

原 著

高水分未利用飼料原料の凍結解凍・脱水処理が原料からの水分除去率と栄養成分および人工消化試験によるブタの乾物および粗タンパク質消化率に及ぼす影響

山田未知^{1,2}・西藤寛人¹・山中将彦¹・武田陽介¹・
池原麻友美²・山田幸二³・中辻浩喜^{1,2}¹ 酪農学園大学農食環境学群, 北海道江別市, 069-8501² 酪農学園大学酪農学部, 北海道江別市, 069-8501³ 郡山女子大学家政学部, 福島県郡山市, 963-8851

(2021 年 8 月 28 日受付, 2022 年 1 月 28 日受理)

要 約 高水分未利用原料に対する乾燥前の凍結解凍・脱水処理が, 原料からの水分除去と乾燥後原料の栄養成分, 人工消化試験によるブタの乾物および粗タンパク質消化率に及ぼす影響について検討した。本研究には原料として出荷時に切り落とされる生アスパラガスの茎部(アスパラ), 規格外ジャガイモ(ジャガイモ)および廃棄された豆腐(豆腐)を供試した。処理区は, 原料をそのまま活用した無処理区, 乾燥前に原料を脱水機で脱水した脱水区, 凍結後に解凍した凍結区, 凍結解凍後に脱水処理を施した凍脱区とした。上記処理後のアスパラでは, 無処理区と脱水区に比べて, 凍結区, 凍脱区の順に水分含量は減少し($P<0.05$), 水分除去率は増加した($P<0.05$)。ジャガイモと豆腐の水分含量は無処理区, 脱水区, 凍結区, 凍脱区の順に減少し($P<0.05$), 水分除去率は増加した($P<0.05$)。これら処理原料の乾燥終了までの所要時間は無処理区と脱水区に比べ凍結区と凍脱区は約 1/2 に短縮された($P<0.05$)。栄養成分含量は, アスパラとジャガイモの粗タンパク質と粗灰分が無処理区に比べ凍結区と凍脱区で減少し($P<0.05$), 炭水化物は増加した($P<0.05$)。粗脂肪は, アスパラでは無処理区に比べ凍結区と凍脱区が増加し($P<0.05$), 逆にジャガイモは減少した($P<0.05$)。豆腐は各区の栄養成分含量に有意な差はみられなかった。人工消化試験による各区乾燥後原料の粗タンパク質消化率および豆腐の乾物消化率は各区間に有意な差はみられなかったが, アスパラとジャガイモの乾物消化率では無処理区と脱水区に比べ凍結区と凍脱区で減少した($P<0.05$)。以上の結果から凍結解凍およびその後の脱水処理は高水分原料から効率的に水分を除去でき, 乾燥所要時間短縮を図れることが確認できたが, 凍結解凍後の脱水処理は, 原料中の水溶性栄養成分の溶出を促進させることが考えられた。

緒 言

養豚における飼料は海外依存度が極めて高い原料を使用している(農林水産省畜産局飼料課, 2021)。このことから, 生産費のうちでも多くを占める飼料

費(農林水産省大臣官房統計部経営・構造統計課, 2021)は, 穀物相場や為替レート, 原油価格に伴う運賃など, 様々な要因に左右されるほか, 安定的な飼料原料の供給にも不安が残る状況となっている。

一方, 2001 年 5 月には, 「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）」（平成12年法律第116号）が施行され、畜産分野においては、飼料自給率向上と安定した飼料原料の供給を目指し、食品残渣や規格外農産物などの未利用資源の飼料化（エコフィード）が進められている（農林水産省畜産局飼料課, 2021）。

これまでに、養豚におけるエコフィードに関する研究は数多く行われているが（丹羽ら, 1993；丹羽ら, 2003；石田ら, 2004；大澤ら, 2004；井尻ら, 2007；王ら, 2008；脇屋ら, 2010；大口ら, 2012；劉ら, 2015；FANGら, 2018；鈴木ら, 2020），その原料は高水分のものが多いため（丹羽ら, 1993；丹羽ら, 2003；大澤ら, 2004；井尻ら, 2007；王ら, 2008；脇谷ら, 2010；大口ら, 2012；劉ら, 2015；FANGら, 2018；鈴木ら, 2020），その保存性を高める観点から、サイレージ処理（丹羽ら, 1993；劉ら, 2015；FANGら, 2018；鈴木ら, 2020）、リキッドフィーディング用発酵飼料化処理（井尻ら, 2007；大口ら, 2012）、熱源を利用した発酵乾燥処理（丹羽ら, 2003；大澤ら, 2004；王ら, 2008）や攪拌乾燥処理（脇谷ら, 2010）と様々な研究が行われている。また、これらを背景として、対象家畜別のエコフィード製造事業者数においても豚が最も多く（農林水産省生産局畜産部飼料課, 2021）、今後も養豚においては更なるエコフィードの活用推進が期待できるものと考えられる。

