

トウモロコシ(Zea mays L.)子実における成分と消化性の品種間差異

誌名	日本草地学会誌
ISSN	04475933
著者名	井上,直人 山本,藤生 袖山,栄次 西牧,清
発行元	日本草地学会
巻/号	37巻1号
掲載ページ	p. 29-36
発行年月	1991年4月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



トウモロコシ (*Zea mays* L.) 子実における 成分と消化性の品種間差異

井上直人*・山本藤生**・袖山栄次***・西牧 清****

要 旨

井上直人・山本藤生・袖山栄次・西牧 清 (1991) : トウモロコシ (*Zea mays* L.) 子実における成分と消化性の品種間差異. 日草誌 37, 29-36.

飼料用トウモロコシの育種素材の飼料特性を部位別に明らかにするため, 粒質の異なる品種・系統を供試して子実の成分と消化性の差異について比較した。子実は黄熟期収穫して風乾した。2 mm に粉碎した全粒を用い, ナイロンバックを用いたルーメン内消化試験により 12 時間における乾物消失率を求めた。供試品種・系統はデント種を 4 種類, フリント種 3, ワキシー種 5, スイート種 3, ポップ種 2, さらにその他の粒質として, ハイオイルコーンとハイアマミロースコーンをそれぞれ 1 種ずつ, 計 19 品種・系統である。それらについて, 粗蛋白質, 粗脂肪, 細胞内容物 (OCC), 細胞壁物質 (OCW), デンプン, 可溶性無窒素・無繊維物 (NCWFE) を分析した。

NCWFE は子実の乾物中の約 70-80% を占め, その中をデンプンとそれ以外の炭水化物に分画すると, スイート種のデンプン含量が 20-30% に留まったのに対して, 他の粒質では約 60-74% であった。その他の際だった特徴は, ハイオイル種で粗脂肪が 10.6% と他の粒質の約 2 倍を示したことであった。ルーメン内乾物消失率のレンジは 51.4% で, 供試品種間で大きく異なり, 特に粒質間に明らかな差異が認められた。スイート種は平均 80.6% と最も高く, 次はワキシー種の平均 61.1% であり, 他の粒質は概ね 50% 前後で類似していた。しかしルーメン内乾物消失率から水洗により消失する分を減じて補正した乾物消失率 (補正乾物消失率) は, ワキシー種が 47.0% と高いものの, 他の粒質は概ね 30% 台であり, 最も低かったのはスイート種で, 平均 30.5% であった。粗蛋白質が低く, NCWFE が多く, また NCWFE 中のデンプンが多いほど, 補正乾物消失率が高い有意な相関が認められた。また, ワキシー種のデンプン含量は, デント種やフリント種と差が無いにもかかわらず, 補正乾物消失率は 7-9% 高かった。このことから, デンプンの質的相違によりルーメン内消化性が異なると考えられた。

キーワード: 子実, 消化率, デンプン, トウモロコシ, 粒質, ルーメン。

緒 言

わが国における反すう家畜向けの飼料用トウモロコシの栄養価に関する育種は, 茎葉部と雌穂部の栄養価が遺伝子型により, それぞれ一定であるという前提で進められてきた²⁴⁾。しかしながら, 茎葉部の栄養価の品種間差の存在と, その遺伝的改良の意義が認められている^{7,8,10)}。そこで著者らは, サイレージの原料段階において, 茎葉部の成分を近赤外反射分光法を利用して測定すること

により, サイレージ調製後の栄養価をスクリーニングする方法について提案した⁹⁾。しかし, その推定法においても, 子実の可消化有機物の含量を定数として扱った。その理由は, 易消化性の炭水化物であるデンプンが子実の大半を占め¹⁴⁾, その消化率が極めて高いために^{5,17,21,22)}, 栄養価の変異幅が狭いと考えられたためである。また第 2 に, 飼料用トウモロコシ交雑品種は, 現在デント種かフリント種かそれらの交雑種が主流であり, 粒質の点でも変異が小さいためであった。

