

原 著

馬鈴薯デンプン粕から麴かびの固体培養により生産した微生物タンパク質
および尿素のめん羊における窒素利用性の比較阿部 英則¹⁾・山川 政明²⁾・岡本 全弘³⁾¹⁾北海道立畜産試験場, 新得町 081-0038²⁾北海道立根釧農業試験場, 中標津町 086-1153³⁾酪農学園大学酪農学部, 江別市 069-8501Comparison of nitrogen utilization in sheep between microbial
biomass protein produced from
potato waste by solid state fermentation of koji fungi and ureaHidenori ABE¹⁾, Masaaki YAMAKAWA²⁾ and Masahiro OKAMOTO³⁾¹⁾Hokkaido Animal Research Center, Shintoku-cho 081-0038²⁾Hokkaido Konsen Agricultural Experiment Station, Nakashibetsu-cho 086-1153³⁾Faculty of Dairy Farming, Rakuno Gakuen University, Ebetsu-shi 069-8501

キーワード : 稲わら, 窒素利用性, 尿素, 微生物タンパク質

Key words : Rice straw, Nitrogen utilization, Urea, Microbial biomass protein

Abstract

Nitrogen utilization in sheep was compared between PWMBP and urea. PWMBP was microbial biomass protein produced from potato waste by solid state fermentation of koji fungi, and contained 14~15% protein, 1.5~1.9% nonproteinous nitrogen. Rice straw, potato pulp(PP) were used as roughage, energy source, respectively. Sheep were fed rice straw *ad libitum*, and digestion trial was conducted. Similar amount of total nitrogen per kg body weight was fed in PWMBP with PP and in urea with PP.

Feeding of PWMBP with PP or urea with PP significantly improved total dry matter intake, digestibility of dry matter, neutral detergent fiber, acid detergent fiber and nitrogen retention. Feeding of PWMBP with PP resulted in significantly further increase of nitrogen retention, while decrease of serum urea nitrogen in comparison with feeding of urea with PP. These were largely due to decrease in nitrogen excretion in urine.

These results suggested that nitrogen utilization of PWMBP was more efficient than that of urea in ruminants.

要 約

馬鈴薯デンプン粕に麴かびを固体培養して微生物タンパク質 (PWMBP) を生産し, めん羊における窒素利用性を尿素と比較した。PWMBP は 14~15% のタンパク質, 1.5~1.9% の非タンパク態窒素を含んでいる。粗飼料として稲わらを, エネルギー源としてポテトパルプ (PP) を用い, 稲わらは自由摂取させて消化

試験を行った。PWMBP と PP および尿素と PP からの全窒素給与量はほぼ等しくなるように設定した。稲わらに PWMBP と PP あるいは尿素と PP を併給すると, 全乾物摂取量は有意に増加し, また乾物, 中性デタージェント繊維, 酸性デタージェント繊維の消化率および窒素蓄積量は有意に向上した。尿素と PP の給与と比べて, PWMBP と PP を給与した場合には窒素蓄積量は有意に多く, 血清尿素窒素は有意に低かった。これらのことは主に尿中窒素排泄量の低減によることを示している。これらより, PWMBP の窒素利用

性は尿素よりも高いことが示された。

結 言

稲わら、キャッサバ、バナナ廃棄物に糸状菌を固体培養して微生物タンパク質含量を高め、培養残渣を含めた総体を飼料として利用する試みがなされている(Shacklady, 1983)。著者らは馬鈴薯デンプン粕(デンプン粕)に麴かびを固体培養して微生物タンパク質(PWMBP)を生産し、飼料としての利用をはかっている。これまでにデンプン粕に旺盛に増殖する麴かびを選抜し、タンパク質生産に適切な培地組成を実験室規模で明らかにした(阿部ら, 1990)。さらに、回転式固体発酵装置を用いてPWMBP生産量の増加をはかった(阿部と山川, 2001)。

PWMBPにはタンパク質だけでなく、麴かびの窒素源として加えた非タンパク態窒素(NPN)が全窒素の40%程度含まれており、タンパク質源およびNPN源としてのPWMBPの利用が期待される。そこで、本研究では粗飼料に稲わらを用いた場合のPWMBP給与が窒素出納、繊維成分の消化率に及ぼす影響をNPNである尿素と比べて、窒素利用性を調べた。