このように、様々な処理法の活用によりエコフィードの利用が進んでいるが（農林水産省生産局畜産部飼料課, 2021）、エコフィード製造量は濃厚飼料全体の約5%程度である（農林水産省生産局畜産部飼料課, 2021）。また、令和3年8月現在の豚における認証エコフィードは16銘柄あり（農林水産省生産局畜産部飼料課, 2021）、その多くは原料の加熱・乾燥処理を行っている（農林水産省生産局畜産部飼料課, 2021）。しかし、加熱・乾燥処理を行うにあたっては、乾燥コストをいかに抑えられるかが大きな課題であり、そのためには原物における乾燥前水分含量をいかに低下できるかが今後のエコフィード活用推進においては重要な要因であると考えた。

一方、四宮と宮脇（2004）は省エネルギーな食品廃棄物の減量処理法として凍結・解凍処理後の脱水効果について検討し、肉や魚ではそれほど効果はなかったとしながらも、野菜や果物、それらの調理くず、ゲル状食品に対しては大きな減量化につながっ

たと報告するとともに、凍結脱水機の試作も行っている（四宮と宮脇, 2006）。

著者ら（山田ら, 2017）は、北海道における生産量が多い農産物やそれから製造される食品の有効活用をめざし、四宮と宮脇の報告（2006）をもとに、生アスパラガスの出荷時に切り落される茎部や規格外のジャガイモ、廃棄された豆腐に対して凍結解凍・脱水処理を施し、その後に乾燥処理を行った原料により設計した肥育後期飼料の給与試験を行った。その結果として、設計飼料は市販飼料と比べて肥育豚の発育成績や枝肉成績において遜色がなかったことを報告した（山田ら, 2017）。しかし、この報告（山田ら, 2017）では、高水分未利用原料を風乾物化するための前処理としての凍結解凍・脱水処理の水分除去効果や乾燥時間に対する影響、並びに栄養成分の変化やそれらの消化率については検討していない。

そこで本研究では、高水分未利用原料の貯蔵性向上に向けた方法の一つである乾燥処理の経費削減のために、著者らの報告（2017）で用いた原料に対し、凍結解凍および脱水処理を行うことによる水分除去効果とそれに伴う栄養成分の変化、人工消化試験によるブタの乾物および粗タンパク質消化率に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

1. 高水分未利用原料

本研究には、高水分未利用原料として北海道内アスパラガス生産者、江別市内青果店、江別市内豆腐製造業者からそれぞれ譲渡を受けた生アスパラガスの出荷時に切り落とされる茎部（アスパラ）、規格外生ジャガイモ（ジャガイモ）、廃棄された冷蔵保存豆腐（豆腐）を用いた。

2. 原料の乾燥前処理方法

本研究では、原料に対して以下の（2）～（4）に示す3種類の乾燥前処理（前処理）を施し、前処理なしの「無処理区」を含めて4つの区を設定した。なお、各区原料1回当たりの処理量は各区とも10～15kgとした。

（1）無処理区

各原料に対して前処理を行わず、原料そのものを用いた。

（2）脱水区

ジャガイモおよび豆腐については市販の脱水袋（10RZ4-RY用、株式会社大道産業）に入れて、ア

スパラはそのままの状態です市販の食品脱水機(10RZ4-RY 株式会社 大道産業製, 7kg 容量)に投入して脱水した(回転数約 800rpm)。なお, 脱水機への1回の投入量は各原料とも約 5kg, 脱水時間はアスパラおよびジャガイモは 10 分, 豆腐は 5 分とした。

(3) 凍結解凍区

ジャガイモはミニコンテナ(容量 22.0L)または同程度の容量の段ボール箱に, アスパラおよび豆腐はビニール袋(厚さ 0.05 mm, 容量 120L)に入れ, それぞれ $-20\sim-30^{\circ}\text{C}$ の冷凍庫で 48 時間凍結した後, 漬物石(重量約 15kg)により負荷をかけて常温($15\sim25^{\circ}\text{C}$)で解凍した(解凍日数: アスパラは 10 日間, ジャガイモおよび豆腐は 3 日間)。なお, その際, カビや腐敗等の発生がないことを目視および臭気により確認した。

(4) 凍結解凍・脱水区

凍結区と同様に凍結解凍後, 脱水区と同様に脱水処理を施した。

3. 前処理前後の水分含量

各原料において, 各区前処理前後の水分含量を $105\sim110^{\circ}\text{C}$ 乾燥恒量法(阿部, 2001)にて測定した。また, 各原料の処理前水分含量における処理後の水分減少量(処理前水分含量-処理後の水分含量)の割合により, 水分除去率を求めた。

4. 前処理後の乾燥方法

前処理を行った各原料は, 網バケット(縦 325 mm \times 横 260 mm \times 深さ 43 mm)に約 1,500 g ずつ入れ, 60°C の送風乾燥機で乾燥させた。なお, ジャガイモは表皮が存在することから, そのままの形態では乾燥が進まなかったことより, 乾燥前にチョッパー(チョッパー中型 宝田工業株式会社)にて約 5 mm \sim 10 mm 角の大きさに細かく粉碎したのち乾燥処理を施した。