しかし, トウモロコシの粒質は元来多様であることが知られている。さらに近年では, 食用や工業専用品種として, 特定の成分含量が高いハイアマミロース種などの特殊な系統も育成されつつあることから^{4,14,20)}, 子実の成分や栄養価の変異の幅は拡大してきていると考えられる。

また, 子実の消化率と栄養価が高いと言っても, 実際の泌乳や肥育牛のように多量に飼料を摂取している条件のもとでは, 消化管内における滞留時間にも自ずと限度

長野県畜産試験場 (399-07 長野県塩尻市片丘)

* 現在: 京都大学農学部 (606 京都市左京区北白川追分町)

** 東京都畜産試験場 (198 東京都青梅市新町)

*** 長野県農業総合試験場機械施設室 (381-12 長野県長野市松代町大室)

**** 長野県中信農業試験場 (399-64 長野県塩尻市宗賀)

があり¹⁷⁾、これらを反映して子実やデンプンの消化性も低下する^{11, 23)}。特に、子実の全粒やデンプンのルーメン内での消化率は、かなり変異することが知られている^{16, 21, 22)}。炭水化物の消化に中心的な役割を担うのがルーメンであるため^{18, 22)}、子実の消化性について育種改良の意義があるか否かについての明確な判断をするためには、緬山羊で行う通常の消化試験に加えて、特に短期間の消化作用しか受けなかった場合のルーメン内消化率の差異についても併せて明らかにし、栄養価を動的に評価できるようなデータを集積する必要があると考えられる。

さらに、トウモロコシの粒質に係わる遺伝子は数多いものの、主動遺伝子が多いことが知られている。粒質と栄養価との対応関係を調べ、飼料目的に適した特性が見いだせるならば、それらの主動遺伝子を利用することで、効率良く栄養価を改良できる可能性もでてこよう。

しかしながら、成分、消化性及び栄養価について異なる粒質を持った品種間の差異について、緬山羊や牛を用いてルーメン内や全消化管内の消化を対象に多面的に検討した例はないようである。そこで、本報ではその1つとして、形態や粒質の異なる品種・系統を用いて、牛ルーメン内での *in situ* 消化試験を実施し、短時間内における消化性と、それに関係の深いと考えられる化学成分組成及びそれらの相互関係について検討した。

材料及び方法

1. 供試品種・系統

デント種を4種類の外、フリント種3、ワキシー種5、スイート種3、ポップ種2、さらに成分育種による特殊な種類として、ハイオイルコーンとハイアマロースコーンをそれぞれ1種ずつ、計19品種・系統を用いた(表1を参照)。これらの品種・系統は1986年に著者の内2人が長野県中信農業試験場において、袋掛け法などによって採種したものである。なおスイート種の長野県箕輪町下古田在来モチモロコシ(赤)とハイオイル種である High Oil Corn # は1985年に採種した。黄熟期に収穫した子実は、日陰で風乾した後脱粒して、湿度40%以下、10℃以下の暗所に貯蔵した。

2. 化学分析

試料の粉碎は、品温の上昇を抑えるため、吹き出し口をつけた遠心ミルを用いて行い、0.5 mm のスクリーンを通過させた。粗蛋白質 (Crude Protein; CP) と粗脂肪 (Ether Extract; EE) は常法で求め、細胞内容物 (Organic Cellular Contents; OCC), 細胞壁物質 (Organic Cell Wall; OCW), OCC 中の粗蛋白質、デンプンは阿部の方法¹⁾ によった。OCC から粗蛋白質

と粗脂肪を減じて可溶性無窒素・無繊維物 (Nitrogen-Cell Wall Free Extracts; NCWFE)¹⁾ を求めた。さらに NCWFE からデンプン量を減じて、その他の分画とした。従って、この主成分は水溶性の炭水化物である。