方 法

PWMBPの生産は前報(阿部と山川, 2001)に基づき、*Aspergillus oryzae* TK-41株を回転式固体発酵装置を用い4日間培養して行った。本菌株はマイコトキシン非産生株である。PWMBPは乾燥後、顆粒状に粉碎してから供試した。

試験構成と飼料給与量を表1に示した。粗飼料には稲わらを、併給する飼料にはPWMBP、尿素およびポテトパルプ(水分含量10~15%:PP)を用いた。PPはデンプン粕をフラッシュドライヤで乾燥し粉状にしたもので、約44%のデンプンを含んでおり、易利用性炭水化物に富むエネルギー源として位置づけられる。試験は実験IとIIに分かれており、実験Iには5つの処理区が、実験IIには3つの処理区が含まれている。実験Iでは粗飼料のみの区(1区)、PPやPWMBPを

併給する区(2区と4区)およびPPと尿素(3区)、PPとPWMBP(5区)を給与する区を設けた。3区の尿素とPPおよび5区のPWMBPとPPからの窒素給与量は等しくなるようにした。実験IIの7区と8区でも同様に設定した。処理区7の尿素とPPは処理区3の、処理区8のPWMBPとPPは処理区5のほぼ半量となるようにした。なお、実験IとIIで用いたPWMBPは産出ロットが、稲わらは産出年が異なっている。PPは上川北部合理化澱粉工場から購入した同一ロットのものを用了。

表1に示す各処理区について4頭のサフォーク去勢羊を用いて消化試験を行った。7日間の予備期ののち、本期7日間の飼料摂取量を求め、また糞と尿を採取して乾物と中性デタージェント繊維(NDF)、酸性デタージェント繊維(ADF)の消化率および窒素出納を調べた。供試羊の平均体重は実験Iでは50.0±2.3kg、実験IIでは62.1±3.2kgである。飼料は午前(9時)と午後(16時)に分けて給与したが、本期最終日の午前の飼料給与4時間後に採血して血清尿素窒素(BUN)を測定した。水と固型塩は自由摂取させた。なお、PPと尿素は均一に混合してから給与し、残飼は稲わら、PWMBP、PPあるいはPPと尿素の混合物は形状が異なることから篩い分けして定量した。

飼料と糞のNDF、ADFはデタージェント分析法(阿部, 1988)で測定したが、PPについてはデンプン含有率が高いためアミラーゼで前処理した。デンプンはタカジアスターゼを用いる分解法(阿部と堀井, 1976)で、粗タンパク質は常法、タンパク質はバルンスタイン法(森本, 1971A)で測定した。BUNはジアセチルモノオキシム法(森本, 1971B)で測定した。実験IおよびIIの処理間の有意差検定は処理を因子とする一元配置の分散分析(吉田, 1978)で行った。

結 果

供試飼料の化学組成を表2に示した。実験Iで用いた稲わらは実験IIのそれよりも粗タンパク質、繊維成分の含有率が高かった。実験IおよびIIで用いたPWMBPの組成に大きな違いはみられなかった。PWMBPのデンプンはPPの約15%であり、タンパク質は粗タンパク質の55~61%を占めていた。

稲わらと全体の乾物摂取量および乾物、NDF、ADFの消化率を表3に示した。実験Iでは4区のPWMBPの摂取率は64%であるが、他区のPWMBP、尿素、PPの摂取率は93~99%であった。実験IIのPWMBP、尿素、PPは100%摂取された。

実験Iでは、稲わらの摂取量は3区が多く1, 2, 5区との間に有意差がみられ、5区では他区よりも有意に少なかった。全乾物摂取量は1区よりも他区が有意に多かった。同様に、乾物消化率も1区より他区が有意に高かった。NDF消化率は3区が1, 2区よりも

Table 1 Diets offered (FMg/kgBW/day)

Experiment	Treatment	PWMBP	PP	Urea	Rice straw
I	1	—	—	—	<i>ad libitum</i>
	2	—	8.00	—	"
	3	—	7.44	0.56	"
	4	8.00	—	—	"
	5	8.00	8.00	—	"
II	6	—	—	—	<i>ad libitum</i>
	7	—	3.72	0.28	"
	8	3.50	4.00	—	"

PWMBP: Microbial biomass protein produced from potato waste by incubation of koji fungi.