5. 乾燥時間の測定

各区において, 乾燥終了が近づいたと判断してから 1 時間ごとに乾燥中の原料を無作為に 10 点サンプリングした。この試料を加熱乾燥式水分計(ML-50, 株式会社エー・アンド・デイ)により水分含量を測定し, そのすべてが水分含量 15% 以下となった時点を乾燥終了時間として, 乾燥開始から終了までの所要時間を算出した。

6. 栄養成分分析

乾燥終了後の各区原料について, 常法(阿部, 2001)に基づき栄養成分(水分, 粗タンパク質, 粗

脂肪, 粗灰分)の分析を行い, 各成分の乾物 100 g 中の含量を求めた。また, 炭水化物含量は, 100 から各成分含量の合計を差し引いて求めた。

7. 人工消化試験による消化率分析

各区乾燥後の試料を用いて, ペプシンとパンクレアチンで連続的に処理し, 残さの量から消化率を求める古谷と長野(1984)の方法に基づき, 以下の手順により人工消化試験を実施した。まず, 三角フラスコに試料 0.5 g を秤量し, これに 0.2% ペプシン(純正化学株式会社) 0.075 N 塩酸溶液 10 mL を加え, 振とう機(compact ROCKER, CR95, FINEPCR 社製)に設置した 37°C に設定したウォーターバス(WATERBATH MODEL, BM-41, ヤマト科学株式会社製)で 4 時間振とうさせた後, 1 N 水酸化ナトリウムで中和を行った。次にパンクレアチン(関東化学株式会社)を蒸留水で溶解した 5% パンクレアチン溶液 4 mL を添加し, 再び 37°C に設定したウォーターバスで 4 時間振とうさせた後, 三角フラスコの内容物を遠沈管に洗い流して遠心分離(1,250 g, 10 分間)を行い, 上澄みを除去後にイオン交換水を添加, 再び遠心分離と上澄み除去後に, 沈でん残さを少量の水とともに秤量済みのろ紙(東洋ろ紙 No.5A)でろ過した。ろ過後, 残さを含むろ紙を秤量缶に入れ, 105°C で 5 時間以上乾燥し, 残さの秤量を行い, 試料の乾物量に対する残さの乾物量の割合から乾物消化率を算出した。また, 残さを含むろ紙をケルダール分解フラスコに移し, 残さの粗タンパク質含量を測定し, 試料の粗タンパク質含量に対する残さの粗タンパク質含量の割合から粗タンパク質の消化率を算出した。

8. 差の検定

各原料における各区間の調査項目について, 一元配置の分散分析を行った後, 有意差ありと判断された場合に Tukey 法による多重比較を行った。なお, 統計ソフトは R (R3.5.1 For Windows) を用い, 有意水準は $P<0.05$ とした。

結果および考察

1. 前処理前後の水分含量

各原料における各区の前処理前後の水分含量と水分除去率を表 1 に示した。

各原料の前処理前の水分含量はアスパラが 94% 前後, ジャガイモと豆腐では 77% 前後であり, 各原料とも各区間に有意な差はみられなかった。これらの値を四宮と宮脇(2004)の報告および日本食品

表 1. 凍結解凍・脱水処理が高水分未利用原料の水分除去率に及ぼす影響

Table 1. Effect of dehydration by freezing- thawing processing on water content of high-moisture unutilized resources (%)

Sample	Survey item	Treatment			
		No processing	Dehydration	Freeze-thaw	Dehydration by freezing- thawing
Cut lower portion of asparagus	Processing previous water content	94.0±0.2	94.3±0.7	94.2±0.9	94.0±1.0
	Water content after treatment	94.0±0.2 ^a	93.6±0.7 ^a	92.5±0.4 ^b	89.2±0.7 ^c
	Moisture removal rate	0.0±0.0 ^c	0.8±0.4 ^c	1.8±0.6 ^b	5.1±1.0 ^a
Potato	Processing previous water content	77.0±1.2	78.7±1.1	78.5±1.6	77.6±0.6
	Water content after treatment	77.0±1.2 ^a	72.5±1.2 ^b	70.5±1.0 ^c	60.5±1.3 ^d
	Moisture removal rate	0.0±0.0 ^d	7.9±1.0 ^c	10.2±2.1 ^b	22.0±1.7 ^a
Tofu	Processing previous water content	76.2±1.5	77.0±0.9	77.2±1.4	77.3±1.3
	Water content after treatment	76.2±1.5 ^a	74.1±0.8 ^b	70.8±2.1 ^c	60.8±0.8 ^d
	Moisture removal rate	0.0±0.0 ^d	3.8±0.6 ^c	8.4±1.8 ^b	21.3±1.5 ^a

Note : n = 7 of each sample

Values are shown as means ± standard deviation.