3. ルーメンフィステル装着牛を用いた *in situ* 消化試験

消化試験は NOCEK ら¹⁵⁾ の *in situ* 消化試験実施要領に準拠して行われた。本試験では、試料はカッティングミルを用いて粉碎し、2 mm のスクリーンを通過させた。供試牛は体重 800 kg 前後のホルスタイン種で、ルーメンフィステルを装着した去勢牛3頭である。これらの牛は、乾草主体の飼料により飼養されているものである。消化試験はナイロンバック法を用いた。バックは300メッシュで約 100 mm×150 mm の大きさのものである。1バック当りの試料の量は約 5 g、浸せき時間は12時間であり、水洗後 60℃、48時間加熱乾燥して秤量して乾物消失率を求めた。また飼料をルーメン内に浸漬せずに 40℃ の水洗のみを行って、流出する乾物の割合を求めた。さらに、ルーメン内での乾物消失率から、40℃ の水洗で流出する率を差し引いた値を求めた(以後、補正乾物消失率と呼ぶ)。これはルーメン内での消化作用を受けなければ消失しない正味の消失率と見なすことができる。なお結果は3頭の平均値で示した。

結 果

1. 供試系統の粒の特徴と化学成分

供試系統の粒色は黄、白、赤、紫で、乾物ベースで見た百粒重は最大値を示した White Dent Corn の 44.2 g から最小を示した日本在来ポップ種の山ミケトウキビからの分離系統であるライスタイプ系統で示された 4.4 g まで極めて大きな変異が認められた(表1)。百粒重を粒質別に見ると、供試系統が1種ずつと少なかったハイオイル種とハイアマロース種を除外すると、デント種とフリント種がほぼ同様、それに続いてワキシー種、スイート種、ポップ種という順であった。

子実を OCC と OCW に分けると、フリント種の OCW が他の粒質のそれよりやや低い傾向であった。成分の約 90% を占める OCC を CP, EE, NCWFE の3つに分画するとハイオイル種で EE が 10.6% と他の粒質の約 2 倍を示した外には目だった特徴は無かった。さらに子実全体の約 70-80% を占める NCWFE の中をデンプンとそれ以外の炭水化物に分けると、粒質の間に明瞭な差が認められた。即ち供試系統のスイート種のデンプン含量が 20-30% に留まったのに対して、他の粒質では約 60-74% と明らかに異なった。スイート種以外では

Table 1. Source data and chemical composition of whole grain.

No.	Kernel texture	Reference no. a)	and name	Source	Seed coat color	100 grain weight (%DM)	Chemical composition (% in DM) ^{b)}						
							CP	EE	OCC		Starch		OCW
									NCWFE	Others	Total	Total	
1	Dent	Takanemidori		Japanese hybrid	Yellow(Y)	29.8	9.3	3.9	70.2	4.2	74.4	87.6	11.0
2	"	P 3358-S1		Inbred line derived from American hybrid	Y	32.0	9.3	3.4	70.9	5.2	76.1	88.8	9.8
3	"	⁹⁴ White Dent Corn (Iwamura)		Japanese local variety	White(W)	44.2	9.2	4.6	69.0	6.7	75.7	89.5	9.3
4	"	Wis 531-(455・466)		Synthetic line	Y	21.2	10.6	4.5	65.8	6.5	72.3	87.4	11.3
5	Flint	⁴⁸⁸ Okuzuruwase		Japanese local variety	Y	29.5	9.6	4.1	71.7	6.5	78.2	91.9	6.7
6	"	¹¹⁵ Katashina		Japanese local variety	Y	28.7	10.6	3.8	69.9	6.8	76.7	91.1	7.6
7	"	JF3C1		Recurrent selected population of Japanese flint local variety	Y	32.2	9.6	3.8	70.3	5.7	76.0	89.4	9.3
8	Waxy	¹⁰⁸² South African waxy		Collected at South Africa	W	21.9	10.0	3.6	66.4	6.5	72.9	86.5	12.0
9	"	¹¹²¹ Bai ru ju mi		Chinese local variety (Shan duong Sheng)	W	10.9	8.3	4.8	69.2	6.2	75.4	88.5	10.1
10	"	¹¹²⁹ White Waxy (Hy)		American hybrid	W	23.0	10.4	4.3	67.3	6.5	73.8	88.5	10.2
11	"	White Waxy Corn(H085W)		American hybrid	W	21.0	7.6	4.0	69.7	7.2	76.9	88.5	10.1
12	"	Yellow Waxy Corn(H085Y)		American hybrid	Y	23.1	8.0	3.4	70.1	7.0	77.1	88.5	10.2
13	Sweet	¹¹¹⁹ Golden Cross Bantam T-51		American hybrid	Y	17.0	10.6	6.5	27.3	43.6	70.9	88.0	10.3
14	"	¹⁰⁶⁸ Silver Cross		American hybrid	W	13.5	10.5	5.9	30.3	38.8	68.8	85.2	13.0
15	"	Shimofuruta zairai mochimorokoshi(red)		Segregated from Japanese local variety	Red	17.2	11.5	6.5	20.6	45.9	66.5	84.5	13.6
16	Pop	Sugao pop		Japanese local variety	Purple	9.1	9.1	3.9	74.2	5.8	80.0	93.0	5.4
17	"	⁸²⁹ Yamamiketookibi (Rice type)		Segregated from Japanese local variety	W	4.4	12.6	2.8	61.6	10.5	72.1	87.5	11.2
18	High oil	High Oil Corn #		American hybrid	Y	21.3	11.2	10.6	60.0	7.7	67.7	89.5	8.9
19	High amylose	¹¹²⁷ Amylomaize		American hybrid	Y	20.7	10.7	4.9	67.6	3.7	71.3	86.9	11.6