PP: Potato pulp

Table 2 Chemical composition of diets (DM%)

Experiment		Crude protein	Protein	NDF	ADF	Starch
I	Rice straw	8.8	8.1	72.9	45.1	—
	PWMBP	24.4	15.0	45.0	—	6.9
	PP	5.6	4.4	31.1	25.3	44.4
II	Rice straw	5.6	5.0	66.1	40.3	—
	PWMBP	26.2	14.4	40.7	33.5	6.7
	PP	5.6	4.4	31.1	25.3	44.4

Table 3 Intake and digestibility in treatments

Experiment	Treatment	Intake (DMg/kgBW/day)		Total digestibility (%)		
		Rice straw	Total	DM	NDF	ADF
I	1	14.8 ^b	14.8 ^c	34.0 ^c	43.6 ^b	—
	2	15.4 ^b	21.8 ^b	42.4 ^b	40.8 ^b	—
	3	18.2 ^a	24.1 ^a	52.8 ^a	52.6 ^a	—
	4	17.5 ^{ab}	22.5 ^{ab}	43.7 ^b	46.4 ^{ab}	—
	5	11.1 ^c	22.3 ^{ab}	52.1 ^a	45.6 ^{ab}	—
II	6	13.2	13.2 ^c	52.0 ^b	57.9 ^b	59.7 ^b
	7	13.3	15.9 ^b	59.5 ^a	61.1 ^a	64.7 ^a
	8	12.5	18.5 ^a	63.0 ^a	62.0 ^a	64.4 ^a

Means on the same column with unlike superscripts are different ($P < 0.05$).

有意に高かったが、4、5区との間には有意差はみられなかった。実験IIでは、稲わらの摂取量は区間に有意差がみられなかった。全乾物摂取量は8区、7区、6区の順で有意に多かった。乾物、NDF、ADFの消化率は7、8区が6区よりも有意に高かった。

窒素出納とBUN濃度を表4に示した。実験Iでは、窒素摂取量、糞中窒素排泄量は1区よりも他区が有意に多かった。尿中窒素排泄量は3、4区が他区よりも有意に多かった。窒素蓄積量は5区が他区よりも有意に多かった。BUN濃度は3区、4区、5区の順に低下する傾向であった。実験IIでは、窒素摂取量は7、8区が6区よりも有意に多かった。糞中窒素排泄量は8区が、尿中窒素排泄量は7区が、他区よりも有意に多かった。窒素蓄積量は8区、7区、6区の順で有意に多かった。BUN濃度は8区が7区よりも有意に低

かった。

考 察

稲わらや麦稈は窒素や可消化養分総量の含有率が低い粗飼料である。稲わら(高橋, 1985)や大麦稈(ØRSKOV and GRUBB, 1978)に尿素のような窒素源を添加しても自由摂取量や乾物、繊維成分の消化率は改善されず、また、エンバク稈にデンプンのようなエネルギー源を多く添加すると、セルロース消化率は低下する(MULHOLLAND *et al.*, 1976)。しかし、エンバク稈に窒素源とエネルギー源を併給することで、エンバク稈の自由摂取量やめん羊の増体は改善されている(COOMBE and TRIBE, 1962)。

実験Iでは稲わらのみ給与(1区)と比べて、PPを併給(2区)しても稲わらの自由摂取量およびNDF消

Table 4 Nitrogen balance and BUN in treatments

Experiment	Treatment	Nitrogen balance (g/day)				BUN (mg/dl)
		Intake	Excretion		Retention	
			Fece	Urine		
I	1	9.9 ^d	7.4 ^c	2.3 ^{bc}	0.3 ^c	—
	2	13.1 ^c	10.7 ^b	1.5 ^c	0.9 ^c	—
	3	23.9 ^a	10.6 ^{ab}	9.6 ^a	3.7 ^b	28.6 ^a
	4	21.2 ^{ab}	11.0 ^{ab}	7.8 ^a	2.4 ^{bc}	19.1 ^{bc}
	5	21.0 ^b	12.2 ^a	3.8 ^b	5.0 ^a	16.1 ^c
II	6	6.6 ^b	4.6 ^b	3.2 ^b	-1.3 ^c	—
	7	15.3 ^a	6.0 ^b	7.3 ^a	2.0 ^b	15.5 ^a
	8	15.3 ^a	7.4 ^a	3.5 ^b	4.4 ^a	10.0 ^b

BUN: Serum urea nitrogen

Means on the same column with unlike superscripts are different ($P < 0.05$).

