

南西諸島におけるソルガム属の生産と
放牧利用に関する研究

**Studies on production and grazing utilization of *Sorghum* spp.
in Southwestern islands**

今井 裕理子

2014

南西諸島におけるソルガム属の生産と放牧利用に関する研究

今井裕理子

目 次

第 1 章 緒論	
第 1 節 研究の背景	1
第 2 節 研究の構成	13
第 2 章 ソルガム属数品種・系統の生産性と栄養価の評価	
第 1 節 数品種・系統における生産性の比較	15
第 2 節 数品種・系統における栄養価の比較	29
第 3 節 摘要.....	40
第 3 章 ソルガム属数品種の利用適期および施肥管理の検討	
第 1 節 数品種の乾物生産量および栄養価の推移	42
第 2 節 数品種におけるHCNp含量の推移	55
第 3 節 摘要.....	63
第 4 章 ソルガム属草種の短期放牧利用の検討	
第 1 節 短期放牧利用における草地生産性の評価と 放牧強度が草地の生産性に及ぼす影響	65
第 2 節 適要	90

第 5 章	ソルガム属草種の群落構造と放牧強度が採食様式， 成分摂取量ならびに草地の草損失量に及ぼす影響	
第 1 節	群落構造における HCNp の垂直分布	92
第 2 節	短期放牧利用における放牧強度が採食利用率， 採食層位ならびに成分摂取量に及ぼす影響	112
第 3 節	短期放牧利用下における家畜の採食行動および 単位時間当たり HCNp 摂取量	135
第 4 節	短期放牧利用における草高と放牧強度が 放牧草地の草損失量に及ぼす影響	155
第 5 節	摘要	163
第 6 章	ソルガム属草種における再生草の生産性に関する 剪葉高の検討	
第 1 節	刈取り高さの違いが乾物生産量，栄養価ならびに HCNp 含量に及ぼす影響	167
第 2 節	摘要	187
第 7 章	総合考察	189
第 8 章	要約	208
	Abstarct	214
	謝辞	221
	引用文献	222

第 1 章 緒 論

第 1 節 研究の背景

1. 日本の食料事情

近年、我が国の食料自給率（供給熱量ベース）は 40%前後で推移しており、平成 24 年度は 39%と報告されている。昭和 36 年の食料自給率は 78%であったことから、約 50 年間で半減していることになる（農林水産省 2013a）。昭和時代における食料自給率の大幅な低下は、戦後の急速な食生活の変化が主な要因であったが、平成に入ってから農業生産の縮小傾向が反映されており、国内農業の衰退を浮き彫りにしている（農林水産省 2007）。また、国内消費量に対する不足分は外国からの輸入に依存することで賄われており、従って、我が国の食料供給体制は脆弱な食料生産基盤と輸入食料の上に立脚していることになる。一方で、世界情勢を鑑みると、世界人口の増加や新興国の発展に伴う食料需要の増大、食料生産国による輸出規制など様々な要因による食料価格の上昇が予測され、輸入に依存した食料供給体制を今後も維持できる保障はない。食料は生命と健康の維持に不可欠であり、食料の安全保障の観点からも、国内農業を再興し、可能な限り国産食料の供給力を高める必要がある。

2. 日本の畜産と飼料生産の状況

国内の供給熱量ベースによる食料自給率を引き下げている品目の1つが畜産物である。このことは、畜産物生産に要する飼料原料の大部分を輸入に依存しており、飼料自給率が25%前後の低い水準であることに起因する(農林水産省 2012)。従来、我が国における家畜生産は、厩肥や畜力の利用による耕種作物の収量増大と畜産物による収益を目的とした複合的農業の一部として行われていた。しかし、戦後の経済成長等を背景とした食生活の変化により畜産物需要が増加したことで、大量生産・高品質を重視した専門的な畜産経営が家畜生産の主流となり、飼養頭数規模の拡大や濃厚飼料を多給する飼養形態への移行が進んだ。同時に、大規模な農地開拓等による飼料生産の拡大政策も進められたが、濃厚飼料の原料となるトウモロコシや大豆といった土地利用型作物は地勢の険しい日本において商業的な生産を成し得ず、飼料穀物の生産・供給に遅れが生じた。これらを背景に、労働力不足と円高の影響による輸入飼料の割安感が後押しし、飼料生産に関する労働力を伴わない輸入飼料を利用する傾向が高まった。その結果、濃厚飼料の自給率は、昭和50年代以降、わずか10%前後で推移している(農林水産省 2013b)。また、粗飼料については平成に入ってから78%前後の横ばい傾向で推移しており、濃厚飼料と比較すると高い自給率を示しているものの、完全自給には至っていない(農林水産省 2013b)。脆弱な飼料基盤の下、規模拡大と効率化を最優先に掲げた

我が国の畜産は、輸入飼料なくしては発展しえなかった。一方で、輸入飼料に依存した畜産経営の抱える課題が様々な形で顕在化しており、加工型畜産と称される我が国の畜産の在り方が改めて問われている。

3. 自給飼料生産の意義

輸入飼料と自給飼料にはそれぞれ有利な点と不利な点がある。輸入飼料の最大の利点は、飼料生産に要する土地、機械、労力を必要としないことである。一方で不利な点として、国際相場や生産国での異常気象、社会情勢等によって左右される価格や供給の不安定性が挙げられる。表 1-1 に示したように、畜産経営では生産コストに占める飼料費の割合が高いため(農林水産省 2013c)、飼料価格の変動は経営に直接的な影響を及ぼす。近年では、配合飼料の原料となるトウモロコシ価格がバイオ燃料向け需要の増加により高騰し、これに伴い配合飼料価格が上昇したため、畜産農家経営における負担は増大している(図 1-1)。また、輸出国の禁輸措置や運送事情の悪化など不測の事態による輸入途絶といった供給自体の不安定性、輸出国で発生した伝染病が輸入飼料を介して発生する危険性も不利な点として挙げられる。さらに、輸入飼料由来の窒素やリン等の蓄積による環境汚染、輸出国側の土壌養分の収奪、表土流出や砂漠化の進行といった物質循環の不均衡による環境への負荷も問題となっている。

一方、自給飼料は、近年のコントラクターの活用等による効率的な飼

表1-1. 畜産物生産費の費用合計に占める飼料費の割合(平成23年) (%)

	飼料費	労働費	もと畜・家 畜償却費	その他
去勢若齢肥育牛	33.2	8.3	50.1	8.4
子牛	35.1	32.8	12.1	20.0
牛乳	45.2	21.0	14.3	19.5
肥育豚	63.5	13.0	2.9	20.6

農林水産省(2013c)より引用

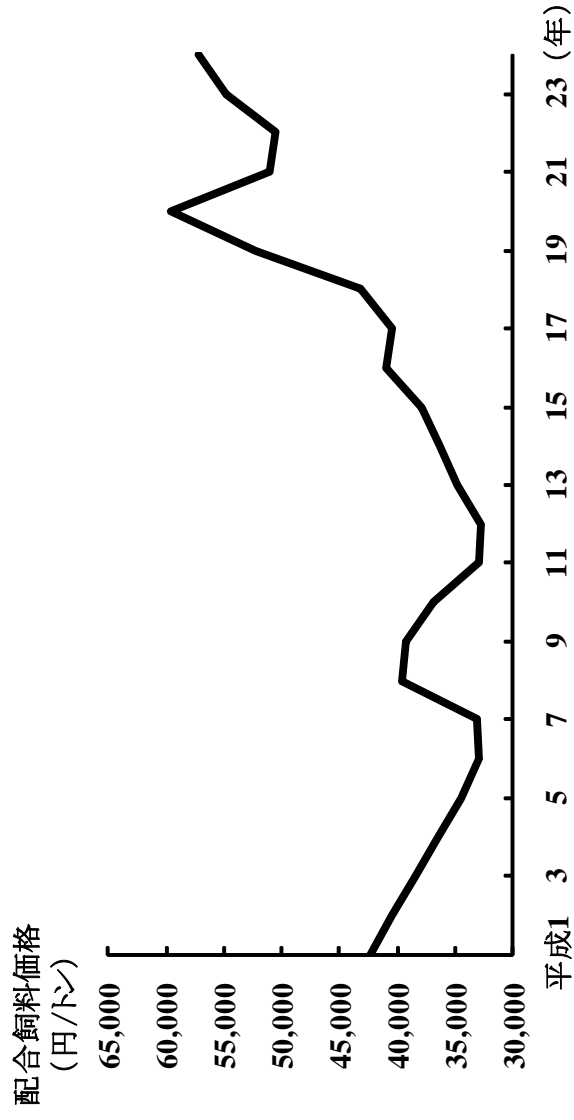


図1-1. 配合飼料価格の推移

農業産業振興機構(2013)より引用。

注: 配合飼料価格は、バラ及び袋物の全畜種の加重平均価格である。

料生産が行われているため、生産コストが低下傾向で推移しており、輸入飼料と比較すると飼料価格の変動が小さい(農林水産省 2013b)。飼料を自家栽培する場合、飼料生産費の削減や品質調整を生産者自身で行うことが可能である。飼料畑や草地は家畜糞尿由来の堆肥の還元先となるため、家畜排せつ物の適切な処理・活用を促進すると共に、資源循環型の農業生産体系の核となりうる。

これまで述べてきたように、輸入飼料と自給飼料の有利な点と不利な点は相対するため、自給飼料を積極的に利用し、輸入飼料への依存度を減らすことで、経営の安定化を図りながら、現行の畜産業が抱える様々な問題に対処することが可能になると考えられる。ただし、自給飼料生産のコスト削減のためには、一定規模の土地や機械、貯蔵施設、労働力が必要である。このため、狭隘な国土を持つ日本に合致した自給飼料生産体系の構築が進められている。現在、各地で展開されている自給飼料増産のための具体的な取り組みとしては、水田における飼料作物の生産、他の耕種作物の作付体系への飼料作物の導入、耕作放棄地や野草地への飼料作物の作付あるいは放牧利用、コントラクターや TMR センターの活用による飼料生産に関する作業の委託などが挙げられる。また、短期間で高い栄養収量が得られるトウモロコシやソルガムといった長大作物の栽培利用も推進されている(農林水産省 2013d)。

4. ソルガム属 (*Sorghum* spp.) 草種の利用

トウモロコシと共に自給飼料増産を目的とした取り組みの中で作付けが推進されているソルガム属 (*Sorghum* spp.) のうち、現在日本で栽培されている草種は、ソルガム (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) とスーダングラス (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) の 2 種である。両草種はエチオピアあるいはスーダン付近が原産地とされる 1~短年生作物で、高温下における生育速度が速く、多収で、優れた環境適応性と高い再生能力を有する (Pederson・Rooney 2004; Skerman・Riveros 1990)。また、遺伝形質の変異幅が広く、形態や生態的特性の多様さも大きな特徴であり、改良品種の開発も盛んであることから、本来の遺伝的変異と新品種の増加により目的や用途に応じた品種の選択が可能である (Pederson・Rooney 2004; Skerman・Riveros 1990) という利点をもつ。

現在、国内では北海道と一部の府県を除く 44 都府県において栽培されており、平成 24 年の全国におけるソルガムの作付面積は、1 万 7 千 ha、収穫量は 89 万 7 千 t である。都府県別に収穫量割合をみると、宮崎県、鹿児島県、長崎県、熊本県および大分県の上位 5 県が全体の 66% を占めており (農林水産省 2013e)、気候が温暖な九州地域での栽培が盛んであることがわかる。しかしながら、本研究が行われた沖縄県ではソルガム属の栽培利用はほとんど行われていない。

5. 沖縄県の畜産とソルガム属草種の導入

沖縄県の農業産出額において最も高い構成比(17.0%)を示している種目は繁殖を主体とした肉用牛であり、肉専用種繁殖経営は本県の基幹産業である(内閣府沖縄総合事務局 2013)。肉専用種繁殖経営では給与飼料中の粗飼料割合が66%(農林水産省 2009a)と高いため、より安価で安定した品質の粗飼料を継続的に確保することが重要な課題となっている。沖縄県は本邦で唯一亜熱帯地域に属しており、豊富な日射量と1年を通じて高い気温環境にある。このような気象条件下で高い生産性を示す暖地型牧草を栽培することで、単位面積当たりでは、全国水準の約3倍の牧草生産量(農林水産省 2013e)を確保しており、これらが本県における粗飼料生産の基盤となっている。この粗飼料生産基盤の維持・拡大のため、本県内においてもコントラクターの導入や適草種の利活用、耕作放棄地や未利用地および耕種作物の休閑期における飼料作物の栽培利用等が推進されている(農林水産省 2009b)。沖縄県の主要畑作物は約19,000haの作付面積(うち収穫面積は約12,000ha)のサトウキビである(沖縄県農林水産部 2011)。サトウキビの作付方法には、12月から2月の収穫後、速やかに植付けする春植、7月から9月に植付けする夏植、さらに収穫後に根茎から萌芽(再生)させる株出の3つの方法があり、そのうち、夏植の収穫面積は43%を占めている(沖縄県農林水産部 2011)。サトウキビの夏植の場合、収穫後、7月から9月の植付けまでの期間を休閑期とするの

が一般的である。自給飼料を確保するため、サトウキビ等の耕種作物の休閑期を利活用したソルガム属草種の短期的な栽培利用が考えられる。

ソルガム属草種は、生育の速さや単位面積当たりの生産性の高さ、さらに1～短年生であるため草地の更新が容易であることに加え、隣接する他の耕種作物に対して強害雑草となり難いといった利点から、一時的あるいは短期的な作付利用に適した草種であると考えられる。しかしながら、本県における飼料作物作付面積に占めるソルガム属草種の割合は0.6%（内閣府沖縄総合事務局 2013）と極めて低く、また、栽培利用に関する知見は少ない（松田ら 1968；仲里ら 1968；Tesarら 1969；玉代勢・福地 1976；福地ら 1986；森山ら 1989；森山・池田 1993）。沖縄県でソルガム属草種のような長大作物の栽培が普及しにくい理由として、永年生暖地型牧草の栽培体系が既に確立されていることに加え、本県が台風の常襲地域であることが挙げられる。一方で、森山ら（1989）は播種期によっては台風被害を回避し高収量を得ることが可能であることを報告している。従って、ソルガム属草種の栽培利用は、作付け期間を考慮し、牧草の造成が困難な未利用地や耕種作物の休閑期を活用することで、本地域における自給粗飼料生産の新しい選択肢になり得ると考えられる。今後、沖縄県で本草種の導入および利用の拡大を図るためには、本地域におけるソルガム属草種の栽培利用技術に関する知見を集積し、栽培利用体系を確立する必要がある。

6. ソルガム属草種の利用上の問題点

ソルガム属草種の栽培利用上の課題として、生育初期に高濃度の青酸化合物を含有することが挙げられる。青酸化合物の大部分は、シアノ基と糖質分子が結合した青酸配糖体 (Dhurrin) の形態で存在しており、この状態では無毒である。しかしながら、放牧家畜による採食や採草の際の切断等によって細胞が破壊されると、表皮細胞内に蓄積されている青酸配糖体に葉肉細胞中の加水分解酵素が作用し、加水分解された後、有毒成分であるシアン化水素 (Hydrogen cyanide: HCN) として遊離する。この潜在的 HCN である青酸化合物 (Hydrogen cyanide potential: HCNp) を高濃度で含有する飼料を摂取すると、めまい、ふらつき、痙攣、呼吸困難等の障害を引き起こし、重篤の場合は死に至る (Léemann AC 1935; Conn EE 1980)。HCN に対する動物の反応性は様々であるが、反芻家畜は特に感受性が強く、体重 1kg 当たり約 2mg が致死量とされている (Clawson ら 1934; Coop・Blakley 1950; Moran 1954)。このため、ソルガム属草種を利用する際は、家畜に青酸中毒を発生させないように留意する必要がある。HCN に関する研究は 1900 年代初頭から数多く行われており、先行研究により明らかになった知見は Willaman・West (1915), Léeman (1935), Boyd ら (1938), Wheeler・Mulcahy (1989) らの報告に詳しい。一方、国内における報告は散見される程度 (下浦・西村 1953; 森田 1967, 1968; 犬山・加治 1969; 相井 1973; 吉田ら 1997) であり、沖縄県ではソルガム

属草種を用いた栽培試験例はあるが、いずれも HCNp の調査は行われていない。

7. ソルガム属草種の放牧利用

ソルガム属草種における HCNp 以外の栽培利用上の課題として、長大作物であるため短草型の牧草と比較して多大な労力が必要とされる点が挙げられる。本草種の国内での主な利用方法である青刈りやサイレージなどの採草利用を行うためには、収穫や飼料調製に対する対応の機械化が要求される。一方、牧草地を家畜に直接利用させる放牧は、物財費と労働時間の削減による低コスト生産および省力化が可能であることが示唆されている(千田 2006;小迫 2008)。現在、ソルガム属草種の放牧利用は主に米国や豪州などで行われており、複合農業経営にとって欠かせないものとして認識されている(Radford ら 2008)。国内でも、放牧適草種の選定試験で嗜好性の良さを示し(名田 1985)、放牧利用も可能であることが示唆されてきたが、実際に国内における放牧利用の事例はなく、研究例も極めて少ない(進藤ら 2008;手島ら 2010;佐々木 2013)。

ソルガム属草種の放牧利用の際は、前述したように放牧家畜に青酸中毒を発生させないように留意する必要があるが、Boyd ら(1938)は、HCNp 濃度が高い生育初期や干ばつ直後は放牧を避けること、選択採食を防ぐために放牧強度を強め輪換放牧を行うことなどを提言して

いる。しかしながら、国内はもとより国外においてもソルガム属草種を用いた放牧に関する報告は限られており(Boydら1938;Cunningham・Ragland1971;Darrell・David1995;Frenchら1988a,1988b;Kösterら1992;Mulcahyら1992;Radfordら2008;Fláviaら2011;Fonsecaら2012),特にHCNpを考慮した放牧管理技術の知見に乏しい。これらのことから、本地域における放牧利用の可能性を検討すると共に、青酸中毒のリスクを最小限に抑え、草地生産性を高める放牧管理技術を確立する必要があると考えられる。

