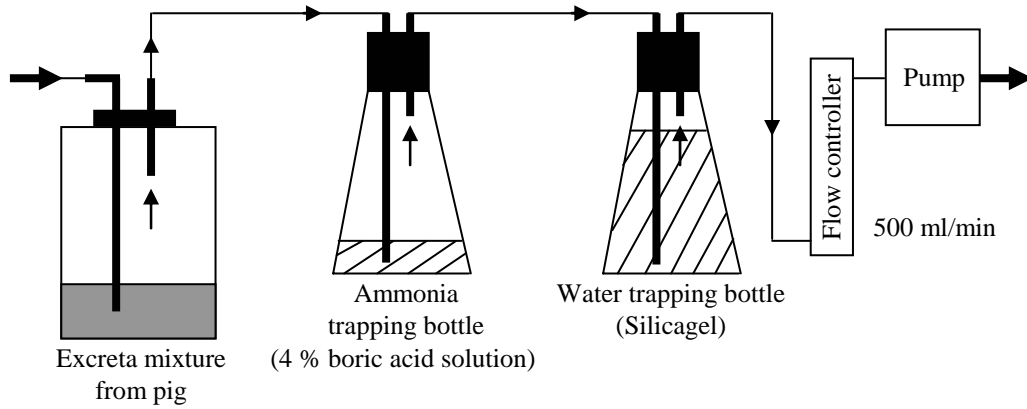


Figure 3-1 Schematic diagram of ammonia emission measurement system

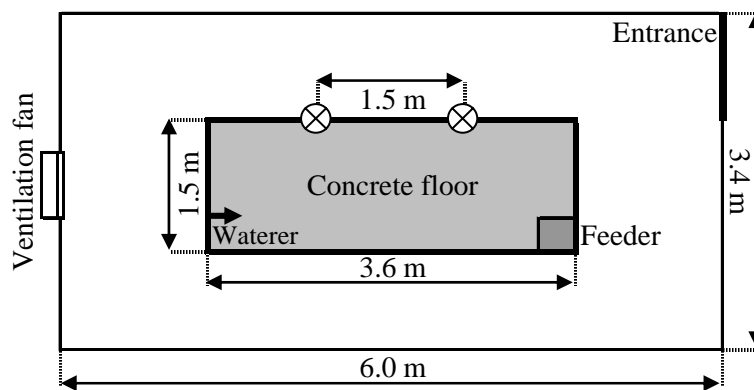


Figure 3-2 Design of the experimental pigpen
 ⊗ Measurement point (A point of 2 m high)

ケーエヌ・エフ・ジャパン，東京）を使用し，捕集ビンとポンプの間にフロー
ト式流量計（RK-1650，コフロック，京都）を接続することで，流量を一定に調
整した．また，捕集ビンと流量計の間には，水分トラップ用のシリカゲルを充
填した 500 ml の三角フラスコを設置した．培養器を 30 ℃ の恒温水槽に浸し，
500 ml/分の流量で 48 時間培養後，捕集ビン中の 4% ホウ酸溶液に吸収したア
ンモニア性窒素を 0.05 mol/L 硫酸溶液を用いた直接滴定により定量した．これ
に換算係数（1.13）を乗ずることでアンモニア揮散量を求め，さらに，試験期
4 日目の尿量から 1 日当たりのアンモニア揮散量を算出した．

2-2．豚舎内アンモニア濃度測定試験（試験 2）

試験は 2011 年 4 月 7 日から同月 28 日にかけて実施した．

試験に使用した豚舎の概要を図 3-2 に示した．豚舎の容積が 43.86 m³/室 [6.0
m × 3.4 m × 2.15 m (高さ)] で，構造が同じウインドウレス豚舎 2 室を使用した．
豚舎中央に単管パイプおよびコンパネを用いて 5.4 m² の豚房を作成し，給餌器
および給水器を図の位置に設置した．各豚房で 4 頭ずつを飼養することで飼育
密度は 1.35 m²/頭となった．

供試豚には長崎県農林技術開発センターにおいて母豚 3 腹から生産された三
元交雑種（WL・D）の去勢雄 8 頭を用いた．各腹から選抜される頭数が等しくな
るように 4 頭ずつ 2 群に分けて群飼し（1 期目の開始体重：70.6 vs. 69.4 kg），
窒素出納試験に供した表 1 と同じ飼料（CP 含量の分析値：14.9 vs. 10.3%）
を用いて飼料反転法による給与試験を実施した．

豚房への馴致期間（市販配合飼料を給与）を 1 週間設けた後，2 種類の試験

用飼料を予備期 4 日間，試験期 3 日間の日程で給与した．次いで，両飼料を反転して（2 期目の開始体重：75.3 vs. 76.5 kg）同じ日程（予備期 4 日間，試験期 3 日間）でさらに給与した．その間，飼料はウェットフィーダーにより飽食給与し，水はニップル式の給水器により自由飲水とした．豚房の清掃は各試験期の 1，3 および 5 日目にアンモニア濃度の測定直後に行った．その他，給餌およびアンモニア濃度の測定に係る作業以外の飼養管理を制限した．

アンモニアの測定は留置式アンモニア検知管（アンモニアパッシブディジューブ，ガステック，神奈川）により，図 3-2 に示した一定の 2 地点で実施した．測定開始前に 5 分間の換気を行い，その後農業用ビニールにより換気ダクトおよび出入り口を封鎖し，外気の侵入を遮断した．測定時間は人為的な影響が少ないと考えられる 22:00 から翌 8:00 までの 10 時間とし，得られた 2 地点のデータの平均値を単位時間あたりに換算したものを平均濃度とした．アンモニア濃度の測定は全試験期間において行ったが，前給与飼料の影響が無くなると考えられる試験用飼料の給与 5 日目から 7 日目および飼料反転後の 12 日目から 14 日目のそれぞれ 3 日間（合計 6 日間）の測定値をデータとして取り扱った．

試験開始前，飼料反転時および試験終了時に体重測定を実施し，肥育日数から両試験区の 1 日平均増体量を求めた．また，試験期間中の群の飼料摂取量から 1 頭当たりの日摂取量を求め，増体量から飼料要求率を算出した．なお，試験期間中の豚舎 2 室の平均気温は 19.0 ± 2.1 と 19.4 ± 2.1 で，豚舎間の温度差は試験期間を通してほとんどなかった．

2-3. 統計処理

窒素出納試験（試験 1）および豚舎内アンモニア濃度測定試験（試験 2）の肥育成績の各調査項目については個体（窒素出納試験：n=4，臭気濃度測定試験：n=8）を反復として，また，豚舎内アンモニア濃度測定試験（試験 2）のアンモニア濃度については試験期の調査回数（n=6，3 日間×2 期）を反復として処理間の差を *t* 検定により分析した．

3. 結果

3-1. 肥育豚の成長

窒素出納試験（試験 1）における体重の変動を表 3-2 に示した．両試験区の試験開始時（67.6 vs. 68.0 kg）および試験終了時（75.8 vs. 76.1 kg）の体重に差はなかった．したがって，試験期間中の 1 日平均増体量（1016 vs. 1016 g/日）にも差は認められなかった．また，飼料の給与量を乾物量で体重の 3% に設定したことから，飼料摂取量は両区間でほぼ同等となり（2293 vs. 2333 g/日），飼料要求率（2.27 vs. 2.31）も両区間で差を認めなかった．また，表には示さなかったが，豚舎内アンモニア濃度測定試験（試験 2）の試験開始体重（72.9 vs. 72.9 kg），試験終了時体重（79.5 vs. 79.6 kg），1 日平均増体量（955 vs. 938 g/日），飼料摂取量（3265 vs. 3121 g/日）および飼料要求率（3.51 vs. 3.31）において，いずれも両試験区間に差は認められなかった．

3-2. 排泄物の性状

バレイショ生澱粉を配合した低 CP 飼料の給与が肥育豚の排泄物に及ぼす影

Table 3-2 Effects of low-protein diet including raw potato starch on growth performance, feces and urine in finishing pigs

	Control (n=4)	Potato starch (n=4)
Initial weight (kg)	67.6 ± 3.6	68.0 ± 5.2
Final weight (kg)	75.8 ± 3.9	76.1 ± 6.3
Dairy gain (g/day)	1016 ± 78.6	1016 ± 139
Feed intake (g/day)	2293 ± 123	2333 ± 179
Feed conversion ratio	2.27 ± 0.19	2.31 ± 0.16
Amount of excreta (g/day)		
Feces	918 ± 85 ^a	1318 ± 183 ^b
Urine	7317 ± 6289	5779 ± 5850
Moisture content of feces (%)	71.3 ± 1.2 ^a	75.5 ± 2.4 ^b
Microbial populations		
Fecal concentration (log CFU/g)		
Total aerobes	7.5 ± 0.3	7.1 ± 0.5
Total anaerobes	8.9 ± 0.4	9.6 ± 0.5
Fecal excretion (log CFU/day)		
Total aerobes	10.4 ± 0.1	10.0 ± 0.6
Total anaerobes	11.8 ± 0.4 ^a	12.7 ± 0.5 ^b

Means ± standard deviation.

^{ab}Values in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

響を表 3-2 に示した。排泄物の量を見ると、バレイシヨ澱粉区は対照区と比較して、糞では有意に多く (918 vs. 1318 g/日, $P<0.05$), 尿では有意ではないものの、少ない値を示した (7317 vs. 5779 g/日)。また、糞の水分含量はバレイシヨ澱粉区で対照区より約 4% 高かった (71.3 vs. 75.5%, $P<0.05$)。糞中の腸内細菌数については、好気性菌の総菌数および日排泄量に試験区間の差は認められなかった (7.5 vs. 7.1 log CFU/g, 10.4 vs. 10.0 log CFU/日) が、嫌気性菌ではバレイシヨ澱粉区の総菌数が対照区と比較して増加する傾向を示した (8.9 vs. 9.6 log CFU/g, $P<0.10$) ため、その日排泄量は糞量の多いバレイシヨ澱粉区において有意に増加した (11.8 vs. 12.7 log CFU/日, $P<0.05$)。

3-3. 窒素出納

バレイシヨ生澱粉を配合した低 CP 飼料の給与が肥育豚の窒素出納に及ぼす影響を表 3-3 に示した。バレイシヨ澱粉区では、給与飼料の CP 含量が対照区より約 3.5% 単位低かったことから、窒素摂取量は対照区と比較して有意に少なくなった (52.1 vs. 39.9 g/日, $P<0.01$)。しかし、窒素蓄積量が両区間で差を示さなかった (22.8 vs. 19.8 g/日) ため、窒素摂取量に占める窒素蓄積量の割合は窒素摂取量の少なかったバレイシヨ澱粉区で高い結果となった (43.7 vs. 49.5%, $P<0.05$)。

糞尿への総窒素排泄量は対照区と比較してバレイシヨ澱粉区で有意に少なかった (29.9 vs. 20.8 g/日, $P<0.01$)。総窒素排泄量の内訳をみると、糞ではバレイシヨ澱粉区で有意に多かった (7.4 vs. 10.4 g/日, $P<0.01$) が、尿ではバレイシヨ澱粉区で有意に少なかった (22.5 vs. 10.3 g/日, $P<0.01$)。また、両

Table 3-3 Effects of low-protein diet including raw potato starch on nitrogen balance in finishing pigs

	Control (n=4)	Potato starch (n=4)
Nitrogen balance		
N intake (g/day)	52.1 ± 2.8 ^A	39.9 ± 3.1 ^A
N retention (g/day)	22.8 ± 1.3	19.8 ± 2.1
N retention (% of intake)	43.7 ± 2.6 ^a	49.5 ± 3.9 ^b
Total N excretion (g/day)	29.9 ± 2.3 ^A	20.8 ± 2.2 ^B
Fecal N (g/day)	7.4 ± 0.6 ^A	10.4 ± 0.8 ^B
Urinary N (g/day)	22.5 ± 2.8 ^A	10.3 ± 2.2 ^B
Fecal N (% of excretion)	25.0 ± 3.9 ^A	50.6 ± 5.8 ^B
Urinary N (% of excretion)	75.0 ± 3.9 ^A	49.4 ± 5.8 ^B
Fecal N : Urinary N	0.34 ± 0.07 ^A	1.04 ± 0.22 ^B
Apparent N digestibility (%)	86.8 ± 1.3 ^A	75.3 ± 3.0 ^B

Means ± standard deviation.

^{AB}Values in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.01$).

^{ab}Values in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

試験区の総窒素排泄量に占める糞と尿への窒素排泄量の割合をみると、糞では対照区と比較してバレイショ澱粉区が有意に高かった（25.0 vs. 50.6% , $P<0.01$ ）が、尿では低かった（75.0 vs. 49.4% , $P<0.01$ ）。以上のことから、バレイショ澱粉区では対照区と比較して、尿に対する糞への窒素排泄比が明らかに高く（0.34 vs. 1.04 , $P<0.01$ ）、見かけの窒素消化率は低くなった（86.8 vs. 75.3% , $P<0.01$ ）。

3-4. アンモニアの発生

バレイショ生澱粉を配合した低 CP 飼料の給与が糞尿混合物からの *in vitro* アンモニア揮散量（試験 1）および豚舎内アンモニア濃度（試験 2）に及ぼす影響について表 3-4 に示した。

試験 1 の窒素出納試験で得られた糞尿混合物からの *in vitro* アンモニア揮散量は対照区と比較して、バレイショ澱粉区で有意に低下した（3500 vs. 1348 mg/日 , $P<0.05$ ）。同飼料の給与が試験 2 における豚舎内アンモニア濃度の経時変化に及ぼす影響（図 3-3）を見ると、試験開始 3 日目までは、馴致期に給与した前給餌の市販配合飼料の影響により、豚舎内アンモニア濃度に対する試験用飼料の効果は判然としなかった。しかし、4 日目以降に効果が認められ、バレイショ澱粉区の豚舎内アンモニア濃度は対照区と比較して低下した。その後、試験開始 8 日目の飼料反転に伴い、11 日目までは前給餌の試験用飼料の影響が残存したと考えられるものの、前半期と同様に 12 日目以降にはバレイショ澱粉区の豚舎内アンモニア濃度は対照区と比較して低く推移した。したがって、試験期のバレイショ澱粉区の豚舎内アンモニア濃度は対照区と比較して有意に低

Table 3-4 Effects of low-protein diet including raw potato starch on ammonia emissions in finishing pigs

	Control	Potato starch
Exp. 1 (<i>in vitro</i>)	(n=4)	(n=4)
Ammonia emissions (mg/day)	3500 ± 808 ^a	1348 ± 1008 ^b
Exp. 2 (<i>in vivo</i>)	(n=6)	(n=6)
Ammonia concentrations (ppm·h)	33.6 ± 8.5 ^A	5.3 ± 1.7 ^B

Means ± standard deviation.

^{AB}Values in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.01$).

^{ab}Values in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

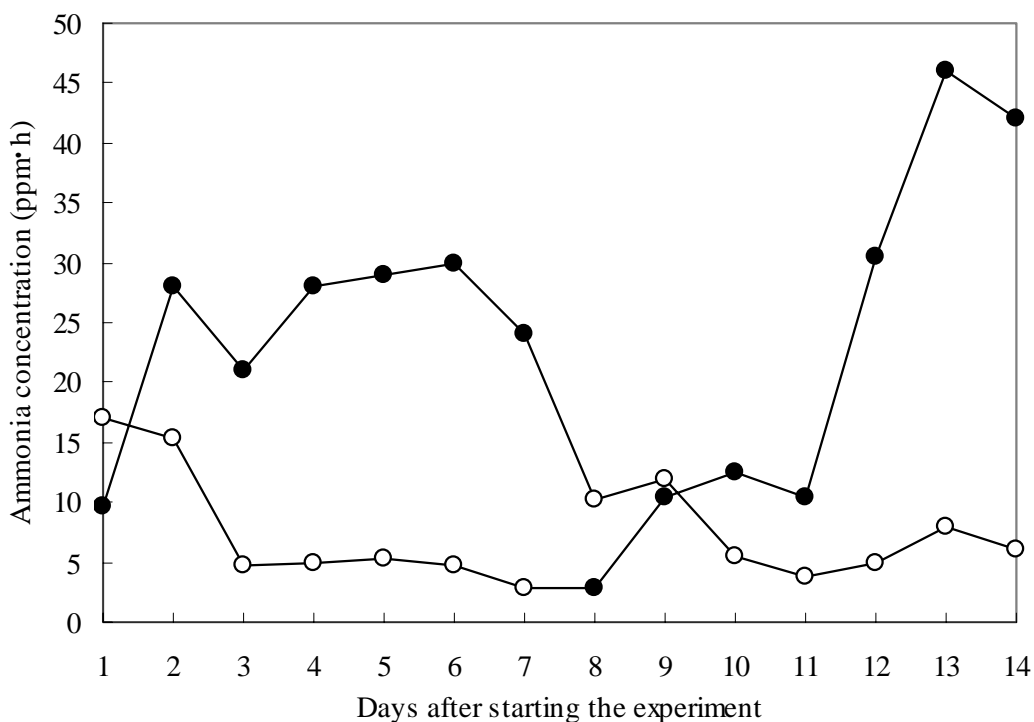


Figure 3-3 Effects of low-protein diet including raw potato starch on the pattern of dairy ammonia concentration in the pigpen. Two types of diets were exchanged between the groups at 7th day of the experiment. (○) Control diet, (●) Raw potato starch diet.

下する結果となった (33.6 vs. 5.3 ppm·h, $P < 0.01$).

