

## 飼料作物の消化率に関する研究 I

誌名	日本草地学会誌
ISSN	04475933
巻/号	262
掲載ページ	p. 179-184
発行年月	1980年7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



## 飼料作物の消化率に関する研究

## I. ソルガムの栽植密度と飼料価値の関係

正岡淑邦・高野信雄

## 要 旨

正岡淑邦・高野信雄 (1980) 飼料作物の消化率に関する研究. I. ソルガムの栽植密度と飼料価値の関係 日草誌 26, 179~184.

ソルガムの栽植密度が飼料価値におよぼす影響についてスタックスを用いて検討した。栽植密度は 44.4, 11.1, 3. 株/m<sup>2</sup> の3段階とし、出穂期と開花期に刈取った。栽植密度を高めると単位面積当りの乾物収量、莖数は増加したが1株当りの分けつ数は低下した。莖の表層部の乾物構成比が高まったが疎植にすると髓部の比率が高まる傾向を認めた。密植するほど、また生育がすすむほど植物体全体の細胞膜構成物質 (CWC), Acid Detergent Lignin (ADL) 含量が増加した。逆にセルラーゼによる CWC 分解率や *in vitro* 法による乾物分解率 (IVDMD) は低下した。可消化乾物 (DDM) 生産量は乾物収量に影響され、密植するほど高かったが、開花期では中密植区と密植区の間でほぼ等しい値を得た。

栽植密度によって変化した飼料価値を部位別に検討すると、出穂期の場合、CWC 分解率は髓、葉身、葉鞘、節で高く、莖の表層部のみ著しく低く他の 1/3 以下の分解率を示した。出穂期から開花期までの間の地上 10 cm 以上の個体群生長率 (CGR) は疎植ほど大きく、増加した乾物中に易消化性成分の比率が高まった。

## 緒 言

暖地型牧草やソルガム属は夏期の高位生産を期待できる作物として有望である。反面、家畜の嗜好性や消化率が寒地型草種に比べて劣る場合が少なくない。これらの草種の飼料成分上の特徴は、寒地型草種に比べて乾物消化率に影響する細胞膜構成物質含量 (CWC) が高い上に消化率が低く、また細胞内容物 (CC) 中に占める非構造性炭水化物物中にでん粉を多く含むこと等があげられる<sup>4)</sup>。葉は C<sub>4</sub> 植物特有の kranz 構造とよばれる発達した大きな維管束組織で占められ、その間隙に存在する柔組織も緻密である。C<sub>3</sub> 植物に比べて光合成作用がより特異的におこなわれるように形づくられた器官の構造が、飼料として家畜の消化作用を受ける場合問題視される<sup>2)</sup>。乾物の高位生産につながる植物の組織構造が飼料価値の面でマイナスの作用を有していると言える。

しかし、牧草、飼料作物の高栄養価からみた高位生産に関する研究は少ない。高位生産を旨とした研究には栽植密度に関する報告が多いが<sup>1)</sup>、乾物生産量に眼目をおいた場合がほとんどで、質的には子実生産に関する報告に限られている<sup>8)</sup>。牧草、飼料作物は子実のみならず莖葉を含めて利用される特質をもつため、多収性ととも

家畜の利用性の高い良質莖葉の生産に関する研究が必要と思われる。

本実験はそのような見地からソルガムの栽植密度が乾物収量および飼料価値にどのような影響を及ぼすかを検討した。

本稿の御校閲をいただいた草地試験場牧草部長、川鍋祐夫博士に、また実験の遂行にあたり、懇切な御指導をいただいた同試験場、樽本勲博士に深く謝意を表します。

## 実験材料および方法

スーダン型1代雑種ソルガムのスタックス (Sudax) を1978年6月8日に草地試験場の実験圃場へ播種した。播種密度は表1に示すように畦幅と株間を3段階に変え、試験区面積を1区画 3.5 m × 4.5 m として各々2反復した。施肥量は 10 a 当り、苦土石灰、ようりんを各々、100 kg、硫酸、過石、塩加を N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O として各々 10, 12, 30 kg 施用した。さらに7月8日に硫酸を N で 20 kg/10 a 追肥した。5~6 葉が展開した7月4日に間引いて1本立てとした。出穂期の8月12日と開花期の8月22日の2回、地上 10 cm の高さで刈取った。刈取量は密植区は15株、中密植区は4株、疎植区は3株とした。なお、出穂期から開花期までの1期間のみであ