本研究では、沖縄県におけるソルガム属草種の生産性や生育特性を明らかにし、栽培利用上の課題であるHCNpを考慮した栽培利用方法と放牧利用について検討を行い、限られた土地資源を有効活用する飼料作物生産および放牧による利用体系の確立を目的としている。

第 2 節 研究の構成

本研究では、始めに、沖縄県におけるソルガム属草種数品種の生産性と栄養価を評価した。続いて、生産性、栄養価および HCNp 含量の推移から利用適期を検討し、追肥による影響を明らかにした。次に、放牧試験を実施し、放牧草地としての生産性の評価を行うと共に、放牧強度が採食利用率に及ぼす影響について検討した。さらに、栽培試験により、異なる生育段階における各種成分の垂直分布を明らかにした。次に、異なる放牧強度条件下での採食利用率、群落構造における採食層位と成分摂取量を検討するため、放牧試験を行った。また、異なる草高および放牧強度下における家畜の採食行動と単位時間当たりの HCNp 摂取量、踏み倒し等による草地の損失量を明らかにした。最後に、異なる放牧強度を想定し刈取り高さを変えた栽培試験によって、剪葉高の違いが再生草の乾物生産性、栄養価ならびに HCNp 含量に及ぼす影響について検討した。

すなわち、第 2 章では沖縄県におけるソルガム属草種の生産性と栄養価の評価、第 3 章では栽培利用適期ならびに施肥管理の検討をそれぞれ行った。第 4 章ではソルガム属草種の短期放牧利用の検討、第 5 章では放牧草地における群落構造と放牧強度が家畜による採食様式と成分摂取量ならびに放牧草地の損失量に及ぼす影響についてそれぞれ追究した。第 6 章では剪葉高が再生草の生産性と成分に及ぼ

す影響について検討した。以上のことを踏まえ、第 7 章では、沖縄県におけるソルガム属草種の短期的な栽培体系ならびに放牧利用について総合的に考察した。

第 2 章 ソルガム属数品種・系統の生産性と 栄養価の評価

第 1 節 数品種・系統における生産性の比較

緒 言

高温条件下で高い生産性を示すソルガム属 (*Sorghum* spp.) は、沖縄県における夏季の飼料作物として優良栽培種であることが、Tesar ら (1967) や松田ら (1968) によって既に明らかにされている。また、県内におけるソルガム属草種の知見としては、品種特性の比較 (玉代勢ら 1976; 福地ら 1986)、繁殖法 (仲里ら 1968) や播種期の検討 (森山ら 1989)、早播き栽培とトウモロコシを組み合わせた作付体系 (森山・池田 1993) など栽培管理に関する報告が散見される。一方で、本県では昭和 50 年代から実施されてきた大規模な草地開発事業等により、暖地型牧草を主体とした飼料基盤が確立されており、ソルガム属草種の作付利用は極めて少ない。そのため、最近の 20 年間で新知見は認められない。

ソルガム属草種は遺伝形質の変異幅が広く、近年では高糖分品種や高消化性の bmr 品種といった改良品種の開発も進められているため、形態的・生態的特性が多様化している。本草種を新規に導入・利用するに際しては、先ず当該地域の栽培環境における生産性を評価し、

利用目的に応じた栽培品種を選択する必要がある。本節では、改良品種である bmr ソルガムを含め、近年主流となっている品種を含めた数品種・系統の乾物収量を調査し、各品種・系統の生育特性と気象要因との関係について検討を行った。

材料および方法

試験は琉球大学農学部附属亜熱帯フィールド科学教育研究センター(東経 127 度 76 分, 北緯 26 度 25 分)内の圃場で行った。供試草種としてソルガム属ソルガム(*Sorghum bicolor* (L.) Moench, 以下, ソルガム)13 品種・系統とスーダングラス(*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf, 以下, スーダングラス)5 品種・系統, 対照品種としてトウモロコシ(*Zea mays* L.)1 品種の計 19 品種・系統を用いた(表 2-1)。供試した種子は雪印種苗株式会社(札幌)から提供を受けた。試験区はソルガムおよびトウモロコシでは 1 区当たりの面積を 6m^2 , スーダングラスでは 4.5m^2 とし, 乱塊法を用いてそれぞれ 3 反復で配置した。

2008 年 2 月 19 日に, ソルガムは畦幅 60cm, 播種量 $1.8\text{kg}/10\text{a}$ で, スーダングラスは畦幅 50cm, 播種量 $4.0\text{kg}/10\text{a}$ でそれぞれ条播した。トウモロコシは畦幅 75cm, 株間 20cm で点播した。播種後, 基肥として N, P_2O_5 および K_2O をそれぞれ要素量で 10.0, 5.6 および $7.8\text{kg}/10\text{a}$ 施用した。

試験期間は 2008 年 2 月 19 日から 2008 年 12 月 10 日までとし,

Table 2-1. Tested varieties and strains of *sorghum* spp. in the experiment.

Species	Variety and strain name	Abbreviation	Type ¹
Sorghum	Snow brand hybrid sorgo	Hy	S
	High grain sorgo	Hg	S
	072183	072183	S
	Sanjaku sorgo	H3	G
	High sugar sorgo	So-hs	S
	Kazetachi	So-kt	S
	SSR5	SSR5B ²	SS
	SSR6	SSR6B	SS
	072180 bmr	180B	SS
	072181 bmr	181B	SS
	072009 bmr	009B	S
	SSR7bmr	SSR7B	SS
	072177 bmr	177B	G
Sudangrass	Hay sudan	Hay	SG
	S301	S301	SG
	072028bmr	028B	SG
	S804bmr	S804B	SG
	S302bmr	S302B	SG
	Snow dent 118	Co118	-

¹ S: Sorgo type, G: Grain type, SS: Sorghum x Sudangrass hybrid type, SG: Sudangrass.

² B of the end of mark means bmr variety or strain.

同年 6 月 5 日に初回の調査として 1 番草の刈取りを行い、以降 28-35 日の間隔で計 4 回、4 番草まで刈取り調査を行った。刈取りは地際から 10-15cm の高さで 1m 畦長について行い、調査後は全区画を高さ 10-15cm で掃除刈りし、基肥と同量の要素量で追肥を施用した。刈取った試料は 70℃で 48 時間通風乾燥した後、乾物重量を測定し、乾物率および乾物収量を求めた。

試験期間中の気温と降水量は、沖縄気象台那覇観測所の値（気象庁 2008）を用いた。

統計処理は統計パッケージソフト Stat view J-5.0 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA) を用いて品種間の分散分析を行った後、Tukey-Kramer 法で多重比較検定を行った。

結 果

1. 気象条件

試験期間中の気象要因の推移を図 2-1 に示した。2008 年の平均気温は平年並み、降水量はやや低い傾向を示した。平均気温と平均全天日射量は共に 2 番草の生育期間中に最も高い値を示し、それぞれ 28.5℃と 21.3MJ/m²であった。また、同期間中の積算降水量は、1～4 番草の各生育期間中、最も少ない 125.5mm であった。

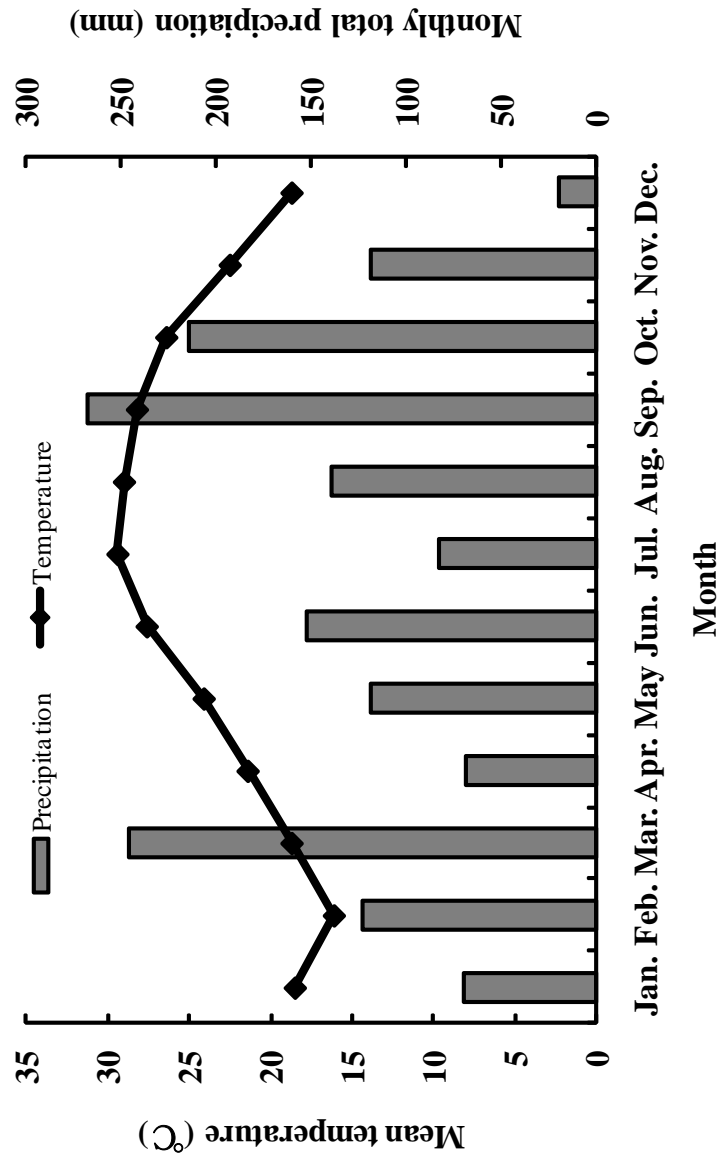


Fig. 2-1-1. Meteorological condition during the experimental period in 2008.

Table 2-2. Total dry matter (DM) yield during the experimental period.

Variety • strain	DM yield (kgDM/10a)
Hy	3893.2 ± 678.1 ^A
072183	3549.9 ± 1139.0 ^{AB}
Hg	3484.3 ± 7671.0 ^{AB}
So-kt	3433.8 ± 306.4 ^{AB}
181B	3357.7 ± 628.0 ^{AB}
Hay	3264.7 ± 592.9 ^{AB}
180B	3248.1 ± 375.2 ^{AB}
So-hs	3222.2 ± 115.1 ^{AB}
S301	3190.1 ± 379.1 ^{AB}
SSR5B	3113.8 ± 511.0 ^{AB}
SSR6B	3088.1 ± 415.0 ^{AB}
H3	2724.8 ± 202.1 ^{AB}
SSR7B	2427.2 ± 337.8 ^{AB}
177B	2386.4 ± 427.6 ^{AB}
S302B	2344.7 ± 298.5 ^{AB}
S804B	2208.7 ± 1021.6 ^{AB}
009B	2079.4 ± 334.9 ^B
028B	2068.0 ± 379.4 ^B
Co118	541.1 ± 67.3

Mean value with different superscript within the same column differ significantly (p<0.05).

Total DM yield showed in descending order.

Refer to Table 1. for the abbreviation of each varieties and strains.

2. 乾物収量

4回の刈取りにおける合計乾物収量を表 2-2 に示した。合計乾物収量は 2068.0-3893.2kg/10a の範囲にあり、最も高い値を示した Hy と最も低い傾向を示した 028B および 009B との間に有意な差が認められた ($p < 0.05$)。bmr 品種の乾物収量は、全品種・系統の中では低い傾向を示したが、181B, 180B, SSR5B および SSR6B では比較的高い傾向を示した。スーダングラス品種・系統の乾物収量はソルガム品種・系統と比較して低い傾向を示したが、Hay と S301 ではソルガム品種・系統とほぼ同等の乾物収量を示した。

刈取り回次毎の乾物収量を図 2-2 に示した。刈取り回次毎の乾物収量は Hay と 028B を除く全ての品種・系統において 2 番草で最も高くなる傾向を示し、その後刈取り回次が進むにつれ減少する傾向を示した。特に、4 番草の乾物収量の減少は著しく、ソルガム品種・系統では枯死する個体もみられた。スーダングラス品種・系統の Hay と 028B については、3 番草の乾物収量が 2 番草よりも高い値を示した。1 番草の乾物収量を対照品種のトウモロコシ Co118 と比較すると、供試したソルガム全 13 品種・系統中、7 品種・系統で同等もしくは同等以上の乾物収量を示した。一方、スーダングラス全 5 品種・系統では Co118 より低い傾向を示した。

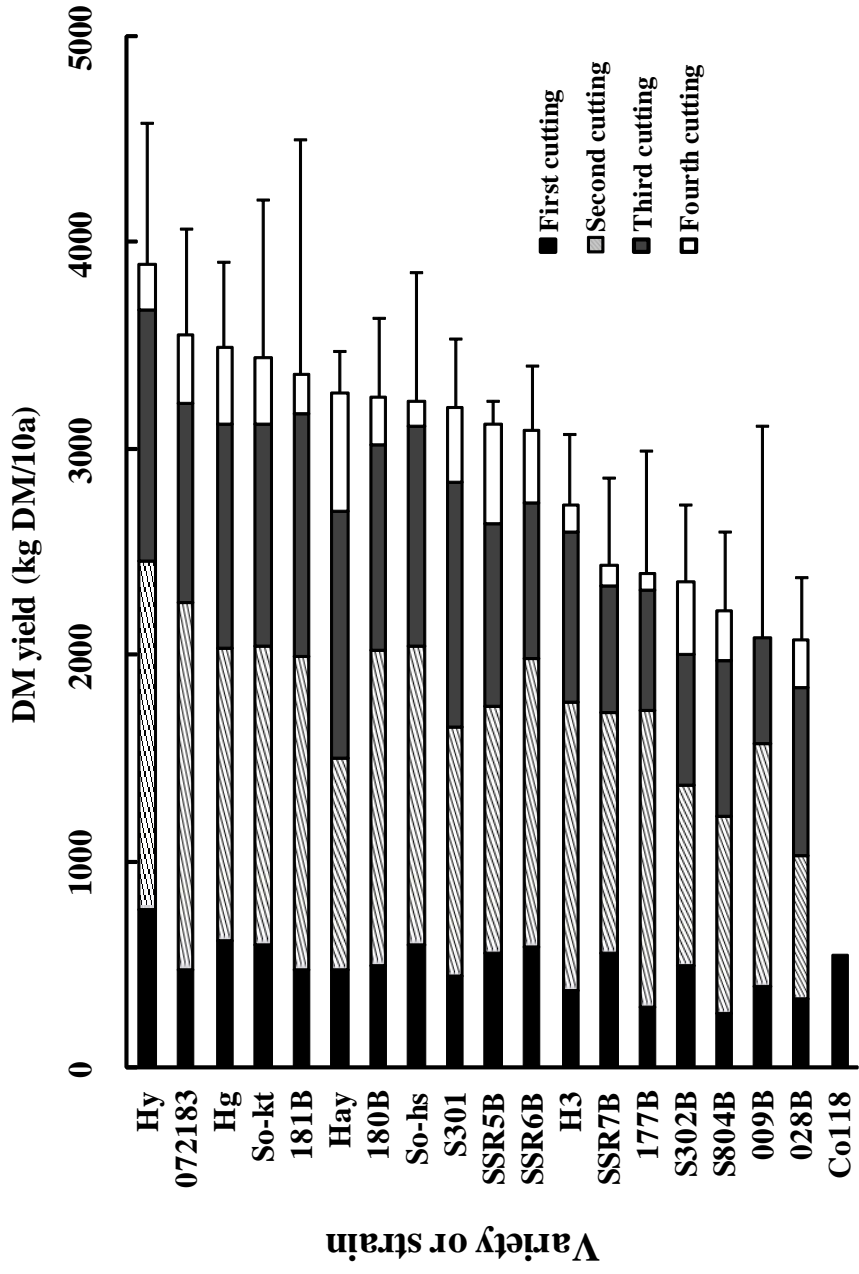


Fig. 2-2. Dry matter (DM) yield at each cutting time.

DM yield showed in descending order of total DM yield.

Refer to Table 1. for the abbreviation of each varieties or strains.

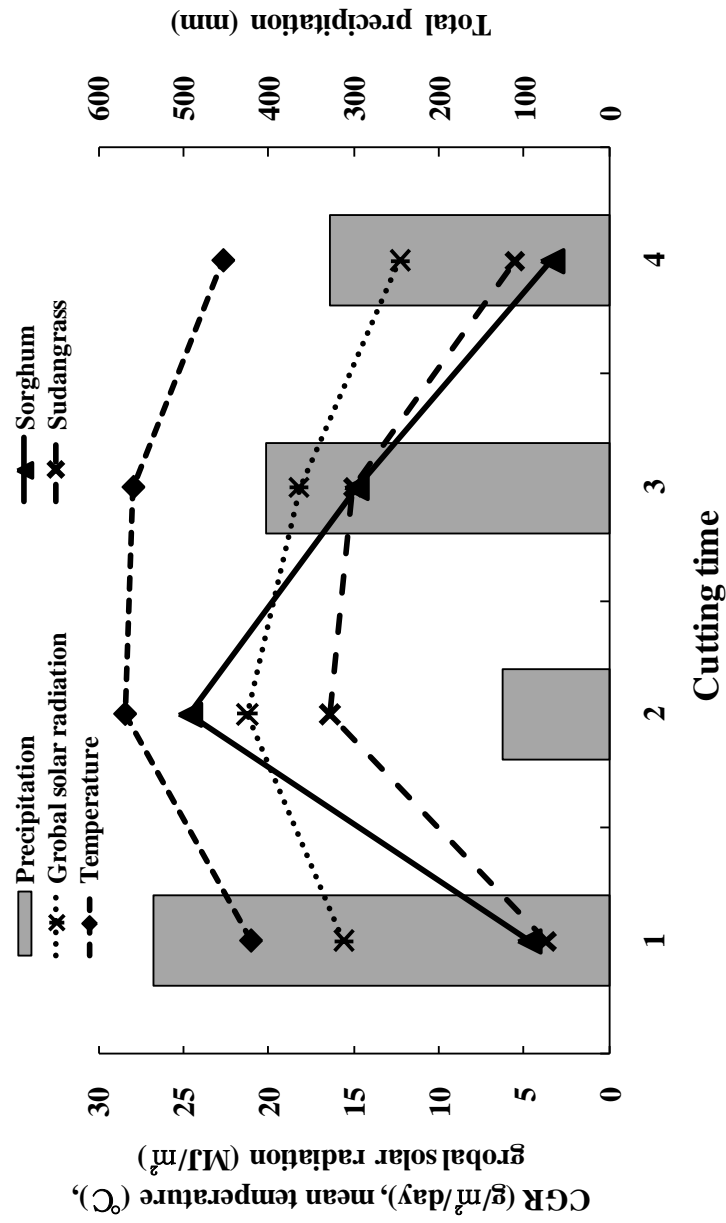


Fig. 2-3. Changes of CGR and meteorological factor at each cutting time.