4. 考察

本章では、地域未利用資源である規格外バレイシヨの飼料化に向けて、これに含まれる RS の消化特性を活用した飼料による環境負荷物質の低減方法を検討した。

4-1. 排泄物の性状

バレイシヨ澱粉区ではバレイシヨ生澱粉を 20% 配合した飼料を給与したが、対照区と比較して明らかな腸内細菌数の増加と糞量および糞の水分含量の増加が認められた。

これまで、RS の一つである種々のハイアミロースコーンスターチ (生澱粉, 老化澱粉, 湿熱処理澱粉) のブタ (Louise ら 1997; Brown ら 1997) またはラット (Kishida ら 2001) への給与は、それぞれ糞量の増加をもたらすことが確認されている。Brown ら (1997) はさらに、ハイアミロースコーンスターチ (生澱粉) の給与による *Bifidobacterium* 数の増加を認め、その際の糞の水分含量は 3.5% 単位高まっている。バレイシヨ生澱粉はブタの消化管でも難消化特性を示すことが知られている (Martinez-Puig ら 2003)。糞の主体は水分、腸内細菌および未消化の飼料成分となるが、RS も胃や小腸で分解・吸収されずに大腸内に流入することから、バレイシヨ澱粉区では最終的に糞量が増加し、またその一部が大腸内微生物の増殖に利用されることで、腸内細菌数の増加が認められたものと考えられた。

早川と柘植（1999）によると，RS はヒトにおいて，食物繊維と同様に糞量の増加特性や腸管内容物の消化管通過時間の短縮により排便促進効果を示す．また，Cummins（1984）は糞量の増加と消化管通過時間とは逆相関にあることを報告している．本研究の肥育豚においても難消化性のバレイシヨ生澱粉による腸管内容物の増加が消化管通過時間の短縮をもたらしたため，消化管における腸管内容物の水分の吸収量が低くなった結果，糞の水分含量が対照区より高くなったと考えられた．

尿の排泄量については個体差が大きく，有意な差ではなかったが，バレイシヨ澱粉区で対照区に対して 21%の低下が認められた．低 CP 飼料を肥育豚に給与すると，飲水量の減少から尿量が減少することが報告されている（Suzuki ら 1998；山本ら 2002a）ことから，本研究でのバレイシヨ澱粉区における尿量の低下も同様の理由によるものと考えられた．

4-2．窒素排泄量とアンモニア揮散量

斎藤（2001）はこれまでの研究結果を元に，飼料における粗タンパク質（CP）水準の対照区からの低下割合と糞尿への窒素排泄量の減少率との関係式を導いている．この関係式に，本研究の飼料 CP の低下割合を当てはめた場合，糞尿への総窒素排泄量の減少率は約 30%となり，実際の研究結果とほぼ合致した．

しかしながら，糞および尿への窒素排泄パターンは斎藤（2001）の報告と明らかに異なる特徴が認められた．すなわち，バレイシヨ澱粉区の関係式から導かれた尿への窒素排泄量の減少率は約 37%であったのに対し，実際は約 54%と大幅な低減が認められた．一方で，低 CP 飼料を給与したにも関わらず，糞への

窒素排泄量は対照区に対して 41% の増加率を示した。これにより、バレイショ澱粉区における総窒素排泄量のうち、糞への窒素排泄割合は 50.6% と、わずかではあるが尿への窒素排泄割合を上回ったため、窒素排泄比は 1.00 を超えた。

この窒素排泄パターンの変化は NSP の多給時によく認められている。Canh ら (1997) の報告では、CP 水準は対照区と同程度でも NSP 含量の高いビートパルプを 30% 配合した飼料を肥育豚に給与すると、尿への窒素排泄量は対照区の 56% に低下し、糞への窒素排泄量は 174% にまで増加している。また、山本ら (2002b) は同様の飼料にリンゴジュース粕を添加して肥育豚に給与した際には、ビートパルプの場合と同様の窒素排泄パターンを示すことを報告している。

このような尿への窒素排泄量の減少と糞への窒素排泄量の増加は Gargallo と Zimmerman (1981) や Mosenthin ら (1992) の実験により明らかとなっている。大腸内に NSP などの難消化性糖類が流入し、腸内細菌の増殖が活発になると、体内での尿素循環により消化管内に尿素が分泌されるため、尿への窒素排泄量は減少する。一方、その分泌された尿素は腸管内でアンモニアとなり菌体タンパク質を合成するための窒素源として腸内細菌に資化され、増殖した腸内細菌が代謝性糞窒素として糞への窒素排泄量を増加させると考えられる。

Martinez-Puig ら (2003) は肥育豚に対してバレイショ生澱粉を 25% 配合した飼料を給与した際、回腸での澱粉の消化率は 75% 程度とコーンスターチより明らかに低く、多くの難消化性糖類が大腸に到達することと、同時に尿への窒素排泄量が低下することも報告している。本研究においても、バレイショ澱粉区では大幅な尿への窒素排泄量の低下が確認された。その際、糞中の腸内細菌数は増加し、代謝性糞窒素の増加により見かけの窒素消化率は低下したが、糞

尿への総窒素排泄量は一般的な低 CP 飼料の給与時と同等に保たれていた。以上のことから、本研究での尿への窒素排泄量の減少と糞への窒素排泄量の増加も RS であるバレイショ生澱粉の給与による尿素循環の作用によるものと思われる。

NSP 含量の高い飼料原料を多量に配合した低 CP 飼料の肥育豚への給与は尿への窒素排泄量を大幅に低減すると同時に、糞尿からのアンモニア揮散量の低減にも有効であることが報告されている (Canh ら 1998; Yamamoto ら 2002a, b; 山本ら 2003b)。山本ら (2003a) によると、糞尿混合物からのアンモニア揮散量は尿中の窒素含量に比例して増加することが示されており、糞尿からのアンモニア揮散量を抑制するには、尿への窒素排泄量を低減することが一つの有効な手段と言える。本研究の試験 1 では、バレイショ澱粉区の尿への窒素排泄量は対照区と比較して約 46% に低下し、同時に糞尿混合物からの *in vitro* アンモニア揮散量は約 39% に低下した。また、試験 2 ではバレイショ澱粉区の豚舎内アンモニア濃度は対照区の約 16% まで低下した。本研究におけるこの両試験間の差は、アンモニアの測定方法の違いによるものと考えられる。糞尿から発生するアンモニアは尿中の窒素化合物の主体である尿素態窒素が糞中のウレアーゼにより分解されて発生する。試験 1 では、窒素出納試験で得られた一定量の糞尿を、あらかじめ均一に混合した後に測定したアンモニアの発生量を 1 日当たりの尿量で換算して得られた値を日最大量として示した。一方、試験 2 では、より一般的な飼育環境に近い条件として、群飼による飽食給与下での豚舎内のアンモニア濃度を測定した。特に、試験 2 では試験区間の飼料 CP 水準の差が試験 1 と比較して大きかった (試験 1 vs. 試験 2 : 3.6 vs. 4.6% 単位) こともあ

り、バレイショ澱粉区の尿への窒素排泄量が大きく低下したと併せて、尿自体の排泄量も少ないことから、試験 2 では糞と尿の接触する機会が少なかったと考えられ、試験 1 の結果以上に給与飼料によるアンモニアの低減効果が認められたものと思われた。

以上のように、標準飼料より CP 含量を約 4% 単位低くし、かつ難消化性のバレイショ生澱粉を 20% 配合した飼料は、短期間の給与ではあるが肥育豚の窒素蓄積量や発育に影響を及ぼすことなく、窒素の総排泄量、特に尿への排泄量の大幅な低減効果を持つことが示された。この尿への窒素排泄量の低減は糞尿混合物からのアンモニア揮散量の抑制に効果的であるため、群飼で飽食給与を行う生産現場での豚舎内アンモニア濃度の低減に対して、より有効であることが示唆された。しかし、糞量と糞の水分含量の増加は堆肥化時の処理量の増加やハンドリングの低下に伴う処理コストに通じるため、バレイショ生澱粉の適切な給与量や効果的な給与方法については今後の検討が必要と考えられる。

5. 摘要

バレイショに含まれる難消化性澱粉の栄養特性を環境負荷物質の低減策に応用するため、バレイショ生澱粉を配合した低タンパク質飼料の給与が肥育豚の窒素排泄量およびアンモニア揮散量に及ぼす影響を調査した。

飼料反転法による窒素出納試験に 4 頭の去勢雄 (WL・D, 64.0 kg) を、またウインドウレス豚舎内でのアンモニア濃度の測定試験には 8 頭の去勢雄 (WL・D, 70.0 kg) を用い、いずれの試験でも標準的な肥育飼料 (CP15.7%) を給与する対照区とバレイショ生澱粉を 20% 配合した低タンパク質飼料 (CP11.6%)

を給与するバレイシヨ澱粉区を設定した。

バレイシヨ澱粉区では糞への窒素排泄量は対照区より多い($P<0.01$)ものの、尿への窒素排泄量および糞尿への総窒素排泄量は少なくなった($P<0.01$)。糞尿混合物からの *in vitro* アンモニア揮散量 ($P<0.05$) および豚舎内アンモニア濃度 ($P<0.01$) はバレイシヨ澱粉区が対照区より低くなった。一方、試験期間における肥育豚の増体量、飼料摂取量および飼料要求率には両区間の差は認められなかった。

以上の結果から、バレイシヨ生澱粉を配合した低タンパク質飼料の給与は肥育豚の発育に影響することなく、尿への窒素排泄量および豚舎内アンモニア濃度を大幅に低減できる可能性が示された。

第4章 地域未利用資源を組み合わせた環境配慮型飼養管理技術の検討

第1節 シロップ廃液および規格外バレイショサイレージを配合した低タンパク質飼料の給与が肥育豚の窒素排泄量およびアンモニア揮散量に及ぼす影響

1. 緒言

第2章において、第1節では食品工場より排出されるシロップ廃液が肥育豚の健康に影響することなく、肥育成績を改善する有効なリキッド飼料原料であること、また、第2節では農業副産物として排出される規格外バレイショが糟糠類との単純配合によるサイレージ化が可能で、栄養成分の変動や損失も少なく、大規模養豚場でのリキッドフィーディング利用を前提とした飼料原料になり得ることを示した。

地域未利用資源を飼料に利用する場合、それぞれ排出される残さ単体で肥育豚の栄養要求量を満たすことは困難であるため、他の残さや市販配合飼料と組み合わせる必要がある。厨芥残さや学校給食残さなどでは、栄養価は高いものの、その変動が大きい(佐伯ら 2001)ことから、栄養成分を分析または予測しながら(佐伯ら 2004)、ブタの栄養要求量やバランスを大きく損なわない範囲に制限して市販配合飼料に混合して給与することが多い(蒔田と渡部 2000; 高橋 2000; 矢後 2000)。本研究で取り上げた規格外バレイショなどの水分含量の高い固形残さの場合は、乾燥飼料用の自動給餌機の使用が制限されるため、リキッドフィーディングが適していると考えられる。その際、水分含量の高いシロップ廃液などの液状残さと組み合わせることは、飼料栄養成

分の補完と併せて、給与に係る利便性を向上させる上でも有効である。

シロップ廃液および規格外バレイシヨは食品残さの中でも栄養成分の変動が
少ない飼料資源であるため、市販配合飼料の場合と同等の精密な栄養管理が可
能と考えられる。第3章ではバレイシヨに含まれるレジスタントスターチ(RS)
の消化特性(早川と柘植 1999)に着目して、バレイシヨ生澱粉を低タンパク質
飼料(低CP飼料)原料として肥育豚に給与することで、非澱粉多糖類(NSP)
を給与した場合(Yamamotoら 2002a, b; 山本ら 2003b)と同様に、肥育豚の発
育に影響することなく、尿への窒素排泄量および豚舎内アンモニア濃度を大幅
に低減できることを明らかにした。このことから、規格外バレイシヨも他の原
料を用いて低CP飼料に栄養調整して給与することでRSの消化特性が発揮され、
窒素排泄量やアンモニア揮散量の低減に有効であると考えられるが、バレイシ
ヨを給与した場合にもバレイシヨ生澱粉と同様の効果が得られるか検討した報
告は見られない。また、規格外バレイシヨを低CP飼料原料に用いた報告はいく
つかある(嶋澤ら 2007, 2008, 2009)ものの、糞尿中の環境負荷物質の低減を
目的とした飼料利用に関する報告はなく、食品残さを液状の低CP飼料の原料と
して肥育豚に給与した例もほとんど見当たらない(高木ら 2010)。

そこで、本節では、ギ酸処理およびサイレージ化により一時貯蔵したシロッ
プ廃液および規格外バレイシヨを主原料に調製した低CPリキッド飼料の肥育
豚への給与が窒素排泄量およびアンモニア揮散量に及ぼす影響を調査し、地域
未利用資源の飼料特性を活かした環境配慮型の飼料給与方法について検討した。

2. 材料および方法

2-1. 窒素出納試験

試験は 2010 年 1 月から同年 4 月にかけて 2 回実施した（1 回目：2010 年 1 月 28 日～同年 2 月 11 日，2 回目：2010 年 4 月 8 日～同年 4 月 22 日）。

1) 供試豚および試験区分

試験には長崎県農林技術開発センターにおいて母豚 5 腹から生産された三元交雑種（WL・D）の去勢雄 8 頭（平均体重 70.1 kg）を用いた。平均体重が等しくなるように対照区および低 CP リキッド飼料区に 2 頭ずつ配置する試験を 2 反復した。以上により，1 飼料につき 4 頭のデータを取得する計画としたが，2 回目の低 CP リキッド飼料区において，予備期に下痢を呈した供試豚 1 頭を試験から除外したため，低 CP リキッド飼料区は 3 頭のデータとなった。

2) 供試飼料

試験に供した飼料の配合割合および飼料成分を表 4-1 に示した。対照区にはトウモロコシ，大麦および大豆粕を主体に配合した標準的な栄養水準の仕上げ期飼料を給与した。一方，低 CP リキッド飼料区にはシロップ廃液およびバレイショサイレージを主体に，他の穀類等により栄養調整した液状の低タンパク質飼料（低 CP リキッド飼料）を給与した。低 CP リキッド飼料は対照区の飼料と比較して水分含量が高く（対照区 vs. 低 CP リキッド飼料区：11.4 vs. 74.2%），風乾物に換算した TDN 含量が同等（75.0 vs. 75.0%）で，CP 含量が約 4% 単位低くなるように設計した（設計値：15.6 vs. 11.5%，分析値：13.7 vs. 10.0%）。CP 含量の低下に伴い，日本飼養標準・豚（農業・生物系特定産業技術研究機構 2005）に示された肥育豚のアミノ酸要求量に対してリジンのみが不足したため，

Table 4-1 Percentage of feed ingredients and nutritive values (%)

	Control diet	Experimental diet
Ingredients		
Syrup waste	-	72.50
Potato silage	-	18.00
Corn	58.80	5.88
Fish meal (CP65%)	1.20	0.12
Barley	23.10	-
Soybean meal	14.50	3.00
Dicalcium phosphate	1.10	0.02
Calcium carbonate	0.50	0.30
Salt	0.35	0.05
Vitamin and mineral premix	0.35	0.07
Lincomycin premix	0.10	0.01
Lysine HCl	-	0.05
Calculated values¹⁾		
Moisture	11.4	74.2
Crude protein	15.6	11.5
Ether extract	3.0	1.3
Nitrogen free extract	61.1	66.5
Crude fiber	2.5	2.5
Crude ash	4.7	5.1
Lysine	0.78	0.69
Total digestible nutrients	75.0	75.0
Analysed values¹⁾		
Crude protein	13.7	10.0

¹⁾ Values except for moisture were calculated based on air-dried feed.

L-リジン塩酸塩（L-リジン協和，協和発酵バイオ，東京）を添加した。

シロップ廃液は第2章第1節で使用したのと同じ食品工場から排出されたものを使用した。窒素出納試験の開始直前に研究室に搬入し，保存のためにギ酸製剤（ファームエース，ダイセル化学工業，大阪）を0.4%添加して実験に供した。なお，ギ酸製剤添加後のシロップ廃液の糖度は1回目がBrix 16.8%，2回目がBrix 17.5%であった。

本研究に用いたバレイショサイレージは第2章第2節において，バンカーサイロに貯蔵したサイレージと同じ配合割合で別途調製したものをを用いた。サイレージの調製は2009年6月，長崎県内のバレイショ選果施設において規格外品と選別されたものをを用いて実施した。水洗して1 cm から2 cm の厚さに細断した規格外バレイショ68.6%，脱脂米ぬか28.6%およびシロップ廃液2.9%の重量割合で混合・攪拌した後，500 L のポリエチレン製縦型円筒タンクに充填・密封した。このサイレージを1回目の窒素出納試験に合わせて開封し，孔径が5 mm のダイスがついたペレット成形機により粉碎した。粉碎したバレイショサイレージはサイロビニール袋に15 kg 程度に小分けして，家庭用掃除機で脱気後，密封して給与まで5 日の冷蔵庫内に保存した。また，一部を発酵品質および飼料成分の分析に供した。

3) 飼養管理

環境制御室内の代謝ケージに供試豚を収容し，6 日間の馴致期（市販配合飼料を両試験区に給与）の後，1 期8 日間の窒素出納試験を行った。すなわち，予備期として4 日間それぞれの試験用飼料を給与し，その後の4 日間を試験期として糞尿を全量採取した。飼料の給与量は予備期の直前に測定した体重の

3%（乾物量）に設定し，1日に3回（9：30，13：30，18：30）に等分して給与した．低 CP リキッド飼料区の飼料は給与直前に表 4-1 の配合割合で，その都度調製して給与した．また，対照区の飼料には低 CP リキッド飼料区の飼料と水分含量が等しくなるように，水を加水して給与した．それ以外の水は両試験区共にニップル式給水器より自由飲水とした．なお，試験期間中における残飼は観察されなかった．

4) 調査項目

窒素出納試験に供したバレイショサイレージの発酵品質に関して，第 2 章第 2 節で示した方法により pH，VBN/TN，乳酸および有機酸含量を調査し，それらの値から V-score を算出した（自給飼料品質評価研究会 2001）．また，サイレージの一般成分についても第 2 章第 2 節と同じ方法で水分，粗タンパク質，粗脂肪，可溶性無窒素物，粗繊維および粗灰分について調査した（飼料分析基準研究会 2005）．

予備期の直前と試験期の終了直後に体重測定を実施し，各々の試験飼料を摂取した期間の 1 日平均増体量を求めた．また，増体量および乾物飼料摂取量から飼料要求率を算出した．

糞および尿のサンプリングは第 3 章に示した方法で実施した．すなわち，1 日分毎に糞尿を分離して採取し，糞は計量後，通風乾燥（60 48 時間）した後，粉碎したものを分析試料とした．また，尿も 1 日分を計量後，一部をポリ容器に採取して分析まで -20 で保存した．ただし，試験期 4 日目（最終日）の午前中には，糞中の腸内細菌および揮発性脂肪酸（VFA）の分析用に排泄直後の新鮮糞の一部を別途採取して直ちに実験に供した．また，糞尿混合物からの *in*

in vitro アンモニア揮散量の測定のために同日（最終日）の 1 日分の糞および尿を均一に混合したものから一部を採取し，分析まで 5 日の冷蔵庫内で保存した。

