

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

誌名	日本草地学会誌
ISSN	04475933
著者	井上, 直人 春日, 重光
巻/号	35巻3号
掲載ページ	p. 220-227
発行年月	1989年10月

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

井上直人・春日重光

要 旨

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.

Brown midrib-3 遺伝子 (bm_3) が, 交雑種の生育・収量並びにホールクロップサイレージの原料特性に及ぼす影響を明らかにするため bm_3 交雑種の栽培試験を行った。供試系統は (正常型近交系 (S_4) \times bm_3 近交系 (S_6)) \times bm_3 近交系 (S_1) の 3 元交雑種 2 系統で, 種子親の 2 系統はアメリカの黄色デント種に, 花粉親は東欧の白色フリント種に由来し, これらの母本の遺伝的背景は異なっている。栽培試験は播種日 1987 年 5 月 28 日, 栽植密度 625 本/a で実施した。表現型の発現を確認して間引き, 表現型別に群落を作って黄熟期に収穫し, 表現型の間の差を検討した。

初期生育と熟性には明らかな差がなかった。稈長, 着雌穂高, 倒伏・折損割合は, 母方の一代雑種の種子親によって異なる傾向が認められた。乾物収量は, 正常型に比べ bm_3 表現型では 10~20% 低下し, 単位面積当たりの雌穂本数も減少したが, ホールクロップの乾物中の子実割合には明らかな傾向は見られなかった。

黄熟期におけるホールクロップの水分は, 正常型と同程度で, 茎葉部の細胞内容物と細胞壁物質 (OCW) の割合, NDF, ADF, シリカには明らかな傾向は見られなかった。一方低消化性繊維 (Ob) は各々 6% 程度低く, ADL も約 2% 低下, OCW 消化率は約 10% 上昇し, 推定可消化有機物含量は平均 4% 上昇した。絹糸抽出期の地上部について, ルーメン内での乾物消失率を, 去勢ホルスタインを用いたナイロンバッグ法による 24 時間浸漬処理と比較すると, bm_3 表現型が平均 4% 高かった。

これらのことから, この遺伝子は, 茎葉部及びホールクロップのサイレージ原料としての乾物中の栄養価を 4% 程度, 繊維の消化率を 10% 前後高めるが, 一方で遺伝的背景の異なる bm_3 を用いても, 同型接合体では乾物収量が 15~20% 減少することがわかった。従って bm_3 を利用した交雑種の育成に際しては, 母本の組み合わせ能力の向上並びに遺伝的背景の供与系統の乾物生産力を特に重視する必要があると考えられる。

キーワード: 交雑種, 収量性, 消化率, 繊維, トウモロコシ, brown midrib-3 遺伝子.

緒 言

トウモロコシホールクロップサイレージの乾物中の TDN 含量は自給飼料の中で最も高い部類に属するが, さらに TDN が高く繊維にも富み, かつ物性を失わないトウモロコシ品種を育成できれば, 泌乳前期や肥育用の飼料として極めて有用と考えられる。そのような品種特性を育種目標とした場合, その一つの方法として brown midrib 遺伝子の利用による繊維の消化率の改良が考えられる^{4,7,15,17,20}。brown midrib 遺伝子は EYSTER (1929) による bm_1 遺伝子の記録⁴ のほかに bm_2 , bm_3 , bm_4 と計 4 個の遺伝子が報告されている劣性の主動遺伝子であるが, 中でも BURNHAM (1933) により見いだされた brown midrib-3 遺伝子 (bm_3)

は, 乾物中のリグニン含量を低下させる効果が他の bm 遺伝子に比べ大きいとの報告^{7,15,17} があり, 反すう家畜用の飼料として有望と考えられる。一方, bm 遺伝子について同型接合体とすると, 初期生育¹³, 耐倒伏性^{5,14}, 耐病性¹⁰, 乾物収量^{5,13,14,18,19} に問題を生じるとの指摘がある。しかしながら, 従来の研究材料は戻し交配により母本に bm_3 を導入し near isogenic な実験系統を養成して, それを基に交雑種を作り出し遺伝子の効果を検討していることが多く, また供試材料の遺伝的背景も限られた範囲となっている。これらのことから, 乾物収量などに見られる欠点が, 供試材料の遺伝的背景に由来している可能性も考えられる。しかし, この点について, 遠縁の系統間の交雑により検討した研究は見当たらない。

そこで著者らは, アメリカのデント種に由来する正常型の近交系と bm_3 近交系の一代雑種を種子親にし, そ

れらと遺伝的背景の異なる東欧の在来フリント種由来の bm_3 近交系を花粉親にした3元交雑種を作成し、後代を表現型別に栽培して、生育、収量並びに成分及び *in vitro* と *in situ* での消化特性について比較検討した。