3. CGR と気象要因との関係

刈取り回次毎の日乾物生産量 (Crop Growth Rate, 以下, CGR) と気象要因の推移を図 2-3 に示した。CGR は 2 番草で最も高く, 刈取り回次が進むにつれ低くなる傾向を示した。また, 刈取り回次毎の CGR の推移は草種間で傾向が異なり, ソルガム品種・系統の CGR は大きく変動したのに対し, スーダングラス品種・系統の変動は緩やかであった。草種毎に CGR の変動係数を算出したところ, 1 番草から 4 番草までの CGR の変動係数はソルガム品種・系統で 0.80, スーダングラス品種・系統で 0.67 となった。また, 刈取り回次間では, ソルガム品種・系統は 1 番草から 2 番草で 0.80, 2 番草から 3 番草で 0.37, 3 番草から 4 番草で 0.77 となり, スーダングラス品種・系統はそれぞれ 0.75, 0.33 および 0.60 となった。CGR と気象要因との相関係数を表 2-3 に示した。ソルガム品種・系統は 3 つの気象要因のうち全天日射量と最も高い正の相関を示し ($p < 0.05$), スーダングラス品種・系統は日平均気温と最も高い正の相関を示した ($p < 0.01$)。また, 両草種共に有意性は認められなかったが, 積算降水量との間に高い負の相関を示した。

考 察

本試験で供した 1 番草と 2 番草の合計乾物収量は, 沖縄県で実施されたソルガム (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) の早播き (2 月播種) 栽培における 1 番草および 2 番草の合計乾物収量

Table 2-3. Pearson's correlation between crop growth rate (CGR, g/m²/day) of regrowth plant and meteorological factors on each species.

	Correlation (r)	
	sorghum	Sudangrass
Total precipitation (mm)	-0.7536	-0.6720
Mean daily temperature (°C)	0.9109	0.9974 **
Mean daily global solar radiation (MJ/m ²)	0.9516 *	0.8553

***p<0.05, **p<0.01,**

893-3062kgDM/10a(森山・池田 1993)の範囲内にあった。また、試験期間中の合計乾物収量を本県の奨励品種で最も作付面積の広いローズグラス(品種カタンボラ)の年間乾物収量 1800-3600kgDM/10a(望月ら 2005)と比較すると、ほぼ同等もしくはこれより高い乾物生産性を示した。合計乾物収量中に占める刈取り回次毎の累積収量割合は 1 回目で約 16%、2 回目までの累積収量で約 60%、3 回目までの累積収量では約 90%となり、6 ヶ月から 8 ヶ月の短期間で、県の基幹草種における年間収量とほぼ同等の収量を得られることが示された。草型別で見ると、ソルゴー型およびソルガムとスーダングラスの交雑種であるスーダン型が合計乾物収量の上位を占めており、スーダングラスと子実型の H3 および bmr 品種は低い傾向にあった。ソルゴー型の乾物収量やその他の形態的な変異は他の草型と比較して大きい(細谷ら 1999)ことが明らかにされているが、本試験で供したソルゴー型の品種・系統はほぼ同等の高い乾物生産性を示したことから、収量性の高い品種・系統が多く含まれていたと考えられた。ソルゴー型と共に高い収量性を示したスーダン型では、供試した品種・系統の全てが bmr 品種であった。これらの品種は高い消化性を有する(Grant・Haddad 1995; Oliver ら 2004; Marsalisら 2010)一方で、耐倒伏性や低収量、総合的な適応性に課題があるとされる(Chaslerら 2003; Oliverら 2005; Pedersenら 2005)が、供試したスーダン型 6 品種・系統のうち、4 品種・系統で比較的高い乾物収量を示した。Beck(2007)は bmr 品種の低収量を報告すると

同時に、刈取り時の生育段階が対照とした通常の品種より遅延することを指摘しており、bmr 品種の乾物収量が穂ばらみ期の後半で増加することを予測している。本試験で供したスーダン型品種・系統では、刈取り時に出穂しているものが多くみられ、生育段階が十分に進んでいたことにより高収量が得られたと考えられる。スーダングラスでは bmr 品種の乾物収量が低い傾向を示し、既報と一致した。しかし、bmr 品種以外の 2 品種・系統の乾物収量はソルガムと同等の高い値を示し、同草種は品種間の変異が最も低い(細谷ら 1999)という報告と合致しなかった。また、供試した子実型 2 品種・系統の 4 回目の刈取りにおける乾物収量は全品種・系統の中でも特に低い傾向を示し、子実型は再生力に劣るとされる知見(川鍋 1989)と同様の結果となった。本試験では、各草型における乾物収量の特性が既報と必ずしも一致しなかったが、この要因として、播種期、早晩生および刈取り回数が異なることや、同品種でも栽培年次によって収量が大きく変動する(福地ら 1986; 森山・池田 1993)ことから、気象要因の違いが推察された。

刈取り回次毎の CGR の変動をみると、2 番草の CGR が最も高い傾向を示した。2 番草の生育期間中の平均気温と平均全天日射量は 1 ~4 番草の各生育期間中で最も高かったことから、ソルガム属草種の夏季の高温・強光条件下での生産能力の高さを証明した。CGR の推移は 2 草種間で異なる傾向を示し、2 番草以降のスーダングラス品種・系統の変動係数はソルガム品種・系統と比較して小さく、すなわち再生草

の乾物生産量の変動が少なかった。このことから、スーダングラス品種・系統はソルガム品種・系統と比較して最盛期の乾物収量は低い、刈取り毎の収量変動が少なく安定した生産力を有することが示された。ソルガムは短日植物であるが、感光性および感温性の程度は品種によって著しく異なり(川鍋 1989)、スーダングラスは日長や温度に対する反応が鈍感で、スーダン型品種も同様の傾向を示す(松浦 1990)とされる。供試品種・系統について CGR と気象要因との関係性を検討したところ、その特性はソルガムとスーダングラスの草種で大別され、それぞれ全天日射量と日平均気温との間に最も強い相関関係が認められた($p < 0.01$)。すなわち、供試したソルガム品種・系統では感光性品種、スーダングラス品種・系統では感温性品種が多いことが推察され、このことが CGR の推移の違いをもたらしたものと考えられた。また、両草種共に積算降水量と負の相関関係を示したが、これは全生育期間中最も積算降水量が少なかった 2 番草の乾物収量が最も高い傾向を示したためであり、このことはまた、本草種の比較的高い耐旱性を示していると考えられた。以上より、ソルガム属草種は本邦の他の地域と比較して平均気温が高く、日射量が豊富な沖縄県の栽培環境に適応していることが示された。また、本草種の生産性が最も発揮される高温期での短期的な利用で、効率的に飼料生産を行うことができると考えられた。

第2節 数品種・系統における栄養価の比較

緒 言

前節では、沖縄県におけるソルガム属草種の生育特性を乾物生産性および気象要因との関係から検討した。その結果、ソルガム属草種は本県の栽培環境下で高い乾物生産性を示し、特に夏季の高温下では短期間で高収量を得られることが明らかになった。しかしながら、家畜生産性を高めるためには栄養価についても検討する必要がある。また前節でも述べたように、ソルガム属草種は遺伝形質の幅広さと新品種の増加から、目的や用途に応じた品種の選択が可能である。近年では、飼料価値の観点から、植物体中の不消化成分であるリグニンの生成を抑制する *bmr* 遺伝子を持つ高消化性品種である *bmr* ソルガムが注目されている。

本節では、前節で得られた試料について *in vitro* 乾物消化率（以下、IVDMD）と粗タンパク質含有率（以下、CP）の分析を行い、乾物収量、形態的特性および病害耐性と併せて総合的な評価を行った。

材料および方法

本試験で用いた試料は、前節で得られた各品種・系統の収穫物である。収穫物は 70℃で 48 時間通風乾燥し、乾物重量を測定した後、1mm の篩を通るよう粉碎した。IVDMD はペプシン・セルラーゼ法（Goto・

Minson 1977)により分析を行った。CPはケルダール法によって測定した窒素量に6.25を乗じて求めた。また、乾物収量にIVDMDとCPをそれぞれ乗じて、可消化乾物収量とCP収量を求めた。次に、形態的特性を把握するため、1回目の調査時に収穫物の茎数を計測し、草高と稈径を各5点測定した。収穫物の一部は葉と茎に分別し、前節と同様の方法で乾物試料とした後、葉茎比を算出した。さらに、栽培期間の後半にはさび病の症状がみられたため、3回目と4回目の刈取り時に1～9までの9段階による評点法を用いて病害調査を行った。

統計処理は統計パッケージソフト Stat view J-5.0 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA)を用いて品種間の分散分析を行った後、Tukey-Kramer法で多重比較検定を行った。供試品種・系統の総合評価には主成分分析を適用し、計算にはエクセル統計 2006 for Windows(株式会社 社会情報サービス, 東京)を用いた。

結 果

供試品種・系統の栄養特性を表 2-4 に示した。IVDMD は42.8-61.0%の範囲にあり、最も高い値を示した177Bと最も低い値を示した028Bとの間に有意な差が認められた($p < 0.01$)。177Bの他に009BやSSR7Bなどのbmr品種でIVDMDが特に高い傾向を示し、bmr品種以外では072183やHyで高い傾向を示した。可消化乾物収量については883.4-2117.9kg/10aの範囲にあり、Hyと028Bとの間に有意

Table 2-4. *In vitro* dry matter digestibility (IVDMD), digestible dry matter (DM) yield, crude protein content (CP) and CP yield on each variety or strain of *Sorghum* spp.

Variety, strain	IVDMD (%)	Digestible DM yield (kg/10a)	CP (%)	CP yield (kg/10a)
Hy	54.5 abc1	2117.9 A2	5.3	202.9 AB
072183	57.2 abc	2028.9 AB	4.9	171.7 AB
Hg	47.8 bcde	1668.4 AB	6.3	217.2 AB
So-kt	48.4 cde	1666.0 AB	6.8	235.5 A
181B	53.8 abc	1825.0 AB	5.8	194.3 AB
Hay	43.2 e	1406.6 AB	5.9	190.7 AB
180B	50.1 bed	1618.2 AB	5.8	187.2 AB
So-hs	51.3 cde	1650.5 AB	6.2	198.8 AB
S301	46.3 cde	1475.6 AB	5.8	184.8 AB
SSR5B	48.7 cde	1489.7 AB	5.4	164.1 AB
SSR6B	50.3 cde	1551.2 AB	5.5	169.6 AB
H3	51.9 bcde	1388.2 AB	7.0	186.6 AB
SSR7B	57.1 ab	1371.7 AB	6.4	153.5 AB
177B	61.0 a	1426.5 AB	5.9	135.6 B
S302B	51.0 abc	1183.6 AB	6.0	141.0 B
S804B	53.7 bcde	1169.8 AB	6.3	138.2 B
009B	58.6 abc	1224.0 AB	5.6	114.7 B
028B	42.8 de	883.4 B	6.1	125.9 B
Co118	64.8	351.5	5.6	139.9

¹ Mean values with different small letter within the same column differ significantly ($p < 0.01$).

² Mean values with different capital letter within the same column differ significantly ($p < 0.05$). The order of variety or strain showed in descending order of total DM yield.

Refer to Table 1. for the abbreviation of each variety and strain.

な差が認められた($p < 0.05$)。CPは4.9-7.0%の範囲にあり、品種・系統間に有意な差はみられなかった。CP収量は品種・系統間に有意な差が認められ($p < 0.05$)、乾物収量ならびにCPで高い傾向を示したSo-ktが最も高くなった。

供試品種・系統の形態的特性と病害程度を表2-5に示した。形態的特性は全ての項目で品種・系統間に有意な差が認められた($p < 0.01$)。葉茎比の高い品種・系統では、草高が低く、CPは高い傾向を示した。病害程度についても品種・系統間に有意な差が認められ($p < 0.01$)、乾物収量が最も高い傾向を示した072183とHyは病害程度では最も低い傾向を示した。また、栄養価が高い傾向を示した品種・系統では病害程度もまた高い傾向を示した。

乾物収量、栄養価および形態的特性を要素として主成分分析を行い、その結果を表2-6および2-7、図2-4に示した。第2主成分までの累積寄与率は99.9%の値を示したため、これにより第1主成分を横軸、第2主成分を縦軸として分布図を作成した。第1主成分の説明変数は乾物収量を示し、第2主成分の説明変数は収量変動、IVDMD、形態的特性および病害程度が挙げられた。

考 察

本試験で供したソルガム属草種の全品種・系統の栄養価を沖縄県の基幹草種であるローズグラス(カタンボラ)の平均IVDMD48.1%(花ヶ

Table 2-5. Plant height, leaf/stem ratio, stem diameter, number of tiller, dry matter (DM) content and disease level.

Variety, strain	Plant height (cm)	Leaf /stem ratio	Stem diameter (mm)	Number of tiller	DM content (%)	Disease level (1-9)
Hy	229.2 ab1	0.2 e	12.4 abcde	19.4 ab	20.0 cdef	2.2 de
072183	191.3 c	0.3 cde	11.1 bcdef	15.0 ab	20.4 bcdef	1.8 e
Hg	188.4 b	0.3 bcde	9.8 cdefg	26.7 ab	20.9 bcdef	3.7 abcde
So-kt	195.3 b	0.5 abc	16.8 a	14.4 ab	18.3 ef	4.7 abcde
181B	240.9 ab	0.3 abcde	10.8 bcdefg	19.4 ab	21.8 abcde	5.5 abc
Hay	242.8 ab	0.3 cde	5.2 g	57.3 a	25.2 a	4.7 abcde
180B	247.6 a	0.3 cde	10.8 bcdefg	20.6 ab	21.1 bcdef	5.3 abc
So-hs	205.0 ab	0.5 abcd	11.6 abcdef	18.3 ab	17.8 f	4.8 abcde
S301	203.5 b	0.4 abcde	6.7 efg	56.0 ab	20.0 cdef	6.0 ab
SSR5B	246.0 ab	0.2 e	10.2 bcdefg	22.8 ab	24.0 ab	5.5 abc
SSR6B	237.6 ab	0.3 de	9.5 cdefg	26.7 ab	22.1 abcd	5.0 abcd
H3	128.3 b	0.6 ab	15.7 ab	8.3 b	23.2 abc	5.5 abc
SSR7B	185.5 b	0.6 a	14.6 abc	15.6 ab	18.0 f	2.7 cde
177B	192.6 b	0.5 abcde	12.8 abcd	8.3 b	20.6 bcdef	3.0 bcde
S302B	208.2 ab	0.3 cde	6.7 efg	40.0 ab	22.5 abc	6.2 a
S804B	177.4 b	0.5 abc	7.4 defg	22.0 ab	18.6 def	3.5 abcde
009B	191.7 c	0.4 abcde	11.8 abcdef	9.4 ab	21.2 bcdef	3.3 abcde
028B	215.3 ab	0.3 e	6.1 fg	33.3 ab	23.3 abc	6.2 a
Co118	173.1	0.3	15.8	9.8	19.8	

¹ Mean values with different small letter within the same column differ significantly ($p < 0.01$).

Each value showed in descending order of total DM yield.

The order of variety or strain showed in descending order of total DM yield.

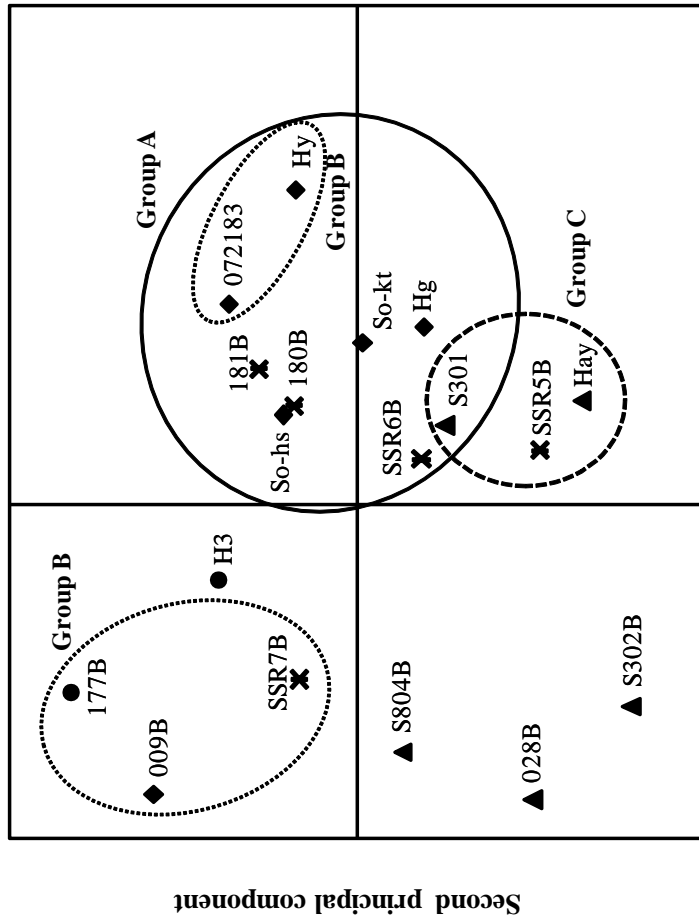
Refer to Table 1. for the abbreviation of each variety and strain.