糞中の窒素含量は，粉碎試料をケルダール分解した後，自動蒸留滴定装置（Kjeltec 1035，フォス・ジャパン，東京）を用いて分析した。また，尿中の窒素含量は凍結保存した試料を融解して室温に戻した後，糞と同様の方法で測定した。得られた窒素含量値と糞尿の排泄量から糞尿への窒素排泄量を求めた。

腸内細菌数の分析は光岡（1971）の方法に準じて実施した。総好気性菌数の計測には，ウマ脱繊維血を 5% 添加した TS 寒天培地（トリプチケースソイ寒天培地，日本ベクトン・ディッキンソン，東京）に適切な倍率に希釈した試料を一定量接種し，37℃ の恒温機で 48 時間の好気培養を行った。総嫌気性菌数の計測には，ウマ脱繊維血を 5% 添加した BL 寒天培地（BL 寒天培地「ニッスイ」，日水製薬，東京）を用いて同様に試料を接種し，嫌気ジャーを用いたガスパック法（Anaero Pack・ケンキ，三菱ガス化学，東京）により 37℃ で 48 時間，嫌気培養を行った。各培地上に発育したコロニー数をカウントし，新鮮糞 1 g 当たりの生菌数を算出した。

腸内細菌の分析に供した残りの糞を用いて糞中 VFA 濃度とその組成について調査した。新鮮糞 1 g を試験管に秤量し，9 倍量の蒸留水で希釈後，ミキサーによる攪拌・抽出を 1 分間行った。その後 4℃ で 3000 rpm，30 分間の遠心分離を行い，上清を分析試料として高速液体クロマトグラフィを用いた BTB ポストラベル法により VFA を測定した（自給飼料品質評価研究会 2001）。

糞尿混合物からの *in vitro* アンモニア揮散量の測定は第 3 章と同じ方法で実施した。すなわち，糞 40 g および尿 160 ml を攪拌・混合して培養器入れ，

発生するアンモニアを一定量（500 ml/分）で吸気しながら 48 時間ホウ酸溶液に捕集した。培養後，捕集ビン中のホウ酸溶液に吸収したアンモニア性窒素を 0.05 mol/L 硫酸溶液を用いた直接滴定により定量し，これに換算係数（1.13）を乗ずることでアンモニア揮散量を求めた。さらに，試験期 4 日目（最終日）の尿量から 1 日当たりのアンモニア揮散量を算出した。

2-2. 統計処理

窒素出納試験の各調査項目については個体（対照区：n=4，低 CP リキッド飼料区：n=3）を反復として，処理間の差を *t* 検定により分析した。

3. 結果

3-1. バレイシヨサイレージの発酵品質

窒素出納試験に供した規格外バレイシヨサイレージの発酵品質および栄養成分を表 4-2 に示した。ポリエチレン製縦型円筒タンクに調製したバレイシヨサイレージは pH が 3.79，VBN/TN が 6.98%，乳酸含量が 6.92%，酢酸含量が 0.85% で，プロピオン酸以上の VFA は検出されなかった。以上の分析値より算出された V-score は 96.0 ポイントと高い値となった。また，サイレージの栄養成分は水分 62.2%，粗タンパク質 18.6%，粗脂肪 1.8%，可溶性無窒素物 60.7%，粗繊維 8.3% および粗灰分 10.6%（以上，水分以外は乾物換算値）であった。

3-2. 肥育豚の成長

窒素出納試験における体重の変動を表 4-3 に示した。両試験区の試験開始時

Table 4-2 Fermentation quality and nutritive values of potato silage

Item	
Fermentation quality	
pH	3.79
VBN/TN (%)	6.98
Lactic acid (FM%)	6.92
Acetic acid (FM%)	0.85
V-score	96.0
Nutritive values	
Moisture (%)	62.2
Crude protein (DM%)	18.6
Ether extract (DM%)	1.8
Nitrogen free extract (DM%)	60.7
Crude fiber (DM%)	8.3
Crude ash (DM%)	10.6

Table 4-3 Effects of low-protein liquid feed including syrup waste and potato silage on growth performances in finishing pigs

	Control (n=4)	Low-CP liquid feed (n=3)
Initial weight (kg)	70.7 ± 5.5	69.3 ± 2.5
Final weight (kg)	75.4 ± 5.4	74.1 ± 2.8
Dairy gain (g/day)	591 ± 62	592 ± 95
Feed intake ¹⁾ (g/day)	2087 ± 130	2228 ± 101
Feed conversion ratio ¹⁾	3.56 ± 0.41	3.82 ± 0.56

Mean ± standard deviation.

¹⁾ DM basis.

(70.7 vs. 69.3 kg) および試験終了時 (75.4 vs. 74.1 kg) の体重に差はなかった。したがって、試験期間中の1日平均増体量 (591 vs. 592 g/日) にも差は認められなかった。また、飼料摂取量は両区間でほぼ同等であり (2087 vs. 2228 g/日)、飼料要求率 (3.56 vs. 3.82) も両区間で差を認めなかった。

3-3. 排泄物の性状

シロップ廃液および規格外バレイシヨサイレージを配合した低 CP リキッド飼料の給与が肥育豚の排泄物に及ぼす影響を表 4-4 に示した。両試験区の糞 (1278 vs. 1244 g/日) および尿量 (4464 vs. 4548 g/日) に差は認められなかった。また、糞の水分含量 (72.6 vs. 74.2%) についても同様に差は認められなかった。糞中の腸内細菌数については、好気性総菌数 (7.0 vs. 6.4 log CFU/g) および嫌気性総菌数 (8.3 vs. 8.3 log CFU/g) のいずれにおいても、両区間で差を認めなかった。糞中の総 VFA 濃度 (177.1 vs. 170 mmol/L) および総 VFA 濃度に占める酢酸 (36.7 vs. 38.1%)、プロピオン酸 (34.7 vs. 33.9%) および吉草酸 (6.6 vs. 2.2%) の割合についても有意な差は認められなかったが、酪酸割合では対照区と比較して低 CP リキッド飼料区で高い傾向が認められた (22.0 vs. 25.8%, $P<0.10$)。一方、糞尿混合物から発生する *in vitro* アンモニア揮散量は対照区と比較して、低 CP リキッド飼料区で明らかに低下した (7707 vs. 2581 mg/日, $P<0.01$)。

3-4. 窒素出納

低 CP リキッド飼料の給与が肥育豚の窒素出納に及ぼす影響を表 4-5 に示した。

Table 4-4 Effects of low-protein liquid feed including syrup waste and potato silage on feces and urine in finishing pigs

	Control (n=4)	Low-CP liquid feed (n=3)
Amount of excreta (g/day)		
Feces	1278 ± 79	1244 ± 20
Urine	4464 ± 959	4548 ± 599
Moisture content of feces (%)	72.6 ± 2.3	74.2 ± 1.2
Fecal microbial populations (log CFU/g)		
Total aerobes	7.0 ± 0.3	6.4 ± 0.6
Total anaerobes	8.3 ± 0.3	8.3 ± 0.4
Fecal volatile fatty acids (VFA)		
Total VFA (mmol/L)	177.1 ± 30.9	170.0 ± 57.5
Acetic acid (mol%)	36.7 ± 4.5	38.1 ± 5.5
Propionic acid (mol%)	34.7 ± 7.5	33.9 ± 0.4
Butyric acid (mol%)	22.0 ± 1.8	25.8 ± 2.2
Valeric acid (mol%)	6.6 ± 8.1	2.2 ± 3.8
Ammonia emissions from slurry (mg/day)	7707 ± 1668 ^A	2581 ± 891 ^B

Mean ± standard deviation.

^{AB}Values in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.01$).

Table 4-5 Effects of low-protein liquid feed including syrup waste and potato silage on nitrogen balance in finishing pigs

	Control (n=4)	Low-CP liquid feed (n=3)
Nitrogen balance		
N intake (g/day)	53.3 ± 2.9 ^A	41.1 ± 1.5 ^B
N retention (g/day)	18.5 ± 1.6	15.6 ± 2.2
N retention (% of intake)	34.6 ± 2.7	38.0 ± 4.7
Total N excretion (g/day)	34.9 ± 2.5 ^A	25.5 ± 1.9 ^B
Fecal N (g/day)	10.6 ± 0.5	11.0 ± 0.2
Urinary N (g/day)	24.3 ± 2.6 ^A	14.5 ± 1.7 ^B
Fecal N (% of excretion)	30.5 ± 2.5 ^A	43.4 ± 2.6 ^B
Urinary N (% of excretion)	69.5 ± 2.5 ^A	56.6 ± 2.6 ^B
Fecal N:Urinary N	0.44 ± 0.05 ^A	0.77 ± 0.08 ^B
Apparent N digestibility (%)	80.1 ± 1.2 ^A	73.1 ± 1.3 ^B

Mean ± standard deviation.

^{AB}Values in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.01$).

低 CP リキッド飼料区では，給与飼料の CP 含量が対照区より 3.7% 単位低かったことから，窒素摂取量は対照区と比較して有意に少なかった（53.3 vs. 41.1 g/日， $P < 0.01$ ）。しかし，窒素蓄積量が両区間で差を示さなかった（18.5 vs. 15.6 g/日）ため，窒素摂取量に占める窒素蓄積量の割合は窒素摂取量の少なかった低 CP リキッド飼料区で，有意な差ではないが高くなった（34.6 vs. 38.0%）。

糞尿への総窒素排泄量は対照区と比較して低 CP リキッド飼料区で有意に少なかった（34.9 vs. 25.5 g/日， $P < 0.01$ ）。総窒素排泄量の内訳をみると，糞では両試験区に差は認められない（10.6 vs. 11.0 g/日）が，尿では低 CP リキッド飼料区で有意に少なかった（24.3 vs. 14.5 g/日， $P < 0.01$ ）。また，両試験区の総窒素排泄量に占める糞と尿への窒素排泄量の割合をみてみると，糞では対照区と比較して低 CP リキッド飼料区が有意に高かった（30.5 vs. 43.4%， $P < 0.01$ ）が，尿では低かった（69.5 vs. 56.6%， $P < 0.01$ ）。以上のことから，低 CP リキッド飼料区は対照区と比較して，尿に対する糞への窒素排泄比が明らかに高く（0.44 vs. 0.77， $P < 0.01$ ），見かけの窒素消化率が低くなった（80.1 vs. 73.1%， $P < 0.01$ ）。

4. 考察

本節では，地域未利用資源（シロップ廃液と規格外バレイシヨ）の飼料特性を活用することで，養豚の際に生じる環境負荷物質の低減方法について検討した。特に，第 3 章で示したバレイシヨ生澱粉の難消化特性による窒素排泄量およびアンモニア揮散量の低減効果が，規格外バレイシヨでも認められるかについて検討した。

4-1. 排泄物の性状

第3章では、バレイショ生澱粉を20%と高い割合で配合した低CP飼料を肥育豚へ給与した際、RSの大腸内への流入による腸内容物の増加が、糞中の腸内細菌数の増加と、糞量および糞の水分含量の増加に影響することを示した。ブタ(Wangら2004)、ヒト(Cummingsら1996)あるいはラット(Blayら1999)においてバレイショ生澱粉が大腸へ到達すると微生物の作用により、糞中VFAの酪酸の割合が高くなることが示されているが、本節でも同様の結果が認められた。長崎県で作付けされているバレイショのデンプン価は概ね11%前後であり(向島ら2012)、これを用いて今回給与したバレイショを澱粉量に換算すると、第3章で給与したバレイショ生澱粉の約4分の1量となる。このことは、本節で給与したバレイショ澱粉は量的には少なかったにもかかわらず、完全には消化されないまま大腸に到達したことを意味する。しかしながら、第3章において明らかな影響として認められた糞の量、水分含量および腸内細菌数に対する影響が小さかったのは、本節で給与したバレイショ澱粉量が少なかったことと、シロップ廃液が消化・吸収性にすぐれていたことに起因するものと考えられた。

Brooks(2003)は、リキッド飼料中の水分含量が増加するに従って、飼料中の水を含めたブタの水摂取総量は増加するとしており、このことは、同時にブタの尿量の増加に影響すると考えられる。一方、これまで低CP飼料の給与による尿量の低下についてはいくつか報告されている(Suzukiら1998;山本ら2002a)が、いずれも乾燥飼料が前提となっている。第3章でもCP含量の低い乾燥飼料の給与により尿量が低下傾向にあることを示したが、水分74.2%の低

CP リキッド飼料に調製して肥育豚に給与した本節での尿量は、同等の水分含量となるように加水して飼料給与した対照区よりわずかに多かった。高木ら（2010）の報告では、低 CP（13%）飼料に焼酎粕および水を加えたりキッド飼料と標準 CP（15%）飼料に加水して給与した場合の飲水量および尿汚水量は、むしろ低 CP 飼料の方が多かったとしており、本研究の結果と類似していた。このことから、リキッド飼料の給与下では、乾燥飼料の給与下における飼料 CP 含量と尿量との関係が異なると考えられ、今後の検討が必要である。

4-2. 窒素排泄とアンモニア揮散

アミノ酸を添加した低 CP 飼料の肥育豚への給与は標準的な CP 飼料と比較して、糞および尿への窒素排泄量を低減するが、その減少率は糞（12%）より尿（35%）で大きいとしている（斉藤 2001）。しかしながら、同様の低 CP 飼料中に NSP を多く含有した飼料を給与した場合には、糞への窒素排泄量は標準 CP 飼料よりも増加し、逆に、尿への窒素排泄量は大幅に低減することが報告されている（山本ら 2003c）。これらは、ブタの小腸で消化・吸収されなかった難消化性糖類が大腸内に流入して腸内細菌の増殖が促進されると、体内での尿素循環（Gargallo と Zimmerman 1981；Mosenthin ら 1992）により尿素が消化管内に分泌されるためである。本節の低 CP リキッド飼料区では対照区より CP 含量が 3.7% 単位低いリキッド飼料を給与したが、窒素排泄量において尿では上述した一般的な低 CP 飼料給与時の値よりも大きい 40% の減少率が確認された一方で、糞では逆に 4% の増加率が認められた。第 3 章ではバレイショ生澱粉を 20% と高い割合で配合したことで尿中窒素排泄量の減少率が 54%、糞中窒素排泄量の

増加率が 41%と、より顕著な影響が認められたが、バレイシヨ生澱粉としての給与量が少なかった本節においても、糞尿への窒素排泄比に対する反応はそれらと比較して小さかったものの、尿素循環による糞中窒素排泄量の増加と尿中窒素排泄量の低減として一定の効果が再現されたものと考えられた。

また、本節では、低 CP リキッド飼料区の尿への窒素排泄量が対照区と比較して 60%(減少率 40%)に低下したことで、同時に糞尿混合物からの *in vitro* アンモニア揮散量は対照区の約 3 分の 1 まで低下した。尿中の窒素含量と糞尿混合物からのアンモニア揮散量は比例関係にあること(山本ら 2003a)から、これまでの報告(Yamamoto ら 2002a,b; 山本ら 2003b)と同様に、豚舎からの臭気低減には尿中窒素排泄量の低減が有効であることが示された。

4-3. バレイシヨ給与と肥育豚の発育

Whittemore ら(1975)は、生バレイシヨを肥育豚に給与する場合、タンパク質分解酵素であるキモトリプシンの阻害物質が存在するため、加熱したバレイシヨと比較して窒素の消化率が低いことを指摘している。また、米田ら(1984)も配合飼料中の生バレイシヨサイレージの割合が増加するに伴い、ブタの発育は劣ることを報告している。本節でも、バレイシヨサイレージを給与した低 CP リキッド飼料区における見かけの窒素消化率の低下が認められた。しかしながら、窒素蓄積量は両区間で差を認めず、窒素摂取量に占める窒素蓄積量としては、むしろ低 CP リキッド飼料区が高かった。糞尿への窒素排泄比も対照区と明らかに異なっていたことから、窒素消化率の低下は先述した尿素循環による代謝性糞窒素の増加によるものと考えられた。また、バレイシヨサイレージを配

合した低 CP リキッド飼料を給与しても、肥育豚の増体量および飼料要求率に明らかな影響は認められなかったため、本節で用いた低 CP リキッド飼料による肥育豚の発育への影響は小さいと考えられた。しかしながら、前述の報告（Whittemore ら 1975；米田ら 1984）よりバレイシヨの給与量や給与期間が少なかったことで、発育への影響が顕著とならなかった可能性もあることから、より長期的な給与試験が必要である。

以上の結果から、第 2 章でリキッド飼料原料としての有効性を示したシロップ廃液および規格外バレイシヨサイレージは、両飼料原料を適切に組み合わせることで、食品残さ主体の肥育豚用リキッド飼料として調製可能であることが明らかとなった。その際、飼料の粗タンパク質含量を通常より約 4% 単位低く抑えた飼料として肥育豚に給与することで、第 3 章においてバレイシヨ生澱粉を多給した際に認められた糞量や糞の水分含量に影響を及ぼすことなく、尿への窒素排泄量および糞尿混合物からのアンモニア揮散量の低減に有効であることが確認された。このことから、養豚生産現場の周辺において苦情の発生要因となりやすい臭気や水質汚濁などの環境問題の改善に寄与できる飼料原料として、規格外バレイシヨの利用促進が期待される。

一方、本節での発育成績は窒素出納試験中の制限給餌下でのものとなるため、通常の群飼環境下において長期的な給与試験を行い、経済性に直結する発育成績や枝肉成績への影響を明らかにすることが重要である。また、食品残さにより製造された飼料を給与する場合、トウモロコシを主体とした一般的な飼料と比較して、生産される豚肉の品質が異なる可能性もあるため、豚肉の理化学的特性を把握しておくとともに、食味官能評価などによって消費者の受容性を確

認することも普及に向けては必要と考えられる。

5. 摘要

シロップ廃液および規格外バレイシヨサイレージの地域未利用資源を主体とした低タンパク質飼料のリキッドフィーディングによる給与が肥育豚の窒素排泄量およびアンモニア揮散量に及ぼす影響を調査した。