材料及び方法

1. 供試系統

供試系統は、3元交雑により作成した実験交雑種2系統である。一つは (P3715-114・3・2・1×BS5 bm_3) × Deliblato Banat bm_3 (以下 DB bm_3 と呼ぶ) で、母本は各々 S_4 , S_6 , S_1 世代の近交系である。もう一つの実験交雑系統は P3715-114・3・2・1 に代えて、同じ P3715 の近交系ではあるが、異なる系統群に由来する S_4 , P3715-104・1・4・4 を種子親に用いたものである。これらの実験交雑種の遺伝的な主な違いは、母方に用いた一代雑種の種子親が異なる系統群に由来する近交系である点である。なお P3715 近交系は長野県中信農業試験場で育成し、BS5 bm_3 はアメリカ由来のデント種を材料にして農林水産省北海道農業試験場が育成した系統に選抜を加えたものである。DB bm_3 は、著者の一人が中信農業試験場においてユーゴスラビア在来の白色フリント種 (長品番号 1036) の中から分離・選抜したものであり、他系統との戻し交配等は行っていない。

2. 栽培条件

試験場所は長野県塩尻市高出にある表層火山灰土壌の試験圃場 (標高 750 m) で、前作はライムギである。播種日は 1987 年 5 月 28 日で栽植密度は 625 本/a (畦間 80 cm × 株間 20 cm) の 1 株 1 本立てとした。予め 2 ~ 3 粒以上を播種しておき、表現型の発現を待って順次間引き、6 月中旬までにほぼ純群落になるようにした。表現型別に面積が 16 m² (5 m 畦 × 3.2 m) の区を 2 反復で設定し、各々に対応する表現型の区が隣接する分割区法の配置とした。施肥は牛糞堆肥 300 kg/a、炭酸

苦土石灰 20 kg を全面施用し、さらに N-P₂O₅-K₂O にして 0.6-1.2-0.9 kg/a を播種直前に畦に施用した。追肥は 6 月 25 日 (展開葉 5 葉期) に N にして 0.6 kg/a 相当量を硫酸で畦間に施した。他の一般管理は当試験場の栽培慣行に従った。

3. 調査方法

生育調査と収量調査は、牧草・飼料作物系統適応性検定実施要領 (1978) 並びに長野県中信農業試験場の標準的な方法に従って実施した。収穫は黄熟期に行い、収量調査は、試験区内の調査用の純群落の周辺部を除き 1 区当たり 20 個体について地上約 5 cm で刈り取って行った。倒伏、病害などの主な農業形質の調査は、黄熟期に区ごとに行った。単位土地面積当たりの生育期間における 1 日当たり平均の地上部乾物重増加量 (乾物増加速度: kg/a/日) は a 当たりの乾物収量を刈り取りまでの日数で除して求めた。

各区ごとに収量調査用に刈り取った 20 本のうちから 5 本抜き取り、その茎葉部 (茎+葉+苞皮) をカッターで約 2 cm に細断し、60°C で 48 時間通風乾燥の後カッティングミルとサイクロンミルを用い 0.3 mm に粉碎したものを、一般 6 成分分析とデタージェント分析と酵素分析¹⁾ に供した。また絹糸抽出期の植物体をカッティングミルで 0.75 mm に粉碎し、ルーメンフィステルを装着した去勢ホルスタイン 4 頭を用いてナイロンバッグ法による 24 時間の *in situ* 消化試験を 3 反復で行った。サンプルは、135°C で 2 時間オープンで乾燥し、乾物消失率を求めた。

結 果

1. 試験の経過

1987 年は気温、日照量ともに平年より高めで、栄養生長が盛んであり、乾物収量で見た作柄は平年より高めであった。降水量は、6 月に一時的に多かったものの、

Table 1. Early growth and maturity.

Experimental hybrid	Pheno-type ^{a)}	Vigor score ^{b)}	Tasseling date	Flowering date	Silking date	Days to silking	Days to yellow ripe stage
(P3715-114・3・2・1×BS5 bm_3) × Deliblato Banat bm_3	N	3.0	18 Jul.	24 Jul.	24 Jul.	57	99
	bm_3	3.0	18 Jul.	23 Jul.	25 Jul.	58	99
(P3715-104・1・4・4×BS5 bm_3) × Deliblato Banat bm_3	N	3.0	19 Jul.	24 Jul.	26 Jul.	59	98
	bm_3	3.3	18 Jul.	24 Jul.	26 Jul.	59	99
Avg.	N	3.0	19 Jul.	24 Jul.	25 Jul.	58	99
	bm_3	3.2	18 Jul.	24 Jul.	26 Jul.	59	99

a) bm_3 : homozygous brown midrib-3, N: normal phenotype, heterozygous brown midrib-3.

b) Plots were scored on a scale of 1 (large size and dark green color) to 5 (small size and light yellow-green color).