Table 2-6. Eigenvalue, contribution and cumulative contribution of each principal component.

Component	Eigenvalue	Contribution (%)	Cumulative contribution (%)
1	299696.14	99.89	99.89
2	288.46	0.10	99.99

Table 2-7. Eigenvectors of each principal component.

	Principal component	
	1st	2nd
Total amount of dry matter yield	0.99997	0.00724
Coefficient of variation of yield	-0.00695	0.92165
Dry matter content	-0.00016	-0.06079
Leaf/stem ratio	-0.00009	0.00376
Number of tiller	0.00227	-0.30570
Stem diameter	0.00103	0.13947
<i>In vitro</i> dry matter digestibility	-0.00175	0.17880
Crude protein content	-0.00024	-0.00067
Desease level	-0.00036	-0.04383



First principal component

Fig. 2-4. Distribution of sorghum spp. varieties by principal component analysis of total dry matter (DM) yields, *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD), crude protein content (CP) and other morphological and physiological components.

◆ : Sorgo type (n=6), ● : Grain type (n=2), X : Sorghum x Sudangrass hybrid type (n=5), ▲ : Sudangrass type (n=5). The scatter diagram was made with 2 principal components. Refer to Table 2-7. Nine variables were used ; Total DM yield, IVDMD, CP, Leaf and stem ratio, disease resistance, stem diameter, DM content, number of tiller and coefficient of variation in DM yield during the experimental period.

崎ら 2006)と比較すると、スーダングラスの 3 品種・系統でこの値より低くなったのを除き、同等もしくは同等以上の値を示した。また、CP は全品種・系統で前出したローズグラス(10.4%)よりも低い傾向を示した。本試験では全品種・系統について一斉に刈取りを行ったため、早晚生の違いから収穫適期を逃した品種・系統もあったことが推察される。このため、品種・系統によっては、収穫適期での刈取りにより IVDMD および CP の増加が期待できると考えられた。栄養収量を本試験と収穫時期を同じくするローズグラス(可消化乾物収量:857kgDM/10a, CP 収量:201kgDM/10a, 花ヶ崎ら 2006)と比較すると、可消化乾物収量は全品種・系統でこれより高い値を示したが、CP 収量は同等もしくはこれより低い値を示した。暖地型イネ科牧草が高い生産性を発揮するためには高温条件が必要であるが、生育中の温度の上昇は成熟を促進し、これに伴い消化率は減少する(Ivory ら 1974)。また、川本 (1998)は南西諸島で栽培された 2 種の暖地型牧草の生育温度と栄養価の変動について検討し、IVDMD は平均生育温度が 1℃上昇するに伴い約 1-2%、CP では 0.1-0.3%それぞれ低下したと報告している。これらの報告は、本地域において夏季に高い栄養収量を確保することの困難さを明示している。本試験で供したソルガム属草種は夏季高温下で高い可消化乾物収量を示した。また、黒毛和種の繁殖牛を対象とした場合、要求される飼料中養分含量は、可消化養分総量(以下、TDN)が 50%、CP は 12%である(農業・食品産業技術総合研究機構 2009)。Minson ら

(1976) および Goto・Minson (1977) によって示された関係式 ($TDN=0.683 \times IVDMD+21.077$) を用いて TDN が 50% となる時の IVDMD を求めると 42.3% となり、全品種・系統でこの値より高く、本草種の高い TDN 供給量が示された。また、ソルガムの収穫適期(出穂～糊熟期)の CP は 6-7%、スーダングラスは 10% 程度(細谷ら 1988)と、推奨される CP に対して低いことが示されている。本試験でのソルガムの CP は細谷ら(1988)による報告と同等、スーダングラスではこれより低い値であった。

主成分分析の結果より、第 1 主成分では乾物生産性の高低、すなわち、沖縄県の栽培環境下での生育能力の指標を示していると解釈された。正方向では茎部割合を増すが高収量であると考えられる。第 2 主成分は形態的あるいは生理的な草種特性を示していると捉えられる。正方向では、稈径が太く分けつが少ないソルゴー型の形態的特性を有し、消化性が高い品種・系統が分布し、負方向では、稈径が細く分けつが多いスーダン型あるいはスーダングラスの特性を持ち、収量変動が小さく再生力が高い品種・系統が分布していると考えられる。第 1 象限から第 2 象限に分布する実線で囲まれた A 群は主にソルゴー型とスーダン型で構成され、多収の品種・系統である。第 2 象限に分布し破線で囲まれた B 群はスーダン型またはスーダングラスで、比較的収量が高く、収量変動が少ないことから刈取り回次を通じて安定した生産性を有し、第 4 象限と第 1 象限に分布し点線で囲まれた C 群は消化性に優れて

いると考えられた。ソルガム属草種の遺伝的多様性は本試験の供試品種・系統においても示され、このことを鑑みると、供試品種・系統の中から総合的に優れたものを選抜するよりも、収量性，栄養価，生産力の持続性あるいは安定性，形態的特性といった各品種・系統の特性を使い分けることが望ましいと考えられた。

以上より，ソルガム属草種の栽培利用では沖縄県の奨励品種と同等または同等以上の高い可消化乾物収量が得られ，利用目的に応じた品種・系統の選択により，特性を生かした効果的な飼料生産を行うことが可能であると考えられた。

第3節 摘要

沖縄県におけるソルガム属草種の生産性を明らかにするため、高消化性 bmr 品種を含む数品種・系統を用いた栽培試験を行った。4回の刈取りの合計乾物収量は 2068.0-3893.2kg/10a の範囲にあり、沖縄県の奨励品種ローズグラス(カタンボラ)と同等か同等以上の高い生産性を示した。乾物収量は2番草で最も高く、刈取り回次が進むにつれて減少傾向を示した。刈取り回次毎の乾物収量と CGR の変動は草種間で傾向が異なり、ソルガム品種・系統が刈取り回次毎に大きく変動したのに対し、スーダングラス品種・系統は変動の少ない安定した生産性を示した。このような草種間の差異は各草種の生育に最も影響を及ぼす気象要因が異なることに起因すると考えられた。供試品種・系統の IVDMD は 42.8-61.0%、CP は 4.9-7.0% の範囲にあった。ローズグラスと比較すると、IVDMD では同等か同等以上、CP ではこれより低くなる傾向を示した。また、栄養価が高い品種・系統は収量が低い傾向を示し、特に、bmr 品種でその傾向が顕著であった。主成分分析では、高い収量性をもつ品種・系統、消化性に優れる品種・系統、刈取り回次を通じて安定した生産性を示す品種・系統に分けられた。

以上より、ソルガム属草種は年間を通じて温暖な沖縄県の栽培環境に適しており、特に、高温期における1~2回の刈取りで高い生産性を示したため、夏季の短期的な利用が最も効率的であると考えられる。さ

らに収量性や栄養価，形態的特徴といった特性の違いを生かし，利用目的や栽培期間に応じて草種や品種を使い分けることが望ましいと考えられた。農地面積の限られた沖縄県では，耕種作物と連携して同一の土地に連続して作物を栽培する作付体系が自給飼料増産の鍵となる。1～短年生作物であるソルガム属草種の特性を生かした短期間で効果的な農地利用は沖縄県の飼料増産に寄与すると考えられた。

第 3 章 ソルガム属数品種の利用適期 および施肥管理の検討

第 1 節 数品種の乾物生産量および栄養価の推移

緒 言

前章では、沖縄県におけるソルガム属草種の生産性と栄養価の評価を行った。その結果、本草種は夏季の高温下で高い生産能力を示した。また短期間で高収量を得られることから、他の耕種作物の休閑期を利用した作付体系に組み込むことも可能と考えられた。

沖縄県でソルガム属草種のような長大作物の栽培が普及しにくい理由の 1 つとして、本県が台風の常襲地域であることが挙げられる。しかしながら、森山ら(1989)が沖縄本島で行ったソルガム属の播種期試験では、3 月および 4 月播種の栽培において、収量が高いことや、台風が最も頻繁に接近する 7 月から 9 月(気象庁 2013)以前に 1 番草の収穫が可能であることが報告されている。一方で、この期間は、県内で約 19,000ha の作付面積(沖縄県農林水産部 2011)をもつ夏植サトウキビの作付け体系の休閑期に一致する。夏植サトウキビでは、12 月から 2 月頃に行われる収穫の後、7 月から 9 月の植付けまでの期間を休閑期とするのが一般的である。従って、夏植サトウキビの休閑期におけるソルガム属草種の栽培は、台風被害の少ない安定作期に、短期的に高収

量を得るための粗飼料生産体系に適すると考えられる。

本県でのソルガム属草種の栽培利用においては、本草種の刈取り期として若い生育段階での多回刈りよりも穂ばらみ～出穂期での収穫が乾物収量の面で有利（沖縄県畜産試験場 1999）とされている。また、施肥条件として、窒素要素量で 10kg/10a の基肥，6 葉期に基肥の半量で追肥を施用することが推奨されている（沖縄県畜産試験場 1999）。しかしながら、実際に沖縄県で実施されたソルガム属草種の栽培試験では、品種間の収量比較や播種期の検討は行われているが、利用適期や施肥条件の検討はなされていない。従って、本節では、ソルガム属草種を夏植サトウキビの休閑期に栽培し、乾物収量と栄養価の変動について明らかにすると共に、追肥の有無がこれらに及ぼす影響について併せて検討を行った。

材料および方法

本試験は琉球大学農学部附属亜熱帯フィールド科学教育研究センター内圃場（東経 127 度 76 分，北緯 26 度 25 分）において実施した。供試土壌は pH7.7 のジャーガル土壌であった。供試草として、ソルガム属ソルガム (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) の三尺ソルゴー (Gs)，高糖分ソルゴー (Fs)，BMR スイート (Bs) およびスーダングラス (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) のリッチスーダン (Ss) の計 4 品種（雪印種苗株式会社，札幌）を用いた。

試験区は4品種を主区とし、2水準の施肥条件を副区とする乱塊法により、3反復配置した。1区面積は 12.25m^2 ($3.5\text{ m}\times 3.5\text{ m}$)、畦幅60 cmの6畦とした。施肥条件として、基肥のみをN、 P_2O_5 および K_2O の要素量でそれぞれ100、56および78 kg/ha 施用する無追肥区と、基肥に加えて6葉期に基肥の半量の追肥を行う追肥区を設けた。

2012年5月4日に30 kg/haの播種量で条播した後、基肥の施用を行った。同年5月16日に全試験区の発芽を確認し、発芽日とした。発芽後、全品種が6葉期となった24日目に追肥を施用した。発芽日から全品種の出穂を確認した2012年8月8日までの期間中、2週間毎に12週目まで計6回の収穫調査を行った。収穫は地際から10 cmの高さで50 cmの畦長について行い、同一個体の刈取りを避けるため、調査日毎に順次収穫場所を移動した。発芽後2週目の個体では草高が低く、現存量も少なかったため、地際から刈取りを行った。収穫物は、葉、茎および穂に分別し、生草重量を測定した後、 70°C で通風乾燥し、乾物率を求めた。乾物試料は1mmの篩を通るように粉碎し、*in vitro* 乾物消化率(以下、IVDMD)と粗タンパク質含有率(以下、CP)の測定に供した。IVDMDはペプシン・セルラーゼ法(Goto・Minson 1977)によって測定し、CPは元素分析装置(NC-200F, SUMIGRAPH社製、東京・大阪)を用いて窒素量を測定した後、6.25を乗じて求めた。

試験期間中の気温および降水量は、沖縄気象台那覇観測所の値

(気象庁 2012)を用いた。

統計処理は統計パッケージソフト Stat view J-5.0 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA)を用いて分散分析を行い、品種と施肥処理について F 検定を行い、有意性が認められた場合は Tukey-Kramer 法により平均値間の差を検定した。

結 果

1. 試験期間中の気象条件

試験期間中の気象条件を図 3-1 に示した。平均気温は 27.2℃、積算降水量は 1371.5mm であった。月毎の平均気温は平年並みに推移したが、月別の積算降水量は、5、7月を除いて平年より多かった。

2. 乾物収量および栄養価の推移

試験期間中の乾物収量および栄養価の推移を図 3-2 に示した。発芽後 2 週目では、化学分析に十分な草量を得られなかったため、乾物収量のみ調査した。

乾物収量は全ての品種で、生育の進行に伴い漸次的に増加した。すなわち、全品種が出穂期に達した 12 週目に最も高くなり、無追肥区で 8.9-14.8t/ha、追肥区で 10.5-15.6t/ha の範囲にあった。また、両処理区間に有意な差は認められなかったが、Gs と Fs では 6 週目以降、Bs と Ss の乾物収量は 8 週目以降、それぞれ無追肥区と比べて追肥区で

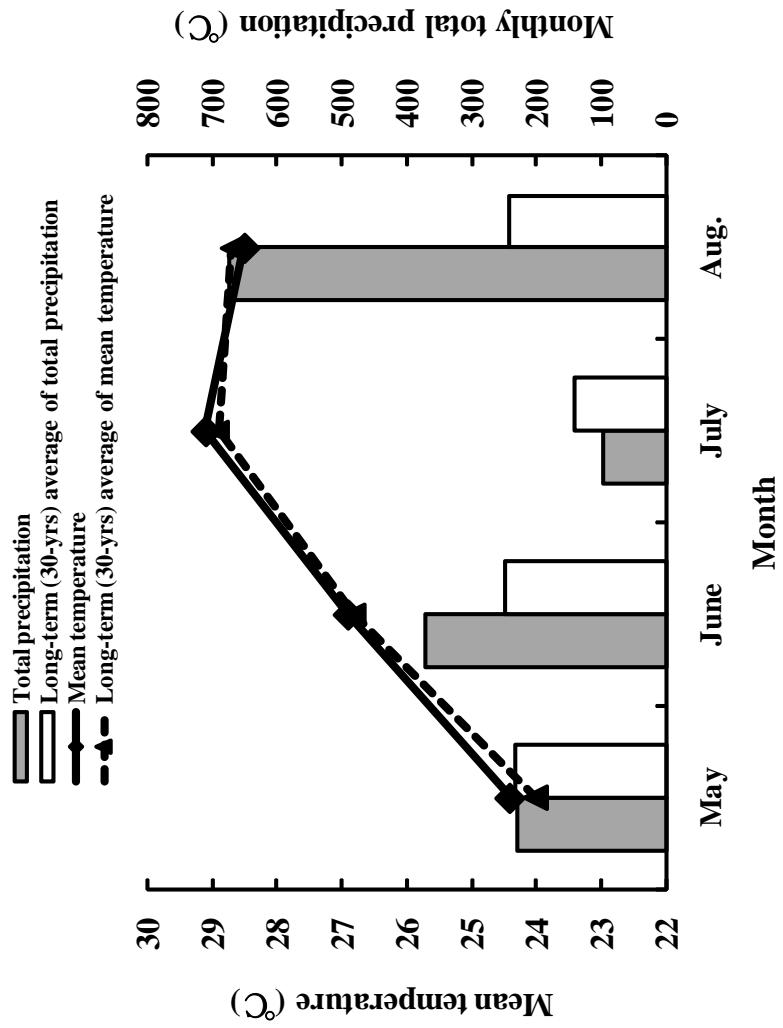


Fig. 3-1-1. Meteorological condition during the experimental period.

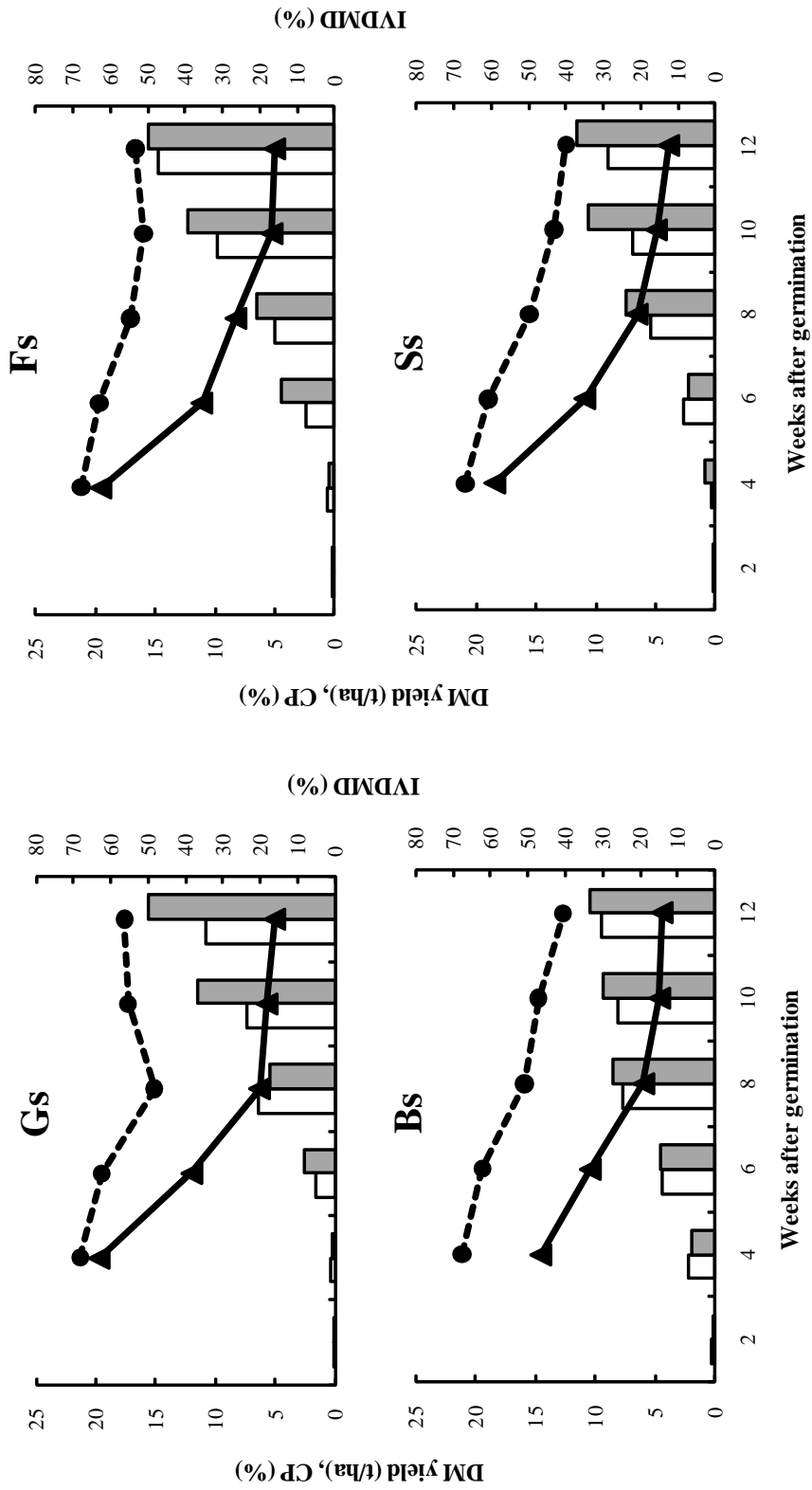


Fig. 3-2. Changes in dry matter (DM) yield (non-topdressing (NT, □) and topdressing (T, ▴)), *in vitro* DM digestibility (IVDMD) (●●●) and crude protein (CP) (▲) with growth stages in four *Sorghum* varieties in 2012. Variety: Sanjaku sorgho (Gs), High sugar sorgho (Bs), BMR sweet (Fs) and Rich sudan (Ss).