去勢雄 8 頭 (WL・D, 70.1 kg) を用いて, 標準的な肥育飼料 (CP15.6%) を給与する対照区とシロップ廃液およびバレイシヨサイレージを主体とした低タンパク質リキッド飼料 (CP11.5%) を給与する低 CP リキッド飼料区を設けて, それぞれに 2 頭ずつ配置する窒素出納試験を 2 反復した。

低 CP リキッド飼料区の窒素摂取量は対照区より少なかった ($P<0.01$) が, 両試験区の窒素蓄積量に差は認められなかった。窒素排泄量では, 糞では有意な差ではないものの低 CP リキッド飼料区が対照区より多く, 尿への窒素排泄量および糞尿への総窒素排泄量は低 CP リキッド飼料区が対照区より明らかに少なかった ($P<0.01$)。その結果, 糞尿混合物からの *in vitro* アンモニア揮散量は低 CP リキッド飼料区が対照区より低くなった ($P<0.01$)。一方, 糞量および糞の水分含量には両区間で差を認めず, 試験期間における肥育豚の発育成績についても, 同様に差は認められなかった。

以上の結果から, シロップ廃液および規格外バレイシヨサイレージを配合した低タンパク質リキッド飼料の給与は肥育豚の発育に影響することなく, バレイシヨ生澱粉を給与した場合と同様の尿への窒素排泄量および糞尿混合物からのアンモニア揮散量の低減に大きく貢献する可能性が示唆された。

第2節 シロップ廃液および規格外バレイシヨサイレージを配合した低タンパク質飼料の給与が肥育豚の血液性状，産肉性および肉質に及ぼす影響

1. 緒言

第2章では，大型養豚場でも対応可能な食品残さの飼料利用法について，リキッドフィーディングを前提とした，シロップ廃液の飼料給与法と規格外バレイシヨのサイレージ貯蔵法について検討した．さらに，本章第1節では，それらのシロップ廃液および規格外バレイシヨサイレージを主体に調製した低タンパク質（低CP）リキッド飼料を肥育豚へ短期間（約2週間）給与する試験で，第3章で示したバレイシヨ生澱粉を給与した場合と同様に，尿への窒素排泄量を効率的に低減し，糞尿混合物からのアンモニア揮散量を大幅に抑制できることを示した．

現在の一般的な養豚方法ではトウモロコシを主体とした飼料による生産効率を重視しているため，比較的安価で均質な豚肉が消費者に供給されている．したがって，養豚現場において低・未利用な食品残さを飼料として利用する場合，少なくともトウモロコシが主体の市販配合飼料給与時と同等の経済性を維持しながら，一般的な豚肉と遜色ない品質の豚肉を生産できることが前提となる．

昨今，パン屑などの食品残さを多給することで筋肉内脂肪含量の高い豚肉が生産され（岩本ら 2004；家入ら 2007；王ら 2008），通常の豚肉よりも高額で取引される事例（入江 2002）が注目されている．嶋澤ら（2007）も同様に，規格外バレイシヨを飼料利用する一つの手法として，トウモロコシなどと混合調製したサイレージ給与によるロース芯の脂肪含量が高い高品質な豚肉生産を提案

している。しかしながら、このように筋肉内で脂肪量が増加する場合には、飼料中のリジンなどのアミノ酸の量が不足している（Katsumataら 2005）ため、肥育豚の増体性は低下する。しかし、自動給餌施設等を持たない比較的小規模の養豚農家で食品残さを利用する際には、いわゆる「霜降り豚肉」などの豚肉の高付加価値化が経営上の利点を得るための方法として有効と考えられる。

一方、生産規模の拡大に伴い、食品残さの飼料利用による生産性や作業効率の低下は経営へ大きく影響するようになる。欧州では、水分含量の高い飼料原料を効率的に給与する手法としてリキッドフィーディングシステムが多く採用されている（畜産技術協会 2011）。このシステムは、これまで乾燥飼料を利用している養豚施設では新たな設備投資による整備を必要とするが、多頭化した生産現場でも自動給餌が可能となることにより、作業性の面での大幅なメリットが期待できる。このことから、大型養豚場において高水分な食品残さを飼料として利用する場合には、残さの効率的な給与や、それによる利用拡大を推進していく上でリキッドフィーディングが望ましいと考えられ、わが国でも普及が広がり始めている（川島 2003）。

本章第 1 節では、窒素出納試験の結果、低 CP リキッド飼料の給与によって肥育豚の窒素蓄積量や発育成績は影響を受けないことを示したが、群飼して飽食給与する一般的な飼育環境下において、飼料の低 CP 化によって増体性や背脂肪厚の点で好ましくない影響がある（Kerrら 1995、古谷ら 1997）場合には経済的に大きな問題となる。特に、本研究で材料としているバレイショにはタンパク質分解酵素であるキモトリプシンの活性を阻害するインヒビターの存在が知られており（Ryanと Balls 1962）、生バレイショの給与は肥育豚の消化率や

生産性の低下に影響する(Whittemoreら1975,米田ら1984)との報告もある。また、豚肉の食味に影響する脂肪の品質に関しては給与飼料の要因が大きく(入江1992)、本研究で調製した飼料は豚肉の品質に影響する可能性もあることから、それらに対する消費者の受容性についても検討する必要がある。

そこで、本節では、第1節と同じシロップ廃液と規格外バレイショサイレージを配合した低CP飼料をリキッドフィーディングにより肥育終了時まで給与した際の肥育豚の生産性や健康状態に及ぼす影響を調査した。また、地域未利用資源を活用した飼料給与により生産された豚肉の理化学的特性および食味官能評価について、一般的な豚肉と比較・検討した。

2. 材料および方法

2-1. 低CPリキッド飼料給与試験

試験は2010年6月から同年9月にかけて実施した(1回目:2010年6月23日~同年9月1日,2回目:2010年6月30日~同年9月8日)。

1) 供試豚および試験区分

供試豚には長崎県農林技術開発センターにおいて母豚4腹から生産された三元交雑種(WL・D)16頭(去勢雄8頭,雌8頭,平均体重52.5kg)を用いた。平均体重と性別比が等しくなるように対照区および低CPリキッド飼料区に4頭ずつ配置する試験を2反復した。以上より,各試験区につき8頭(去勢雄4頭,雌4頭)ずつのデータを取得する計画としたが,低CPリキッド飼料区の1回目と2回目でそれぞれ去勢雄を1頭ずつ,後肢の捻挫により試験途中で除外したため,低CPリキッド飼料区は6頭のデータとなった(去勢雄2頭,雌4頭)。

2) 給与飼料

試験に供した飼料の配合割合および飼料成分を表 4-6 に示した。対照区にはトウモロコシ，大麦および大豆粕を主体とした標準的な仕上げ期飼料を給与した。一方，低 CP リキッド飼料区にはシロップ廃液およびバレイショサイレージを主体に，他の穀類等により調整した液状の低タンパク質飼料を給与した。低 CP リキッド飼料は対照区の飼料と比較して水分含量が高く（対照区 vs. 低 CP リキッド飼料区：11.4 vs. 74.2%），TDN 含量が同等（75.0 vs. 75.0%）で，風乾物換算した飼料の CP 含量が約 4% 単位低くなるように設計した（設計値：15.6 vs. 11.5%，分析値：14.5 vs. 10.7%）。CP 含量の低下に伴い，日本飼養標準・豚（農業・生物系特定産業技術研究機構 2005）に示された肥育豚のアミノ酸要求量に対してリジンのみが不足したため，L-リジン塩酸塩（L-リジン協和，協和発酵バイオ，東京）を添加した。

シロップ廃液は長崎県内の食品工場より排出されたもの（60 の恒温貯留槽でプール）を 500 L ポリタンクに採取し，飼料調製および飼料給与に合わせて研究室まで輸送した。シロップ廃液は腐敗防止のため，本章第 1 節と同様に 63.2%ギ酸製剤（ファームエース，ダイセル化学工業，大阪）を 0.4% 添加して，使用するまで常温で保存した。なお，試験期間中のギ酸添加後のシロップ廃液の糖度は Brix 16.1% から 16.7% の範囲であった。

本試験に用いたバレイショサイレージの調製は 2010 年 1 月に実施した。本章第 1 節で示した方法と同様に，細断した規格外バレイショ 68.6%，脱脂米糠 28.6% およびシロップ廃液 2.9% の重量割合で攪拌・混合した後，密閉容器に詰め込み，サイレージ発酵させた。このサイレージを 1 回目の肥育試験に合わ

Table 4-6 Percentage of ingredients and nutritive values (%)

	Control diet	Experimental diet
Ingredients		
Syrup waste	-	72.51
Potato silage	-	18.00
Corn	58.86	5.88
Fish meal (CP 65%)	1.20	0.12
Barley	23.11	-
Soybean meal	14.51	3.00
Dicalcium phosphate	1.10	0.02
Calcium carbonate	0.50	0.30
Salt	0.35	0.05
Vitamin and mineral premix	0.35	0.07
Lysine HCL	-	0.05
Calculated Values¹⁾		
Moisture	11.4	74.2
Crude protein	15.6	11.5
Ether extract	3.0	1.3
Nitrogen free extract	61.1	66.5
Crude fiber	2.5	2.5
Crude ash	4.7	5.1
Lysine	0.78	0.69
Total digestible nutrients	75.0	75.0
Analysed values¹⁾		
Crude protein	14.5	10.7

¹⁾ Values except for moisture were calculated based on air-dried feed.

せて開封し，5 mm のダイスがついたペレット成形機を用いて粉碎した．粉碎したバレイショサイレージはサイロビニールに 15 kg 程度に小分けし，家庭用掃除機で脱気後，密封して給与まで 5 月の冷蔵庫内で保存し，給与に合わせて随時開封して使用した．

3) 飼養管理

対照区への飼料はウェットフィーダーで不断給餌した．一方，低 CP リキッド飼料区へは 1 日 3 回（9：30，13：30，17：30）に分けて給与直前に調製して飽食給与した．なお，本試験におけるリキッド飼料の給与は，全頭が一斉に採食するのに十分なスペースを確保した 4 頭間口の専用の給餌器を用いて，手給餌により行った．

4) 調査項目

(1) 肥育成績

毎週 1 回体重測定を実施し，試験区の平均体重が 105 kg を目処に試験を終了し，出荷した．試験期間における増体量および肥育日数から 1 日平均増体量を求めた．また，両試験区の飼料摂取量および増体量より飼料要求率を算出した．飼料要求率の算出には，低 CP リキッド飼料が対照区飼料と比較して水分含量が高いことから，両飼料を乾物換算した飼料摂取量を用いた．

(2) 血漿生化学成分

採血は両試験区の試験終了日の 13:00 に外頸静脈から実施した．ヘパリンナトリウム入り真空採血管を用いて採血後，直ちに 4℃，3000 回転/分の条件で 10 分間の遠心分離を行い，血液から血漿を分離した．この血漿を -20℃ で凍結保存し，分析時に融解して試料とした．総タンパク(TP)は臨床用屈折計(SUR-JE，

アタゴ，東京)を用いて測定した。アルブミン(AIb)，尿素窒素(BUN)および総コレステロール(T-Cho)，中性脂肪(TG)およびグルコース(Glu)は乾式臨床化学自動分析装置(スポットケム SP-4420，アークレイ，京都)を用いて測定し，得られたデータよりA/G比 $[AIb / (TP - AIb)]$ を求めた。また，アラニンアミノトランスフェラーゼ(ALT)， γ -グルタミルトランスぺプチターゼ(γ -GTP)，乳酸脱水素酵素(LDH)およびアルカリフォスファターゼ(ALP)も同様の方法で測定した。

(3) 屠体成績

枝肉調査は，湯はぎ法により屠畜解体した枝肉を24時間冷蔵後に，豚産肉能力検定実務書(日本種豚登録協会1991)に従い実施した。調査項目は枝肉重量および枝肉歩留，右枝肉半丸の背脂肪厚(カタ，セ，コシ)，屠体長，背腰長および γ とした。さらに，左枝肉半丸を第4-5胸椎間および最後腰椎-仙椎間で3分割したロース長，第4-5胸椎間のロース芯面積を調査した。

(4) 豚肉の理化学的特性

ロース肉および皮下脂肪の特性評価は，左半丸の胸最長筋および背側表層の皮下脂肪内層部分を用い，牛肉の品質評価のための理化学分析マニュアル(畜産技術協会2003)に基づき実施した。各測定項目の分析試料は部位による影響を受けないように，第4-5胸椎の切断面から一定の距離で採材した。肉質分析の前に，第4-5胸椎面の胸最長筋の肉色および皮下脂肪内層の脂肪色について，色差計(NR-3000，日本電色工業，東京)を用いて L^* a^* b^* 表色系によりそれぞれの値を求めた。

ロース肉の一般成分の分析には，第5胸椎から後方0-5cmの胸最長筋を用い

た．フードプロセッサーにより挽肉にした試料の水分，粗タンパク質および粗脂肪含量を測定した．また，同部位の皮下脂肪内層の一部を採取し，脂肪酸組成および脂肪融点の分析に供した．

加熱損失率の分析には第5胸椎から後方5-15 cmの胸最長筋を用いた．筋線維が明確になるように20×20×40 mmの肉片（約17 g）を切り出し，ビニール袋に封入して，70 °Cの温湯で1時間加熱した．加熱後の肉片重量の減少から加熱損失率を算出した．

加熱損失率の測定に供した試料を10×10×40 mmに整形して，破断応力の分析試料とした．測定は裁断用のV字型プランジャーを装着したレオメーター（NRM-2010J-CW，FUJIOH，東京）により行い，ロードセル10 kg，試料台速度6 cm/分の条件で筋線維と垂直に切断した時の最大抵抗値を求めた．

保水力は第5胸椎から後方15-20 cmの胸最長筋を用いて加圧濾紙法により分析した．筋線維方向が短くなるように切り出した10×10×5 mmの肉片（450～550 mg）を濾紙（No.2）に乗せてアクリル板で挟み，加圧計を用いて35 kg/cm²fの圧力で1分間加圧した．肉汁面積および肉片面積と，その肉片の水分含量から次式により保水力を算出した．

$$\text{保水力} = \{ 1 - [(\text{肉汁面積} - \text{肉片面積}) \times 9.47 / \text{肉片の水分含量 (mg)}] \} \times 100$$

脂肪酸組成として，脂肪組織からクロロホルムで脂質を抽出後，ナトリウムメトキシドメタノールでメチルエステル化した脂肪酸をミリスチン酸（C14:0），パルミチン酸（C16:0），パルミトレイン酸（C16:1），ステアリン酸（C18:0），オレイン酸（C18:1），リノール酸（C18:2）およびリノレン酸（C18:3）の7種類に分けてガスクロマトグラフ/水素イオン検出器（GC/FID）（GC-17A，島津製

作所,京都)により測定し,各脂肪酸の割合を算出した。また,この内,C14:0,C16:0およびC18:0の総量を飽和脂肪酸(SFA),C16:1およびC18:1の総量を一価不飽和脂肪酸(MUFA),C18:2およびC18:3の総量を多価不飽和脂肪酸(PUFA)として割合を求めた。

脂肪の融点は,細切した脂肪組織を 105 ℃ の恒温器内で 4 時間の加熱抽出を行い,これをガラス毛细管に吸い上げて 5 ℃ の冷蔵庫で 24 時間保存した後,上昇融点法により測定した。

2-2. 食味官能評価

長崎県農林技術開発センターに勤務する男性 30 名,女性 7 名の計 37 名をパネリストとした食味官能評価を食肉の官能評価ガイドライン(家畜改良センター-2005)に準じて実施した。理化学分析に使用した残りのロース肉(第 5 胸椎より後方 20 cm 以降の部分)を 4 mm 厚にスライスして,食味官能評価に供した。ロース中央部分を 3×3 cm の大きさに整形し,1.5%食塩水に 10 分間浸漬後,170 ℃ にセットしたホットプレートにて表面を 25 秒,裏面を 20 秒間加熱したものを評価材料とした。パネリストには A:対照区の豚肉,B:低 CP リキッド飼料区の豚肉であることは知らせず,A に対する B の評価を「香り(食す前の香り)」を 2 項目,「歯ごたえ」,「多汁性」,「線維感」,「旨み」,「風味(食した後の香り)」,「脂っぽさ」および「総合評価」の 9 項目について -2 から +2 までの 5 段階で依頼し,得られたデータを SD 法によりプロファイリングした。

2-3. 統計処理

肥育成績，血漿生化学性状，屠畜検査成績および豚肉の理化学的特性の各測定項目の統計処理には，Harvey(1990)の最小二乗分散分析ソフト LSMLMW を用いた．個体（対照区 n=8，低 CP リキッド飼料区 n=6）を反復として，飼料（対照飼料，低 CP リキッド飼料）および性（去勢雄，雌）を主効果とし，試験期をブロック効果として分散分析を行った．また，食味官能評価は佐藤（1985）の方法に準じて，各項目の平均点が 0 であると仮定した *t* 検定を行った．

3. 結果

3-1. 肥育豚の生産性

1) 肥育成績

低 CP リキッド飼料の給与が肥育豚の肥育成績に及ぼす影響を表 4-7 に示した．すべての項目において，性の効果および飼料と性の交互作用は認められなかった．

試験開始時体重（52.5 vs. 52.8 kg）および試験終了時体重（107.5 vs. 106.3 kg）のいずれにおいても試験区間に差を認めなかった．試験開始から終了までに要した肥育日数は対照区と比較して，低 CP リキッド飼料区において有意に短縮された（70.0 日 vs. 66.5 日， $P<0.05$ ）．しかしながら，低 CP リキッド飼料区の終了時体重がやや小さかったため，1 日平均増体量は対照区と比較して低 CP リキッド飼料区で高い値を示した（786 vs. 808 g/日）ものの，有意な差ではなかった．また，乾物飼料摂取量（2500 vs. 2635 g/日）および飼料要求率（2.91 vs. 3.06）ともに，両区間で大きな差は認められなかった．

Table 4-7 Effects of low-protein liquid feed including syrup waste and potato silage on growth performances in finishing pigs

	Feed (F)		Sex (S)			Level of significance		
	Control (n=8)	Low-CP liquid feed (n=6)	Barrow (n=6)	Gilt (n=8)	F	S	F×S	
Initial weight ¹⁾ (kg)	52.5	52.8	53.3	52.0	NS	NS	NS	
Final weight ¹⁾ (kg)	107.5	106.3	108.6	105.1	NS	NS	NS	
Fattening period ¹⁾ (day)	70.0	66.5	68.3	68.3	*	NS	NS	
Daily gain ¹⁾ (g/day)	786	808	814	780	NS	NS	NS	
Feed intake ²⁾ (g/day)	2500	2635	-	-	-	-	-	
Feed conversion ratio ²⁾	2.91	3.06	-	-	-	-	-	

¹⁾ Least-squares means.