Different alphabetical superscripts within a line indicate significantly different (p<0.05)

標準成分表 2010（文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会，2010）における水分含量と比較すると，ジャガイモとアスパラについては，ほぼ同様な値であったが，豆腐については本研究に用いた原料は低い値を示した。これは本研究において原料の提供を受けた豆腐製造業者が，廃棄物の減量化のため，通常工程として廃棄前に若干の脱水処理を行っていることによるものと考えられる。

各区前処理後の水分含量と水分除去率は，アスパラでは無処理区と脱水区間に有意な差はみられなかったが，その両区に比べると凍結区，凍脱区の順に水分含量は減少し（ $P<0.05$ ），水分除去率は増加した（ $P<0.05$ ）。また，ジャガイモと豆腐では，無処理区，脱水区，凍結区，凍脱区の順に前処理後の水分含量は減少し（ $P<0.05$ ），水分除去率は増加した（ $P<0.05$ ）。

四宮と宮脇（2004）は，野菜，果物，それらの調理くず，肉や魚，こんにゃくや豆腐などのゲル状食品，加熱食品から約 40 種類を選び，それらを凍結・解凍処理と脱水操作の組み合わせによる凍結・解凍処理後の脱水効果について検討した。その結果，肉や魚にはそれほど効果がなかったものの，野菜・果物の調理くずにおいて最も高い脱水効果が見られ，野菜や果物，ゲル状食品においても高い脱水効果が見られたと報告している（四宮と宮脇，2004）。

本研究での結果においても，無処理区や脱水区に比べ凍結区，さらには凍脱区の前処理後水分含量が有意に低かったという点では四宮と宮脇（2004）とほぼ同様の結果となった。四宮と宮脇（2004）はこれらの結果について，野菜や果物の植物細胞の膜構造は凍結に対して極めて脆弱であること，またゲル状食品は凍結に伴う微細氷結晶生成に基づくミクロ凍結濃縮効果により蛋白質変性などが起こることから，これら原料の凍結解凍処理が脱水効果促進に寄与したものと考察している。本研究における結果においても，四宮と宮脇（2004）と同様に，凍結解凍に加えて脱水処理を施すことは，原料からの脱水効果をより促進させるために有効であることが確認できた。

2. 乾燥終了までの所要時間

各区の処理後原料の乾燥終了までの所要時間を表 2 に示した。

乾燥終了までの所要時間は各原料とも無処理区と脱水区に比べ凍結区と凍脱区では約 1/2 に短縮した（ $P<0.05$ ）。これらの結果は，アスパラおよびジャガイモでは凍結処理を行ったことにより細胞構造破壊および凍結凝縮が起きたこと（四宮と宮脇，2004），また，豆腐では凍結処理により，栄養成分と結合している水分が凍結濃縮，水和構造の変化により豆腐の構造がスポンジ状となったことにより

表 2. 凍結解凍・脱水処理が高水分未利用原料の乾燥時間に及ぼす影響

Table 2. Effect of dehydration by freezing- thawing processing on drying time of high- moisture

Sample	Treatment (h)			
	No processing	Dehydration	Freeze-thaw	Dehydration by freezing- thawing
Cut lower portion of asparagus	53.9±3.1 ^a	51.4±2.4 ^a	26.0±1.7 ^b	24.3±2.1 ^b
Potato	47.6±1.8 ^a	48.3±1.8 ^a	23.7±1.5 ^b	23.4±1.7 ^b
Tofu	47.9±2.1 ^a	49.8±1.6 ^a	23.4±1.9 ^b	22.9±1.6 ^b

Note : n=7 of each sample

Values are shown as means±standard deviation.

Different alphabetical superscripts within a line indicate significantly different (p<0.05)

(四宮と宮脇, 2004), 水分の漏出が容易な構造となったためと推察される。

一方, 無処理区と脱水区間, 凍結区と凍脱区間には乾燥終了までに要する時間に有意な差はみられなかった。よって脱水処理のみでは, 凍結処理のような水分の漏出が容易な構造には至らず, 乾燥時間を短縮する効果はなかったことが考えられる。その一方で, 凍結区および凍脱区では凍結処理によって, 上述のとおり水分の漏出経路ができ, 乾燥しやすい構造となり, 凍結処理のみでも乾燥による水分の漏出が容易となったものと考えられる。

以上のことから, 脱水処理のみによる乾燥時間の短縮効果は薄く, 凍結解凍処理を行えば, 十分な乾燥に要する経費削減に結び付けられると考えられた。

3. 各処理に伴う原料の栄養成分の変化

各区における乾物中の栄養成分含量を表3に示した。

アスパラにおける粗タンパク質と粗灰分は, 無処理区と脱水区の間には有意な差はみられなかったが, 無処理区と脱水区に比べると凍結区, 凍脱区の順に有意に低下した (P<0.05)。一方, 粗脂肪は無処理区と脱水区に比べて凍結区と凍脱区では有意に増加した (P<0.05)。炭水化物は, 無処理区, 脱水区, 凍結区の順に有意に増加したが (P<0.05), 凍結区と凍脱区の間には有意な差はみられなかった。この結果は, アスパラに対する凍結解凍処理や脱水処理による水分の漏出に伴い, 水溶性タンパク質やミネラル成分が溶出し, 相対的に炭水化物や粗脂肪が増加したものと推察される。