高くなる傾向で推移した。IVDMD に施肥処理区間で有意な差がみられず、ほぼ同等の値で推移したため、両処理区の平均値を図中に示した。生育に伴う IVDMD の推移は品種間で傾向が異なり、Gs は生育の進行に伴い 8 週目まで減少した後、10 週目以降は増加する傾向を示した。Fs は 10 週目まで緩やかに減少し、12 週目で増加する傾向を示した。Bs と Ss は、12 週目まで生育の進行とともに漸次的に減少した。また、12 週目の IVDMD は、Gs と Fs ではそれぞれ 56.4% と 53.3% であり、Bs と Ss の 40.5% と 40.0% に比較して有意に高い値を示した ($p < 0.01$)。

CP は全ての品種において 4 週目の追肥区で無追肥区よりも有意に高くなった ($p < 0.05$)。その他の調査日では、追肥区は無追肥区よりも高く推移したが、有意な差は認められなかったため、両処理区の平均値を図 3-2 に示した。CP は生育の進行に伴い漸次的に減少し、12 週目には 3.9-5.0% の範囲となった。

乾物収量に IVDMD を乗じて求めた可消化乾物収量を図 3-3 に示した。可消化乾物収量は、全品種共に処理区間に有意な差が認められなかった。また、Gs と Fs (以下 Gs・Fs) および Bs と Ss (以下 Bs・Ss) の 2 グループ間で傾向が異なったため、グループ毎に平均値を算出した。両グループの可消化乾物収量は 8 週目までほぼ同等の値で漸次的に増加し、それ以降 Gs・Fs は増加を続けたが、Bs・Ss は増加がみられなかった。

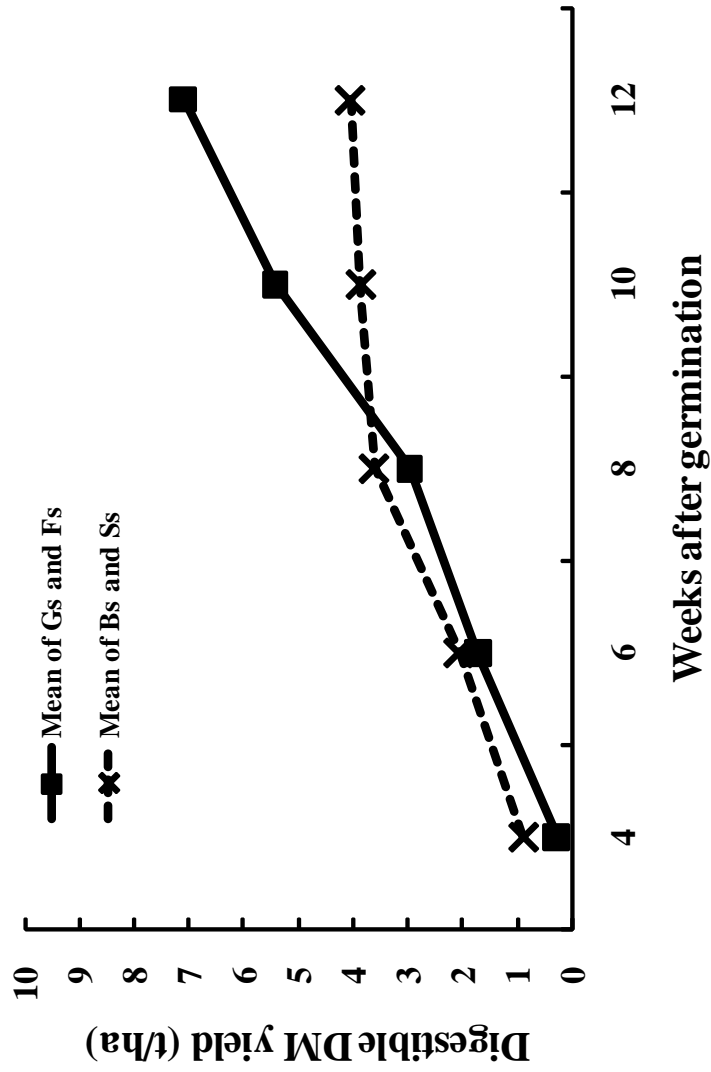


Fig. 3-3. Changes in digestible dry matter (DM) yield with growth stages in two groups of *Sorghum* varieties in 2012. As for the abbreviations of varieties, refer to Figure 2.

考 察

1. 各品種の乾物収量および栄養価の推移と比較

試験期間中の乾物収量はいずれの品種も 12 週目で最も高く、10a 当たり 891.4-1554.9kg の範囲で、既報の沖縄県内の栽培試験と比較すると、5 月播種の 1 番草の乾物収量 753-1465kgDM/10a (福地ら 1986) および 1304-1667kgDM/10a (森山ら 1989) とほぼ同程度であった。また、本県の奨励品種であり、最も作付面積の広いローズグラス(品種カタンボラ)の 7~8 月の乾物収量 400-940kgDM/10a (望月ら 2005) に比べて高い乾物生産性を示した。また、IVDMD は 7~8 月刈取りのローズグラス(42.9-49.7%, 花ヶ崎ら 2006) と比べて、Fs と Gs では高く、Bs と Ss ではやや低くなった。CP は全品種でローズグラス(8.8-9.6%) よりも低かった。また、可消化乾物収量は Gs と Fs では、それぞれ 742.4 と 801.2kgDM/10a となり、既報のローズグラスの可消化乾物収量 184-474kgDM/10a (花ヶ崎ら 2006) よりも高く、Bs および Ss ではそれぞれ 407.2 および 406.6kgDM/10a となり、既報の範囲内にあった。

本試験における供試品種の可消化乾物収量の推移は、Gs・Fs と Bs・Ss の 2 グループ間で異なる傾向を示した。すなわち、Gs・Fs の乾物収量は 12 週目まで直線的に増加し、出穂期以降の IVDMD も増加傾向を示した。一方、Bs・Ss の乾物収量は、8 週目以降ほとんど増加せず、IVDMD は生育段階の進行とともに漸次的に減少した。このような乾物

収量や IVDMD の推移の差異は、各品種の遺伝形質に起因すると推察される。ソルガムの乾物収量は出穂前後で 30% 以上増加するとされ (春本ら 1986)、また、増田 (1976) はスーダングラスが開花期で最も高い乾物収量を示すことを明らかにしている。本試験における供試品種の出穂～開花は、Gs, Bs および Ss が 8 週目, Fs が 10～12 週目に確認されており、各品種の生育段階と乾物収量との関連性は前述の 2 件の報告と一致していた。

ソルガム属草種の IVDMD は開花期で最も低下し、糊熟期で再び高い値を示す (細谷ら 1990)。これは、成熟が進み子実の割合が増加するとともに、子実部におけるデンプン等の細胞内容物の蓄積量が高まるためとされている。Gs, Fs および Bs のソルガム 3 品種は遺伝形質が異なり、利用上の観点からそれぞれ子実型、ソルゴー型およびスーダン型に分類されている (川鍋 1989; 松浦 1990) が、特に、子実割合が高い子実型は、糊熟期の消化性に優れるとされる (細谷ら 1999)。この子実型である Gs は、8 週目に出穂～開花期、10 週目には乳熟期に達していたことから、8 週目以降の IVDMD の増加は、子実部への細胞内容物の蓄積量の増加に起因するものと考えられた。Fs はソルゴー型であり糖蜜タイプ、糖蜜型あるいはスイートソルガムなどと呼称される糖含量の高い品種である (川鍋 1989; 松浦 1990)。このタイプはソルゴー型の中でも IVDMD が特殊な推移を示すとされる (細谷ら 1990)。すなわち、他の遺伝型の品種は開花期に IVDMD が減少するのに対し、糖蜜タイ

ブは開花期からIVDMDの増加がみられる。これは、糖蜜タイプでは糖の集積速度が速く、開花期の段階から茎部への糖蓄積が行われるためであると考えられている。中生種のFsは、供試品種の中で最も生育が遅く、10～12週目に出穂～開花が確認された。また、12週目においてはIVDMDの増加傾向がみられ、これらの推移は細谷ら(1990, 1999)の報告と一致した。先に述べたように、Gs・Fsにおける開花期以降のIVDMDの増加要因は異なるとされるが、本試験でも、乾物重に占める穂部割合および穂部のIVDMDは、Gsではそれぞれ31-47%および71-76%であったのに対し、Fsではそれぞれ7-12%および54-69%を示し、FsにおけるIVDMDの増加への穂部の関与が少なかったことから、これらの報告を支持する結果となった。スーダン型の品種であるBsとスーダングラスのSsのIVDMDについては、生育段階の進行に伴い漸次的に減少した。増田(1976)はスーダングラスの消化率が出穂を境に大きく減少することを報告しているが、SsおよびBsのIVDMDはこれに近い推移を示した。

可消化乾物収量は各品種における乾物収量とIVDMDの推移を反映し、試験期間後半における2グループの特徴をより顕著に示した。すなわち、Gs・Fsの可消化乾物収量は生育段階の進行とともに高まる傾向を示し、一方で、Bs・Ssでは8週目以降横ばいあるいは緩やかな増加傾向で推移した。

CPは品種間における違いがみられず、ほぼ同等の値で、生育段階の

進行とともに減少した。また、穂ばらみ期から開花期の間で大きく低下するという細谷ら(1990)の報告と一致した。一般に、ソルガム属草種は窒素施肥に対する反応性が高いとされ、窒素の施用水準を高めることで乾物生産量や CP が増加することが明らかにされている。多くの研究者らは、150kgN/ha 以上の窒素施用時における乾物収量の増加を報告しており(春本ら 1986; Ayub ら 2002; Bahrani・Deghani 2004; Marsalisら 2010), また, Marsalisら(2010)は200kgN/ha以上の窒素施用においては乾物収量が変わらないことを報告している。本試験においては、追肥区の乾物収量と CP は無追肥区と比較して高くなる傾向がみられたことから、追肥による増収効果が示唆された。しかしながら、両処理区間に有意差は認められず、また、追肥区の施肥量は先行研究で乾物収量を増加させた下限値であったことから、より確実に生産性を高める適切な施肥量の検討を行う必要があると考えられた。

2. 栄養収量面からの利用適期の検討

本試験で供した4品種は、乾物収量および栄養価の特徴から大きく2グループに分けられた。すなわち、出穂期以降の可消化乾物収量が高いGs・Fsと、これに比べて低い傾向にあったBs・Ssである。Gs・Fsは出穂期以降の乾物生産量が高いことに加え、IVDMDが増加するため、成熟が進むにつれて可消化乾物収量が高まる。一方、Bs・Ssは出穂期以降の乾物収量の増加量が少なく、IVDMDは低下するため、出穂

期以降の可消化乾物収量の変動は小さい。黒毛和種の繁殖雌牛への給与を想定した場合，維持に要する可消化養分総量（以下 TDN）は 50%である（農業・食品産業技術総合研究機構 2009）。Minsonら（1976）および Goto・Minson（1977）によって示された関係式（ $TDN = 0.683 \times IVDMD + 21.077$ ）を用いて TDN が 50%となる時の IVDMD を算出すると 42.3%となる。Gs・Fs の IVDMD は 12 週目まで，Bs・Ss の場合は 10 週目までそれぞれこの限界値以上を維持していた。これらを考え併せると，Gs・Fs については出穂期以降の利用で高い乾物収量および栄養価が得られ，Bs・Ss では出穂期以前の早刈り利用により，想定している作付け期間中における再生草の利用も期待できると考えられた。また，両グループ共に，追肥により乾物収量の増収を図ることが可能であると考えられた。

第 2 節 数品種における HCNp 含量の推移

緒 言

ソルガム属草種の栽培利用上の問題点として、有毒成分である青酸化合物（以下 HCNp）を含有することが挙げられる。家畜が HCNp を高濃度に含有している飼料を過剰に摂取した場合、致死性の高い青酸中毒を起こすため、飼料中の HCNp 含量が十分に低い状態で利用する必要がある。HCNp 含量は品種や施肥量、土壌中の水分含量などの影響を受け、生育段階によって大きく異なることが明らかにされている（Boyd ら 1938; Nelson 1953; 森田ら 1967; 犬山・加治 1969; 相井 1973; Wheeler ら 1990; 吉田ら 1997; Ayub ら 2002; Bahrani・Deghani 2004）。しかしながら、沖縄県で実施されたソルガム属草種の栽培試験において、HCNp に関する報告はみられない。今後、本県内でソルガム属草種の利用を推進するためには、これまでの栽培知見を集積するとともに、HCNp についても調査を行い、青酸中毒のリスクを最小限に抑える栽培管理および利用方法を検討する必要がある。本節では、HCNp 含量の変動と追肥の有無が HCNp 含量に及ぼす影響を明らかにし、HCNp の観点からソルガム属草種の利用適期の検討を行った。

材料および方法

本試験で用いた試料は、前節で得られた収穫物である。収穫物の一

部を葉，茎および穂に分別し，生草重量を測定した後，HCNp の分析試料として抽出液の作出に供した。HCNp 含量の分析は Bradbury ら (1991) および Haque・Bradbury (2002) の方法に従った。

また，HCNp 含量と HCNp の安全指標として一般に用いられることが多い草高との関係を検討するため，前節で実施した刈取り調査時に各処理区につき 5 点の草高を測定した。

結 果

各調査日における HCNp 含量を表 3-1 に示した。2，4 および 8 週目の HCNp 含量は品種間で有意な差が認められ，Fs で最も高く，次いで Gs となる傾向で，Bs と Ss では低くなった (2，4 週目： $p < 0.01$ ，8 週目： $p < 0.05$)。2 週目の HCNp 含量は 783.6-3454.4ppm の範囲にあり，生育の進行とともに減少し，12 週目には 11.0-30.4ppm の範囲となった。また，追肥区と無追肥区の HCNp 含量の比較を行うと，追肥区では追肥を行った直後の 4 週目の値は全品種で高くなり，その後 12 週目においては，品種による差異はあるものの，全品種を通じて追肥区が無追肥区に比べて有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。

HCNp 含量と草高の推移を図 3-4 に示した。HCNp 含量において施肥処理区間で有意な差が認められたのは 12 週目のみであった。また，草高は処理区間で有意な差が認められなかった。このため，HCNp 含量と草高それぞれについて処理区間の平均値を算出し，生育初期に

Table 3-1. Changes in HCNp with growth stages in 2012.

Variety	Weeks after germination						
	2	4	6	8	10	12	
NT	2035.9	199.5	143.4	42.0	33.4	11.0	
Gs	T	1981.4	344.5	152.5	64.2	50.7	17.0
	Mean	2008.7 ^{AB†}	272.0 ^{AB}	147.9	53.1 ^{ab}	42.1	14.0
NT	3454.4	286.7	198.2	146.2	42.4	19.3	
Fs	T	2898.0	547.0	177.1	90.0	45.9	30.4
	Mean	3176.2 ^A	416.9 ^A	187.6	118.1 ^a	44.1	24.9
NT	909.6	91.9	102.1	35.8	21.9	12.2	
Bs	T	1058.9	135.6	97.2	25.8	19.9	
	Mean	984.2 ^B	113.7 ^B	99.7	30.8 ^b	24.4	16.0
NT	899.5	114.8	65.8	27.3	22.9	14.0	
Ss	T	783.6	143.6	91.3	27.3	21.2	
	Mean	841.5 ^B	129.2 ^B	78.6	27.3 ^b	23.1	17.6
Variety (V)	**	**	-	*	-	-	
Fertilizer (F)	-	-	-	-	-	*	
V × F	-	-	-	-	-	-	

NT and T mean non-topdressing and topdressing, respectively.

† Mean values with different superscript letters on the same column differ significantly (small letter, p<0.05; capital letter, p<0.01).

* and ** show the statistical difference at p<0.05 and p<0.01 by t-test, respectively.