²⁾ Means for each group were calculated on DM basis.

NS: not significant ($P > 0.05$), *: $P < 0.05$.

2) 屠体成績

低 CP リキッド飼料の給与が肥育豚の屠体成績に及ぼす影響を表 4-8 に示した。枝肉歩留まり (71.4 vs. 71.2%) , 屠体幅 (34.8 vs. 35.1 cm) , 屠体長 (94.3 vs. 92.8 cm) , 背腰長の (78.2 vs. 77.5 cm) と (68.4 vs. 68.2 cm) およびロース長 (56.8 vs. 56.7 cm) のいずれにおいても両区間に有意な差は認められなかった。ロース芯面積 (22.5 vs. 22.1 cm²) と背脂肪厚のカタ (4.4 vs. 4.5 cm) , セ (2.1 vs. 2.1 cm) およびコシ (3.3 vs. 3.3 cm) においても飼料の影響は認められなかった。また, 性の効果も同様にすべての項目で有意差は認められなかったが, 背腰長の と で飼料と性の交互作用が認められた。

3-2 . 肥育豚の血液性状

低 CP リキッド飼料の給与が肥育豚の血漿生化学的性状に及ぼす影響を表 4-9 に示した。すべての項目において, 性の効果および飼料と性の交互作用は認められなかった。

低 CP リキッド飼料を給与した肥育豚の Alb 濃度は対照区と比較して有意に低かった (3.4 vs. 3.1 g/dL , $P < 0.01$)。また, TP 濃度も低 CP リキッド飼料区で低い値を示した (6.6 vs. 6.2 g/dL) ため, A/G 比において両区間に差は認められなかった (1.1 vs. 1.0)。また, BUN 濃度は低 CP リキッド飼料区が対照区よりも低かった (13 vs. 8 mg/dL , $P < 0.05$) が, T-cho (95 vs. 97 mg/dL) , TG (46 vs. 40 mg/dL) および Glu 濃度 (86 vs. 88 mg/dL) に両区間に有意な差は認められなかった。酵素活性では -GTP において低 CP リキッド飼料区で対照区より高い値を示した (46 vs. 61 U/L , $P < 0.05$) が, その他の ALT (26 vs.

Table 4-8 Effects of low-protein liquid feed including syrup waste and potato silage on carcass traits in finishing pigs

	Feed (F)		Sex (S)			Level of significance		
	Control (n=8)	Low-CP liquid feed (n=6)	Barrow (n=6)	Gilt (n=8)	F	S	F×S	
Dressing percentage	71.4	71.2	71.1	71.5	NS	NS	NS	
Carcass width (cm)	34.8	35.1	35.6	34.3	NS	NS	NS	
Carcass length (cm)	94.3	92.8	92.3	94.8	NS	NS	NS	
Back loin length (cm)	78.2	77.5	76.9	78.8	NS	NS	*	
Back loin length (cm)	68.4	68.2	67.5	69.1	NS	NS	*	
Loin length (cm)	56.8	56.7	56.3	57.3	NS	NS	NS	
Loin eye area (cm ²)	22.5	22.1	21.8	22.8	NS	NS	NS	
Back fat depth (cm)								
Shoulder	4.4	4.5	4.6	4.2	NS	NS	NS	
Back	2.1	2.1	2.3	1.9	NS	NS	NS	
Loin	3.3	3.3	3.4	3.2	NS	NS	NS	

Least-squares means.

NS: not significant ($P > 0.05$), *: $P < 0.05$.

Table 4-9 Effects of low-protein liquid feed including syrup waste and potato silage on plasma constituents in finishing pigs

	Feed (F)		Sex (S)			Level of significance		
	Control (n=8)	Low-CP liquid feed (n=6)	Barrow (n=6)	Gilt (n=8)	F	S	F×S	
Total protein (g/dL)	6.6	6.2	6.4	6.4	NS	NS	NS	
Albumin (g/dL)	3.4	3.1	3.2	3.3	**	NS	NS	
Albumin-globulin ratio	1.1	1.0	1.0	1.1	NS	NS	NS	
Blood urea nitrogen (mg/dL)	13	8	10	9	*	NS	NS	
Total cholesterol (mg/dL)	95	97	96	95	NS	NS	NS	
Triglyceride (mg/dL)	46	40	41	45	NS	NS	NS	
Glucose (mg/dL)	86	88	87	86	NS	NS	NS	
Alanine aminotransferase (U/L)	26	25	27	24	NS	NS	NS	
γ-Glutamyltranspeptidase (U/L)	46	61	57	50	*	NS	NS	
Lactate dehydrogenase (U/L)	511	335	401	445	NS	NS	NS	
Alkaline phosphatase (U/L)	234	215	216	233	NS	NS	NS	

Least-squares means.

NS: not significant ($P > 0.05$), *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$.

25 U/L), LDH (511 vs. 335 U/L) および ALP (234 vs. 215 U/L) では両区間に差は認められなかった。

3-3. 豚肉の理化学的特性

1) ロース肉の特性

低 CP リキッド飼料を給与した豚ロース肉の理化学的特性を表 4-10 に示した。

ロース肉の水分 (73.9 vs. 73.9%), 粗タンパク質 (22.3 vs. 22.1%) および粗脂肪 (3.1 vs. 3.3%) 含量に試験区間の差は認められなかった。肉色でも L^* (45.7 vs. 49.6), a^* (6.8 vs. 7.4) および b^* (8.8 vs. 9.3) 値のそれぞれに有意差は認められなかった。また, 加熱損失率 (27.1 vs. 27.3%), 破断応力 (4.1 vs. 3.5 kg) および保水力 (77.2 vs. 75.5) にも同様に飼料による影響は認められなかった。以上のすべての項目において性の効果も認められなかったが, 肉色の b^* 値において飼料と性の交互作用が認められた。

2) 皮下脂肪の特性

低 CP リキッド飼料を給与した豚ロース肉の皮下脂肪内層の理化学的特性を表 4-11 に示した。すべての項目において, 飼料と性の交互作用は認められなかった。

低 CP リキッド飼料区の脂肪色は対照区と比較して, L^* (75.8 vs. 77.4, $P < 0.05$) 値で明らかに高かったが, a^* (1.3 vs. 2.0) および b^* (5.0 vs. 5.6) 値に差は認められなかった。脂肪酸組成において, 14:0 (1.5 vs. 1.5%), 16:0 (27.6 vs. 27.9%), 16:1 (2.0 vs. 2.0%) および 18:0 (17.0 vs. 18.7%) では両区間に差は認められなかったが, 18:1 (39.7 vs. 43.4%) では低 CP

Table 4-10 Effects of low-protein liquid feed including syrup waste and potato silage on meat quality characteristics in finishing pigs

	Feed (F)		Sex (S)			Level of significance
	Control (n=8)	Low-CP liquid feed (n=6)	Barrow (n=6)	Gilt (n=8)	F × S	
Chemical composition						
Moisture (%)	73.9	73.9	73.9	73.8	NS	NS
Protein (%)	22.3	22.1	22.2	22.2	NS	NS
Fat (%)	3.1	3.3	3.2	3.1	NS	NS
Meat color						
<i>L</i> * value	45.7	49.6	46.3	48.9	NS	NS
<i>a</i> * value	6.8	7.4	7.0	7.2	NS	NS
<i>b</i> * value	8.8	9.3	8.9	9.3	NS	**
Physical property						
Cooking loss (%)	27.1	27.3	27.0	27.4	NS	NS
Shear stress (kg)	4.1	3.5	3.5	4.0	NS	NS
Water holding capacity	77.2	75.5	77.8	74.9	NS	NS

Least-squares means.

NS: not significant ($P > 0.05$), *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$.

Table 4-11 Effects of low-protein liquid feed including syrup waste and potato silage on fat quality in finishing pigs

	Feed (F)		Sex (S)			Level of significance		
	Control (n=8)	Low-CP liquid feed (n=6)	Barrow (n=6)	Gilt (n=8)	F	S	F×S	
Fat color								
<i>L</i> * value	75.8	77.4	76.9	76.2	*	NS	NS	
<i>a</i> * value	1.3	2.0	1.4	1.9	NS	NS	NS	
<i>b</i> * value	5.0	5.6	5.1	5.5	NS	NS	NS	
Fatty acid composition (%)								
14:0	1.5	1.5	1.5	1.5	NS	NS	NS	
16:0	27.6	27.9	28.3	27.2	NS	*	NS	
16:1	2.0	2.0	1.9	2.1	NS	NS	NS	
18:0	17.0	18.7	18.8	17.0	NS	*	NS	
18:1	39.7	43.4	41.2	41.9	**	NS	NS	
18:2	11.5	6.2	7.8	9.8	**	*	NS	
18:3	0.7	0.4	0.5	0.6	**	NS	NS	
SFA	46.2	48.1	48.6	45.7	NS	*	NS	
MUFA	41.7	45.4	43.1	44.0	**	NS	NS	
PUFA	12.1	6.6	8.3	10.4	**	*	NS	
Melting point of backfat (°C)	39.5	41.2	40.4	40.3	NS	NS	NS	

Least-squares means.

NS: not significant ($P > 0.05$), *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$.

リキッド飼料区が，18：2（11.5 vs. 6.2%）および 18：3（0.7 vs. 0.4%）では対照区が有意に高い割合を示した（ $P<0.01$ ）。その結果，SFA（46.2 vs. 48.1%）に差は認められなかったが，MUFA（41.7 vs. 45.4%）では低 CP リキッド飼料区が，また PUFA（12.1 vs. 6.6%）では対照区が有意に高い割合を示した（ $P<0.01$ ）。また，脂肪酸組成では性差も認められ，16：0（去勢雄 vs. 雌：28.3 vs. 27.2%）および 18：0（18.8 vs. 17.0%）では去勢雄が雌より高く，SFA（48.6 vs. 45.7%）でも同様の結果が認められた（ $P<0.05$ ）。一方，18：2（7.8 vs. 9.8%）では雌が高かったことから，PUFA（8.3 vs. 10.4%）でも同様に雌で高い値となった（ $P<0.05$ ）。脂肪融点（39.5 vs. 41.2）においては飼料および性の効果は認められなかった。

3-4. 食味官能評価

低 CP リキッド飼料を給与した豚肉の食味官能評価の結果を図 4-1 に示した。

低 CP リキッド飼料区の豚肉は対照区の豚肉と比較して，香り（2 項目），歯ごたえ，多汁性，線維感，旨みおよび脂っぽさの項目では差を認めなかったが，風味で好ましい傾向を示し（ $P<0.10$ ），総合評価では明らかに美味しいと評価された（ $P<0.05$ ）。

4. 考察

本章第 1 節では，シロップ廃液および規格外バレイシヨサイレージを配合した低 CP リキッド飼料の給与が肥育豚の窒素排泄量および糞尿からのアンモニア揮散量の低減に有効であることを示した。そこで本節では，同飼料の給与が

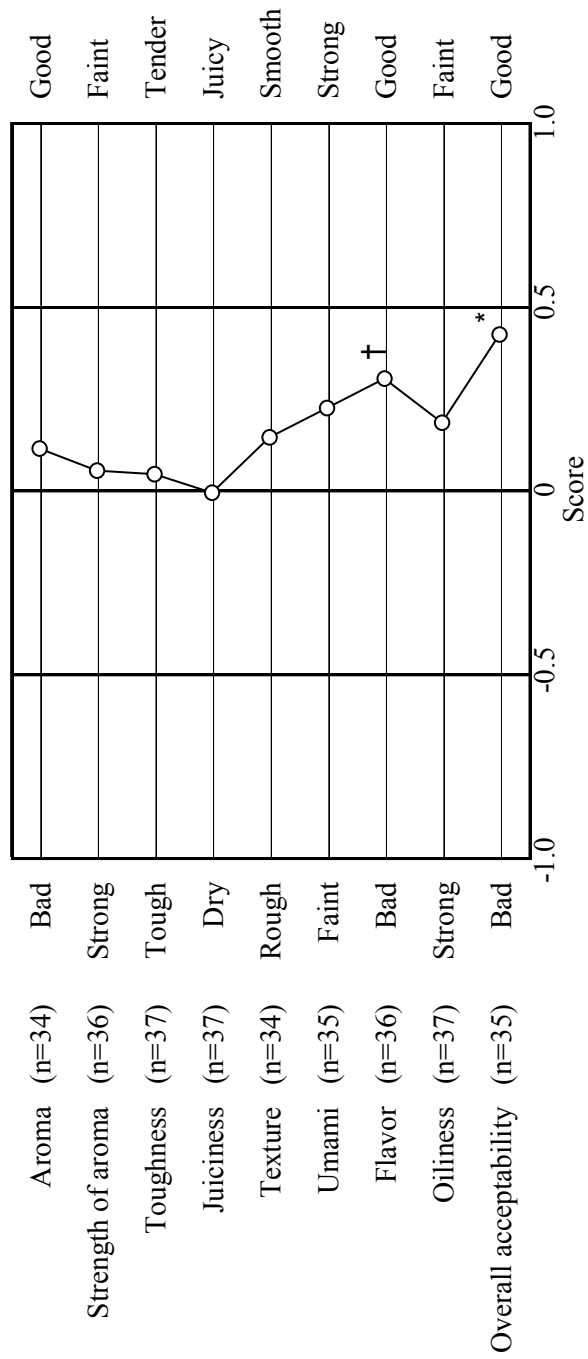


Figure 4-1 Sensory characteristics of pork from pigs fed low-protein liquid feed including syrup waste and potato silage using semantic differential method.

†: $P < 0.10$, *: $P < 0.05$.

肥育豚の健康状態や生産性に及ぼす影響について明らかにするとともに、生産された豚肉の理化学的特性および食味官能評価の結果から、地域未利用資源を主体とした飼料給与による豚肉生産の特徴について検討した。

4-1. 肥育豚の生産性

低 CP 飼料を肥育豚へ給与した場合、発育は不足する必須アミノ酸の添加によって改善されても、標準 CP 飼料よりは明らかに劣る（古谷ら 1997）、あるいは劣る傾向を示す（増田ら 1998, 1999；設楽と岩本 1998, 2000；Kerr ら 2003）ことが報告されている。本節の低 CP リキッド飼料区では、対照区の飼料と比較して、CP 含量が約 4% 単位低くなるように設計したリキッド飼料を給与したが、肥育日数は対照区より短縮され、増体性も有意ではないが改善された。このことは、リキッドフィーディングの利点の一つである採食量の増加とそれに伴う高い増体効果（Brooks 2003）が、低 CP 飼料でも有効であることを示すものである。

米田ら（1984）によると、肥育豚の発育は、飼料中の生バレイショサイレージの配合割合の増加に従って低下し、40% 以上になると出荷日齢の延長をきたす。この一因として、Whittemore ら（1975）はバレイショ中に含まれるキモトリプシンインヒビターによる窒素消化率の低下を指摘している。本節と同様に 18% のバレイショサイレージを含む飼料を短期間（約 2 週間）給与した本章第 1 節では、肥育豚の窒素消化率の低下を認めたが、窒素蓄積量は差を示さず、糞と尿への窒素排泄比も明らかに異なっていた。したがって、この窒素消化率の低下は、バレイショ澱粉の難消化性が原因で生じた体内での尿素循環による

代謝性糞窒素の増加の結果（見かけの窒素消化率の低下）であると推察した．また本節で，同じ飼料を長期間給与した場合の発育成績や飼料要求率から判断して，増体速度を抑える影響は小さいものであった．このように，本節のように生バレイショサイレージを長期間給与した場合，危惧されたキモトリプシンインヒビターによる窒素消化率の低下は大きなものではなかった．しかし，この原因として，米田ら（1984）や Whittemore ら（1975）の試験よりもバレイショの給与量（インヒビター量）が少量であったこと，あるいは飼料中の CP 含量が一般的な肥育飼料より低いためタンパク質の消化過程における酵素阻害が限定的であったことその他，バレイショをシロップ廃液と混合したことや，最終的にリキッド飼料として給与したことなどが挙げられるものの，本節の結果からは判断できない．したがって，生バレイショの給与とインヒビターによる消化性との関係については，今後のより詳細な検討が必要と思われる．

低 CP 飼料にアミノ酸を添加して肥育豚に給与すると，正味エネルギー価が標準 CP 飼料より高くなり，余剰のエネルギーが脂肪として蓄積することが懸念されている（Kerr ら 1995；古谷ら 1997）．斉藤（2001）によると，体脂肪蓄積の増加量は CP 含量が標準飼料より 4% 単位低くなると顕著になる．しかし，本研究で給与した飼料の CP 含量は対照区より約 4% 単位（設計値 4.1% 単位，分析値 3.8% 単位）低かったにも関わらず，背脂肪厚に影響を及ぼさなかった．ミカンジュース粕（山口ら 2005）やビートパルプおよび乾燥焼酎粕（渡邊ら 2009）を原料とした低 CP 飼料では背脂肪厚に影響は認められておらず，逆にリンゴジュース粕（山本ら 2003c）を用いた低 CP 飼料では薄くなる傾向が認められている．これらのことから，低 CP 飼料でも，原料が難消化性糖類を多く含んだ食品