るが地上 10 cm 以上の CGR を測定し、この期間に増収した乾物量を密度間で比較した。

刈取後、植物体は全体を採取した他に、葉身と葉鞘+莖部に分離した。出穂期の葉鞘+莖部はさらに葉鞘と莖部分け、莖部は節の上下 1 cm を節部とし、節と節以外の部分に分けた。後者はさらに表層と髓に細分した。

飼料成分の分析は常法でおこなった<sup>3)</sup>。CWC のセルラーゼによる分解試験は阿部らの方法<sup>1)</sup>に準じておこない、分画分離した CWC を 1% セルラーゼ溶液で 4 時間振とう分解させた。CC は 98% が消化されると考えられているため<sup>3)</sup>  $IVDMD = (CC + \text{可消化 CWC})\%$  と仮定して測定をおこなった。

## 結 果

### 1. 生育状況

表 2 に各刈取時の生育状況を示した。出穂期における出穂個体の比率は密植するほど高く、栽植密度が高いほど生育が少し早まる傾向が認められかつ、弱小化した個体は少なかった。栽植密度が低いほど主茎は太く、分けつ莖の増加が認められたのに対し、密植区では分けつが無く、一様に主茎は細かった。主茎と分けつ莖を含めた 1 莖数当りの平均乾物重を求めると、開花期では栽植密度が低いほど平均乾物重は大きかった。

茎葉の乾物構成比を比較する場合、出穂期は穂の占める比率が小さいため、莖部に含めて表示した。出穂期の茎葉比には栽植密度間差がほとんど認められなかった

が、開花期は栽植密度が低いほど葉身の比率が高かった。

単位面積当りの乾物収量は密度が高いほど増加した。出穂期から開花期までに各処理区の乾物収量はいずれも増加したが栽植密度が低いほど増加量は大きかった。

### 2. 化学成分含量と CWC, DM の分解率ならびに可消化乾物生産量

表 3 に各栽植密度区の化学成分含量と CWC, DM の分解率ならびに DDM 生産量を示した。窒素 (N) と CC 含量は栽植密度が低いほど高く、生育がすすむと両含量は若干低下の傾向を示した。逆に CWC, ADF, ADL 含量は密度が高いほど高く、CWC と ADL 含量は生育がすすむと増加した。ケイ酸含量には一定した傾向が認められなかった。

CWC および DM の分解率は栽植密度の影響を受け、密度が低いほど分解率は高まった。両刈取時期および各栽植密度の CWC 分解率ならびに IVDMD と ADL 含量との間には各々、 $r = -0.916^*$ ,  $r = -0.939^{**}$  という高い負の相関性が認められた。単位面積当りの DDM 生産量は DM 収量に影響され、密植するほど大きかった。しかし、密植するほど IVDMD が低かったため DDM 生産量の密度間差は小さくなり、開花期では中密植区と密植区の間有意差が認められなかった。

### 3. 出穂期から開花期までの CGR と増加した乾物中の飼料成分組成

出穂期から開花期までの地上 10 cm 以上の CGR と

Table 1. Plant densities of experimental plots.

Plant density	Distance between ridges (cm)	Distance between hills (cm)	No. of plants per plot (a)	Seed weight per plot (g/a)
High	30	7.5	4440	100
Medium	60	15	1110	25
Low	90	30	370	8.3

Table 2. Plant characteristics at heading and flowering stages.

Plant density	Plant height (cm)	Heading rate (%)	No. of tillers per plant	Dry matter weight per plant (g)	Relative weight of DM (%)			Dry matter yield (kg/a)
					Leaf blade	Sheath and stem	Ear	
Heading stage								
High	277	49.8	0	27.7	25.9	74.1	—	122.8
Medium	270	33.5	2.1	27.1	24.2	75.8	—	95.9
Low	298	21.0	3.7	28.4	26.9	73.1	—	51.2
Flowering stage								
High	322	—	0	29.6	19.4	72.1	8.5	131.3
Medium	355	—	3.3	33.0	22.6	71.1	6.3	121.9
Low	320	—	4.5	39.6	23.4	69.7	6.9	80.0

この期間中に増加した乾物中の飼料成分組成を表4に示した。なお、CWCを可消化CWCと難消化CWC(1%セルラーゼ溶液で4時間分解した場合の未分解物)に分けた。

この期間は栽植密度が低いほどCGRが高まり、中でもCC、可消化CWCやNは増加速度および割合ともに高くなった。一方、栽植密度が高いほど難消化CWCやADLの増加割合が高まった。

4. 植物体各部位の飼料品質

図1に出穂期における植物体各部位の飼料品質を示した。茎部の表層は植物体を構成する各部位の中で最も乾物比率が高く、また密植区は疎植区に比べて表層の比率が高くなる傾向が認められた。