ジャガイモにおける粗タンパク質, 粗脂肪および粗灰分は, 無処理区, 脱水区, 凍結区, 凍脱区の順

に有意に低下した (P<0.05)。一方, 炭水化物は, 無処理区, 脱水区, 凍結区, 凍脱区の順で有意に増加した (P<0.05)。ジャガイモにおいて, 粗タンパク質および粗灰分が無処理区や脱水区に比べ凍結区や凍脱区で低い値を示したことはアスパラにおける結果と同様であると考えられる。一方, ジャガイモの脂質は中性脂肪とともにリン脂質の含量も比較的多いことが報告されている (小机, 1980; 小机, 1981)。リン脂質は, 親水性と疎水性からなる両親媒性物質であり, これが水と接すると親水部を水側に向け, 疎水部が互いに会合する分子集合体 (ミセル) を形成することが知られている (児玉と関, 1991)。本研究において, ジャガイモの粗脂肪が無処理区, 脱水区, 凍結区, 凍脱区の順で低い値を示したのは, 脱水や凍結脱水処理により水分とともにリン脂質が溶出し, 粗脂肪含量が低下したと推察されるが, この点については今後詳細に検討が必要と考える。

一方, 豆腐の各栄養成分において, 各区間に有意な差はみられなかった。豆腐の脂質は豆乳中の粒子タンパク質と結合することによりネットワークを形成し, 周囲のタンパク質を集積してカードを形成しているため極めて安定していること (小野と郭, 1999), 豆腐を製造する際に用いられる凝固剤は豆乳中タンパク質間の引力や結合力を直接的に高められていることが報告されている (下山田, 2007)。このことから, 豆腐においては各栄養成分間の結合力が強固であるため, 凍結解凍処理やその後の脱水処理による水分の漏出による栄養成分の溶出が少なかったことが考えられる。

また, アスパラおよびジャガイモについては凍結解凍・脱水処理により, 水溶性栄養成分の溶出が見

表 3. 凍結解凍・脱水処理が高水分未利用原料の栄養成分に及ぼす影響（乾物）

Table 3. Effect of dehydration by freezing- thawing processing on nutritreint contents of high-moisture unutilized resources (%)

Sample	Survey item	Treatment			
		No processing	Dehydration	Freeze-thaw	Dehydration by freezing- thawing
Cut lower portion of asparagus	Crude protein	18.6±1.4 ^a	18.2±1.3 ^{ab}	15.7±2.5 ^b	13.1±1.0 ^c
	Crude fat	3.1±0.2 ^b	3.2±0.4 ^b	4.8±0.7 ^a	5.3±0.4 ^a
	Crude ash	9.3±0.9 ^a	8.7±0.4 ^a	6.3±0.4 ^b	4.7±1.4 ^c
	Carbohydrate	68.9±0.8 ^c	69.9±1.1 ^b	73.1±2.0 ^a	76.9±2.2 ^a
Potato	Crude protein	8.4±0.7 ^a	6.2±1.0 ^b	5.2±0.4 ^c	4.2±0.5 ^d
	Crude fat	0.6±0.0 ^a	0.5±0.0 ^b	0.3±0.0 ^c	0.2±0.0 ^d
	Crude ash	4.6±0.3 ^a	4.0±0.3 ^b	3.4±0.5 ^c	1.8±0.1 ^d
	Carbohydrate	86.6±0.8 ^d	89.3±1.2 ^c	91.2±0.8 ^b	93.9±0.3 ^a
Tofu	Crude protein	54.9±1.7	54.7±1.4	53.9±1.4	55.0±2.3
	Crude fat	30.0±1.2	30.7±1.3	30.5±2.5	31.7±3.0
	Crude ash	4.4±0.1	4.4±0.1	4.3±0.1	4.2±0.2
	Carbohydrate	10.7±2.3	10.3±1.8	11.4±3.7	9.1±5.0

Note : n = 7 of each sample

Values are shown as means ± standard deviation.

Different alphabetical superscripts within a line indicate significantly different (p<0.05)

られたが、その溶出割合（無処理区に対する溶出栄養成分割合）は凍結区に比べ凍脱区がより高い値を示していた。このことから、凍結解凍後の脱水処理は栄養成分溶出を促進させることが考えられた。さらに、凍結解凍処理およびそれに加えた脱水処理で多くの栄養成分の溶出が見られ、この抽出液を排出することによる水質汚染が懸念される。著者らは試行的に本研究で溶出した抽出液を肥育豚に給与したところ、アスパラおよびジャガイモの両抽出液ともに好んで飲水していた。よってこれらの抽出液は肥育豚の嗜好性に問題はないと考え、多くの栄養成分を含むこの抽出液は、リキットフィーディングやウエットフィーディング等の給餌方法において活用が可能であるものとする。