全般には平年を下回った。台風はなかったが、黄熟期直前の風雨により倒伏や折損が発生した。病害は黒穂病が多発したほかは平年並であった。

2. 生育

Table 1 に初期生育と出穂調査の結果を示した。初期生育の指数、雄穂抽出、雄穂開花、絹糸抽出及び黄熟期まで日数は、表現型の間で明らかな差はなかった。生育調査の結果と黄熟期における立毛調査の結果を Table 2 に示した。稈長は bm_3 で短く、着雌穂高と着雌穂高率は bm_3 で若干高まる傾向にあったものの、有意差は供試系統間のみ認められた。枯れ上がり程度は差がなかったが、諸形質のそろいと立毛の総合評価（立毛概評）はやや劣った。立毛概評に大きく影響する倒伏、折損並びに病害の発生程度を示したのが Table 3 である。2 系統ともに同じ傾向を示した形質はなかったが、倒伏と

折損と虫害による折損の割合の合計値は bm_3 表現型の方がやや大きい傾向を示した。両表現型ともに倒伏や虫害による折損が比較的多く発生したが、これらの障害は収穫期直前の風雨によって拡大したものである。

3. 収量

収量調査の成績を Table 4 に示した。 bm_3 表現型は生草収量で 10-15%、乾物収量で 15-21% 低下した。乾物収量は供試系統と表現型間の交互作用に有意差が認められ、減収程度は遺伝的背景の供与系統により異なった。またホールクロップの乾物に占める雌穂と子実の割合は、表現型間に一定の傾向が見られなかった。乾物収量は正常表現型で約 180 kg/a と黄熟期まで日数が 99 日と短かった割には高かったため、 bm_3 表現型で減少したとはいえ、150 kg 前後となった。生育期間の 1 日当たり平均地上部乾物重増加速度は、生育期間が両表

Table 2. Morphological characteristics and scores on the stand observation.

Experimental hybrid	Pheno-type ^{a)}	Stalk length (cm) ^①	Ear height (cm) ^②	② - ① (%)	Tiller no. per plant	Main stem diameter (mm)	Homo-geneity score ^{b)}	Leaf drying-off score ^{c)}	Stand observation score ^{d)}
(P3715-114 · 3 · 2 · 1 × BS5 bm_3) × Deliblato Banat bm_3	N	191	94	49.1	0.7	20.4	3.0	1.5	2.0
	bm_3	191	96	50.1	0.6	19.9	4.0	1.5	3.5
(P3715-104 · 1 · 4 · 4 × BS5 bm_3) × Deliblato Banat bm_3	N	201	89	44.1	0.4	20.6	3.0	1.5	4.0
	bm_3	186	95	51.1	0.7	21.1	3.5	1.5	4.0
Avg.	N	196	91	46.5	0.5	20.5	3.0	1.5	3.0
	bm_3	189	95	50.6	0.6	20.5	3.8	1.5	3.8
Significance ^{e)}		P, HP	H	H			—	—	—

a) cf. Table 1.

b) On a scale of 1 (homogeneous for morphological characteristics) to 5 (heterogeneous).

c) On a scale of 1 (lower leaf by ground surface) to 5 (flag leaf).

d) Remarks in stand on a scale of 1 (poor) to 5 (very good).

e) H, P and HP mean for hybrids, phenotypes and hybrid-phenotype interactions, significantly different at the 0.05 level, respectively.

Table 3. Lodging and diseases.

Experimental hybrid	Pheno-type ^{a)}	Root lodging ^① (%)	Broken stalks ^② (%)	Broken stalks ^③ (%)	Total ^{b)} ①+②+③ (%)	Smut (%)	Streaked dwarf (%)	North-ern blight (score)	Southern leaf blight (score)	Pythium wilt (%)
(P3715-114 · 3 · 2 · 1 × BS5 bm_3) × Deliblato Banat bm_3	N	2.8	1.4	7.0	11.2	9.7	0	0	0	3.2
	bm_3	5.3	8.0	5.3	18.6	3.1	0	0	0	9.4
(P3715-104 · 1 · 4 · 4 × BS5 bm_3) × Deliblato Banat bm_3	N	9.2	3.9	11.8	24.9	0.0	0	0	0	19.2
	bm_3	9.4	0.0	17.2	26.6	9.1	0	0	0	3.0
Avg.	N	6.0	2.7	9.4	18.1	4.9	0	0	0	11.2
	bm_3	7.4	4.0	11.3	22.7	6.1	0	0	0	6.2
Significance ^{e)}		H	H			—	—	—	—	—

a) cf. Table 1.

b) The broken stalks were caused mainly by oriental corn borer.

c) cf. Table 2.