CWC含量は表層で高く、表層の80%近くがCWCで構成されていた。髄はCWC含量の最も低い部分で表層に比べ含量は約1/2であった。密植区はいずれの部位でもCWC含量が疎植区に比べて高かった。

CWC分解率は髄、節、葉鞘、葉身で高く、逆に表層

では著しく低く、他の部位の1/3以下であった。密植区は疎植区に比べていずれの部位もCWC分解率が低かった。栽植密度によるCWC分解率の差は髄と葉身で大きくあられ、疎植区は30~50%高い分解率を示した。

IVDMDはCWC分解率と同様に表層で低く、髄、節、葉鞘および葉身が高かった。栽植密度が低いといずれの部位のIVDMDも高く、とくに髄で著しかった。

考 察

飼料作物のIVDMDやCWC分解率は草種、品種、生育時期、あるいは栽培環境によって影響を受けると考えられる。本実験はこれら諸要因のうち栽培環境に着目し、その中で栽植密度が植物体の飼料成分形成におよぼす影響を調査した。密植栽培は多収技術に結びつく方法であり、栽培分野での研究例は少なくない。個体密度の差異が受光態勢に差異をもたらせ、個体の光合成機能に変化することはよく知られている。密植、あるいは疎植することによって乾物生産機能に変化すれば、乾物中の

Table 3. Chemical composition, *in vitro* disappearance of cell wall constituents (CWC) and dry matter (DM) and digestible dry matter (DDM) yield of whole plants.

Plant density	Chemical composition (% of Dry matter)						<i>in vitro</i> disappearance <sup>(a)</sup> (%)		DDM yield kg/a
	Nitrogen	CC	CWC	ADF	ADL	Slica	CWC	DM	
Heading stage									
High	1.75	38.5	61.5	42.4	6.0	2.0	23.9 <sup>a</sup>	53.2 <sup>a</sup>	65.3 <sup>a</sup>
Medium	1.76	42.8	57.2	40.5	5.5	2.2	28.4 <sup>c</sup>	59.1 <sup>c</sup>	56.7 <sup>c</sup>
Low	2.00	43.0	57.0	38.8	4.8	2.1	30.3 <sup>c</sup>	60.2 <sup>c</sup>	30.8 <sup>d</sup>
Range	0.25	4.5	4.5	3.6	1.2	0.1	6.4	7.0	34.5
Flowering stage									
High	1.39	37.7	62.3	41.6	6.4	1.9	19.3 <sup>a</sup>	49.8 <sup>a</sup>	65.4 <sup>a</sup>
Medium	1.58	39.9	60.1	40.0	6.1	2.2	22.7 <sup>c</sup>	53.6 <sup>c</sup>	65.3 <sup>a</sup>
Low	2.06	39.9	59.9	39.1	5.6	2.4	24.6 <sup>b</sup>	54.9 <sup>c</sup>	43.9 <sup>c</sup>
Range	0.67	2.2	2.3	2.5	0.8	0.5	5.3	5.1	21.5

(a) Means in same column with different superscripts are significantly different at each stage. (a, b: p<0.01 a, c, a, d, b, c or c, d: p<0.05)

Table 4. Changes in crop growth rate (CGR) and increased chemical constituents (CWC) for the duration from heading to flowering stage in three different plant densities.

Plant density	CGR g/m <sup>2</sup> .day	CC g/m <sup>2</sup> .day	CWC g/m <sup>2</sup> .day		ADL		Nitrogen	
			Digestible	Indigestible	g/m <sup>2</sup> .day	% in CGR	g/m <sup>2</sup> .day	% in CGR
High	8.5(100)	2.22(26.1)	—	6.28(73.9)	1.03	12.1	—	—
Medium	27.7(100)	8.32(30.0)	1.33(4.8)	18.05(65.2)	2.26	8.2	0.26	0.94
Low	28.8(100)	9.99(34.7)	2.97(10.3)	15.84(55.0)	2.02	7.0	0.63	2.20

Values in parentheses indicate the percentage of each constituent in CGR.