一方、各原料において凍結解凍処理により、水分が漏出する構造へと変化し、その後に脱水処理を加えることによって、より漏出する水分量が多くなることが確認できたが、それらの工程により原料構造の変化の程度や工程の追加による煩雑さから、凍結区および凍脱区の栄養成分の変動量が大きくなる可能性が危惧された。しかし、本研究においては栄養成分測定値の変動（標準偏差）は無処理区のそれと同程度であった。このことから、凍結解凍処理や脱

水処理に伴い一部の栄養成分は減少するものの、その減少割合は一定であると判断した。すなわち、凍結解凍処理や脱水処理を行った原料は、その成分含量を考慮しながら飼料原料として十分活用できるものと考えた。

4. 人工消化試験による消化試験

各区により乾燥前処理を施し、乾燥を行った試料の乾物消化率および粗タンパク質消化率を表4に示した。

未利用資源や新たに開発される飼料資源も多い中、飼料の栄養価の判定は動物を用いることが一般的である（古谷と長野, 1984）。しかし、これには多量の試料を必要とし、施設や労力などの点からも、手軽に判定することは難しいことから、豚小腸液を用いる人工消化試験法が開発され（FURUYA ら, 1979; SAKAMOTO ら, 1980）、かなり正確に推定できることが明らかとなっている。そこで本研究においては、本法を用いて各原料における各区乾燥試料の乾物および粗タンパク質の消化率について調査を行った。

アスパラおよびジャガイモにおける乾物消化率は無処理区と脱水区に比べ凍結区および凍脱区が有意に低い値を示した（P<0.05）。しかし、粗タンパク

表 4. 凍結解凍・脱水処理が高水分未利用原料の乾物および粗タンパク質消化率に及ぼす影響（乾物）**Table 4.** Effect of dehydration by freezing- thawing processing on digestibility in dry matter and crude protein of high-moisture unutilized resources (%)

Sample	Survey item	Treatment			
		No processing	Dehydration	Freeze-thaw	Dehydration by freezing- thawing
Cut lower portion of asparagus	Dry matter	52.0±4.8 ^a	53.6±4.7 ^a	33.1±5.1 ^b	29.2±5.2 ^b
	Crude protein	30.4±7.4	31.3±7.6	31.3±7.9	30.2±7.0
Potato	Dry matter	31.6±3.1 ^a	29.8±2.8 ^a	19.7±2.0 ^b	18.1±1.0 ^b
	Crude protein	57.7±5.9	61.4±6.1	57.9±4.2	58.7±7.2
Tofu	Dry matter	50.5±6.0	47.7±2.0	50.5±4.5	50.0±3.9
	Crude protein	56.8±9.0	49.5±2.8	51.6±7.4	47.8±2.5

Note : n = 5 of each sample

Values are shown as means ± standard deviation.

Different alphabetical superscripts within a line indicate significantly different (p<0.05)

質消化率では各区間に有意な差はみられなかった。

豆腐における乾物消化率および粗タンパク質消化率は、各区間に有意な差はみられなかった。

アスパラでは凍結および凍結解凍・脱水処理により無処理区に比べ粗タンパク質含量や粗灰分含量が低下し、ジャガイモでは粗タンパク質含量、粗灰分含量に加えて粗脂肪含量も低下するものの、豆腐では同処理による栄養成分の変化はみられなかった。このことから、アスパラやジャガイモでは、水分除去に伴う易消化性成分の溶出により乾物消化率は低下したものの、豆腐では栄養成分の変化がなかったため乾物消化率には差がみられなかったことが考えられる。また、区ごとに見ると、ジャガイモの乾物消化率はアスパラや豆腐のそれに比べ低い値を示していた。生のジャガイモでんぷんはブタ小腸内での α -アミラーゼに抵抗性を示し、小腸末端までの消化率は30%程度に過ぎないことが報告されている(POND and MANER, 1984; 古谷と長野, 1986)。本研究において、ジャガイモの乾物消化率が他の原料のそれより低かったのは、ジャガイモでんぷんの消化率が低かったことが要因と考える。

各原料において、粗タンパク質消化率については各区間に差はみられなかった。このことは、凍結解凍・脱水処理等によって脱水が行われ、それに伴ってタンパク質成分の一部が溶出されたとしても、そのタンパク質の消化性そのものには差はなかったことを示している。

一方、著者ら(2017)は北海道産未利用原料とし

て規格外のジャガイモ、廃棄された豆腐、アスパラに対して凍結解凍・脱水処理を行い、商品とならない小麦粉を含め、飼料原料とした肥育後期飼料を給与したところ、市販飼料給与区に比べ発育や枝肉形質において遜色はなかったことを報告している。このことから、凍結解凍・脱水処理により調製した原料を用いた飼料の給与は肥育豚の発育成績や枝肉成績には大きな影響を与えないことが考えられる。