a) The collection number of variety by Nagano Chushin Agricultural Experiment Station.

b) Organic cellular contents(OCC), Organic cell wall(OCW), Crude protein(CP), Ether extract(BE), Nitrogen·cell wall free extracts(NCWFE).

Table 2. Comparison of *In situ* dry matter disappearance between genotypes.

No.	Kernel texture	Reference no. and name	12-hr dry matter disappearance	Water soluble fraction at zero incubation time(%)	Corrected dry matter disappearance(%) ^{a)}
			(%) ①	②	①-②
1	Dent	Takanemidori	51.8	11.5	40.3
2	"	P3358-S ₁	62.2	12.5	49.7
3	"	⁹⁴¹ White Dent Corn (Iwamura)	50.8	14.0	36.8
4	"	Wis 531-(455·466)	45.7	13.8	31.9
Avg.			52.6 (100)	12.9 (100)	39.7 (100)
5	Flint	⁴⁸⁸ Okuzuruwase	54.1	13.8	40.3
6	"	¹¹⁵⁵ Katashina	50.9	14.1	36.8
7	"	JF3C1	51.5	13.0	38.5
Avg.			52.2 (99)	13.7 (106)	38.5 (97)
8	Waxy	¹⁰⁹² South African waxy	55.5	13.7	41.8
9	"	¹¹²¹ Bai ru ju mi	67.4	13.5	53.9
10	"	¹¹²⁹ White Waxy (Hy)	55.1	14.4	40.7
11	"	White Waxy Corn (H085W)	62.7	14.7	48.0
12	"	Yellow Waxy Corn (H085Y)	64.8	14.5	50.3
Avg.			61.1 (116)	14.1 (109)	47.0 (118)
13	Sweet	¹¹¹⁹ Golden Cross Bantum T-51	84.0	50.9	33.1
14	"	¹⁰⁶⁹ Silver Cross	80.0	46.1	33.9
15	"	Shimofuruta zairai mochimorokoshi (red)	77.9	53.2	24.7
Avg.			80.6 (153)	50.1 (388)	30.5 (77)
16	Pop	Suga'o pop	62.6	13.1	49.5
17	"	⁸²⁹⁻¹ Yamamiketookibi (Rice type)	32.6	17.6	15.0
Avg:			47.6 (90)	15.4 (119)	32.2 (81)
18	High oil	High Oil Corn #	51.4 (98)	13.8 (107)	37.6 (95)
19	High amylose	¹¹²⁷ Amylomaize	52.8 (100)	10.7 (83)	42.1 (106)

a) The percentage of disappearance was corrected for water soluble content at zero incubation time.

b) The value in parentheses shows the percentage to dent type on the average.