飼料成分は変動することが予測される。一方、乾物の消化率は CWC の分解率やリグニン含量に影響を受けると考えられている。このため栽植密度が乾物生産機能に影響すれば、CWC やリグニンの形成に変化を生じ、乾物消化率は変動すると考えられた。

本実験でスタックス種は密植するほど分けつの発生が低下したが乾物収量は増加した。ソルガムの密植による多収要因は単位面積当りの栽培本数の増加によると考えられている<sup>9)</sup>。また密植により分けつの発生数は低下するが、主茎は枯死し難く、弱小化し難いことが認められている<sup>10)</sup>。一方、CGR は出穂期から開花期の間で栽植密度が低いほど高まった。栽植密度によって CGR が変化する傾向は他草種でも認められている。アルファルファでは栽植密度が高いほど短い生育日数で CGR は頭うちに達する<sup>9)</sup>。これは密植するほど光合成による乾物生産量が早期に最高に達し、CGR に差異を生じるためと考えられている。とうもろこしのある品種では密植すると抽糸期以後単位葉面積当りの光合成能が著しく低下するのが認められている。その結果密植するほど低い CGR になると考えられている<sup>12)</sup>。本実験では1期間のみ CGR の測定を行なったにすぎないが、出穂期から開花期の時期には栽植密度が光合成能に影響し、乾物生産機能が変化したものと考えられる。

作物の IVDMD に影響する要因の1つにリグニン含量が考えられており、両者間には高い負の相関性が認められている<sup>7,14)</sup>。リグニンは作物が若い場合、その一部が消化されるが生育がすすむと含量が増加するとともに

ほとんど消化されなくなる。また、リグニンは他の植物体構成成分と結合体を形成しており、これが消化率の低下を招いていると考えられている。このような成分の1つとしてリグニン-ヘミセルロース複合体が考えられている<sup>9)</sup>。本実験で出穂期に比べて開花期の CWC 分解率や IVDMD が低下したのは CWC や ADL 含量の増加が一因と考えられる。同様な傾向は同一生育期内の栽植密度間で認められた。これらの諸成分の形成機能は密植栽培するほど促進されると考えられる。

つぎに植物体構成部の中で最も大きな部分を占めている茎の表層部はクチクラ化した表皮細胞や密集した維管束組織に富み、その周辺はリグニン化し易い部分となっている<sup>11)</sup>。したがって植物体の消化を抑制する主要部位は茎の表層部であり、密植すると表層の植物体全体に対する占有割合が増加するとともにリグニンや難消化 CWC 含量が増加し、IVDMD は低下するものと考えられる。これに対し、髓や葉身は消化され易い部分で、疎植にするとこれらの占有割合が増加する傾向を有している。このため、栽植密度間の飼料価値は主稈の肥大や分けつの発生という形態的变化に原因して差異を生じたと考えられる。すなわち、栽植密度を低くすることによって生じた主稈の肥大は分解され易い髓部を増加させる効果がある。また疎植にするほど分けつの発生によって主稈より若い茎葉が増加し、飼料品質に差異を生じたと推測される。

以上の如く、飼料成分は植物体の物質生産過程で形成され、形態が異なると飼料価値が変化する。したがって、

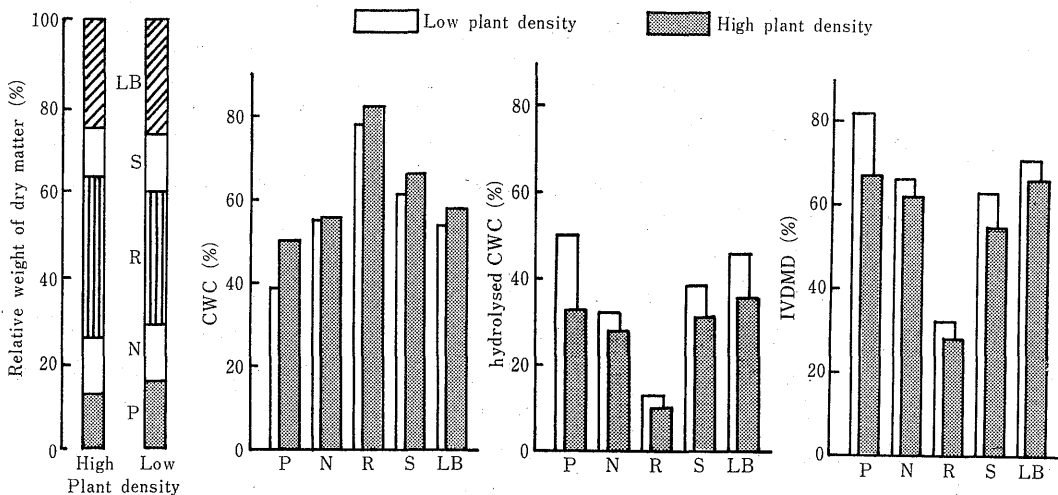


Fig. 1. Relative weight of dry matter, cell wall constituents (CWC), hydrolysed CWC by cellulase and *in vitro* dry matter disappearance (IVDMD) of individual plant composition at heading stage. (P: Pith, N: Node, R: Rind, S: Sheath, LB: Leaf blade).