Table 4. Yield and its proportion.

Experimental hybrid	Pheno-type ^{a)}	Fresh yield (kg/a)			Dry matter yield (kg/a)			Mean top growth rate (kg/a/day)	No. of ears (no./a)	% of barren plants	Proportion in total DM (%)	
		Stover	Ear	Total	Stover	Ear	Total				ear grain	
(P3715-114·3·2·1×BS5 bm ₃) ×Deliblato Banat bm ₃	N	440	184	624	80.7	98.4	179.1	1.809	688	0	54.9	45.5
	bm ₃	366	168	533	61.2	91.8	153.0	1.545	656	0	60.0	50.1
(P3715-104·1·4·4×BS5 bm ₃) ×Deliblato Banat bm ₃	N	379	200	579	69.0	113.7	182.7	1.845	656	0	62.2	51.4
	bm ₃	369	150	519	63.9	81.2	145.1	1.466	594	5.0	56.0	46.4
Avg.	N	410	192	602	74.9	106.1	180.9	1.827	672	0	58.6	48.5
	bm ₃	368	159	526	62.6	86.5	149.1	1.506	625	2.5	58.0	48.3
Significance ^{b)}		HP			P,HP			P,HP	P		HP	

a) cf. Table 1.

b) cf. Table 2.

Table 5. Chemical composition of stover (% or % in DM).

Experimental hybrid	Pheno-type ^{a)}	Moisture			Chemical composition ^{b)}								
		Stover	Ear	Whole crop	CP	EE	NFE	CF	CA	NDF	ADF	ADL	Silica
(P3715-114·3·2·1×BS5 bm ₃) ×Deliblato Banat bm ₃	N	81.7	46.5	71.3	7.7	0.7	56.4	29.2	6.0	64.3	37.6	4.7	3.0
	bm ₃	83.3	45.4	71.3	7.2	0.9	54.9	31.7	5.4	68.0	38.0	1.9	3.4
(P3715-104·1·4·4×BS5 bm ₃) ×Deliblato Banat bm ₃	N	81.8	43.1	68.4	7.7	1.2	56.4	29.8	5.0	64.3	38.5	4.1	2.8
	bm ₃	82.7	45.9	72.0	8.2	1.6	56.5	28.3	5.4	60.7	35.6	2.2	2.7
Avg.	N	81.8	44.8	69.9	7.7	1.0	56.3	29.5	5.5	64.3	38.1	4.4	2.9
	bm ₃	83.0	45.7	71.7	7.7	1.2	55.7	30.0	5.4	64.4	36.8	2.1	3.1
Significance ^{c)}					HP								H,P

a) cf. Table 1.

b) CP=Crude protein, EE=Ether extract, NFE=Nitrogen free extract, CF=Crude fiber, CA=Crude ash, NDF=Neutral detergent fiber, ADF=Acid detergent fiber, ADL=Acid detergent lignin.

c) cf. Table 2.

現型と同じであったため、乾物収量と同様の傾向となった。単位面積当たりに稔実した雌穂の本数は、bm₃表現型で5-9%低下したが、これは不稔個体の発生と分けつに着生した穂の数が少なかったことによるものである。

4. 収穫時の茎葉部の化学成分

サイレージの原料段階における化学成分に及ぼす影響を見るために行った一般6成分分析及とタージェント分析の結果をTable 5に示した。茎葉部についての分析項目のうちで明瞭に異なったのは酸タージェントリグニン(ADL)で、正常型に対する相対値で52.3%、実数で2.3%低下した。

5. 酵素分析と *in situ* 消化試験

収穫時の茎葉部の消化性に及ぼす影響を *in vitro* で評価するための酵素分析と、*in situ* で評価するためのナイロンバッグ法による消化試験の結果をTable 6に示した。有機物(OM)、細胞内容物質(OCC)、細胞壁物質(OCW)には一定の傾向は見られないが、細胞壁

を構成する高消化性繊維(Oa)は、正常表現型に比べ相対値で12-26%、実数で5-10%高くなった。低消化性繊維(Ob)の含量は、その逆に相対値で16-33%、実数で4-9%低下した。それらの分析値をもとに算出した *in vitro* 消化率を見ると、OMでは相対値で約9%、実数で約7%上昇し、さらにOCWでは相対値で約17%、実数で約10%の上昇が認められた。*in situ*での乾物消失率は、表現型間に有意差が認められ、相対値で約7%、実数で4.4%増加した。これは *in vitro* で見たOMの消化率の改良効果よりもその幅は小幅であった。また酵素分析値に *in vivo*における消化率を乗じて可消化有機物含量を推定すると、茎葉部で相対値で約6%、実数で約4%の上昇となった。

考 察

従来bm₃に関する研究は、主としてアメリカを中心に進められてきた。それらの供試材料の多くはPurdue

Table 6. Enzymatic analysis of stover and ruminal dry matter disappearance (% or % in DM).