High Oil Corn # と山ミケトウキビ分離系統 (ライスタイプ) においてデンプン含量がやや低かった外は、目だった特徴が無かった。

2. *in situ* 消化試験

ルーメン内に 12 時間浸漬した時の乾物消失率は、供

試品種・系統によって明らかに異なった (表2)。最高の消失率 (84.0%) を示した Golden Cross Bantum T-51 と最低 (32.6%) であった山ミケトウキビ分離系統 (ライスタイプ) とは 51.4% もの差が認められた。また乾物消失率は、粒質によって明らかに異なることが

Table 3. Correlation coefficients^{a)} between *in situ* digestion and chemical composition of whole grain.

	OCC (% in DM)					Total	OCW (% in DM)
	CP	EE	NCWFE				
			Starch	Others	Total		
<i>In situ</i> digestion 12-hr dry matter disappearance(%)	-.24	.31	-.68**	.75***	-.23	-.29	.23
Corrected dry matter disappearance(%) ^{b)}	-.86***	-.16	.53*	-.47*	.60**	.40	-.40

a) *, ** and *** indicate significance at 5%, 1% and 0.1% levels, respectively.

b) cf. Table 2.

示された。中でも、スイート種は平均 80.6% と最も高かった。次はワキシー種の 61.1% であり、他の粒質は 50% 前後で類似していた。

40°C の水洗による消失率は粒質により明らかに異なり、スイート種が約 50% と高い外は 10-17.6% と低く、供試品種・系統で大差無かった。

これらの結果を反映したものが、ルーメン内での乾物消失率から水洗により消失する分を減じた補正乾物消失率であるが、これにも供試品種・系統間で差が認められた。その違いは粒質間で大きく、粒質ごとの平均で見ると、ワキシー種が 47.0% と高いが他の粒質は概ね 30% 代であった。最も低かったのはスイート種であり、平均 30.5% であった。

3. *in situ* における消化率と化学的組成の相関

12 時間浸漬処理における乾物消失率や補正乾物消失率と化学成分値の単相関を求めた (表 3)。乾物消失率は OCC 中の成分組成と関係があり、デンプン含量が少なく、NCWFE 中のデンプン以外の炭水化物の含量が多いほど高かった。補正乾物消失率も OCC 中の成分組成と相関が認められた。粗蛋白質が低く、NCWFE が多いほど補正乾物消失率が高かった。また NCWFE の組成とも関係があり、デンプンが多く、その他の炭水化物の含量が少ないほど補正乾物消失率が高い相関が認められた。

考 察

1. 子実の化学的組成の品種間差異

この試験で調べた成分、即ち OCC, OCW, 粗蛋白質, 粗脂肪, NCWFE, デンプン, NCWFE 中のデンプンの中で、特に目だったのはスイート種の NCWFE の組成であった。これはデンプンの合成が sugary 遺伝子等により阻害されて、水溶性の糖類が増加したことによるものと考えられる。水溶性の糖類はサイレーズの発酵品質に係わる重要な要因であるが、他方でサイレーズ貯蔵の過程におけるロスを生じる原因ともなる。従ってサ

イレージ利用を前提にすると、スイート種はデンプンが多い他の粒質に比べ、エネルギーの保存性の観点では劣ると考えられる。従ってスイート種は、サイレーズの発酵品質を上げにくい他の作物と混合するための調製用としての専用品種²⁾ といった特殊な利用方法を考えた場合には利用する意義がある。

化学組成の面で次に注目されるのが、ハイオイル種の粗脂肪含量であった。粗脂肪の TDN 含量に及ぼす影響は他の成分より大きいことから、この含量が特に高い品種があったことは、飼料用トウモロコシの育種素材として注目された。

これらのことの外には、同じ粒質であれば品種間で大きな差が無かったことから、子実の化学的組成に見られる品種間差異は、概ね粒質間の差異で説明できると考えられる。

2. ルーメン内消化性の品種間差異

デンプンの消化率が飼料の構成や摂取量との関係で変動し、栄養価の加法性が成立しない場合があるため^{11, 23)}、子実単独で行った栄養評価の解釈には注意を要すると考えられる。従って、綿山羊を用いた通常の消化試験以外にも、ルーメン内における消化速度などの関係で多角的に検討しておく必要があると考えられる。安定的にホールクロップの TDN を高い水準に維持するためには、雌種の栄養価についても育種により改良の可能性があるかどうか明らかにしておく必要はある。しかしこれについての検討は十分とは言いがたい。そこでここではその手がかりを得るため、炭水化物の消化に極めて重要な位置を占めるルーメンにおける短時間での消化率を調べることで、子実の消化性の品種間差異の一端を明らかにしようとした。