以上の結果より、高水分原料の貯蔵性を向上させるために乾燥処理を行う際の前処理として、凍結解凍・脱水処理は高水分原料から効率的に水分を除去でき、乾燥所要時間の短縮を図れることが確認でき、凍結解凍・脱水処理は、今後の高水分未利用原料の飼料化を進めるに当たっての手法の一助となるものと考ええる。しかし、凍結区は凍脱区と乾燥所要時間に差がなかったこと、栄養成分の変化も凍結区は凍脱区より小さかったことから、凍結解凍後の脱水処理は削減できると考えた。今後は原料排出業者、原料調製業者および畜産業者の連携による実規模を想定したシステムの検討および詳細なコスト試算が必要であると考ええる。

謝 辞

本研究において飼料原料を提供していただいたまちのやおやさん（北海道江別市）、株式会社菊田食品（北海道江別市）、大坪農場（北海道夕張郡栗山町）、株式会社ファームホロ（北海道日高郡新ひだか町）、本研究にご協力いただいた本学畜産養

学研究室, 中小家畜飼養学研究室学生諸君, プタ人工消化試験の手法をご教授いただきました岐阜大学応用生物科学部 山本朱美博士に感謝いたします。また, 本研究を遂行するにあたり, 多大なるご助言をいただくとともに, 本論文をご一読いただきました古谷 修博士に謝意を示します。

文 献

- 阿部 亮: 2001, 一般成分 (6 成分), 新編動物栄養試験法 (石橋 晃監修), 455-466. 養賢堂, 東京都.
- FANG, J., H. MAEDA and H. KIMURA : 2018, Effects of level of fresh apple pomace in mixed silage on growth performance, meat quality and serum metabolites in finishing pigs, *Jpn. J. Swine Science*, **55**, 1-11.
- FURUYA, S., K. SAKAMOTO and S. TAKAHASHI : 1979, A new in vitro method for the estimation of digestibility using the intestinal fluid of the pig, *Br. J. Nutr.*, **41**, 511-519.
- 古谷 修・長野鍊太郎: 1984, 豚小腸液を用いる人工消化試験における実験室間差および小腸液採取豚への給与飼料の質の影響, *日畜会報*, **55**, 959-963.
- 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成績, *日豚会誌*, **44**, 31-39.
- 石田光晴・松本 力・伊藤清香・井上達志・鈴木啓一・清水ゆう子: 2004, 食品残渣物の飼料添加が豚肉脂質性状に及ぼす影響, *日豚会誌*, **41**, 11-20.
- 児玉美智子・関 集三: 1991, 両親媒性物質: 界面活性剤およびリン脂質の分子集合体発現に対する水の役割, *熱測定*, **18**, 81-88.
- 小机あつ子: 1980, 貯蔵ジャガイモの発芽に伴う脂質の変動について (第 1 報) 中性脂質量ならびに脂肪酸組成について, *賢明短大研究紀要*, **15**, 71-76.
- 小机あつ子: 1981, 貯蔵ジャガイモの発芽に伴う脂質の変動について (第 2 報) リン脂質量ならびに脂肪酸組成について, *賢明短大研究紀要*, **16**, 43-47.
- 文部科学省 科学技術・学術審議会 資源調査分科会: 2010, 日本食品標準成分表 2010, 全国官報販売協同組合, 東京都.
- 丹羽美次・中西五十・栗田隆之: 1993, 食品製造副産物の肥育豚の利用性に関する研究 1. 豆腐粕サイレージの調製について, *日豚会誌*, **30**, 128-134.
- 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, 都市厨房発酵乾燥製品の調製法と養豚飼料としての栄養価, *日豚会誌*, **40**, 1-7.
- 農林水産省大臣官房統計部経営・構造統計課: 2021, 農業経営統計調査 令和 2 年 肥育豚生産費 農林水産統計. https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/seisanhi_tikusan/attach/pdf/index-6.pdf
- 農林水産省生産局畜産部飼料課: 2021, エコフィードをめぐる情勢. https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryo/attach/pdf/ecofeed-88.pdf
- 農林水産省畜産局飼料課: 2021, 飼料をめぐる情勢. https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryo/attach/pdf/index-723.pdf
- 大澤貴之・亀井勝浩・丹羽美次・金 一・川島知之・佐伯真魚・堀与志美・矢後啓司・阪上 泉・音成洋司・阿部 亮: 2004, 食品循環資源の利用による高品質肉豚肥育, *日豚会誌*, **41**, 207-216.
- 大口秀司・上田淳一・三石達夫・佐伯真魚・饗庭功・高橋巧一: 2012, 野菜残さを混合した発酵リキッドフィードが肉豚の生産性及び肉質に及ぼす影響, *愛知農総試研報*, **44**, 81-88.
- 小野伴忠・郭順堂: 1999, ダイズ製品中の脂質の安定性 豆腐や凍豆腐中の油は煮ても焼いてもなぜ出てこないのか? *化学と生物*, **37**, 290-292.
- POND, W.G. and J.H. MANER : 1984, *Swine Production and Nutrition*, AVI Publishing Co., Inc. Westport, Connecticut.
- 劉永超・B., GHAILLAT・日高 智: 2015, バレイショデンプン粕を主体としたエコフィードサイレージ (EFS) 給与が肥育後期豚の発育と肉質に及ぼす影響, *日畜会報*, **86**, 335-341.
- SAKAMOTO, K., T. ASANO, S. FURUYA and S. TAKAHASHI : 1980, Estimation of in vivo digestibility with the laying hen by an in vitro method using the intestinal fluid of the pig, *Br. J. Nutr.*, **43** (2), 389-391.
- 下山田真: 2007, 大豆タンパク質の加工特性一豆乳の凝固特性一, *日本調理科学会誌*, **40**, 37-40.
- 四宮陽子・宮脇長人: 2004, 凍結・解凍効果を利用した食品廃棄物の脱水処理, *日本食品工学会誌*, **5**, 153-162.
- 四宮陽子・宮脇長人: 2006, 食品廃棄物の凍結・解凍・脱水処理のための凍結脱水機の試作, *日本食品工学会誌*, **7**, 31-37.
- 鈴木菜月・吉岡圭輔・前田育子・佐々木将武・戸田尚美・作田 敦: 2020, 養豚における飼料用米と豆腐粕の混合サイレージの給与技術確立試験, *茨*