Experimental hybrid	Pheno-type ^{a)}	Constituents of enzymatic analysis ^{b)}					Digestibility <i>in vitro</i>		Dry matter disappearance <i>in situ</i> ^{c)}	Estimated digestible organic matter ^{d)}
		OM	OCC	OCW	Oa	Ob	(OM-Ob)	Oa		
		OM		OCW						
(P3715-114·3·2·1×BS5 bm ₃) ×Deliblato Banat bm ₃	N	94.0	28.0	65.0	39.6	25.4	73.0	60.9	66.1	66.4
	bm ₃	94.6	23.3	71.3	50.0	21.3	77.5	70.1	71.6	69.7
(P3715-104·1·4·4×BS5 bm ₃) ×Deliblato Banat bm ₃	N	95.0	28.3	66.7	40.7	26.0	72.6	61.0	64.6	67.7
	bm ₃	94.6	31.7	62.9	45.5	17.4	81.6	72.3	67.9	71.9
Avg.	N	94.5	28.2	65.9	40.2	25.7	72.8	61.0	65.4	67.1
	bm ₃	94.6	27.5	67.1	47.8	19.4	79.6	71.2	69.8	70.8
Significance ^{e)}			HP		P	P	P	P	S,P	P

a) cf. Table 1.

b) OM=Organic matter, OCC=Organic cellular contents, OCW=Organic cell wall, Oa=Organic a fraction: the digestible fraction in OCW hydrolyzed by cellulase for 4hr, Ob=Organic b fraction: the indigestible one.

c) Dry matter disappearance(%) after 24hr incubation in the rumen of steer for the stover harvested at silking stage.

d) Estimated digestible Organic Matter: EDOM=87.3·OCC+84.6·Oa+33.1·Ob

e) cf. Table 2. and S means for steers, significantly different at the 0.05 level.

大学や Minnesota 大学から供給されており、栽培品種 Troyer Reid (Tr) が遺伝的背景になり^{2,7,13-15,18}、さらにそこから H 49, H 55, B 37 などの近交系に戻し交配により取り込まれ、試験材料として広範に利用されている^{7,9,16}。他方、ヨーロッパやソビエト等における研究^{3,5,6,10-12,17,19-21} で用いられている系統の多くは、Tr 由来とは異なるものようである。これらの試験成績を比較すると、bm₃ 表現型だからといって必ずしも初期生育の悪化や生育遅延が起こるわけではなく^{5,9}、また必ずしも耐倒伏性が弱まるわけではない⁹。従って遺伝的背景が異なれば新たな傾向が生じる可能性があるため検討する意義があるであろうと考えた。

初期生育について、MILLER ら¹³ は、Tr や B 37 由来の bm₃ を持った S₁ を、表現型に褐色の色素が現れない正常型の S₁ 系統と比較し、初期生育が劣るがその遺伝的変異の調査から改良が可能としている。また GALLAIS ら⁵ がフランスで bm₃ 交雑種の試験栽培をした時には、冷涼な環境下でも正常型の交雑種の初期生育と同様に優れていたとしている。本報では、MILLER ら¹³ と同様に幼植物体の大きさと葉色を主体にして初期生育の評点を付けたが、供試した交雑種の両表現型の間に明らかな差は認められなかった。また生育初期の栄養生長の勢いが弱まることと関連し、絹糸抽出期が 2-5 日遅延すると報告があるが^{5,14,19}、この点にも明らかな差はなかった。Table 5 に示したように、黄熟期に同一暦日で刈り取った時点でも雌穂部の水分含量は両表現型で差はなく、このことから生育の遅延がなかった

ことがわかる。しかし 1986 年 9 月 2 日にガラス温室に播種した場合には、bm₃ 表現型の絹糸抽出期は 1-2 日遅延することが認められている (井上未発表)。従って生育遅延に関しては、これらのことを考えあわせると、遺伝的背景や環境条件によって変わるものと考えられる。

次に耐倒伏性に関する調査項目のうち、供試した 2 交雑種とも有意に同じ傾向を示すものはなかったが、bm₃ 表現型の方がなびき型倒伏と折損及び虫害による折損割合の合計値がやや高かった。これには bm₃ 表現型の着雌穂高率がやや高かったことも関与したと考えられる。本試験の調査結果の特徴の一つは、bm₃ 表現型で耐倒伏性がやや弱まったが、他方で遺伝子型による差がさらに大きかったことであろう。同じ P 3715 由来で系統群が異なるだけの近交系の相違によって、倒伏の様相はかなり異なっていた。bm₃ 遺伝子に関してホモな系統か否かもさておき、背景となる遺伝子型の差の方が耐倒伏性に大きく影響するといった指摘がヨーロッパの研究者^{5,19} によりなされているが、この試験の結果からも同様のことが考えられる。