化率、窒素蓄積量に改善は認められなかった。しかし、尿素をさらに給与（3区）することで、稲わらの自由摂取量は増加し、NDF消化率と窒素蓄積量は高まった。これは前述したように、粗飼料の利用性を高めるには窒素源、エネルギー源の両者が必要であることを示している。

他方、稲わらにPWMBPを給与（4区）しても、稲わらの自由摂取量やNDF消化率、窒素蓄積量に改善はみられなかった。これはデンプン粕中のデンプンは麴かびにその多くが消費されており、PWMBPは易利用性炭水化物に乏しいためであると考えられる。そこで、PPをさらに給与（5区）すると窒素蓄積量は増加し、またPWMBPの摂取率は4区よりも高まった。しかし、NDF消化率は変わりなく、稲わらの自由摂取量は単独給与（1区）の場合よりも少なくなった。

TANIGUCHI *et al.* (1986) はイタリアンライグラス乾草を粗飼料として、デンプンを体重当たり1%摂取させたところ、繊維成分の消化率は低下したとしている。デンプン粕とPWMBPのデンプン含有率はそれぞれ乾物中44.4%と6.9%であり、5区での体重当たりデンプン摂取量は0.34%にすぎず、稲わらの自由摂取量の減少がデンプンの影響とは考えにくい。むしろ、供試稲わらの乾物消化率は34.0%と低いことから、その採食性も低いものと推定され、PWMBPとPPを多く摂取することで、相対的に稲わらの自由摂取量が少なくなったものと考えられる。

PWMBP、尿素およびPPの給与量を半減した実験IIでは、稲わらのみ給与（6区）と比べて、尿素とPPを併給（7区）あるいはPWMBPとPPを併給（8区）しても、稲わらの自由摂取量は減少せず、またNDFとADFの消化率および窒素蓄積量は高まった。実験I、IIとも、PWMBPとPP給与区と尿素とPP給与区の窒素給与量およびエネルギー源であるPPの給与量はほぼ等しくなるように設定した（3区と5区、7区と8区）が、PWMBPとPP給与区が尿素とPP給与区よりも尿中窒素排泄量は少なく、窒素蓄積量は多く、BUN濃度は低かった。

尿素のようなNPN主体飼料と大豆粕などタンパク質飼料との比較試験は飼料タンパク質節約の観点から数多く行われているが、産乳成績（中村，1981）やめん羊の増体、窒素蓄積量（CLIFFORD and TILMAN, 1968）はNPN主体飼料のほうが低い。この理由として、尿素主体飼料にリジンやメチオニンを添加すると窒素蓄積量が改善されている（中村，1981）ことから、NPN主体飼料では必須アミノ酸の不足が指摘される。PWMBPのタンパク質含有率は14~15%でリジン、メチオニンも含有しているものと考えられる。その一方、尿素は極めて分解され易いため、有効利用には易利用性炭水化物の併給が必要である。供試した炭水化物源はデンプン粕の乾燥物であるPPであって、

泌乳牛へのデンプン粕サイレージの給与試験（森ら，1986）では給与量を増すと給与3時間後のBUN濃度は有意に低下している。このことはPPが易利用性炭水化物源であることを示しているが、PP併給下で尿素よりもPWMBP給与で窒素蓄積量が多いことは、アミノ酸給源としてのPWMBPの効果が大きいものと考えられる。このように、尿素給与区ではPWMBP給与区と比べて窒素の利用性が低く、利用されなかった窒素は肝臓で尿素に合成されて、BUN濃度および尿中窒素排泄量が高くなったものである。

実験IとIIでは供試稲わらが異なっている。既報（阿部ら，1999；阿部，1999；岡本と阿部，1989；山川ら，1992）の稲わら5点の乾物消化率は44.7~55.3%であり、これを北海道産稲わらのほぼ標準的な値としてもさしつかえないであろう。前述したように、実験Iで供試した稲わらの乾物消化率は34.0%という低質なものであり、PWMBP、PPなどの併給に対する挙動は標準的な稲わらとは異なる可能性がある。これに反し、実験IIの供試稲わらの乾物消化率は52.0%であり、標準的なものといえる。このような稲わらにPWMBP、PPを併給することで繊維成分の消化率、窒素蓄積量は改善されたが、さらにこれらを均衡良く給与することで稲わらの自由摂取量増加の可能性も示唆される。