栽植密度は植物体の光合成機能，飼料成分の形成，そして形態形成に影響を与えるものであり，これらは相互に密接な関わりを有すると考えられる。

単位面積当りの DDM 生産量についてみると栽植密度により DM 収量と IVDMD が影響を受ける結果，開花期においては中密植区と密植区の DDM 生産量に有意差が認められなかった。これは多収性のみならず，飼料価値を考慮した栽植密度の決定が必要なことを意味するものである。しかも密植栽培の場合，早期から飼料価値が低下し易いと考えられ，刈取適期について配慮が必要と思われた。

本実験では分けつの発生数が多いという形態的特徴をもつスタックス種の栽植密度が飼料価値におよぼす効果を検討した。しかしソルガム属には種々の形態を有する品種があり，栽植密度と飼料成分の間にはそれぞれ種間差を有することが予想される。このため，栽植密度による飼料価値の変動特性については作物別の検討が必要である。さらに，飼料品質面を配慮した多収穫栽培をおこなう場合，DDM の最高収量を得る栽植密度や，収穫時期に関する研究が必要と思われる。

#### 引用文献

- 1) ABE, A. and S. HORII (1979) *J. Japan. Grassl. Sci.* **25**, 70-75.
- 2) CASWELL, H., F. REED, S. N. STEPHENSON, and P. A. WERNER (1973) *American naturalist* **107**, 465-480.
- 3) GEORING, H. K. and P. J. VAN SOEST (1970) *Forage fiber analysis*. USDA Agric. Handb. no. 379.
- 4) 小島邦彦・伊沢 健 (1967) 日草誌 **13**, 39-50.
- 5) 増田安弘・小中伸夫 (1969) 日草誌 **15**, 1-8.
- 6) MORRISON, I. M. (1973) *Phytochemistry* **12**, 2979-2984.
- 7) MORRISON, I. M. (1972) *J. Sci. Fd. Agric.* **23**, 455-463.
- 8) MUCHOW, R. C. and G. L. WILSON (1976) *Aust. J. Agric. Res.* **27**, 489-500.
- 9) 大久保忠旦・川鍋祐夫・星野正生 (1975) 日草誌 **21**, 136-145.
- 10) RAYMOND, W. E. (1969) *Adv. Agron.* **21**, 1-108.
- 11) 桜井茂作 (1963) 農林水産技術会議 研究成果 **15**, p. 18.
- 12) 田中 明・山口 一・山神正弘 (1970) 土肥誌 **41**, 363-368.
- 13) 佃田和民・星野正生・田村良文 (1977) 日草誌 **23**, 195-200.
- 14) VAN SOEST, P. J. (1964) *J. Animal Sci.* **23**, 838-845.
- 15) WILLEY, R. W. and S. B. HEATH (1969) *Adv. Agron.* **21**, 281-321.

(昭和 54 年 10 月 15 日受理)

## Studies on the Digestibility of Forage Crops

### I. Effect of plant density on the feeding value of a sorghum-sudangrass hybrid

Yoshikuni MASAOKA and Nobuo TAKANO

National Grassland Research Institute, Nishinasuno Tochigi 329-27

#### Summary

Studies were undertaken to investigate the effect of plant density on feeding value of sorghum. Three plant populations were constituted from 44.4, 11.1 and 3.7 plants/m<sup>2</sup> using commercial hybrid (Sudax).

1) The dry matter yield increased with increase of plant density, but tillers and dry matter of one plant decreased at flowering stage.

2) Plant proportions were varied with plant density and rind portion of stem increased with increase of plant density.

3) Cell wall constituents (CWC) and acid detergent lignin (ADL) contents of whole plants were increased with increase of plant density.

4) CWC hydrolysis was varied with plant portion. Pith of stem and leaf blade were the most hydrolytic portions. Rind of stem was the lowest hydrolytic portion. Variation in CWC hydrolysis and *in vitro* dry matter disappearance (IVDMD) of whole plant were observed among the different level of plant density. CWC hydrolysis and IVDMD were increased with decrease of plant density. Those differences of feeding values were depended on the variance of hydrolysis of pith of stem and leaf blade and their proportion rates.

5) Crop growth rate (CGR) increased with decrease of plant density at heading to flowering stage. At this period, digestible dry matter which dissolved by neutral detergent solution and cellulase increased with decrease of plant density.

6) Digestible dry matter production increased with increase of plant density and was influenced with its dry matter production. But there were almost no significant difference between high and middle plant density in flowering stage. Because the IVDMD of middle plant density was higher than that of high plant density.

(J. Japan. Grassl. Sci. 26, 179—184, 1980)