耐病性に関しては、bm₁, bm₂, bm₃, bm₄ を調べ、それらの低リグニン含量の系統では根腐れを起こしやすかったという報告があるので¹⁰、根腐れが腐る症状に特に注意したが、表現型による差はなかった。本試験の場合では地際の茎部が水浸状になり、髓が空洞になる萎凋病のほうが目についた。しかしながら、萎凋病と黒穂病については表現型による差があるとはいえなかった。しかし萎凋病はハーベスタの使用時の収穫ロスと密接な関係

があるため、さらに病原菌の接種検定も併せて行い判断する必要がある。なお我が国で重要な病害であるすじ萎縮病、すず紋病、ごま葉枯病とこの遺伝子との関係は研究報告も見当たらず、また本試験では全く発症しなかったため明らかにできなかった。

bm₃ を利用しようとするとう乾物収量が低下するという報告が多いが^{5,6,9,13,14,18,19}、この試験でも全く同様の結果となった。好天に加え雑種強勢が強く出たこともあって、正常表現型の乾物増加速度は高く、優れた乾物生産能力を有していたが、bm₃ 表現型では15-21%とかなりの減収となった。部位別に見ると、特に雌穂部だけが小さくなるといった傾向はなく、茎葉部と雌穂部の各々で減収していた。遠縁の系統の間での交配であり近交弱勢は考えられないので、LEE ら⁹ が指摘するように、bm₃ の赤褐色の色素が直接光合成の阻害をするか、生長を阻害する遺伝子が bm₃ と極めて密接な連鎖関係にあることが推察される。bm₃ 近交系を養成するために自殖すると、色素の濃さが著しく異なる系統を分離した場合もあったが、濃い系統ほど生長量や生長速度が小さい傾向は見られないことから、直接的阻害よりも後者の可能性が示唆された。

ホールクロップサイレージ原料としての評価は、黄熟期刈りした時の水分含量、pH 緩衝力、栄養価に関連する成分組成、子実の混入割合などを総合的に考察しなければならない。水分、茎葉部の成分組成、子実含量を調査した結果では、正常表現型と比較して劣る点は見あたらなかった。また茎葉部の中性デタージェント繊維 (NDF) や OCW や ADF で表現型間の差がなく、一方で ADL と Ob に差が認められ、正常型と比べれば、各々 47.7、75.5% となった。文献値を調べると NDF^{15,18,20} や ADF^{7,14,15} や細胞壁 (CW) で平均 93%、ADL^{7,8,14,15,18,20} で平均 60% に低下している。本試験の結果は、それらの報告よりやや低下の程度が大きいものの、既報と同様に総繊維の差よりも低消化性繊維の部分の減少が起こることが確認された。

トウモロコシホールクロップサイレージの消化性は原料の茎葉部の消化性に大きく依存しているため、茎葉部の消化率を *in vitro* や *in situ* で評価すれば、改善効果の推定ができると考えられる。酵素分析の結果では、黄熟期の茎葉部の総繊維の消化率が平均 10.2% 上昇していることがわかった。絹糸抽出後 35 日の bm₃ 近交系の茎葉部の *in vitro* 乾物消失率 (IVDMD) は、ノーマル近交系 Tr と比べ 5.5% 高く⁷、茎部では 10.4% 高く²、また 55 日の茎葉部のサイレージについて TILLEY and TERRY 法による 72 時間の *in vitro* 消化

試験による細胞壁の消化率を調べた結果では 13.8% 上昇したと報告され⁹、子実収穫後の茎葉部でも同様のことが認められている¹⁶。これら既報と本報での結果を考え合わせれば、繊維の消化率の改良効果は 10% 前後であると考えられる。次にルーメン内での乾物の消化速度がどう変わるか評価しようと試み、植物体のステージの違いによる差を消去するために絹糸抽出期の地上部を材料に用いて試験をした。結果は、平均 4% の上昇となり、黄熟期の茎葉部の酵素分析値に *in vitro* 消化率を乗じて算出した推定可消化有機物含量 (DOM) で見た改良効果が平均 4% であったことと符合した。子実の IVDMD に有意差がないとの報告² を考え合わせれば、ホールクロップの DOM の表現型間の差は 4% かそれをやや下回るものと予測される。これについてはサイレージによる *in vivo* 消化試験を実施して正確な評価を行う必要があると考えられる。