この試験では 12 時間で 32.6-84.0% の乾物消失率が示された。WALDO は²²⁾、諸外国で実施されたトウモロコシ子実についての 30 の *in situ* 消化試験の結果を要約し、その消化率が 78±12.5% であるとしている。本試験は 12 時間浸漬処理であるため、それらの報告と比

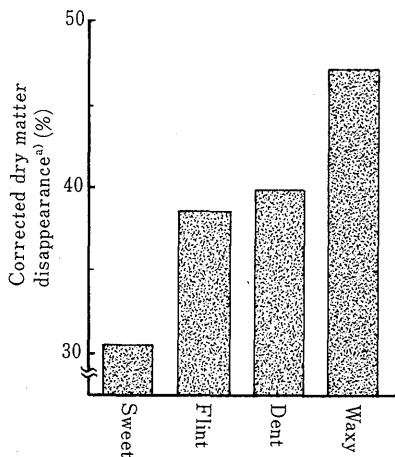


Fig. 1. A comparison of the *in situ* digestibility of ground corn among various kernel texture.

a) [12-hr dry matter disappearance] - [Water soluble fraction at zero incubation time].

べて全体的に低いことは当然としても、かなりの変動幅が示された。このことから、消化作用を受ける時間が十分で無い場合には、トウモロコシ子実の消化率には品種間で差が生じることが示唆された。またそれは粒質によって大きく異なると考えられた。

ここでは、従来飼料用トウモロコシの素材としては使われていないワキシー種が、スイート種とならんで特異な消化性を示すことから注目された。これらの粒質はデントやフリント種より高い消失率を示した。しかしワキシー種のそれが高いのは、水溶性の部分差し引いた補正乾物消失率であって、スイート種のそれはむしろ低く両種類の乾物消失率は高いものの、その原因は異なることが明らかになった。

また、ルーメン内における消化性の差は概ね粒質の差を反映していたが、デンプンをはじめとした化学的な相違だけでなく、子実粒の植物組織学的な相違によっても変化すると考えられる。ここでは粉碎した子実をルーメンから取り出した後で観察をすると、デント種、フリント種やポップ種では、子実の周辺に分布する硬質デンプンである角質はい乳部が多く残存していた。このことも、乾物消失率に差が生じた原因と推察される。

3. 子実の化学的組成が消化性に及ぼす影響

デンプンとそれ以外の糖類（水溶性の糖類）の合計は子実の約75%を占め、炭水化物の内容に粒質間差が認められ、それが短時間におけるルーメン内での消化率に影響していることが明らかとなった。

一方、スイート種以外の粒質ではデンプンや水溶性の

糖類の含量の品種間差異が小さかったにもかかわらず、水溶性の物質を除外した場合の消化率を簡易に示すと考えられる補正乾物消失率を見ると、粒質間に明らかな差が認められた。図1は供試品種数が比較的多く、差が認められたワキシー、デント、フリント、スイート種の補正乾物消失率について、各粒質の平均値をもとに要約したものである。補正乾物消失率とNCWFEの組成との相関分析では(表3)、デンプン含量が多くその他の炭水化物の含量が少ない品種ほど、補正消失率が高いという弱い相関が認められた。しかし相関分析から示される傾向はそうであっても、ワキシー種とデント、フリント種の補正乾物消失率の差は、デンプン含量の差よりも相対的に大きかった。このことはデンプンの量よりも、その質的相違が補正乾物消失率の差をもたらしていることを示唆するものである。