副産物主体の場合とトウモロコシなどの穀物主体の場合とでは，含有する正味エネルギーは異なる可能性が示唆された．

4-2．肥育豚の健康状態

地域未利用資源が主体の低 CP リキッド飼料が肥育豚の健康状態に及ぼす影響を検討するために血漿成分を調査したところ，低 CP リキッド飼料区では対照区と比較して，Alb 値の明らかな低下と TP 値の低下傾向が認められた．これらは，飼料の低 CP 化に伴う食餌タンパク質摂取量の低下によるものと考えられた．一般に，食餌タンパク質が不足するとアルブミン合成が低下し，低タンパク血症を呈して発育が停滞する（村上 1997）．しかし，本節では，発育は区間差もなく良好で，TP および Alb 値も籠田（1999）の豚における血液性状の参考値（TP；5.2～8.3 g/dL，Alb；1.9～4.2 g/dL）の範囲内にあることから，健康に関する影響はないものと考えられた．肝・胆道系疾患の指標となる γ -GTP，ALT，LDH および LAP において， γ -GTP 値が低 CP リキッド飼料区で対照区より有意に上昇していたものの，他の酵素活性は両区間に差はないか，むしろ低 CP リキッド飼料区で低い値を示していた．さらに，栄養指標となる T-cho，TG および Glu 値も考慮に入れて総合的に判断しても，本節で給与した低 CP リキッド飼料の肥育豚の疾病等に関する悪影響はないものと考えられた．

血中 BUN 濃度は腎機能の指標であるが，低 CP 飼料を給与する際にはアミノ酸の利用効率の指標として利用できる．アミノ酸を過剰に含む標準 CP 飼料に対して，適量のアミノ酸を添加した低 CP 飼料を給与すると BUN 濃度は低下することが知られている（増田ら 1998；Knowlesら 1998；設楽と岩本 2000；Kerrら 2003）．

BUN 濃度の低下は、摂取されたアミノ酸が効率的にタンパク質合成に利用されたため、最終的に尿へのアミノ酸由来の窒素排泄量が少ないことを意味している。本節でも、低 CP リキッド飼料区では対照区と比較して、BUN 濃度は明らかに低下していたことから、本節で調製した低 CP リキッド飼料は、本章第 1 節の短期間の制限給与時と同様に、長期間飽食給与した場合でも、窒素の利用効率を向上させ、尿中の窒素排泄量を減少させるものと推察された。

4-3．豚肉の品質と食味の関係

近年、食品残さを飼料に利用することによって、特徴ある豚肉を生産する試みが盛んに行われているが、パン屑主体でリジン含量の低い飼料の場合は、筋肉内脂肪含量の高い高品質な豚肉が生産される（岩本ら 2004；家入ら 2007）。また、嶋澤ら（2007）も、規格外バレイショを飼料化する際、リジン含量の低いサイレージとして調製することで、通常よりロース内脂肪含量に富み、軟らかい豚肉の生産が可能であるが、増体性で劣ることを報告している。しかし本節では、規格外バレイショを嶋澤ら（2007）とは異なる配合内容で、しかもリジンに関しては肥育豚の栄養要求量を満たすように添加して調製したため、ロース肉の一般成分、色調および物理性と肥育豚の増体量において、一般的な肥育飼料で生産されたものと同等の結果を示したものと考えられた。

肥育豚の脂肪代謝は飼料に含まれる脂肪の量と質に大きく影響され（入江 1989, 1992）、勝俣ら（2009）によると、トウモロコシの 30% を玄米で代替した飼料の場合、ロース部位の皮下脂肪内層のオレイン酸の割合が高くなり、リノール酸の割合は低くなる。本節においても、勝俣ら（2009）と同様に皮下脂

肪の脂肪酸組成においてオレイン酸割合の増加とリノール酸割合の減少が認められた。これは、本研究で供した飼料は必須脂肪酸のリノール酸をほとんど含まないシロップ廃液とバレイショが主体であったため、低 CP リキッド飼料区でリノール酸の割合が低くなり、その相対的な効果としてオレイン酸の割合が増加したと考えられた。

粗脂肪含量の高い飼料およびリノール酸やリノレン酸含量の高い原料を含む飼料の多給は脂肪融点を低下させ、軟脂豚の発生原因となる（入江 1989）。また、粗脂肪含量の高い食品残さなどを飼料原料として利用する場合には過酸化脂質の蓄積に伴う黄豚の発生（入江ら 2002）にも注意を要する。一方、糖類や澱粉などの炭水化物の場合には、飽和脂肪酸の割合が多くなり、脂肪は硬くなる（農業・生物系特定産業技術研究機構 2005）。本研究に供したシロップ廃液および規格外バレイショの主成分は糖および澱粉であり、脂質をほとんど含まないことから、給与飼料の粗脂肪含量は 1.3%（風乾物換算値）と低かった。このため、本節の低 CP リキッド飼料区では、脂肪融点で高い傾向を示し、脂肪色でも明度（ L^* 値）で高い特徴を有した白色の良質な脂肪となったものと考えられた。

本研究の低 CP リキッド飼料区の豚肉は食味官能評価の結果、対照区と比較して「風味」および「総合評価」の項目で高く評価された。谷ら（2003）の豚肉の官能評価では、「総合評価」には「香り」が最も高い相関を示し、「香り」に対する「脂肪酸組成」の関係においてはオレイン酸で正の相関、一方、リノール酸とリノレン酸では負の相関が得られている。木全ら（2001）も豚肉の「香り」との関係において、オレイン酸は正の相関を、リノール酸は負の相関を示

すことを報告している。本研究においても、低 CP リキッド飼料区の脂肪酸組成でオレイン酸の割合が高く、リノール酸とリノレン酸の割合の低かったことが食味官能評価における「風味(食した後の香り)」の評点に有利に働き、総合評価においての評点が高くなったものと考えられた。

以上の結果から、シロップ廃液および規格外バレイシヨを配合した低 CP リキッド飼料の給与は肥育豚の健康状態に影響を及ぼすことなく、通常の肥育飼料を給与した場合と同等の肥育成績および枝肉成績が得られる可能性が示唆された。また、同飼料により生産された豚肉は通常の豚肉と比較して脂肪色や脂肪酸組成に明らかな違いが認められ、風味と食味が良好に評価される可能性が示唆された。

5. 摘要

シロップ廃液および規格外バレイシヨサイレージの地域未利用資源を主体とした低タンパク質飼料をリキッドフィーディングとして長期間給与した際の、肥育豚の血液性状、産肉性および肉質に及ぼす影響について検討した。

三元交雑種(WL・D)16頭(去勢雄8頭、雌8頭、52.5kg)を用いて、標準的な肥育飼料(CP15.6%)を給与する対照区とシロップ廃液およびバレイシヨサイレージを主体に調製した低 CP リキッド飼料(CP11.5%)を給与する低 CP リキッド飼料区を設けて、それぞれに4頭ずつ配置する肥育試験を2反復した。

低 CP リキッド飼料の肥育豚への給与により血漿中の AIb($P<0.01$)および BUN 濃度($P<0.05$)が低い値を、 γ -GTP 活性($P<0.05$)で高い値を示した。しかし、1日平均増体量、飼料摂取量および飼料要求率に両区間で差は認められなかつ

た。また、屠体成績およびロース肉の性状に関するいずれの項目でも給与飼料の影響は認められなかった。一方、皮下脂肪では、低 CP リキッド飼料の給与によりオレイン酸の割合が高く、リノール酸およびリノレン酸の割合が低くなった ($P < 0.01$)。このことから、低 CP リキッド飼料によって生産された豚肉は食味官能評価において、対照区と比較して風味に優れ ($P < 0.10$)、総合的に美味しい ($P < 0.05$) と評価された。

以上の結果から、シロップ廃液および規格外バレイショサイレージを配合した低 CP リキッド飼料の肥育豚への給与によって、肥育成績、屠体成績および健康状態は影響を受けず、脂肪酸組成が改善されることで、通常より風味が良く、美味しい豚肉を生産できる可能性が示唆された。

第 5 章 総合考察

新たな食料・農業・農村基本計画では、わが国の畜産物生産に係る飼料自給率を現在の 26% から平成 32 年度に 38% まで引き上げる目標を掲げている（農林水産省 2010b）。特に、濃厚飼料の自給率は 12%（農林水産省 2012b）と極めて低い水準にあり、食品製造副産物や農業副産物などの飼料化を積極的に推進している。食品産業においては、食品リサイクル法を背景に食品残さの再資源化が進められ、残さの年間発生量約 2,086 万 t のうちの約 50% が飼料として利用されるようになった（農林水産省 2013）ものの、まだ多くが利用されずに廃棄されている。飼料としての価値を十分に有していながら、飼料化が困難な未利用資源を有効に利用していくことが、今後の飼料自給率の向上に向けては重要となる。本研究では、そのような地域資源の有効活用を目的として、特に、長崎県において発生量が多い食品製造副産物のシロップ廃液と農業副産物の規格外バレイショを対象に、大型養豚場でのリキッドフィーディングとしての利用を想定した貯蔵から給与に係る一連の飼養管理体系について検討した。その際、これらの地域未利用資源の有する特性が飼料設計に反映される環境低負荷型の養豚生産システムの構築や、生産された豚肉の品質評価に至るまでの総合的な見地からの検討を行った。本章では、これまでの各章で得られた結果をもとに、地域未利用資源活用による環境配慮型養豚技術の確立に向けて総合的に考察した。

5-1．地域未利用資源の貯蔵技術

食品残さの飼料化に関して，人口が密集する大都市やその周辺では，近距離に食品関連の事業所が多いため多量の食品残さが収集可能であるなどの利点を活かした郊外型養豚としての利用がこれまで盛んに行われてきている．しかし，それらは比較的水分含量が低く，乾燥処理が容易なものや，保存性や利用性において既存施設を用いても問題のない場合がほとんどである．食品残さを飼料化する場合，残さの内容や排出量，収集・輸送に係るコスト，その間の品質劣化等を考慮すると，地方の養豚生産者が自給飼料として簡易に利用できるものは意外と少ない．このため，今後の飼料自給率の向上を見据えた食品循環資源の利用拡大に向けては，保存性や利用性に難のある材料の利用にも目を向けていく必要がある．本研究で対象としたシロップ廃液および規格外バレイショは水分含量が高く，現在の乾燥飼料を前提とした給与体系では利用が困難な残さではあるが，栄養価が安定して高く，また大量に確保できる点で，近年，わが国でも普及しつつあるリキッドフィーディング（川島 2003）体系において有効な飼料資源になり得ると考えられることから，まず第 2 章でそれらの簡易貯蔵方法について検討した．

シロップ廃液は毎日排出される液状の残さであるため，可能な限り新鮮な状態でリキッドフィーディング用の飼料原料として利用することが望ましい．しかし，食品工場ではシロップ廃液は排出直前まで腐敗防止のために 60℃ に保たれており，飼料として利用する際には一旦，温度を常温まで低下させる間の飼料としての安全性の確保と，日々排出量の変動する廃液を効率的に利用するための貯蔵方法の確立は必須の課題である．そこで本研究では，これまで焼酎粕

の保存に有効とされるギ酸製剤の添加を試み、シロップ廃液に対して 0.4% 量を添加することで、常温でも腐敗を防止して排出時の糖度を維持したまま、安価に保存できることを示した。したがって、シロップ廃液は食品工場からの排出時にギ酸製剤を用いてオンサイト処理しておくことで、輸送その他の事情により給与まで一定期間を要する実際の場面でも、高い栄養価を有したりキッド飼料原料として十分に利用可能であることが明らかとなった。

一方、嶋澤ら（2007）はこれまで、規格外バレイシヨの保存方法として、フレコンバッグを用いたサイレージ法を採用してきたが、本研究では大型機械を用いて、より容量の大きいバンカーサイロへの簡易貯蔵方法を検討した。その結果、フレコンバッグサイレージ調製時よりも規格外バレイシヨの配合割合が約 2 割高い条件（68.6%）でも、良好な品質のサイレージが調製され、飼料栄養成分の変動も小さかった。したがって、バンカーサイレージ調製は、収穫時期に集中して大量に発生する規格外バレイシヨに対して、効率的、かつ省力的な貯蔵法と考えられた。また、今回のようにサイロの作成に L 型コンクリート擁壁を用いることで、貯蔵場所の敷地面積などの様々な条件に対する柔軟な対応性、他の施設整備が不要、また屋外での貯蔵の可能性などが、実用化に向けた利点と成り得る。

食品残さを飼料として利用する場合、一般的には排出される残さの成分変動から家畜の栄養要求量に対する過不足を勘案して他の飼料原料との配合割合を決定する必要がある。しかしながら、本研究ではシロップ廃液および規格外バレイシヨの安全性と栄養成分の維持が保障される貯蔵方法を確立したことで、第 4 章での実際にこの両飼料原料をベースとして調製した飼料を用いた信頼性

の高い試験が可能となった。

5-2. バレイシヨの飼料特性を活用した環境配慮型養豚生産

近年、粗タンパク質含量を低く抑えた飼料（低 CP 飼料）の原料に非澱粉多糖類（NSP）含量の高い飼料原料を用いることで、肥育豚体内での尿素循環により尿への窒素排泄量が効率的に低減され、糞尿に起因するアンモニア揮散量の低減に有効であることが報告されている（Yamamoto ら 2002a,b；山本ら 2003b）。本研究では規格外バレイシヨを飼料化の対象としているが、バレイシヨ澱粉は小腸まで消化・吸収されないレジスタントスターチ（RS）を多く含む特徴を有している（Weurding ら 2001）。この RS が NSP と類似した消化特性を有することに着目して、第 3 章では低 CP 飼料原料にバレイシヨ生澱粉を用いた飼料を肥育豚に給与する窒素出納試験を行ったところ、RS でも NSP と同様に体内での尿素循環を誘起し、尿中窒素排泄量と糞尿混合物からの *in vitro* アンモニア揮散量の大幅な低減に寄与することを明らかにした。また、このことは、一般的な飼養環境における豚舎内アンモニア濃度の低減においても有効であることを認め、第 4 章ではさらに、実際のバレイシヨを給与する生産現場において、RS の効果の応用性について検討した。規格外バレイシヨサイレージを用いて調製した低 CP リキッド飼料では、第 3 章と比較して、RS の給与量が少なかったことで尿中窒素排泄量の低減に対する効果の程度は小さかったものの、アンモニア揮散量を約 3 分の 1 まで低減する十分な効果を有することを明らかにした。

畜産施設から発生する臭気は周辺住民にとって悪臭であり、苦情の原因となりやすい。飼養規模の拡大が著しい養豚施設の周辺では必然的に発生量も多く

なるため、臭気対策の必要に迫られるが、安価で効果の高い脱臭技術は少ない。また、ほとんどが開放型の養豚施設において臭気を捕集して脱臭処理等を行うのは困難であり、現実的でない。このことから、新たな設備投資を必要とせずに給与飼料の栄養管理によりアンモニアの発生を抑制できる本技術の意義は大きい。一方で、豚舎で発生する臭気については、アンモニア以外の窒素化合物や硫黄化合物および低級脂肪酸などの複合臭でもある（道宗 1999）ため、総合的な臭気対策には今後のさらなる研究の進展が待たれる。他方、この低 CP 飼料の持つ尿中窒素排泄量の大幅な低減効果は、臭気の高減のみならず、尿污水处理に係るコストも削減できる（山本 2010）ため、生産者の実利的な面と、最終的に処理水が放流される河川の富栄養化対策にも有効である。このように、地域未利用資源である食品製造副産物や農業副産物を食品循環資源として積極的に飼料として利用することとあわせて、生産過程で発生する臭気や汚水などの環境保全対策を適切に講じていく社会的責任を果たすことで、養豚業の持続可能な発展が地域との共生の上に成り立つものと考えられる。

5-3. 地域未利用資源が主体の飼料給与による養豚生産

本研究では、飼料の低タンパク質化に伴い、肥育豚のアミノ酸要求量に対して不足するリジンを追加して給与することで、発育や飼料効率に影響はなく、枝肉やロース肉の性状も一般の豚肉と遜色ない成績が得られた。このことはつまり、シロップ廃液と規格外バレイショを主体とした飼料による飼料費低減のメリットが生産性の低下などで相殺されることがないため、生産者には収益性の向上が付加されることを意味する。さらに、同飼料には生産された豚肉の肉

質におけるメリットも皮下脂肪の性状における影響として認められた。輸入穀類を用いた一般的な肥育飼料では比較的にリノール酸含量の高いトウモロコシが主体となるため、必須脂肪酸として豚肉中に選択的に蓄積されたりノール酸が一定の割合を示す。しかし、本研究ではトウモロコシの代替としてリノール酸をほとんど含まないシロップ廃液および規格外バレイショが飼料の主体となったことで、豚肉中のリノール酸の割合は通常の豚肉と比較して少なく、その相対的な効果としてオレイン酸の割合の高い豚肉が生産された。このことは、同飼料により生産された豚肉が、一般的な豚肉とは異なり、食味官能評価における「風味」の高い評価と、それに伴う「総合的な美味しさ」で優れていたことを科学的に裏付けるものと考えられる。

これまで「残飯養豚」と称されてきた養豚経営では、食品残さの多給による飼料費の低減を優先しすぎた結果、一部で軟脂豚や黄豚といった低品質な豚肉が発生し、流通業者や消費者に負のイメージを定着してしまっただけの経緯がある。しかし、本研究では、利用する地域未利用資源の栄養成分や特性を十分に把握して、肥育豚の栄養要求量に合致した飼料設計を行うことで生産性を損なうことなく、また市販配合飼料で生産される画一的な豚肉品質とは明らかに異なる特徴を持つ豚肉を生産できる可能性を示すことができた。現在、食品循環資源の飼料利用に一定の基準を設けた「エコフィード」を給与した豚肉に対する特段のイメージを消費者がまだ有していないことを Sasaki ら(2011)は指摘しており、「エコフィード」やその認証制度(日本科学飼料協会 2012)、およびそれらのメリットに関する説明や情報公開を行うことの必要性を示唆している。今後、食品残さの飼料利用をさらに推進していくためには、それらを利用する養

豚経営での生産性や豚肉品質の安定化を定着させるとともに、循環型社会の形成に貢献する生産システムとして消費者の理解の醸成を図るなど、社会全体で取り組む姿勢が求められる。

5-4. 地域未利用資源飼料の経済的価値と飼料自給率向上への貢献

リキッドフィーディング体系では、本研究で対象としたシロップ廃液や規格外バレイショなどの水分含量の高い未利用資源を高水分のまま利用できる利点を有するが、施設への初期投資が大きく、導入に際しては安価な飼料原料を安定的に入手できることが理想である。そこで、シロップ廃液および規格外バレイショを飼料原料として利用する際の経済的な評価に関する試算を行った。

シロップ廃液はギ酸製剤の添加のみで貯蔵が可能なことから、試算される風乾物飼料単価は 7.9 円/kg と非常に安価であった。また、規格外バレイショのサイレージ化には、第 2 章の図 2-4 に示したバンカーサイロへの貯蔵を想定した場合、最大で 25.6 t のサイレージを調製できるが、その際のサイレージ調製コストを表 6-1 に示した。規格外バレイショのサイレージ調製に係る総費用は 318,903 円で、風乾物に換算した規格外バレイショサイレージの飼料単価は 26.2 円/kg となった。これは、直近 5 ヶ年の肥育豚生産費（農林水産省統計部 2007～2011）におけるトウモロコシ価格の 32.8 円/kg と比較して約 2 割低い水準である。この飼料単価には、バレイショの水分調整に用いた脱脂米ぬかの費用が 78.1% と大きなウエイトを占めており、より安価な副資材で代替できれば一層の低コスト化が図られることから、今後の検討の余地が残される。これらを用いて試算した第 2 章のシロップ廃液混合リキッド飼料の風乾物単価は 36.0

Table 6-1 Estimation of production cost of potato silage in bunker silo

	Production cost (Yen)	Feed Price ¹⁾ (Yen/kg)	Cost structure (%)
Materials cost			
Feed cost (Defatted rice bran)	248,948	20.4	78.1
Supplies expenses	6,284	0.5	2.0
Fuel expenses	13,327	1.1	4.2
Labor cost			
Wages	43,200	3.5	13.5
Overhead expenses			
Depreciation cost (Concrete block retaining wall)	6,824	0.6	2.1
Electric power cost	321	0.03	0.1
Total	318,903	26.2	100.0

Acquisition cost of unqualified potatoes were not included.