もし仮に DOM が 4% 上昇すると、この試験の供試系統では乾物収量が平均 18% 低かったために、単位面積当たりの DOM 収量は、正常型に比べて 13% 程度の低下となる。このことから LEE ら⁹ が指摘したとおり、消化率の向上によっても単位面積当たりの栄養収量の低下の埋め合わせはできないと推察される。乾物中の栄養価を上げるために収量の減少をどの程度までなら容認できるかは経済的な問題であるのでさておき、育種分野の問題としては、実用的な母本の養成の効率化のために循環選抜のような手法を採用して、組み合わせ能力を向上させることが重要と考えられる。また、一方で MIKU ら^{11,12} のように正常型の系統の中からも栄養価の高い系統を選抜するような手段とか、そのような系統の戻し交配により遺伝的背景自体を変化させる試みも必要と考えられる。

謝 辞

本研究の一部は千葉県畜産センターの協力の下で実施した。快く試験牛を提供していただいた藤城清司室長以下関係職員の方々に感謝します。また研究の過程で有益な助言をいただいた農林水産省草地試験場長望月 昇博士並びに元長野県畜産試験場草地飼料部長滝沢康孝氏 (現坂北村在住) に感謝するとともに、御協力いただいた県職員並びに臨時職員の方々に対し謝意を表します。

引用文献

- 1) 阿部 亮 (1988) 炭水化物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。農林水産省畜産試験場研究資料 第 2 号
- 2) BARNES, R.F., L.D. MULLER, L.F. BAUMAN and V.

- F. COLENBRANDER (1971) *In vitro* dry matter disappearance of brown midrib mutants of maize (*Zea mays* L.). *J. Anim. Sci.* 33, 881-884.
- 3) DOMASHNEV, P.P., N.YA. TELYATNIKOV, B.M. MIKHAL'CHEVSKII, S.S. GOLUB, V.V. GLUSHKO and A.P. OLIZ'KO (1981) Breeding for improved green matter and silage quality in maize. *Selektsiya i Semenovodstvo, Ukrainian SSR* No. 49, 9-14.
 - 4) EYSTER, W.H. (1934) Genetics of *Zea mays*. Reprint from *Bibliographia Genetica*, XI The Hague-Martinus Nijhoff.
 - 5) GALLAIS, A., L. HUGUET, H. BERTHET, G. BERTIN, B. BROQUA, A. MOURGUET and R. TRAINAU (1980) Preliminary evaluation of brown midrib maize hybrids for their feeding and agronomic value in France. In: POLLMER, W.G. and R.H. PHIPPS (eds.), *Improvement of Quality Traits of Maize for Grain and Silage Use*. Martinus Nijhoff Publishers b. v., The Hague/Boston/London. pp. 319-339
 - 6) KLYUCHKO, P.F., V.V. SERGEEV, V.G. IVASHCHENKO and P.N. PYL'NEVA (1981) Some characteristics of low-lignin maize hybrids. *Selektsiya i Semenovodstvo, Ukrainian SSR*. No. 47, 12-16.
 - 7) LECHTENBERG, V.L., L.D. MULLER, L.F. BAUMAN, C.L. RHYKRD and R.F. BARNES (1972) Laboratory and *in vitro* evaluation of inbred and F2 populations of brown midrib mutants of *Zea mays* L. *Agron. J.* 64, 657-660.
 - 8) LECHTENBERG, V.L., V.F. COLENBRANDER, L.F. BAUMAN and C.L. RHYKRD (1974) Effect of lignin on rate of *in vitro* cell wall and cellulose disappearance in corn. *J. Anim. Sci.* 39, 1165-1169.
 - 9) LEE, M.H. and J.L. BREWBAKER (1984) Effect of brown midrib-3 on yields and yield components of maize. *Crop Sci.* 24, 105-108.
 - 10) MAZHARA, V.N. and A.P. OOLIZ'KO (1980) Resistance of maize forms with high lignin content to stem and root rots. *Byull. VNII kukuruzy.* 4, 21-24.
 - 11) MIKU, V.E., G.E. KOMAROVA and A.I. ROTAR' (1980) Genetic variation in lignin content in maize. *Doklady Vsesoyuznoi Ordena Lenina i Ordena Trudovogo Krasnogo Znameni Akademii Sel'skokhozyaistvennykh Nauk Imeni V. I. Lenina.* 9, 9-10.
 - 12) MIKU, V.E., A.I. ROTAR', S.I. MUSTYATSA, N.S. FRUNZE, E.V. REVIN and G.E. KOMAROVA (1980) Study of low-lignin maize hybrids. In *Selekts., genet. i tekhnol. vozdeleyvaniya kukuruzy v Moldavii. Kishinev, Moldavian SSR.* 105-112.
 - 13) MILLER, J.E. and J.L. GEADELMANN (1983) Effect of the brown midrib-3 allele on early vigor and growth rate of maize. *Crop Sci.* 23, 510-513.
 - 14) MILLER, J.E., J.L. GEADELMANN and G.C. MARTEN (1983) Effect of the brown midrib-3 allele on maize silage quality and yield. *Crop. Sci.* 23, 493-496.
 - 15) MULLER, L.D., R.F. BARNES, L.F. BAUMAN and V.F. COLENBLANDER (1971) Variations in lignin and other structural components of brown midrib mutants of maize. *Crop Sci.* 11, 413-415.
 - 16) RAMADHAN, A.E., V.L. LECHTENBERG, L.F. BAUMAN and V.F. COLENBRANDER (1976) Structural composition and *in vitro* dry matter disappearance of brown midrib corn residue. *Crop. Sci.* 16, 387-389.
 - 17) SERGEEV, V.V. (1983) Inheritance of lignin content in the hybridization of maize. *Nauchno-tehnicheskii Byulleten' Vsesoyuznogo Seleksionno-geneticheskogo Instituta.* 1, 23-25.
 - 18) SHELDRIK, R.D. (1979) The quality of "brown midrib-3" mutant maize grown for forage under field conditions in southern England. *Grass and Forage Science* 34, 283-291.
 - 19) WELLER, R.F., R.H. PHIPPS and A. COOPER (1985) The effect of the brown midrib-3 gene on the maturity and yield of forage maize. *Grass and Forage Science* 40, 335-339.
 - 20) WELLER, R.F., R.H. PHIPPS and E.S. GRIFFITH (1984) The nutritive value of normal and brown midrib-3 maize. *J. Agric. Sci. Camb.* 103, 223-227.
 - 21) ZAKHAROVA, N.V., M.I. HADJINOV and V.G. RYADCHIKOV (1979) Development of low lignin maize hybrids through the use of the *bm₃* gene. In *Proceedings of the tenth meeting of the Maize and Sorghum Section of Eucarpia. Varna, Bulgaria.* pp. 236-239.