ワキシー種のデンプンはアミロペクチンから成っていることが知られ^{3,14}、アミロースを含む他の粒質とは異なっている。また、ROONEYら¹⁹は、デンプンの消化率の差について、ソルガムを材料に研究された結果を要約し、ワキシー種のデンプン及び全粒は*in vitro*, *in vivo*で他より消化率が高いことを示し、同じくソルガムでLICHTENWALNERら¹³やHIBBERDら⁶も同様の結果を報告している。それによれば相対値で10-20%の上昇となっている。本試験の*in situ*での結果は、これらの報告と類似した傾向が示された。またトウモロコシデンプンの α -アミラーゼによる消化の程度は、粒質間で差があることが報告されている¹²。これらのことから、本試験のように全粒を粉碎した場合に認められたルーメン内での消化性の品種間差異がデンプンの質的な違いを反映している可能性がある。これについては、酵素等を用いて解析的に明らかにすることが今後の課題と考えられる。また、ルーメン内での消化時間が比較的短い場合の消化率と全消化管を通した*in vivo*消化率との関係や、サイレージにした場合にはどう変化するかといった問題も明らかにされることが望まれる。

いずれにしてもワキシー種の消化性については不明の点が多いため、さらに調査を行った上で飼料用トウモロコシの育種素材としての有効性を検討することが必要と考えられた。

謝 辞

本研究の過程で有益な御助言並びに示唆をいただいた、農林水産省畜産試験場阿部 亮企画科長、長野県畜産試験場の吉田宮雄研究員及び井出忠彦技師に対して感謝する次第です。また御協力いただいた関係職員、臨時職員

の方々に対して御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 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. 畜試研資 2, pp. 6-40.
- 2) BRINK, R. A. (1984) Maize endosperm mutants affecting soluble carbohydrate content as potential additives in preparing silage from high protein forages. *Maydica*, 29, 265-286.
- 3) FRENCH, D. (1973) Chemical and physical properties of starch. *J. Anim. Sci.* 37, 1048-1061.
- 4) FUWA, H., M. NAKAJIMA and A. HAMADA (1977) Comparative susceptibility to amylases of starches from different plant species and several single endosperm mutants and their double-mutant combinations with *opaque-2* inbred Oh 43 maize. *Cereal Chem.* 54, 230-237.
- 5) HALE, W. H. (1973) Influence of processing on the utilization of grains (starch) by ruminants. *J. Anim. Sci.* 37, 1075-1080.
- 6) HIBBERD, C. A., D. G. WAGNER, R. L. SCHEMM, E. D. MITCHELL, Jr., R. L. HINTZ and D. E. WEIBEL (1982) Nutritive characteristics of different varieties of sorghum and corn grains. *J. Anim. Sci.* 55, 665-672.
- 7) 井上直人・袖山栄次・西牧 清・中村茂文 (1989) 飼料用トウモロコシ交雑種における茎葉部の消化性の品種間差異. 日草誌 35, 50-60.
- 8) 井上直人・春日重光 (1989) Brown midrib-3 トウモロコシ交雑種の栽培特性及び茎葉部の成分と消化性. 日草誌 35, 220-227.
- 9) 井上直人・阿部 亮・袖山栄次・西牧 清・中村茂文・滝沢康孝 (1990) 近赤外反射分光法を利用したトウモロコシホールクロップサイレージの可消化有機物含量の原料段階における推定. 日草誌 36, 20-31.
- 10) 井上直人・春日重光 (1990) Brown midrib-3 トウモロコシ交雑種サイレージの成分, 品質及び栄養価. 日草誌 36, 223-230.
- 11) JOANNING, S. W., D. E. JOHNSON and B. P. BARRY (1981) Nutrient digestibility depressions in corn silage-corn grain mixtures fed to steers. *J. Anim. Sci.* 53, 1095-1103.
- 12) KNUTSON, C. A., U. KHOO, J. E. CLUSKEY and G. E. INGLETT (1982) Variation in enzyme digestibility and gelatinization behavior of corn starch granule fractions. *Cereal Chem.* 59, 512-515.
- 13) LICHTENWALNER, R. E., E. B. ELLIS and L. W. ROONEY (1978) Effect of incremental dosages of the waxy gene of sorghum on digestibility. *J. Anim. Sci.* 46, 1113-1119.
- 14) 二国二郎 (1977) 澱粉科学ハンドブック. 朝倉書店. 東京. pp. 300-301.
- 15) NOCEK, J. E. (1988) *In situ* and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. *J. Dairy Sci.* 71, 2051-2069.
- 16) ØRSKOV, E. R. and I. McDONALD (1979) The estimation of protein degradability in the rumen incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci., Camb.* 92, 499-503.
- 17) ØRSKOV, E. R. (1986) Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 63, 1624-1633.
- 18) OWENS, F. N., R. A. ZINN and Y. K. KIM (1986) Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *J. Anim. Sci.* 63, 1634-1648.
- 19) ROONEY, L. W. and R. L. PFLUGFELDER (1986) Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *J. Anim. Sci.* 63, 1607-1623.
- 20) SANDSTEDT, R. M., D. STRAHAN, S. UEDA and R. C. ABBOT (1962) The digestibility of high-amylose corn starches compared to that of other starches. The apparent effect of the *ae* gene on susceptibility to amylase action. *Cereal Chem.* 39, 123-131.
- 21) THEURER C. B. (1986) Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 63, 1649-1662.
- 22) WALDO, D. R. (1973) Extent and partition of cereal grain starch digestion in ruminants. *J. Anim. Sci.* 37, 1062-1074.
- 23) WHEELER, W. E. and C. H. NOLLER (1975) Effect of forage-to-concentrate ratio in complete feeds and feed intake on digestion of starch by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 58, 1902-1906.
- 24) 農林水産省草地試験場 (1990) 牧草・飼料作物系統適応性検定試験実施要領 (改訂2版). 資料 No. 52-14, pp. 23.