¹⁾ Values were calculated based on air-dried feed.

円/kg,第4章のシロップ廃液および規格外バレイシヨサイレージを併給したりキッド飼料は31.7円/kgとなり,市販されている一般的な配合飼料価格の51.8円/kg(農林水産省統計部2007~2011)と比較して約3割から4割の飼料費低減効果が見込まれた。

輸入穀類に多くを依存するわが国の養豚業では近年,トウモロコシ価格の高騰による飼料費の上昇が経営を圧迫しており,今後も継続した逼迫基調での推移が予測(農林水産政策研究所2012)される中,本研究で検討したシロップ廃液および規格外バレイシヨの飼料化は飼料費を低減できる方策として十分なメリットを有することが明らかとなった。また,このような地域未利用資源の飼料利用をさらに進展・加速することが,輸入穀物価格の高騰と変動により大きく左右されている現在の養豚農家の経営面でのリスクを分散させるべく,重要な役割を果たすものと思われる。

本研究で供試したシロップ廃液は糖類単体の残さで,エネルギー含量は高いものの,粗タンパク質や粗繊維が含まれていない。一方,規格外バレイシヨサイレージの栄養成分は,市販配合飼料と比較して,風乾物飼料中のTDN含量が59.3%と低く,粗繊維含量が7.3%と高いことから,そのままでは肥育豚用飼料として利用し難い。これらはもちろん,市販配合飼料などと配合して栄養調整することで,第2章のように単体で給与することもできるが,第4章のようにこれら両原料を組み合わせることで,それぞれの欠点を補完できるとともに,飼料自給率の向上に大きく貢献する。このことは,第2章で給与した飼料のシロップ廃液によるTDN代替率が35%であったのに対し,規格外バレイシヨサイレージと混合して給与した第4章での代替率は67%と高かったこと

からも明らかで、飼料エネルギーとしての自給率のさらなる向上が達成されたものと考えられた。

5-5. 結論

配合飼料価格の高騰を背景に、養豚生産現場では飼料費の低減を目的とした地域未利用資源の飼料利用に関心が高まっている。自給または輸入した食料の消費プロセスにおけるロスや廃棄分を再資源化して飼料として利用する取り組みは、資源に乏しいわが国における食料自給率の向上に大きく貢献する。しかしながら、給与飼料等、従来の生産システムからの変更は相応のリスクを伴うため、輸入穀類と比較した際の地域未利用資源が有する優位性を明らかにすることが利用に向けては重要となる。本研究の結果は、地域未利用資源の飼料利用が生産者の利益に直結する飼料費の低減として有効であることを示した他、高品質な豚肉の提供や、生産過程における窒素排泄や悪臭の少ない環境に配慮した飼養管理法として、地域社会の全体が受益者となる仕組みを提案するもので、循環型社会の形成に寄与するとともに、わが国における家畜用飼料の自給率向上に資する有益な知見と言える。

総括

本研究は、長崎県の地域未利用資源と位置づけられるシロップ廃液と規格外バレイシヨを養豚用飼料として活用することで、わが国における飼料自給率の向上と環境に配慮した養豚生産方法の確立を図ることを目的に実施した。これまで、水分含量が高く、腐敗の進行が早いため飼料化は困難とされてきたシロップ廃液や規格外バレイシヨ等の未利用資源も、現在大型養豚生産現場で主流となりつつあるリキッドフィーディング方式での利用を前提とすることで、飼料化の可能性が期待される。そこで本研究では、まずこれら両未利用資源の簡易で効果的な貯蔵方法を検討し、次にこれらで調製した低タンパク質飼料をリキッドフィーディング給与した際の肥育豚の生産性と肉質に及ぼす効果について検討し、さらにバレイシヨ澱粉の持つレジスタントスターチとしての特質を利用することで排泄窒素やアンモニアの発生を抑制する環境にやさしい肥育豚の飼養管理法について検討した。得られた結果は以下の通りである。

1. シロップ廃液は、0.4%のギ酸を添加することで常温で安定的に貯蔵でき、またブタの嗜好性の高い有望な飼料原料であることが明らかとなった。規格外バレイシヨに関しては、水洗・細断後、脱脂米ぬかとシロップ廃液とを混合し、L型コンクリート擁壁で作成した屋外バンカーサイロに充填して、サイレージの調製をおこなった。作製されたサイレージは乳酸含量が高く、pHが低い、そして開封後の二次発酵もない成分変動の小さい良好な品質を示した。

2. バレイショ澱粉の糞尿中への窒素排泄量に及ぼす効果を調べるため、まず、バレイショ生澱粉を配合した低タンパク質飼料を肥育豚に給与したところ、窒素排泄量は糞中では若干多くなったものの、尿中では大幅に減少することを明らかにした。続いて、シロップ廃液と規格バレイショサイレージを混合して調製した低タンパク質飼料をリキッドフィーディング給与した際にも、同様の結果が得られ、アンモニア発生量の低減に効果的であることが明らかとなった。これらの結果は、規格外バレイショが環境に有害な窒素の排泄量を低減させるのに有用な飼料原料であることを示すものである。

3. シロップ廃液と規格バレイショサイレージを混合・調製した低タンパク質リキッド飼料は肥育豚の生産性や枝肉形質には何ら悪影響を及ぼさなかった。肉質において、ロース肉の理化学的性状には影響を及ぼさなかったが、皮下脂肪の脂肪酸組成においては、オレイン酸の割合が高く、リノール酸の割合が低くなるという好ましい効果が認められ、このことが食味官能検査での高い評価に結びついたものと考えられた。

以上より、これまでそのほとんどが廃棄されていたシロップ廃液と規格外バレイショを肥育豚用飼料としての有効活用を検討した本研究の結果は、糞尿への窒素排泄量を抑制する環境低負荷型養豚システムの構築と高品質な豚肉生産を可能とし、さらには飼料自給率の向上という国策にも資する貴重な知見を提供するものと考えられる。

Summary

This study was conducted to establish environmentally conscious pork production system and improve the rate of feed self-sufficiency using Nagasaki regional peculiar by-products of syrup waste and unqualified potatoes. The materials with high moisture content such as these two by-products have been thought difficult to use as feedstuff because of their perishability. However, recently operating spreading liquid-feeding system in pork production could make possible to utilize these materials as feedstuff. For this purpose, effective storage method of these by-products, the effect of the low protein diet prepared by these by-products on growth performance, carcass characteristics and meat quality, and the effect of potato resistant starch on the nitrogen excretion and ammonia emission from pig manure. The data obtained were followed.

1. It became obvious that syrup waste was stable at normal temperature by adding 0.4% formic acid and useful feedstuff with favorable palatability for pigs. Unqualified potatoes were chipped, mixed with defatted rice bran and syrup waste and stored simply in the silo constructed with L shaped concrete retaining walls. The quality of processed silage was high enough with high lactic acid content, low pH and negative secondary fermentation.

2. A diet including raw potato starch remarkably reduced nitrogen content in the excreta, especially in urine, and the amount of ammonia emission from the excreta mixture. The same tendency was observed when the low protein liquid diet made up by the silage was fed. Results suggest that unqualified potatoes are an effective ingredient in the diet for pig fattening because it reduces nitrogen excretion, which is detrimental to the environment.

3. The treatment of the low protein liquid diet had no adverse effects on carcass productivity and traits. No effects on physical and chemical properties in the loin meat were also observed. Higher oleic acid and lower linoleic acid percentages in subcutaneous fat seemed to contribute to high score of panel test of the loin meat.

In conclusion, syrup waste and unqualified potatoes, which are by-products not used effectively so far, could contribute to build up an environmental-conscious pork production system by reducing environmentally detrimental nitrogen excretion and producing high quality meat, and improve the rate of feed self-sufficiency.

謝辞

本研究の遂行ならびに本論文の取りまとめにあたり，終始懇篤なご指導とご鞭撻を賜りました佐賀大学農学部 尾野喜孝教授（主指導教員）に衷心より感謝申し上げます．また，副指導教員として有益なご助言とご指導を賜りました佐賀大学農学部 駒井史訓教授ならびに鹿児島大学農学部 中西良孝教授に深く感謝申し上げます．本論文の審査にあたり，貴重なご助言とご高閲を賜りました琉球大学農学部 川本康博教授ならびに佐賀大学農学部 和田康彦教授に厚く御礼申し上げます．

本研究の遂行に際し，長崎県農政課 嶋澤光一博士（当時 長崎県農林技術開発センター主任研究員）には多大なご支援と温かい激励をいただきました．また，長崎県農林技術開発センター中小家畜・環境研究室の養豚班の皆様には惜しみない協力をいただきました．ここに記し，感謝の意を表します．さらに，本研究の遂行と論文の作成に対してご理解とご協力を賜りました長崎県農林技術開発センターの皆様には厚く御礼申し上げます．

最後に大学院博士課程への進学を支持してくれた両親と，在学期間中に家庭を支えてくれた妻 美由紀，長男 侑世に感謝します．

ありがとうございました．

2013年9月 本多昭幸

引用文献

- 安宅一夫 .2012 .最新 サイレージバイブル -サイレージと TMR の調製と給与- .
酪農学園大学エクステンションセンター , 北海道 .
- 淡路和則 .2007 .食品残さの飼料化における経営戦略 .畜産の研究 **61** ,117-123 .
- Blay GL, Michel C, Blottiere HM, Cherbut C. 1999. Enhancement of butyrate production in the rat caecocolonic tract by long-term ingestion of resistant potato starch. *British Journal of Nutrition* **82**, 419-426.
- Brooks P. 2003. Liquid feeding as a means to promote pig health. *London Swine Conference* **2**, 83-103.
- Brown I, Warhurst M, Arcot J, Playne M, Illman RJ, Topping DL. 1997. Fecal numbers of bifidobacteria are higher in pigs fed *Bifidobacterium longum* with a high amylose cornstarch than with a low amylose cornstarch. *Journal of Nutrition* **127**, 1822-1827.
- Canh TT, Aarnink AJ, Verstegen MW, Schrama JW. 1998. Influence of dietary factors on the pH and ammonia emission of slurry from growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* **76**, 1123-1130.
- Canh TT, Verstegen MW, Aarnink AJ, Schrama JW. 1997. Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and composition of urine and feces of fattening pigs. *Journal of Animal Science* **75**, 700-706.
- Canibe N, Jensen BB. 2003. Fermented and nonfermented liquid feed to growing pigs: Effect on aspects of gastrointestinal ecology and growth

- performance. *Journal of Animal Science* **81**, 2019-2031.
- 畜産技術協会 . 2003 . 牛肉の品質評価のための理化学分析マニュアル . 畜産技術協会 , 東京 .
- 畜産技術協会 . 2011 . 欧州におけるソフトグレインを活用したリキッドフィーディングによる豚肉生産に関する調査 . pp . 3-9 , 畜産技術協会 , 東京 .
- Cummings JH. 1984. Constipation, dietary fibre and the control of large bowel function. *Postgraduate Medical Journal* **60**, 811-819.
- Cummings JH, Beatty ER, Kingman SM, Bingham SA, Englyst HN. 1996. Digestion and physiological properties of resistant starch in the human large bowel. *British Journal of Nutrition* **75**, 733-747.
- 道宗直昭 . 1999 . 悪臭の防止対策 . 日本養豚学会誌 **36** , 71-78 .
- FAO. 2011. *Feeding the future. World livestock 2011*. pp. 77-87. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- 古谷 修 , 渡部正樹 , 阿部博行 , 清水俊郎 , 大門博之 , 佐藤圭子 , 今田哲雄 , 佐藤金一 . 1997 . アミノ酸添加低蛋白質飼料の給与による肉豚における窒素排泄量の低減 . 日本養豚学会誌 **34** , 15-21 .
- Gargallo J, Zimmerman D. 1981. Effect of casein and starch infusion in the large intestine on nitrogen metabolism of growing swine. *Journal of Nutrition* **111**, 1390-1396.
- 羽賀清典 . 1998 . 畜産に関する環境問題 . 畜産環境保全論 (押田敏雄 , 柿市徳英 , 羽賀清典編) . pp . 18-20 . 養賢堂 , 東京 .
- 配合飼料供給安定機構 . 2009 . 食品残さの飼料化 (エコフィード) をめざして .

- pp. 119-151. 配合飼料供給安定機構, 東京.
- Harvey WR. 1990. *Users guide for LSMLMW and MIXMD PC-2 version, mixed model least-squares and maximum likelihood computer program*. Ohio State University, Columbus.
- 服部育男, 熊井清雄, 福見良平. 1993. 添加糖の種類が各種サイレージの発酵品質に及ぼす影響. 日本草地学会誌 **39**, 326-333.
- 早川享志, 柘植治人. 1999. デンプンの摂取と健康 難消化性デンプンの生理機能. 日本植物繊維研究会誌 **3**, 55-64.
- 廣川順太, 小笠原俊介, 谷山 敦, 松尾信明. 2005. 暑熱時の廃シロップ添加による乳牛の採食量向上効果. 九州農業研究 **67**, 92.
- 家入誠二, 崎村武司, 石橋 誠, 勝俣昌也, 梶 雄次. 2007. 肥育豚へのパン屑利用低リジン飼料給与による筋肉脂肪含量の増加. 日本養豚学会誌 **44**, 8-16.
- 井尻 哲, 中山阿紀, 中野公隆, 山内慎也, 角川幸治, 土屋義信. 2007. 食品製造副産物を主原料とした肥育豚用発酵リキッド飼料の調製と給与試験. 日本養豚学会誌 **44**, 31-39.
- 入江正和. 1989. 飼料へ的大豆油添加とその添加時期による豚の皮下脂肪の脂肪酸組成と厚さの変化. 日本養豚学会誌 **26**, 247-254.
- 入江正和. 1992. 豚における脂肪の質, 特に給与飼料の影響に関する研究. 日本養豚学会誌 **29**, 92-95.
- 入江正和. 2002. 豚肉質の評価法. 日本養豚学会誌 **39**, 221-254.
- 入江正和. 2007. 食品残さ給与豚の肉質と高品質化. 畜産の研究 **61**, 124-128.

- 岩本英治，設楽 修，入江正和．2004．パン添加飼料の給与がブタの増体量および肉質に及ぼす影響．日本畜産学会報 76，15-22．
- 自給飼料品質評価研究会．2001．改訂 粗飼料の品質評価ガイドブック．日本草地畜産種子協会，東京．
- 家畜改良センター．2005．食肉の官能評価ガイドライン．日本食肉消費総合センター，東京．
- 籠田勝基．1999．体液成分．豚病学（柏崎 守，久保正法，小久江栄一，清水実嗣，出口栄三郎，古谷 修，山本孝史編）．第4版．pp．63-68，近代出版，東京．
- 片山信也，古橋 正，池田博保．1994．未利用資源のサイレージ化技術 1) 高品質粕類サイレージ調製のための副資材の検討 a.TMR サイレージ調製用副資材の発酵適性．静岡県畜産試験場試験研究報告 20，33-36．
- Katsumata M, Kobayashi S, Matsumoto M, Tsuneishi E, Kaji Y. 2005. Reduced intake of dietary lysine promotes accumulation of intramuscular in the Longissimus dorsi muscles of finishing gilts. *Animal Science Journal* 76, 237-244.
- 勝俣昌也，佐々木啓介，斉藤真二，石田藍子，京谷隆侍，本山三知代，大塚 誠，中島一喜，澤田一彦，光津本充．2009．肥育後期豚への玄米の給与が皮下脂肪の性状に及ぼす影響．日本畜産学会報 80，63-69．
- 川井田博，平山愛和，福永智明，丸野弘幸．1992．液状飼料の合理的な給与システムの確立に関する研究．鹿児島県畜産試験場研究報告 24，78-92．
- 川島知之．2003．日本型発酵リキッドフィーディングの構築を目指して．畜産

の研究 **57** , 31-42 .

川島知之 . 2007 . 食品残さ飼料化の技術的課題 . 畜産の研究 **61** , 129-133 .

Kerr BJ, McKeith FK, Easter RA. 1995. Effect on performance and carcass characteristics of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein, amino acid-supplemented diets. *Journal of Animal Science* **73**, 433-440.

Kerr BJ, Yen JT, Nienaber JA, Easter RA. 2003. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. *Journal of Animal Science* **81**, 1998-2007.

木部久衛 . 1966 . 包装サイレージの品質ならびに栄養価値におよぼす添加剤の効果について . 日本畜産学会報 **37** , 281-289 .