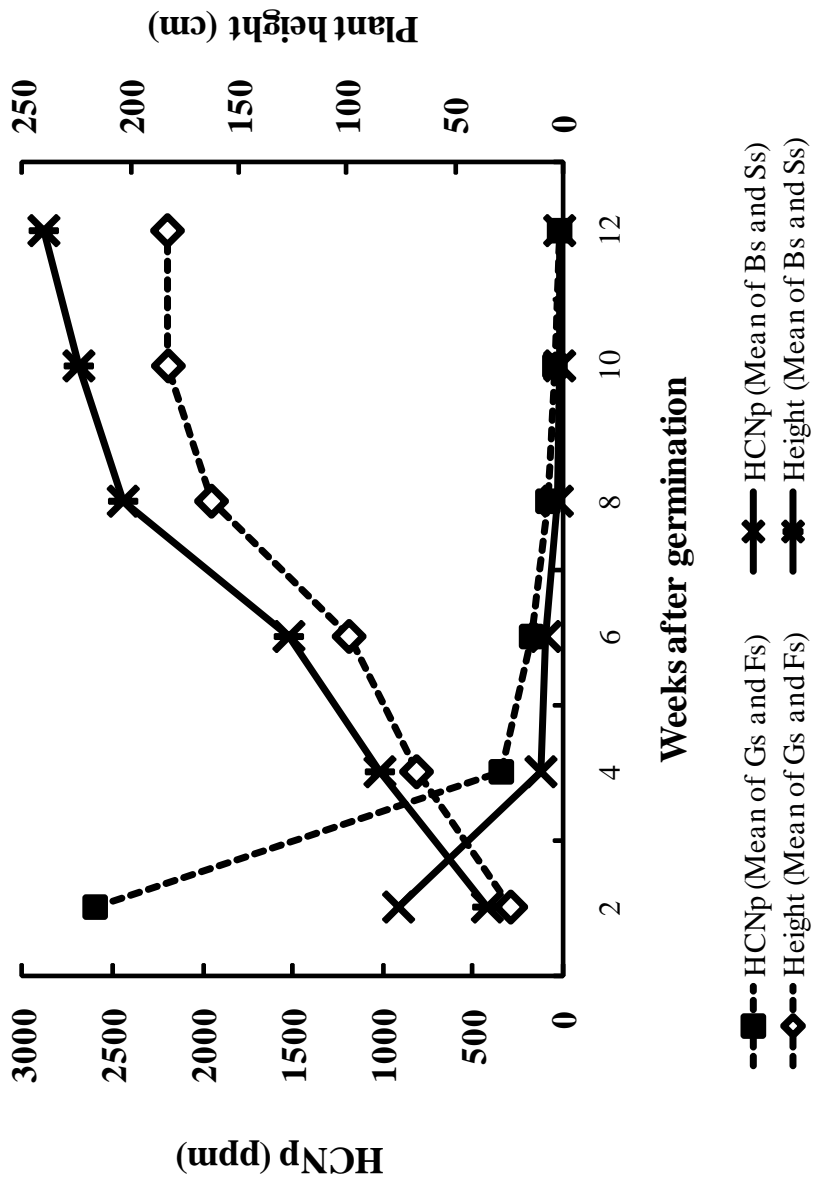


Fig. 3-4. Changes in HCNp and plant height with growth stages in two groups of *Sorghum* varieties in 2012.
As for the abbreviations of varieties, refer to Figure 2.

HCNp 含量が高い Fs・Gs と、両品種に比べて低い Bs・Ss の 2 グループに分け、それぞれの平均値を比較した。両グループの草高は、生育の進行とともに増加した。一方、HCNp 含量は両グループ共に 2 週目で最も高く、4 週目で急激に減少した後、生育の進行に伴い緩やかに減少する傾向であった。

考 察

全ての品種において、HCNp 含量は生育の進行に伴い減少した。また、犬山・加治(1969)の報告と比較すると低い値で推移したが、このことは生育速度の違いが関与していると推察された。すなわち、本試験と犬山・加治(1969)の調査における播種時期および生育期間はほぼ同じであるが、草高の推移を比較すると、いずれの品種も本試験の方が高い値で推移しており、生育の進行が速かったことが示唆された。組織の成熟度は HCNp 含量の決定要因である(下浦・西村 1953; 犬山・加治 1969)ことから、本地域の温暖で日射量が多い栽培環境下において生育が促進され、これにより HCNp 含量も急速に低下したものと考えられた。

家畜が摂取する牧草中の HCNp の安全な濃度は 500ppm 以下とされる(表 3-2, Boyd ら 1938)。本試験においては、Fs の追肥区は 6 週目にこの基準値以下となり、それ以外の品種を含め、全ての処理区においては 4 週目に基準値以下となった。一般に、ソルガム属草種を安

Table3-2. The safe limit of cyanide content.

Mgm HCN per 100 grams dry tissue	Relative degree of toxicity
0-25	Very low (safe to pasture)
25-50	Low (safe to pasture)
50-75	Medium (doubtful)
75-100	High (dangerous to pasture)
>100	Very high (very dangerous to pasture)

Reference : Boyd *et al.* (1938)

全に利用する際を目安として草高が用いられることが多い。Boyd ら (1938)は 45cm 以下での利用を避けるように提言しており、また、犬山・加治 (1969)は 1m 以上、相井 (1973)は 70-80cm でそれぞれ安全に利用できるとしている。本試験の供試品種が安全とされる 500ppm 以下となった時期の草高は 62.9-98.0cm の範囲にあり、草高 1m 以下でも利用可能であることを示していた。一方で、4 週目において、草高は両処理区でほぼ同等の値であったが、追肥区の HCNp 含量は無追肥区と比較して 1.3-1.9 倍高くなる傾向を示した。安全と考えられる草高に達していた場合も、追肥の有無や施用後の日数等に留意する必要があると考えられる。窒素施肥により HCNp 含量が増加することは多くの研究者によって明らかにされており (Boyd ら 1938; Nelson 1953; 森田ら 1967; Wheelerら 1990; Bahrani・Deghani 2004), 本試験においても、追肥後 4 日目に調査を行った 4 週目では無追肥区と比べ追肥区で HCNp 含量が高い傾向を示した。追肥の施用から 18 日後の 6 週目では両処理区で同程度の値を示していたことから、窒素の追肥後 3 週間以内の利用は避けるべきであると考えられた。また、12 週目の HCNp 含量は、無追肥区より追肥区で有意に高い値を示したが、両処理区共に安全を示す基準値 500ppm を十分に下回っていた。HCNp 含量は土壌の肥沃度によっても影響を受けるとされ、Boyd ら (1938)はリン欠乏で窒素過多の酸性土壌において栽培したスーダングラスの HCNp 含量が中～高程度の肥沃度の土壌で生育したものと比べて高かったことを

報告している。すなわち、生育に必要なリンやその他の栄養素が十分に得られず、土壌中の窒素量あるいは施肥による窒素供給量が多い場合、HCNp の蓄積が促進されると考えられる。本試験で供したジャーガル土壌は、沖縄県の土壌の中で最も良好な化学性をもち(亀谷 2006)、土壌窒素含有量は測定しなかったが、土壌 pH は 7.7 であった。従って、本試験で確認された HCNp の安全性はソルガム属の生育に適した土壌環境で補完されたことも考えられ、沖縄県内に多く分布する酸性度が高く、肥沃度が低い土壌で栽培管理を行った場合の HCNp 含量の推移や、これに基づく安全性についても検討する必要があると考えられる。

HCNp の観点からは、前述した通り、遺伝的に HCNp 含量の高いソルゴー型や、生育速度の遅い中生あるいは晩生の品種を用いる際は、6 週目以降、草高 1m 以上での利用が望ましいと考えられた。また、本草種における慣行的な栽培方法に従い、6 葉期頃に窒素肥料による追肥を行う場合は、追肥の施用後 3 週間は利用を控えることで、青酸中毒のリスクを低減することが可能であると考えられた。

第 3 節 摘 要

ソルガム属数品種の乾物収量，栄養価と青酸化合物（HCNp）含量の推移から利用適期を検討し，併せて追肥の影響を調査した。遺伝型の異なる4品種（Gs, Fs, Bs, Ss）を用い，無追肥区（100 kg N/ha）と追肥区（150 kg N/ha）を設け，発芽後から2週間毎に調査を行った。

12週目の乾物収量は4品種間で8.9-15.6 t/ha，IVDMDは40.0-56.4%，可消化乾物収量は4.1-8.0 t/ha，CPは3.9-5.0%，HCNp含量は11.0-30.4ppmの範囲にあった。供試した4品種は，出穂期以降の栄養生産性が高いGs・Fsと，これに比べて低い傾向にあったBs・Ssの2グループに分けられた。Gs・Fsは12週目まで栄養収量が増加したが，Bs・Ssは8週目以降ほとんど増加がみられず，従って，Gs・Fsは出穂期以降，Bs・Ssでは出穂期以前の利用で高い栄養収量を得られると考えられた。追肥区の乾物収量は無追肥区に比べて高くなる傾向を示したことから，追肥による増収効果が示唆された。HCNp含量は，安全な濃度とされる500ppm以下となる発芽後4～6週目以降で安全に利用できるが，追肥直後の3週間程度は利用を避けることが望ましいと考えられた。

以上より，夏植サトウキビの休閑期におけるソルガム属草種の栽培は，利用適期における収穫で青酸中毒の危険性を回避しながら高い栄養収量を得ることが可能であると考えられた。従って，本栽培体系は本県

における短期的な自給粗飼料の生産利用方法の1つとして有効であることが示唆された。

第 4 章 ソルガム属草種の短期放牧利用の検討

第 1 節 短期放牧利用における草地生産性の評価と 放牧強度が草地の生産性に及ぼす影響

緒 言

ソルガム属草種の栽培利用上の課題として、牧草と比較して収穫・調製に要する作業労力が多大であり、採草利用を行うためには相応の機械化が要求されることが挙げられる。一方、牧草地を家畜に直接利用させる放牧は、少ない資材で省力的に家畜の管理を行うことができる(千田 2006)。また、本節の試験を実施した沖縄県八重山地域では、草地面積の約 4 割が放牧地として利用されており(沖縄県総務部 2013)、採草放牧兼用地を含めると約 5 割の草地で放牧が行われており、放牧畜産が盛んな地域である。このことから、放牧は当地域におけるソルガム属草種の利用方法として有効な選択肢の 1 つになると考えられる。しかしながら、実際に国内での放牧利用の事例はみられず、本草種の放牧利用技術に関する知見は極めて少ない(名田 1985; 進藤ら 2008; 手島ら 2010; 佐々木 2013)。

また、ソルガム属草種は有毒成分である青酸化合物(HCNp)を含有するため、本草種を用いた放牧では、青酸中毒のリスクを最小限に抑えると共に、単位面積当たりの草地生産性を最大限に高める放牧管理

を行う必要がある(Boyd ら 1938)。家畜生産および土地生産性に影響を及ぼす最も重要な要因の 1 つは放牧強度であり(Humphreys 1987), 小竹森ら(1972)および野中ら(1997)は放牧強度が草地生産性や家畜の採食量に影響を及ぼすことを報告している。HCNp 摂取量は採食量の増減に伴い変動すると考えられ, このことから, HCNp 摂取量もまた放牧強度の影響を受けると推察されるが, これらの関係を検討した報告は認められない。このため, 放牧家畜による HCNp 摂取量を考慮した適切な放牧強度の検討は, ソルガム属草種を用いて放牧を行う上で有用な知見になり得ると考えられる。本節では, 沖縄県の主要畑作物であるサトウキビ作付けの休閑期の圃場においてソルガムとスーダングラスのソルガム属 2 草種を用いて短期的な放牧試験を行い, 放牧草地としての草地生産性の評価を試みると共に, 放牧強度が採食性, HCNp 摂取量ならびに 1 回目放牧後の 2 番草の再生に及ぼす影響について検討を行った。

材料および方法

試験は沖縄県石垣市内(東経 124° 10', 北緯 24° 22', 標高約 75m)の国頭マージ土壌を主とする酸性土壌で, 夏植, 株出, 夏植の順に 5 年間連作し, 2011 年 2 月にサトウキビを収穫した後の耕作地において行った。同年 4 月に堆肥と土壌改良材として炭酸カルシウムおよび過リン酸石灰を施用した後, 耕耘し, 試験圃場とした。供試草として,

ソルガム (*Sorghum bicolor* (L.) Moench, 品種高糖分ソルゴー, 雪印種苗株式会社, 札幌, 以下 Sb) およびスーダングラス (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf, 品種リッチスーダン, 雪印種苗株式会社, 札幌, 以下 Ss) の 2 種を用いた。総面積約 0.5ha の試験圃場を 4 分割し, 2011 年 4 月 29 日に Sb と Ss をそれぞれ 2 区画に割り当て, 溝型簡易草地更新機 (Niplo PRN-801, 松山製作所製, 上田) を用いて, 播種量 30kg/ha, 畦幅 54cm で条播し, 基肥として N, P₂O₅ および K₂O をそれぞれ要素量で 100, 56 および 78kg/ha 施用した。2011 年 7 月 6 日に収量調査を行い, 播種時に 4 分割した試験圃場を草量に基づいてそれぞれさらに 2 分割した。計 8 分割した各試験区内に強放牧をする H 区と, H 区の約 2 倍の面積で弱放牧を行う L 区を設けた。すなわち, 2 草種 × 放牧強度 2 水準の 4 処理区を乱塊法で割り付け 4 反復とした。各処理区は簡易電気牧柵を用いて分割した。供試牛群として体重約 450kg の黒毛和種繁殖雌牛 12 頭を用い, 各 3 頭ずつの 4 群に分け, 4 処理区に配置した。なお, 1 群当たりの頭数は, H 区において採食利用率 70%とした場合の 1 日 1 頭当たりの摂取量 10kgDM を満たすよう設定した。

2011 年 7 月 8 日から 7 月 12 日の期間に 1 番草を用いて 1 回目の放牧を行い, 放牧終了時に N, P₂O₅ および K₂O を基肥と同量の要素量で施用した。続いて, 8 月 20 日から 8 月 25 日の期間に 2 番草を用いて 2 回目の放牧を 1 回目と同様に行った。放牧は 17 時から翌 11 時

までの1日16時間の時間制限放牧とし、供試した各4群が全ての処理区に滞牧するように1日単位で輪換放牧を行った。各牧区には移動式水槽を設置し自由に飲水ができるようにした。

放牧開始直前にHCNp分析用の試料を採取し、葉茎別に抽出液を作出した。HCNpの分析はBradburyら(1991)およびHaque・Bradbury(2002)の方法に従った。各牧区への入退牧時に、無作為に選んだ10地点で草高の測定を行った。その後、同一牧区内の5地点で1m畦長について地際から10-15cmの高さで刈取り、生草重量を測定した。刈取った試料の一部は葉茎別に重量測定を行った後、70℃で通風乾燥し、乾物率を求めた。入退牧時の生草重量に乾物率を乗じたものをそれぞれの乾物重量とし、前後差法により乾物摂取量と採食利用率を算出した。また、HCNp含量に乾物摂取量を乗じたものをHCNp摂取量とした。乾物試料は1mmの篩を通るように粉碎し、*in vitro*乾物消化率(以下、IVDMD)の測定に供した。IVDMDはペプシン・セルラーゼ法(Goto・Minson 1977)によって測定し、Minsonら(1976)およびGoto・Minson(1977)によって示された関係式($TDN = 0.683 \times IVDMD + 21.077$)により可消化養分総量(以下、TDN)を推定した。これに乾物摂取量を乗じたものをTDN摂取量とした。

牧養力は1ha当たりの期間中の延べ放牧頭数と延べ放牧日数をもとに算出したカウデー(以下CD)を供試牛の平均体重約450kgに換算して表した。試験期間中の気温および降水量は、沖縄気象台石垣島

観測所の値(気象庁 2011)を用いた。

統計処理は、統計パッケージソフト Stat view J-5.0(SAS Institute Inc Cary NC)を用い、放牧強度および草種を変数として、それぞれについて分散分析を行い、t 検定を行った。

結 果

1. 試験期間中の気象条件

試験期間中の気象条件を図 4-1 に示した。平均気温は 27.1℃、積算降水量は 840.5mm であった。月毎の平均気温は平年並みに推移したが、積算降水量は平年値の 4 割程度となり、特に、2 番草の生育期間中は 34.5mm と極めて少なかった。

2. 試験期間中の草生状態と家畜による利用状況

放牧試験の概要を表 4-1 に示した。播種から 2 回目の放牧が終了するまでの 117 日間のうち、放牧は 8 日間行い、延べ放牧頭数は 24 頭であった。放牧強度は、H 区が L 区の約 2 倍となった。

2 回の放牧の結果を統合した草地の植生状態と家畜による利用状況を表 4-2 に示した。1 番草と 2 番草を合計した入牧前草量は、H 区の Sb が 3781 kgDM/ha, Ss は 5974 kgDM/ha, L 区においては Sb が 5156 kgDM/ha, Ss は 9038kgDM/ha であった。H 区, L 区共に Ss は Sb よりも有意に高い値を示した($P < 0.05$)。1 日 1 頭当たりの利用可能

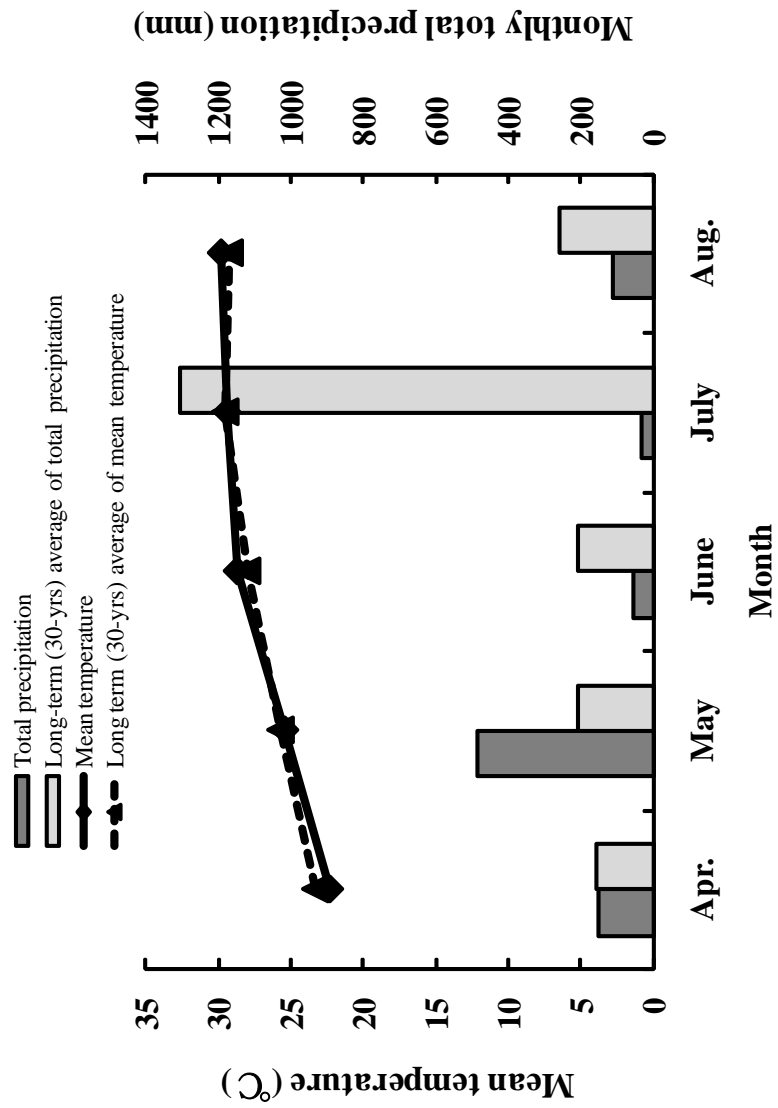


Fig. 4-1-1. Meteorological condition during the experimental period.