城畜セ研報, **51**, 10-14.

脇屋裕一郎・大曲秀明・安田みどり・宮崎秀雄・明石真幸・河原弘文・下平秀丸: 2010, 佐賀県における豆腐粕, 大麦焼酎粕および秋芽茶を活用した豚肉生産技術, 日豚会誌, **47**, 198-208.

王 雲飛・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給与による肉豚肥育が発育成績に及ぼす影

響, 日豚会誌, **45**, 164-172.

山田未知・池原麻友美・岡田裕輝・後藤穂高・武田陽介・森好政晴・菅野美樹夫・尾崎邦嗣・山田幸二・筒井静子・中辻浩喜: 2017, 北海道産未利用原料を用いて設計された肥育期飼料給与が肥育豚の発育, 産肉および脂肪組織の脂肪酸組成に及ぼす影響, 日豚会誌, **54**, 1-10.

Effects of Freeze-Thawing and Dehydration of High-Moisture Unutilized Raw Materials on Water Removal, Nutrient Values and Dry Matter and Crude Protein Digestibility Using an *In Vitro* Method in Pig

Michi YAMADA¹, Hiroto NISHIFUJI¹, Masahiko YAMANAKA¹, Yousuke TAKEDA¹,
Mayumi IKEHARA², Kouji YAMADA³ and Hiroki NAKATSUJI^{1,2}

¹College of Agriculture, Food and Environmental Sciences
Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan

²Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan

³Faculty of Living Science, Koriyama Women's College, Koriyama, Fukushima, 963-8851, Japan

The effect of freeze-thawing and dehydration on water removal and nutrient changes in high-moisture unutilized raw materials and digestibility were investigated using artificial digestion experiments. In this study, the cut lower portions of asparagus stalks, non-standard potatoes and waste tofu were used as typical unutilized raw materials with a high water content. Four treatments were studied: a control treatment - using the raw materials as received; a dehydration treatment - using a dehydrator; a freeze-thawing treatment - thawing after freezing; and a freeze-thawing dehydration treatment - dehydrating after freezing and thawing. For asparagus, the moisture content and rate of moisture removal after the control (raw materials) and dehydration treatments were not significantly different, but after the freeze-thawing and freeze-thawing dehydration treatments, the moisture content was lower and the rate of moisture removal was higher compared with the control (raw materials) and dehydration treatments. In contrast, the moisture content of the potato and tofu was lowest after the freeze-thawing dehydration treatment, followed in increasing order by the freeze-thawing, dehydration and control (raw materials) treatments, with the rate of moisture removal from highest to lowest being in reverse order. The times required for drying in the freeze-thawing and freeze-thawing dehydration treatments were approximately half those required for the control (raw materials) and dehydration treatments. The contents of crude protein and crude ash in the asparagus and potato decreased in the order of control (raw materials), dehydration, freeze-thawing and freeze-thawing dehydration treatments, with the contents of carbohydrate increasing in both asparagus and potato. The crude fat content of asparagus increased in the order of the control (raw materials), dehydration, freeze-thawing and freeze-thawing dehydration treatments, and decreased in potato. There was no difference in the nutrient contents of tofu between the four treatments. There was no difference in digestibility of crude protein measured by the artificial digestion experiments between asparagus, potato and tofu. The dry matter digestibility of asparagus and potato after the freeze-thawing and freeze-thawing dehydration treatments was lower than that after the control (raw materials) and dehydration treatments. The dry matter digestibility of asparagus and potato after the freeze-thawing and freeze-thawing dehydration treatments was lower than that after the control (raw materials) and dehydration treatments, but there was no difference in tofu between the four treatments. These results suggest that freeze-thawing or freeze-thawing dehydration treatments effectively removed water from the raw materials thus shortening their drying times, although these treatments affected the nutrient content and dry matter digestibility.

Jpn. J. Swine Science, **59**, 3 : 157-166

Key words : freeze-thawing and dehydration, water removal, drying time, nutrient content, artificial digestion experiments