木全 誠 , 石橋 晃 , 鎌田寿彦 . 2001 . 豚肉の理化学的成分と官能検査との関係 . 日本養豚学会誌 **38** , 45-51 .

Kishida T, Nogami H, Himeno S, Ebihara K. 2001. Heat moisture treatment of high amylose cornstarch increases its resistant starch content but not its physiologic effects in rats. *Journal of Nutrition* **131**, 2716-2721.

Knowles TA, Southern LL, Bidner TD, Kerr BJ, Friesen KG. 1998. Effect of dietary fiber or fat in low-crude protein, crystalline amino acid-supplemented diets for finishing pigs. *Journal of Animal Science* **76**, 2818-2832.

Lindhall I, Davis RE, Ellis NR. 1946. Effect of temperature and length of

storage on ensilage made from cooked white potatoes. *Journal of Animal Science* **5**, 279-284.

Louise M, Heijnen M-LA, Beynen AC. 1997. Consumption of retrograded (RS₃) but not uncooked (RS₂) resistant starch shifts nitrogen excretion from urine to feces in cannulated piglets. *Journal of Nutrition* **127**, 1828-1832.

蒔田秀夫, 渡部 敢 .2000 .都市厨芥・湯温脱水法処理製品を用いた飼養試験 . 未利用有機物資源の飼料利用ハンドブック (阿部 亮, 吉田宣夫, 今井昭夫, 山本英雄編). pp . 288-292 .サイエンスフォーラム, 東京 .

Martinez-Puig D, Perez FJ, Castillo M, Andaluz A, Anguita M, Morales J, Gasa J. 2003. Consumption of raw potato starch increases colon length and fecal excretion of purine bases in growing pigs. *Journal of Nutrition* **133**, 134-139.

増田達郎, 市川 明, 加納正敏, 河辺鋭治 . 1999 .肥育豚に対するリン及び窒素一括排泄量低減試験 . 愛知県農業総合試験場研究報告 **31** , 269-274 .

増田達郎, 大橋秀一, 加納正敏, 杉山弘行 . 1998 .結晶アミノ酸添加低タンパク質飼料が肥育豚の発育と窒素排泄量に及ぼす影響 . 愛知県農業総合試験場研究報告 **30** , 25-300 .

三津本充, 佐々木啓介, 川島知之, 佐伯真魚, 立川 洋, 山本英雄 . 2006 .肥育豚への食品製造残さ発酵リキッド飼料と茶カテキン類の給与が増体, 枝肉性状, および冷蔵保存中の豚肉品質に及ぼす影響 .日本畜産学会報 **77** , 409-416 .

- 光岡知足 . 1971 . 腸内細菌叢の検索手段 . 感染症学雑誌 **45** , 409-419 .
- 森本 宏 . 1985 . 飼料とその特徴 . 飼料学 (森本 宏 , 吉田 実 , 大山嘉伸編) .
pp . 179-180 . 養賢堂 , 東京 .
- Mosenthin R, Sauer WC, Henkel H, Ahrens F, de Lange CFM. 1992. Tracer studies of urea kinetics in growing pigs: . The effect of starch infusion at the distal ileum on urea recycling and bacterial nitrogen excretion. *Journal of Animal Science* **70**, 3467-3472.
- 向島信洋 , 森 一幸 , 坂本 悠 , 宮田誠司 , 草原典夫 , 石橋祐二 , 中尾 敬 .
2012 . パレイシヨ新品種「さんじゅう丸」 . 長崎県農林技術開発センター研究報告 **3** , 27-51 .
- 村上大蔵 . 1997 . 代謝・栄養障害 . 獣医ハンドブック (中村良一 , 笹原二郎 , 酒井 保 , 村上大蔵 , 吐山豊秋編) . pp . 140-141 , 養賢堂 , 東京 .
- 長崎県 . 2005 . 長崎県バイオマスマスタープラン資料編 . pp.26-29 . 長崎県 , 長崎 .
- 日本科学飼料協会 . 2012 . エコフィード認証制度実施の手引き [homepage on the internet] . 日本科学飼料協会 , 東京 ; [cited 23 April 2013] . Available from URL:
http://kashikyo.lin.gr.jp/ecofeed/tebiki_120401.pdf
- 日本種豚登録協会 . 1991 . 豚産肉能力検定実務書 . pp.39-45 . 日本種豚登録協会 , 東京 .
- 丹羽美次 , 矢後啓司 , 音成洋司 , 坂上 泉 , 大澤貴之 , 佐伯真魚 , 奈良 誠 , 稗田哲也 , 高須茜美 , 堀与志美 , 阿部 亮 . 2003 . 都市厨芥発酵乾燥製品

- の調製法と養豚飼料としての栄養価．日本養豚学会誌 40, 1-7．
- 農業技術研究機構．2001．日本標準飼料成分表（2001年版）．中央畜産会，東京．
- 農業・生物系特定産業技術研究機構．2002．畜産で利用される臭気対策資材の効果判定方法．pp.6-19．農業・生物系特定産業技術研究機構 畜産草地研究所，茨城．
- 農業・生物系特定産業技術研究機構．2005．日本飼養標準・豚（2005年版）．中央畜産会，東京．
- 農林水産政策研究所．2012．2022年における世界の食料需給見通し - 世界食料需給モデルによる予測結果 - ．[homepage on the internet]．農林水産省，東京；[cited 23 April 2013]．Available from URL:
http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/j_zyukyu_mitosi/pdf/2022_zyukyu_outlook_report.pdf
- 農林水産省．2010a．食料・農業・農村基本計画．pp．15．農林水産省，東京．
- 農林水産省．2010b．食料・農業・農村基本計画．pp．43．農林水産省，東京．
- 農林水産省．2012a．飼料需給表．[homepage on the internet]．農林水産省，東京；[cited 23 April 2013]．Available from URL:
http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/zyukyu/pdf/zyukyu_120810.pdf
- 農林水産省．2012b．畜産経営に起因する苦情発生状況．[homepage on the internet]．農林水産省，東京；[cited 6 May 2013]．Available from URL:
<http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/kujou24.pdf>

- 農林水産省 . 2013 . 飼料をめぐる情勢 . [homepage on the internet] . 農林水産省 , 東京 ; [cited 23 April 2013] . Available from URL :
http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryu/pdf/siryu_2504.pdf
- 農林水産省統計部 . 2007 . 農業経営統計調査報告 平成 19 年度 畜産物生産費 . 農林統計協会 , 東京 .
- 農林水産省統計部 . 2008 . 農業経営統計調査報告 平成 20 年度 畜産物生産費 . 農林統計協会 , 東京 .
- 農林水産省統計部 . 2009 . 農業経営統計調査報告 平成 21 年度 畜産物生産費 . 農林統計協会 , 東京 .
- 農林水産省統計部 . 2010 . 農業経営統計調査報告 平成 22 年度 畜産物生産費 . 農林統計協会 , 東京 .
- 農林水産省統計部 . 2011 . 農業経営統計調査報告 平成 23 年度 畜産物生産費 . 農林統計協会 , 東京 .
- 荻野暁史 . 2007 . 食品残さの飼料利用による環境影響低減効果 . 畜産の研究 61 , 113-116 .
- 大口秀司 , 成瀬俊一 , 栗田隆之 , 山本るみ子 , 安藤康紀 . 2007 . 肥育豚への牛乳給与が発育・肉質に及ぼす影響 . 愛知県農業総合試験場研究報告 39 , 61-66 .
- 大森英之 , 守谷直子 , 石田三佳 , 大塚 舞 , 小橋有里 , 本山三知代 , 佐々木啓介 , 田島 清 , 西岡輝美 , 蔡 義民 , 三津本充 , 勝俣昌也 , 川島知之 . 2007 . コンビニエンスストアから排出された消費期限切れの食品を主体とする

- 発酵リキッド飼料によるブタの肥育試験．日本畜産学会報 **78**，189-200．
- 大塚 舞，大森英之，田島 清，川島知之．2007．ギ酸添加による甘しょ焼酎粕の保存性改善．日本畜産学会報 **78**，349-354．
- 大山嘉信，柁木茂彦，森地敏樹．1973．サイレ - ジの発酵経過に及ぼす埋蔵温度およびグルコ - ス添加の影響．日本畜産学会報 **44**，55-67．
- Ryan CA, Balls AK. 1962. An inhibitor of chymotrypsin from *Solanum Tuberosum* and its behavior toward trypsin. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* **48**，1839-1844.
- 佐伯真魚，川島知之，大澤貴之，阪上 泉，音成洋司，高橋俊浩，丹羽美次，望月辰起，山本心平，渡邊敬一，矢後啓司，青木 稔，堀与志美，高田良三，山崎 信，永西 修，阿部 亮．2004．食品残さを成分表に基づき配合した養豚用リサイクル飼料の組成および栄養価の設計値と実測値の比較．日本養豚学会誌 **41**，217-227．
- 佐伯真魚，北川順矩，松本光洋，西山厚志，三好久美子，望月めぐみ，高須茜美，阿部 亮．2001．都市厨芥飼料の化学組成と栄養価．*Animal Science Journal* **72**，J34-J40．
- 斎藤 守．2001．ニワトリおよびブタからの環境負荷物質の低減化に関する栄養飼料学的研究の動向．*Animal Science Journal* **72**，J177-J199．
- Sasaki K, Aizaki H, Motoyama M, Ohmori H, Kawashima T. 2011. Impressions and purchasing intentions of Japanese consumers regarding pork produced by 'Ecofeed,' a trademark of food-waste or food co-product animal feed certified by the Japanese government. *Animal Science*

Journal **82**, 175-180.

Sasaki K, Nishioka T, Ishizuka Y, Saeki M, Kawashima T, Irie M, Mitsumoto M. 2007. Comparison of sensory traits and preferences between food co-product fermented liquid (FCFL)-feed and formula-feed-fed pork loin. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **20**, 1272-1277.

佐藤広顕 . 2005 . ジャガイモの加工特性に及ぼす細胞分離性に関する研究 . 日本食品保蔵科学会誌 **31** , 325-332 .

佐藤 信 . 1985 . 統計的官能評価 . pp.53-55 . 日科技連出版社 , 東京 .

嶋澤光一 , 本多昭幸 , 尾野喜孝 . 2009 . 昼間屋外飼養およびバレイシヨ混合サイレージの給与が肥育豚の行動 , 生産性 , 肉質および筋線維特性に及ぼす影響 . 日本畜産学会報 **80** , 189-197 .

嶋澤光一 , 本多昭幸 , 竹野大志 , 西川 徹 , 尾野喜孝 . 2007 . バレイシヨ混合サイレージ給与が肥育豚の発育および肉質に及ぼす影響 . 日本畜産学会報 **78** , 355 - 362 .

嶋澤光一 , 本多昭幸 , 竹野大志 , 西川 徹 , 尾野喜孝 . 2008 . バレイシヨ混合サイレージの肥育豚への給与が豚肉の理化学的特性に及ぼす影響 . 日本畜産学会報 **79** , 385 - 390 .

飼料分析基準研究会 . 2005 . 飼料分析法・解説 (2004) . pp.1123-1126 . 日本科学飼料協会 . 東京 .

設楽 修 , 岩本英治 . 1998 . アミノ酸添加低蛋白質飼料の給与が肥育豚の発育と窒素排泄量に及ぼす影響 . 兵庫県農業技術センター研究報告 [畜産編] **34** , 36-41 .

- 設楽 修，岩本英治．2000．アミノ酸添加低蛋白質飼料給与が肥育豚の背脂肪厚と窒素排泄量に及ぼす影響．兵庫県農業技術センター研究報告[畜産編] 36，27-31．
- 鈴木一好，内田賢一．2004．リキッドフィーディングの経営経済的評価（短報）飼料費削減効果．千葉県畜産総合研究センター研究報告 4，65-66．
- Suzuki K, Cheng XC, Kano H, Shimizu T, Sato Y. 1998. Influence of low protein diets on water intake and urine and nitrogen excretion in growing pigs. *Animal Science Technology* 69, 267-270.
- 高木良弘，千歳健一，幸野拓矢，桑水郁郎．2010．甘しょ焼酎粕を混合したアミノ酸調整低タンパク質飼料によるリキッドフィーディングが肥育豚の尿汚水量および窒素排せつ量に及ぼす影響．鹿児島県農業開発総合センター研究報告 畜産部門 4，1-9．
- 高橋敏能．2000．都市厨芥と魚アラの熱風乾燥処理製品を用いた飼養試験．未利用有機物資源の飼料利用ハンドブック(阿部 亮，吉田宣夫，今井昭夫，山本英雄編)．pp．280-284．サイエンスフォーラム，東京．
- 田中 治，大桃定洋．1995．プラスチックフィルムを用いた小規模サイレージ発酵試験法(パウチ法)の開発．日本草地学会誌 41，55-59．
- 谷 史雄，新居雅宏，森 直樹．2003．阿波ポークの「特徴あるおいしさ」評価技術の開発．徳島県畜産試験場研究報告 3，73-76．
- 上田泰史．2011．海外情報 米国における最近の飼料穀物の情勢 2011/12 年産トウモロコシの需給動向．畜産の情報 260，79-91．
- United Nations Population Division. 2010. World Population Prospects, the

2010 Revision. [homepage on the internet] . United Nations, New York;

[cited 6 May 2013]. Available from URL:

<http://esa.un.org/unpd/wpp/Excel-Data/population.htm>

Van der Meulen J, Bakker GC, Bakker JG, de Visser H, Jongbloed AW, Everts

H. 1997. Effect of resistant starch on net portal-drained viscera flux of glucose, volatile fatty acids, urea, and ammonia in growing pigs.

Journal of Animal Science **75**, 2697-2704.

Wang JF, Zhu YH, Li DF, Wang M, Jensen B. 2004. Effect of type and level

of dietary fibre and starch on ileal and faecal microbial activity and short-chain fatty acid concentrations in growing pigs. *Animal*

Science **78**, 109-117.

王 飛雲, 鈴木 貢, 福山欣晃, 佐伯真魚, 丹羽美次, 阿部 亮. 2008. 食品

廃棄物の高温発酵乾燥飼料による肉豚肥育が発育成績に及ぼす影響. 日本

養豚学会誌 **45**, 164-172.

渡邊洋一郎, 今村修二, 生駒エレナ, 大平徳雄. 2009. 乾燥焼酎粕およびビー

トパルプ添加アミノ酸調整低タンパク質飼料給与による肥育豚の窒素排

せつ量および肉質への影響. 鹿児島県農業開発総合センター研究報告 畜

産部門 **3**, 63-68.

渡邊洋一郎, 石黒典子, 検崎真司, 福留憲治, 大平徳雄, 西岡輝美, 大森英之,

川島知之. 2008. 食品残さおよび焼酎粕を用いた発酵リキッド飼料の給与

が肥育豚に及ぼす影響. 鹿児島県農業開発総合センター研究報告 畜産部

門 **2**, 27-35.

- Weurding RE, Veldman A, Veen WAG, Van der Aar PJ, Verstegen MWA. 2001. In vitro starch digestion correlates well with rate and extent of starch digestion in broiler chickens. *Journal of Nutrition* **131**, 2336-2342.
- Whittemore CT, Tatlor AG, Moffat, Scott A. 1975. Nutritive value of raw potato for pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **26**, 255-260.
- 山口昇一郎, 山本朱美, 村上徹哉, 伊藤 稔, 古谷 修. 2005. アミノ酸添加低タンパク質飼料への乾燥ミカンジュース粕の配合が豚の発育, 背脂肪厚, 肉色, 窒素排せつ量および糞の臭気物質に及ぼす影響. 福岡県農業総合試験場研究報告 **24**, 88-3.
- 山本朱美. 2010. アミノ酸含量調整技術飼料給与による肥育豚の環境負荷低減及び汚水処理コスト低減の実証. 畜産環境情報 **46**, 10-12.
- 山本朱美, 青木幸尚, 伊藤 稔, 石川雄治, 山内克彦, 山田未知, 古谷 修. 2002b. 養豚飼料へのリンゴジュース粕添加による尿中窒素排泄量の低減. 日本養豚学会誌 **39**, 8-13.
- Yamamoto A, Itoh M, Kadoya Y, Kanno H, Yamada M, Furuya S. 2002a. Reduction of urinary nitrogen excretion and ammonia emission from slurry by feeding a low protein diet supplemented with apple pomace to growing pigs. *Animal Science Journal* **73**, 301-304.
- 山本朱美, 高橋栄二, 伊藤 稔, 石川雄治, 山内克彦, 山田未知, 古谷 修. 2002a. 肉豚へのアミノ酸添加低タンパク質飼料の給与による尿量, 窒素排泄量およびアンモニア発生量の低減効果. 日本養豚学会誌 **39**, 1-7.

- 山本朱美，伊藤 稔，古谷 修．2003a．豚糞尿混合物の pH，尿中窒素含量および脱臭資材の添加が in vitro アンモニア揮散量に及ぼす影響．日本畜産学会報 74，369-373．
- 山本朱美，伊藤 稔，古川智子，長峰孝文，亀岡俊則，古谷 修．2003b．豚における低タンパク質飼料へのビートパルプの添加による尿中窒素排せつ量およびふん尿混合物からのアンモニア揮散量の低減．日本養豚学会誌 40，135-140．
- 山本朱美，佐藤義人，中村慶逸，伊藤 稔，古谷 修．2003c．リンゴジュース粕の低蛋白質飼料への添加が肥育豚の発育，窒素排泄量および背脂肪厚に及ぼす影響．日本養豚学会誌 40，129-134．
- Yamamoto A, Umemoto E, Itoh M, Matsui M, Fujimura N, Furuya S. 2002b. Reduction of ammonia emission from growing pig rooms by feeding a lower protein diet supplemented with apple pomace. *Animal Science Journal* 73, 505-508.
- 矢後啓司．2000．都市厨芥・高温発酵処理製品を用いた飼養試験．未利用有機物資源の飼料利用ハンドブック（阿部 亮，吉田宣夫，今井昭夫，山本英雄編）．pp．273-279．サイエンスフォーラム，東京．
- 米田裕紀，首藤新一，阿部 登，所 和暢．1984．豚における自給飼料の利用に関する研究 第2報 肥育豚での馬鈴薯サイレージ及び澱粉粕の利用性．日本養豚研究会誌 21，125-134．