Table 4-1. Grazing outline on *Sorghum bicolor* (Sb) and *S. sudanense* (Ss) pastures under high (H) and low (L) grazing intensity.

	H		L	
	Sb	Ss	Sb	Ss
Days after planting	117	117	117	117
Total grazing days¹	8	8	8	8
Cumulative grazing cow number²	24	24	24	24
Grazed land area (m²)	560	600	1280	1320
Grazing intensity (head/ ha)	214	200	94	91

¹ Days in the first and second grazings.

² 3 Cows × total grazing days.

Table 4-2. Herbage production, allowance, intake, utilization, quality and carrying capacity on *Sorghum bicolor* (Sb) and *S. sudanense* (Ss) pastures grazed under high (H) and low (L) grazing intensity.

	H		L		Grazing intensity	
	Sb	Ss	Sb	Ss	Sb	Ss
Herbage production (kgDM/ ha)	3781 ^B	5974 ^{A3}	5156 ^B	9038 ^A	NS ⁴	* ⁵
Herbage allowance (kgDM/ head/ day)	17.6 ^B	29.9 ^A	55.0 ^B	99.4 ^A	*	**
TDN concentration ¹ (%)	61.2 ^A	57.2 ^B	61.1 ^a	55.7 ^b	NS	NS
Herbage intake (kgDM/ head/ day)	6.0 ^B	10.2 ^A	9.0 ^b	22.5 ^a	NS	**
TDN intake ² (kgDM/ head/ day)	3.7	5.8	5.5 ^b	12.4 ^a	NS	**
Herbage utilization rate (%)	68.2	68.2	38.8	46.8	*	*
Cow-day (CD)(head · day/ ha)	97	180	105	164	-	-

¹ TDN(%)= 0.683×IVDMD + 21.077 (Minson *et al.* 1976; Goto·Minson 1977) .

² TDN intake is estimated with herbage intake multiplied by TDN concentration.

³ Mean values with different superscript letters within the same grazing intensity on the same row differ significantly (capital letter, P<0.05; small letter, P<0.01) .

⁴ NS indicates “statistically not significant“ .

⁵ * and * * show the statistical significance by the t-test at levels of P<0.05 and P<0.01, respectively.

草量は、17.6-99.4kgDM の範囲であった。TDN は 55.7-61.2% の範囲にあり、H 区、L 区共に Sb が Ss よりも高い値を示した (H 区 : $P < 0.05$, L 区 : $P < 0.01$)。家畜の乾物摂取量は 1 日 1 頭当たり 6.0-22.5kg となり、H 区、L 区共に Ss が Sb よりも高い値を示した (H 区 : $P < 0.05$, L 区 : $P < 0.01$)。また、Ss においては L 区の乾物摂取量が H 区よりも有意に高くなった ($P < 0.01$)。TDN 摂取量は L 区においてのみ Ss が Sb よりも高い値を示した ($P < 0.01$)。また、Ss においては L 区の TDN 摂取量が H 区よりも有意に高くなった ($P < 0.01$)。採食利用率は、H 区では両草種共に 68.2%、L 区では Sb が 38.8%、Ss は 46.8% を示し、Sb、Ss 共に L 区より H 区で有意に高くなった ($P < 0.05$)。牧養力の評価はカウデー (CD) で行い、日本飼養標準・肉用牛 (農業・食品産業技術総合研究機構 2009) の放牧地における成雌牛 450kg の 1 日当たりの乾物摂取量 8.8kg、TDN 摂取量 5.1kg を基準とし、各処理区において基準値を満たさなかった滞牧日数、すなわち Sb の H 区では 6 日、L 区では 3 日、Ss の H 区では 4 日を減じて算出した。H 区の牧養力は Sb で 97 CD/ha、Ss は 180CD/ha、L 区では Sb が 105 CD/ha、Ss は 164CD/ha となり、L 区、H 区共に Ss で高い傾向を示した。また、草種毎にみると、Sb では L 区、Ss では H 区の牧養力が高い傾向にあった。

3. 各放牧回次における草生状態と家畜による利用状況

供試草種の HCNp 含量を表 4-3 に示した。1 番草の HCNp 含量は、

Table 4-3. Cyanide (HCNp) concentration (ppm) of *Sorghum bicolor* (Sb) and *S. sudanense* (Ss) pastures grazed under high (H) and low (L) grazing intensity.

	Grazing period	H		L	
		Sb	Ss	Sb	Ss
HCNp (ppm DM)	First grazing	53.9 ^{I 1}	27.7 ^{II}	53.9 ^I	27.7 ^{II}
	Second grazing	684.3 ^{a2, 1}	166.2 ^{II}	380.9 ^b	180

¹ Mean values with different superscript roman numerals within the same grazing intensity on the same column differ significantly (P<0.01) .

² Mean values with different superscript letters within the same cultivar on the same column differ significantly (P<0.01) .

Sb が 53.9ppm, Ss が 27.7ppm となり, Sb は Ss と比較して高い値を示した ($P < 0.05$)。2 番草の HCNp 含量は 166.2-684.3ppm の範囲にあり, 1 番草よりも顕著に高くなった。H 区では, Sb が Ss より有意に高い値を示し ($P < 0.01$), L 区においても同様の傾向を示した。また, Sb の HCNp 含量は, H 区が L 区より有意に高い値を示した ($P < 0.01$)。

各放牧時の供試草種の生育段階は, 1 番草においては Sb が出穂期, Ss は開花期, 2 番草においては Sb が穂ばらみ期, Ss は出穂期であった。入牧前草量, TDN および単位土地面積当たりの株数を表 4-4 に示した。1 番草の入牧前草量は L 区において Sb よりも Ss で高く ($P < 0.05$), 2 番草では H 区において Sb より Ss で高い値を示した ($P < 0.01$)。2 番草の入牧前草量は, 全ての処理区で 1 番草より低かった。また, Ss の H 区よりも L 区で有意に高い値となった ($P < 0.05$)。株数については, 1 番草では草種および放牧強度間で有意な差は認められなかった。2 番草では Sb より Ss で有意に高かった ($P < 0.05$)。しかしながら, 放牧強度間で有意な差は認められなかった。TDN は放牧強度に関わらず Sb が Ss より高い値を示した。また, 2 番草の TDN は 1 番草より高かった。

各放牧回次における入退牧時の草高を表 4-5 に示した。1 番草の入牧前草高は L 区において Sb より Ss で高かったが ($P < 0.05$), 退牧後草高では草種間に有意差は認められず, 両草種共に L 区より H 区で有意に低い値を示した ($P < 0.05$)。また, 2 番草の入牧前草高は両草

Table 4-4. Herbage production, number of stubble tillers and TDN concentration in the first and second grazings on *Sorghum bicolor* (Sb) and *S. sudanense* (Ss) pastures grazed under high (H) and low (L) grazing intensity.

	Grazing period	H		L		Grazing intensity	
		Sb	Ss	Sb	Ss	Sb	Ss
Herbage production (kgDM/ ha)	1 st	2832	3882	2860 ^{B1}	5026 ^A	NS ²	NS
	2 nd	949 ^b	2092 ^a	2296	4013	NS	* ³
Number of stubbles (m ⁻²)	1 st	6.6	8.0	7.2	8.0	NS	NS
	2 nd	5.0 ^B	8.4 ^A	6.0 ^B	8.4 ^A	NS	NS
TDN concentration (%)	1 st	59.2 ^A	54.8 ^B	59.0 ^a	53.7 ^b	NS	NS
	2 nd	63.9 ^a	59.5 ^b	63.3 ^A	57.7 ^B	NS	NS

¹ Mean values with different superscript letters within the same grazing intensity on the same column differ significantly (capital letter, P<0.05; small letter, P<0.01) .

² NS indicates “statistically not significant“ .

³ * shows the statistical significance by the t-test at level of P<0.05.

Table 4-5. Pasture height on the initial and final dates in the first and second grazings on *Sorghum bicolor* (Sb) and *S. sudanense* (Ss) pastures grazed under high (H) and low (L) grazing intensity.

	Grazing period	H		L		Grazing intensity	
		Sb	Ss	Sb	Ss	Sb	Ss
Pasture height at initial date (cm)	1 st	144.4	168.9	122.5 ^{B1}	164.7 ^A	NS ²	NS
	2 nd	105.1 ^B	115.3 ^A	132.7	144.1	* ³	*
Pasture height at final date (cm)	1 st	48.0	49.2	68.6	86.2	*	*
	2 nd	34.0	55.5	72.0	89.2	NS	*

¹ Mean values with different superscript letters within the treatment on the same column differ significantly (P<0.05).

² NS indicates “statistically not significant”.

³ * shows the statistical significance by the t-test at level of P<0.05.

種共に H 区よりも L 区で高くなった ($P < 0.05$)。退牧時の草高については草種間で有意差はみられず, Ss においては L 区より H 区で有意に低い値を示した ($P < 0.05$)。

家畜による採食状況と各成分摂取量を表 4-6 に示した。1 日 1 頭当たりの利用可能草量は, 1 番草では 13.3-55.3kgDM の範囲にあった。2 番草では 4.5-44.1kgDM の範囲となり, 全ての処理区で 1 番草より低い値を示した。1 日 1 頭当たりの乾物摂取量は, 1 番草では 9.2-28.7kg の範囲にあり, L 区において Sb よりも Ss で有意に高い値を示した ($P < 0.01$)。また, Ss では L 区の乾物摂取量が H 区と比較して有意に高くなった ($P < 0.01$)。2 番草における乾物摂取量は, 2.8-16.3 kg の範囲にあり, Sb より Ss で高く, また, H 区よりも L 区で高い値を示した ($P < 0.01$)。利用可能草量に対する乾物摂取量の割合を採食利用率として算出すると, 1 番草においては H 区が 71.0%, L 区は 42.7%となり, 2 番草については H 区で 65.4%, L 区で 42.8%となり, それぞれ採食利用率は, L 区より H 区で約 1.5 倍高くなった。TDN 摂取量は乾物摂取量とほぼ同様の結果となった。1 日 1 頭当たりの HCNp 摂取量は 1 番草では 0.4-0.9gDM, 2 番草では 1.3-4.3gDM の範囲にあった。2 番草における HCNp 摂取量は全ての処理区において 1 番草より高い値を示した。また, いずれの放牧回次においても, 両草種共に L 区の HCNp 摂取量は H 区より高い値を示した。体重 1kg 当たりの HCNp 摂取量は, 1 番草では 0.9-2.0mgDM, 2 番草では 2.8-9.5 mgDM の範囲にあった。

Table 4-6. Herbage allowance, intake, TDN intake and cyanide (HCNp) intake in the first and second grazings on *Sorghum bicolor* (Sb) and *S. sudanense* (Ss) pastures grazed under high (H) and low (L) grazing intensity.

	Grazing period	H		L		Grazing intensity	
		Sb	Ss	Sb	Ss	Sb	Ss
Herbage allowance (kgDM/ head/ day)	1 st	13.3	19.4	30.5 ^{B1}	55.3 ^A	* ²	**
	2 nd	4.5 ^b	10.5 ^a	24.3	44.1	*	**
Herbage intake (kgDM/ head/ day)	1 st	9.2	13.7	9.4 ^b	28.7 ^a	NS ³	**
	2 nd	2.8 ^b	6.7 ^a	8.7 ^b	16.3 ^a	**	**
TDN intake (kgDM/ head/ day)	1 st	5.4	7.6	5.6 ^b	15.4 ^a	NS	**
	2 nd	1.8 ^B	4.0 ^A	5.5 ^B	9.4 ^A	*	**
HCNp intake (gDM/ head/ day)	1 st	0.5	0.4	0.9	0.8	*	**
	2 nd	2.2	1.3	4.3	4.0	*	*
HCNp intake per body weight (mg/kgBW) ⁴	1 st	1.1	0.9	2.0	1.8	*	**
	2 nd	4.9	2.8	9.5	8.8	*	*

¹ Mean values with different superscript letters within the same grazing intensity on the same column differ significantly (capital letter, P<0.05; small letter, P<0.01) .

² * and** show the statistical significance by the t-test at levels of P<0.05 and P<0.01, respectively.

³ NS indicates "statistically not significant" .

⁴ HCNp intake per body weight was estimated with HCNp intake divided with mean weight of grazing cows (450kg) .

考 察

1. ソルガム属草種放牧草地の草地生産性

1 番草および 2 番草の入牧前草量の合計は、森山ら(1989)が沖縄本島で行った 4 月播種の 2 回の刈取りにおける乾物収量と比較すると、全ての処理区で低い値を示した。この要因としては、供試土壌の低い pH 値および例年と比べ降雨量が低い等の気象要因によるものと推察される。ソルガム属草種の生長は酸性土壌や土壌の肥沃度に影響を受けやすく、土壌 pH は 5.7 以上にすることが必要であるとされている (Miller 1984)。本試験で供した試験圃場の土壌 pH は改良前が 4.5 と強酸性を示しており、石灰による改良後も 5.1 と推奨値よりも低い値であった。生産量について夏季の生育期間を同じくする本地域の他の放牧草地の場合と比較すると、Sb の H 区以外の処理区では、本県の放牧基幹草種であるジャイアントスターグラスの放牧時における草量 (當眞ら 2003) より高い値を示しており、放牧草地として十分な草量を満たしていたと考えられた。

1 日 1 頭当たりの乾物摂取量および TDN 摂取量は、日本飼養標準・肉用牛 (農業・食品産業技術総合研究機構 2009) で示されている成雌牛 (450kg) の放牧時の TDN58%, 採食草量 8.8kg および TDN 量 5.1kg であるのに対し、Sb の H 区を除く処理区の平均値はそれぞれ 58.0%, 13.9kg および 7.9kg であり、対象家畜に対する放牧草地としての条件は十分に兼備していたと考えられる。Köster ら(1992)の報告で

は、平均体重 607kg の去勢牛を供試した放牧試験において、飼料用ソルガムの乾物採食量は 1.62 kgDM/100kgBW であり、Darrell・David (1995)の報告では、ジョンソングラス(*Sorghum halepense* (L.) Pers.) 放牧地における平均体重 222kg の去勢牛の乾物採食量は 1.99-2.24kgDM/100kgBW であった。本試験で得られた 1 日 1 頭当たりの乾物採食量を体重 100kg 当たりに換算すると、1.3-5.0kgDM の範囲となり、最も高い乾物採食量を示した Ss の L 区以外は、前述の 2 件の報告とほぼ同等の値を示した。なお、本試験においては、退牧時に倒伏していた個体についても採集し、退牧後収量に加えたため、摂取量に踏み倒し量は含まれていない。

採食利用率の平均値は H 区では 68.2%、L 区では 42.8%であり、両草種共に H 区は L 区よりも高い値を示した ($p < 0.01$)。Fláviaら(2011)の行った交雑種のソルガムを用いた放牧試験においては、採食利用率が 20-55%の範囲にあったが、H 区はこれらの値より高く、すなわち高い放牧強度を示していた。H 区では、1 頭当たりの採食量は減少したものの、単位面積当たりの利用草量の増加が認められたことから、放牧草地の草量は家畜に最大限利用されたと考えられた。

Frenchら(1988a)がソルガム属草種草地において去勢雄子牛を供して行った放牧試験から得られた牧養力を、本試験における供試家畜の平均体重 450kg に換算すると、172.2-437.4CD であった。本試験における 2 回の放牧による牧養力は約 96-180CD であり、Ss の H 区ではこ

の範囲内にあったが、Sb の H 区，L 区および Ss の L 区ではこれより低い値となった。今回の試験では，利用可能草量に対して放牧頭数が多く，Sb の H 区，L 区および Ss の H 区において 1 日 1 頭当たりの乾物摂取量が家畜の維持に要する養分量以下となった日数，すなわち 6 日，3 日および 4 日を減じて放牧可能日数としたため，これらの処理区については牧養力がやや低下した。しかし，利用可能草量を考慮した放牧頭数の調節等，適切な管理方法の構築によってソルガム属草種草地の牧養力はさらに向上すると考えられた。

2. 試験期間中の HCNp 含量

放牧草地として安全に利用できる HCNp 含量の水準は，Boyd ら (1938) によって示された指標によると乾物当たり 500ppm 以下とされる。供試草の HCNp 含量は，2 番草の Sb の H 区を除く全ての処理区で 500ppm 以下となった。また，Sb は Ss と比較して高い値を示した。