(平成元年3月27日受理)

Agronomic Traits and Nutritive Value of Stover in Brown Midrib-3 Maize Hybrids

Naoto INOUE and Shigemitsu KASUGA

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

Summary

Field trial and *in situ* digestion trials with brown midrib-3 maize hybrids were carried out to determine the effect of brown midrib-3 (bm_3) gene on agronomic traits and nutritive value of stover in Chushin dist., Nagano, Central Japan.

In 1987, comparisons were made between isogenic materials, normal (1/2 of plants) and bm_3 (1/2 of plants) from two triple hybrids developed with inbred lines. The seed parents were yellow dent hybrids (S_4 lines homozygous for the normal allele \times S_6 line homozygous for the bm_3 allele) derived from an American hybrid and an American synthetic variety. The pollen parent was a white flint inbredline (S_1 line homozygous for the bm_3 allele) derived from a Yugoslavian local variety. The bm_3 (homozygous for the bm_3 allele) and normal (heterozygous) stands were grown at the rate of 625 plants/a in a split-plot design with two replicates by thinning after appearance of brown pigment on the midrib. Vigor in early growth and maturity were similar in both phenotypes: bm_3 type (homozygote for bm_3) and the normal type (heterozygote). The effect of heterozygosis for bm_3 on stalk length, ear height, lodging resistance at silage harvest appeared to vary according to the genetic background of seed parents. Dry matter yields of bm_3 type were 10-20% lower than the normal type. In comparison with the normal type, the number of ear per unit area in bm_3 type decreased but the proportion of grain in whole-crop dry matter of bm_3 type were not decreased.

Whole-crop dry matter concentration and the proportions of organic cellular content, organic cell wall content (OCW), NDF, ADF and silica in stover did not differ significantly. In comparison with the content of low digestible fraction in OCW (Ob) and the ADL concentration in stover for bm_3 homozygote were 6% and 2% lower, and the *in vitro* digestibility of OCW and content of estimated digestible organic matter were 10% and 4% higher on the averages, respectively. 24-hr *in situ* disappearance of dry matter in whole-crop harvested at silking stage was also 4% higher for homozygote than for heterozygote when used steers.

It is concluded that the gain of digestible organic matter content in stover and whole crop of bm_3 hybrids through heightened cell wall digestibility is about 4%, but the dry matter yield loses 15-20%. These results indicate that the combining ability and dry matter productivity of parental lines are important for breeding bm_3 hybrids.

Key words : Brown midrib-3 gene, Digestibility, Fiber, Hybrid, Maize, Yield.