(平成2年7月30日受理)

Comparison of Chemical Composition and *In Situ* Digestibility of
Kernel among Different Genotypes of Maize (*Zea mays* L.)

Naoto INOUE*, Fujio YAMAMOTO**, Eiji SODEYAMA***
and Kiyoshi NISHIMAKI****

Nagano Animal Industry Experiment Station,
Shiojiri, Nagano 399-07, Japan

* Present address : Faculty of Agriculture, Kyoto University,
Sakyo-ku, Kyoto 606, Japan

** Tokyo Metropolitan Livestock Experiment Station,
Oome, Tokyo 198, Japan

*** Nagano Agriculture Experiment Station,
Matuhiro, Nagano 381-12, Japan

**** Nagano Chushin Agricultural Experiment Station,
Shiojiri, Nagano 399-64, Japan

Summary

The kernel texture of corn is said to affect its chemical composition, digestibility and nutritive value. To find out what these effects are, we carried out *in situ* digestion trials with steers and analyzed the varietal differences in chemical composition and dry matter disappearance among 19 maize genotypes with different kernel texture : dent, flint, waxy, sweet, pop, high oil and high amylose corn.

Nitrogen cell wall free extract (NCWFE) in dry matter ranged from 66.5% to 80.0%. Starch content of sweet corn ranged from 20.6% to 30.3%, and that of other grain types ranged from 60.0% to 74.2%. Ether extract reached up to 10.6% in high oil corn, but other varieties show less variation (from 2.8% to 6.5%). The 12-hr dry matter disappearance in rumen fluid averaged 51.4% ; the varietal difference being mainly caused by kernel texture. The means were 80.6%, 61.1% and 50% in sweet, waxy and the other varieties, respectively. However, the corrected dry matter disappearances (CDMD), which were calculated by subtracting the water soluble fraction content (%) at zero incubation time from the percentage of 12-hr dry matter disappearance, were 47.0%, 39.7%, 38.5% and 30.5% in waxy, dent, flint and sweet types, respectively. CDMD had positive correlation with total NCWFE and the starch in NCWFE, and had negative correlation with crude protein. Though no difference was detected between the content of starch among dent flint and waxy, the CDMD of waxy was higher by about 8% than that of dent and flint.

These results indicate that varietal differences in chemical composition and digestibility are mainly dependent upon kernel texture and endosperm type and suggest that waxy corn starch is highly susceptible to digestion in the rumen.

Key words : Digestibility, Grain, Kernel texture, Maize, Rumen, Starch.