以上より、PWMBPは反芻家畜の窒素源として利用可能であり、その利用性は尿素よりも高いことが判明した。

文 献

- 阿部 亮・堀井 聡 (1976) とうもろこしサイレージおよび乳牛用配合飼料中のデンプン定量法の検討。畜試研報, 30: 27-32.
- 阿部 亮 (1988) 炭水化物成分を中心とした飼料分析法とその飼料栄養価評価法への応用。畜試資料, 2: 16-29.
- 阿部英則・森 勝美・柳本正勝 (1990) 麴かびの固体培養による馬鈴薯でん粉粕からの蛋白質生産。滝畜研報, 25: 11-18.
- 阿部英則・山川政明・岡本全弘 (1999) 蒸煮、アンモニア処理およびこれらを複合処理した稲わらの自由摂取量と消化率。日草誌, 44: 378-380.
- 阿部英則 (1999) アンモニア処理した稲わらおよびスイートバーナルグラス (*Anthoxanthum odoratum* L.) 乾草の反芻胃内滞留時間と充満度。日草誌, 44: 381-383.
- 阿部英則・山川政明 (2001) 回転式固体発酵装置を用いた麴かびによる馬鈴薯デンプン粕からの微生物タンパク質生産。道畜研報, 24: 25-27.
- CLIFFORD, A. J and A. D. TILMAN (1968) Urea and isolated soybean protein in sheep purified diets. J. Anim. Sci., 27: 484-89.

- COOMBE, J. B and TRIBE, D. E (1962) The feeding of urea supplements to sheep and cattle: the results of penned feeding and grazing experiments. *J. Agric. Sci.*, **59**: 125-141.
- 森 清一・工藤卓二・板東 健・原 悟志・八田忠雄・恒光 裕 (1986) でん粉粕サイレージ給与時における泌乳牛の血液成分の変化. *新畜研報*, **15**: 41-49.
- 森本 宏監修 (1971 A) 動物栄養試験法. 317-318. 養賢堂, 東京.
- 森本 宏監修 (1971 B) 動物栄養試験法. 441-442. 養賢堂, 東京.
- MULHOLLAND, J. B., J. B. COOMBE and W. R. MUMANUS (1976) Effect of starch on the utilization by sheep of a straw diet supplemented with urea and minerals. *Aust. J. Agric. Res.*, **27**: 139-153.
- 中村亮八郎 (1981) 新飼料学 (下). 215-219. チクサン出版社, 東京.
- 岡本全弘・阿部英則 (1989) 稲わらのアンモニア処理, 蒸煮およびこれらの複合処理がめん羊の自由摂取量と消化率に及ぼす影響. *日畜会報*, **60**: 1117-1121.
- ØRSKOV, E. R and D. A. GRUBB (1978) Validation of new systems for protein evaluation in ruminants by testing the effect of urea supplementation on intake and digestibility of straw with or without sodium hydroxide treatment. *J. Agric. Sci., Camb.* **91**: 483-486.
- 高橋正行 (1985) 水酸化ナトリウム処理稲わらサイレージの摂取量および消化率に及ぼす尿素添加の影響. *日草誌*, **31**: 130-136.
- Shacklady, CA Edited (1983) *The Use of Organic Residues in Rural Communities*. 32-61, The United Nations University, Tokyo.
- TANIGUCHI, K., M. SUGIHARA., Y. YAMATANI and I. OTANI (1986) Effects of starch supplementation on the fiber digestibility and the chewing time of hay consumed by sheep. *日畜会報*, **57**: 1046-1049.
- 山川政明・阿部英則・岡本全弘 (1992) ヒラタケ (*Pleurotus ostreatus*) の培養がめん羊による稲わらの自由摂取量と消化率に及ぼす影響. *日畜会報*, **63**: 129-133.
- 吉田 実 (1978) 畜産を中心とする実験計画法. 68-87, 養賢堂, 東京.