HCNp 含量は様々な要因に影響を受けるが，遺伝形質や成熟度は農家が制御できる最も重要な要因である (Wheeler ら 1990)。ソルガムの HCNp 含量はスーダングラスより高いとされており (Boyd ら 1938)，また，ソルガム中の HCNp 含量は生育段階の進行に伴い減少することが明らかにされている (Boyd ら 1938; 森田ら 1967; 犬山・加治 1969; 相井 1973; Wheeler ら 1990; 吉田ら 1997)。加えて，Sb は中生，Ss は早生の品種で，両草種の早晚性の違いから，放牧開始時の Sb の生育段

階は S_s より若い状態にあり、HCN_p をより高濃度で含有していたと考えられる。

放牧回次毎では、2 番草の放牧開始時の生育段階が、両草種共に 1 番草より若く、HCN_p 含量も高くなる傾向を示した。加えて、2 番草の生育期間中は降水量が極めて少なく、干ばつ状態にあったことから、水ストレスによる影響を受けていたことが推察される。Nelson (1953) は施肥の有無および水ストレスの有無を処理とした試験を行い、施肥無しで水ストレスを受けた時、HCN_p 含量は増加すると報告している。一方で、Wheeler ら (1990) は急激な水ストレスにより HCN_p 含量が減少したと報告しているが、同時に、成熟による減少との混同を指摘している。このように、水ストレスは HCN_p 含量に影響する主要な要因であるとされているが、品種、施肥条件、干ばつの強度や長短によって HCN_p 含量に及ぼす影響が異なると考えられる (犬山・加治 1969)。本試験において 2 番草の HCN_p 含量が高い値を示した要因としては、干ばつによる生育の進行の遅延により、HCN_p 含量の高い生育段階から移行できず (Boyd ら 1938)、また、窒素代謝系におけるアミノ酸合成が抑制されたことにより中間産物である HCN_p が蓄積した (Léemann 1935) ものと推察された。

放牧強度の違いが HCN_p 含量に及ぼす影響は 2 番草の S_b においてのみ認められ、L 区より H 区で有意に高い値を示した ($p < 0.01$)。L 区と比較して H 区では 1 番草における利用量が高く、下部まで採食されて

いたため、再生も低い位置から萌芽し、再生草すなわち2番草を用いた放牧開始時における未成熟な部位の割合がL区よりも多かったと考えられる。また、他の牧草において高節位分けつほどエイジングの進行が速い(増田 1977)という報告があることから、高部位から再生を開始したL区ではH区より再生部位の生育進行が速く、HCNp含量もH区より早く低下したと考えられる。このことから、試験期間中最も高いHCNp含量を示したSbのH区では、環境要因や遺伝的要因などHCNpを増加させる要因が多かったことに起因していると考えられる。なお、強放牧を行ったH区では、単位面積当たりの放牧家畜による排糞量がL区よりも多いことが推察され、HCNp含量の増加要因として排糞由来の土壌中窒素量の増加分も検討すべきであるが、本試験での解析には至らなかった。

3. 放牧回次毎における放牧強度の影響

入牧前草量は両草種共に2番草で顕著に減少した。主な要因としては2番草の生育期間中に干ばつ状態が数週間に亘って続いたことによる生育不良が挙げられる。また、春本ら(1986)の報告ではソルガムの乾物収量は出穂前後で30%以上増加し、増田(1976)はスーダングラスにおいては開花期で最も高い乾物収量を示すことを明らかにしている。これらの報告にみられるように、ソルガム属草種は出穂～開花を境に大きく増収する。供試草における1番草の生育段階は、出穂～開花期で

あったが、2 番草は止め葉～穂ばらみ期であり、最大収量が得られる生育段階に達していなかったと考えられる。1 番草から2 番草にかけての株数の減少は認められなかったため、踏圧や採食の際の引き抜きによる欠株や株数の減少といった要因も考え難い。2 番草では特に H 区において入牧前草量の著しい減少が認められたが、L 区の減少量は小さかった。L 区では1 番草の残存草が多くみられたことから、残存草が再生量の低さを補うことで、ある程度の草量が維持されたと考えられる。増田(1977)は主稈の生育段階が進んでから出現した分けつほど消化率の低下速度が速いことを報告しており、Wilson(1976)は異なる葉位の葉について同じ発育段階で比較したとき、上層位ほど細胞壁含量が高く、窒素含有率や乾物消化率は低く、また、リグニンは増加傾向にあったと報告している。これらのことから、退牧後草高が高い値を示した L 区については残存部位の木質化の進行に加え、高い位置からの再生萌芽による2 番草の栄養価の低下が予想されたが、放牧強度間において TDN に有意な差は認められなかった。

乾物摂取量および TDN 摂取量については、1 番草では放牧地における成雌牛(450kg)の養分要求量(農業・食品産業技術総合研究機構 2009)を満たしていたが、2 番草では Ss の L 区以外の処理区で乾物摂取量を満たすことができなかった。また、TDN 摂取量についても両草種共に2 番草の H 区で不足を生じた。2 番草では入牧前草量の減少に伴い1 頭当たりの利用可能草量が減少したことが、乾物摂取量の

制限要因となり、養分供給量の不足を招いたと考えられる。供試家畜の採食利用率は 38.8-68.2%の範囲にあり、供試家畜の維持に要する養分要求量において、乾物摂取量 8.8kgDM を満たすためには、利用可能草量は少なくとも 12.6kgDM 必要であったと考えられる。2 番草の H 区においては、両草種共に、この利用可能草量を確保できていなかった。一方で、L 区においては、利用可能草量は十分に供給されていたにも関わらず、乾物摂取量は 1 番草における H 区と同程度であった。これらのことから、放牧家畜に必要な養分量を満たし、かつ、採食利用率を高めるためには 1 番草の H 区における利用可能草量が供給草量として適切であると考えられた。

反芻家畜の HCNp による致死量は約 2.2mgHCNp/kgBW であることが多くの研究者によって報告されている (Clawson ら 1934; Boyd ら 1938; Coop・Blakley 1950)。本試験で得られた HCNp 摂取量は 2 番草の全ての処理区において、この値を上回り、H 区より L 区で有意に高い値を示した ($p < 0.01$)。しかしながら、家畜はまた、HCNp の吸収・蓄積と同時に解毒を行っており、450kg の牛の解毒能は 1 時間当たり約 0.5g と考えられている (Boyd ら 1938)。予備試験で行った行動調査の結果から、採食時間を 6 時間として単位時間当たりの HCNp 摂取量を算出すると、両草共に H 区では、解毒能によって解毒可能な 0.2-0.4g の範囲となり、体重 1kg 当たりの HCNp 摂取量に換算すると、H 区、L 区共に致死量以下の数値となった。すなわち、採食による HCNp 摂取

および蓄積速度よりも解毒速度が速かったため、青酸中毒の可能性が回避されていたと考えられる。また、青酸中毒を発症した家畜は、呼吸促迫、あえぎ、ふらつき歩行や痙攣などの症状を示すが、本試験ではこれらの兆候は観察されなかった。

HCNp 含量は部位によっても異なり、特に、生育後期では上層葉で高い値を示すことが犬山・加治(1969)や相井(1973)によって明らかにされている。一般に、放牧における採食は群落草冠の上部から行われ、続いて葉を帯びた茎が採食されることが知られている(Chacon・Stobbs 1976)。すなわち、ソルガム属草種においては、HCNp 含量が高い部位は、家畜が選択的に採食する部位であると考えられる。また、採食量に影響する主な要因はひと噛み当たりの採食量であり、これは利用可能草量や葉の量などから決定される(Stobbs 1973; Chacon・Stoobs 1976; 林ら 1977)。従って、放牧家畜の要求量を上回る豊富な草量を供給する放牧草地では、葉が多く、HCNp 含量の高い上層位の選択採食に伴う乾物摂取量中の HCNp 摂取量の割合の増加や、採食量自体の増加に伴う HCNp 摂取量の増加が予想される。L 区では利用可能草量が 1 頭当たり採食量の約 2-3 倍あり、実際に L 区の乾物摂取量および HCNp 摂取量は H 区より高かった。また、L 区の退牧後草高についても H 区より高い値を示しており、上層位における選択採食が行われていたと考えられることから、供試家畜による実際の HCNp 摂取量は、結果で示した値より高くなる可能性が示唆された。

ソルガム属草種の放牧利用で最も重要なことは、乾物摂取量や養分摂取量に加え、HCNp摂取量を考慮した上で1頭当たりの利用可能草量を過不足なく供給できるように放牧強度を調節することである。短期的な放牧利用においては草生の維持が必ずしも必要であるとは限らず、むしろ限られた期間内で可能な限り多くの家畜に草地から直接粗飼料源を供給することが重要であると考えられる。また、ソルガム属草種草地においてL区のような弱放牧を行うと、過食や選択採食の結果、HCNp摂取量が増加する可能性がある。放牧前にHCNp含量を測定し、安全に利用できる水準であることを確認することが望ましいが、一般の農家がこれを行うことは難しい。その点、利用可能草量の制御は、家畜によるHCNpの過剰摂取を防ぐ最も簡易的な管理方法の1つである。従って、単位面積当たりの草地生産性の向上や青酸中毒のリスク軽減という観点からは、H区のように強い放牧強度で放牧を行うことが望ましいと考えられる。一方で、2番草においては、放牧強度を高めたことによる利用可能草量の低下、家畜の養分摂取量の不足、再生草におけるHCNp含量の増加の影響もみられ、これらは特にSbで顕著であった。このことから、放牧強度による影響の受けやすさは草種によって大きく異なるため、草種毎に適正な放牧強度の検討を行う必要があると考えられる。また、供試家畜による採食利用率が約40-70%の範囲であったことから、供試家畜の維持に要する養分要求量を満たすためには、約1.4-2.5倍の利用可能草量を確保する必要があると考えられた。

以上より、ソルガム属草種草地における利用可能草量、家畜による採食量および採食利用率は、本県の放牧基幹草種であるジャイアントスターグラス草地と比較しても遜色なく、短期的な放牧利用が可能と考えられた。また、牧養力は夏季のジャイアントスターグラス草地よりも低いですが、本来のソルガム属草種の生産量が得られる土壌条件や気象条件さらに適切な放牧管理下では、牧養力の増加も期待できる。さらに、H区では高い採食利用率および低いHCNp摂取量を示したことから、供試家畜の維持に要する養分要求量の約1.4-2.5倍の利用可能草量を確保しつつ、放牧強度を強めることで、選択採食や過食によるHCNp摂取量の増加を抑制し、青酸中毒の危険性を低減すると共に、採食利用率を高めることで草地生産性の向上を図ることが可能であると示唆された。

第2節 摘要

ソルガム属草種ソルガム(Sb)およびスーダングラス(Ss)の短期放牧利用時における草地生産性の評価と、異なる放牧強度条件での家畜の採食性や青酸化合物(HCNp)摂取量の検討を行うため、強放牧(H)区と弱放牧(L)区の2水準で2回の放牧を実施した。試験期間中における入牧前草量は3781-9038kgDM/haの範囲にあり、沖縄県の放牧草地の基幹草種であるジャイアントスターグラスと比較するとSbのH区を除く全処理区で高い値を示した。乾物摂取量は6.0-22.5kgDM/head/dayの範囲となり、SbのH区を除く全処理区で供試家畜の牧草地での平均的な採食量を上回り、高い採食性を示した。牧養力は96-180CDの範囲で、ジャイアントスターグラスと比較してやや低下したが、適切な管理方法の構築によってはさらに向上する可能性が示唆された。放牧強度毎の1日1頭当たり利用可能草量は、H区4.5-30.5kgDM、L区10.5-55.3kgDM、HCNp摂取量は、H区0.4-2.2gDM、L区0.8-4.3gDM、採食利用率はH区68.2%、L区42.8%となり、利用可能草量が多いL区でHCNp摂取量の増加と採食利用率の低下がみられた。以上より、利用可能草量、家畜による採食量、採食利用率の観点から、本県の放牧基幹草種と比較しても遜色なく、短期的な放牧利用が可能と考えられた。また、放牧強度を強めることで、選択採食や過食によるHCNp摂取量の増加を抑制し、青酸中

毒の危険性を低減すると共に、採食利用率を高めることで草地生産性の向上を図ることが可能であると示唆された。

第 5 章 ソルガム属草種の群落構造と放牧強度が 採食様式，成分摂取量ならびに 草地の草損失量に及ぼす影響

第 1 節 群落構造における HCNp の垂直分布

緒 言

前章では，ソルガム属草種は牧草供給量，家畜の採食性および利用性の観点から沖縄県の放牧基幹草種と比較しても遜色なく短期的な放牧利用が可能であることが示された。また，HCNp 摂取量の増加を抑制し草地生産性の向上を図るためには，放牧強度を強めることが望ましいことが示唆された。ソルガム属草種の放牧利用の特殊性は，青酸中毒の危険性を考慮した放牧管理が求められる点にあり，そのためには草地群落における HCNp 分布の特性や動態を明らかにしておく必要がある。

HCNp 含量は組織の成熟度が決定要因とされ，生育初期では茎部で高く，生育の進行に伴い葉部が茎部よりも高くなることや，生長点付近の上層葉ほど HCNp 含量が高いことが指摘されている(下浦・西村 1953; 犬山・加治 1969; 相井 1973)。また，一般に，放牧家畜は葉部現存量の多い上層位から捕捉することや，養分摂取速度を高く維持するために養分含量の高い植物種あるいは部位を選択的に採食する(岡

本ら 1994;高橋ら 2007)とされ, 前章で実施した放牧試験でも高層位から採食が行われていたことが明らかにされた。これらのことから, HCNp 含量の高い部位や層位は, 家畜が好んで摂取するとされる養分含量や消化性の高い部位と一致すると考えられ, 選択採食が可能な弱放牧あるいは粗放牧下では HCNp 摂取量が増大する可能性があると考えられる。主要な栄養成分の1つである粗タンパク質と HCNp は共に窒素代謝系による生成物であり, これらの分布は家畜の嗜好性に影響を与える一方で, 放牧家畜の安全性に影響を及ぼす。このことから, 青酸中毒のリスク管理を行う上で, 群落構造におけるこれら成分の垂直分布を把握し, 家畜の採食様式との関係性を予測しておく必要があると考えられる。本節ではソルガム属 2 草種について異なる生育段階で層別刈取りを行い, HCNp ならびに粗タンパク質の垂直分布と生育に伴う推移を明らかにすると共に, 家畜の採食様式に伴う両成分の推定摂取量について検討した。

材料および方法

試験は琉球大学農学部附属亜熱帯フィールド科学教育研究センター内の圃場(東経 127° 76', 北緯 26° 25')で実施した。供試土壌は pH7.8 のジャーガル土壌であった。供試草として, ソルガム属ソルガム (*Sorghum bicolor* (L.) Moench, 品種高糖分ソルゴー, 雪印種苗株式会社, 札幌, 以下, Sb)とスーダングラス(*Sorghum sudanense*

(Piper) Stapf, 品種リッチスーダン, 雪印種苗株式会社, 札幌, 以下, Ss)の2種を用いた。試験区は, 草種を主区, 3水準の刈取り時期を副区とする分割区法により3反復で配置した。1区面積は 6m^2 ($2\text{m} \times 3\text{m}$), 畦幅50cmの4畦とした。2012年4月9日に $3\text{kg}/10\text{a}$ の播種量で条播し, 基肥としてN, P_2O_5 および K_2O をそれぞれ要素量で10.0, 5.6 および $7.8\text{kg}/10\text{a}$ 施用した。草高約1mの栄養生長期 (Vegetative stage: V期), 穂ばらみ期 (Booting stage: B期) および出穂期 (Heading stage: H期) に刈取りを行った(表5-1)。草高を5点測定した後, 畦長1mで地際より20cm毎で層別刈取りを行った。収穫物は葉, 茎および穂に分別し, 生草重量を測定した後, 一部をHCNp含量の分析試料として抽出液の作出に供した。HCNpの分析はBradburyら(1991)およびHaque・Bradbury(2002)の方法に従った。残りの試料は 70°C で通風乾燥し, 乾物率を求めた後, 1mmの篩を通るように粉碎し, 粗タンパク質含有率(以下, CP)の測定に供した。CPは元素分析装置(NC-200F, SUMIGRAPH社製, 東京・大阪)を用いて窒素含量を測定した後, 6.25を乗じて求めた。

試験期間中の気温と降水量は, 沖縄気象台那覇観測所の値(気象庁2012)を用いた。

統計処理は統計パッケージソフト Stat view J-5.0 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA)を用いて, 生育段階を変数として分散分析を行い, F検定で有意性が認められた場合, Tukey-Kramer法により平均値間の

Table 5-1. Harvesting dates during the experimental period.

Species	Growth stage		
	V	B	H
Sb	6/8 (53)	7/10 (85)	7/18 (93)
Ss	6/6 (51)	6/28 (73)	7/4 (79)

**V: Vegetative stage, B: Booting stage, H: Heading stage
A number in parentheses means days after germination.**

差を検定した。

結 果

1. 試験期間中の気象条件

試験期間中の気象条件を図 5-1 に示した。平均気温は 25.7℃，積算降水量は 1029.0mm であった。月毎の平均気温は平年並みに推移したが，月別の積算降水量は，4，6 月で平年より高い値を示した。

2. 各生育段階における草生状態

各生育段階の草高，乾物収量，葉部割合，HCNp 含量および CP を表 5-2 に示した。草高は Sb, Ss 共に生育段階の進行に伴い高く推移した ($p < 0.01$)。乾物収量は両草種共に生育段階の進行に伴い増加し，Sb の H 期では B 期の約 2 倍の値を示した ($p < 0.01$)。葉部割合は Sb, Ss 共に生育段階の進行に伴い低下した ($p < 0.01$)。HCNp 含量は Sb では V 期，B 期および H 期の順に 48.7, 61.2 および 48.6ppm と推移し，B 期で最も高くなる傾向を示した。Ss ではそれぞれ 33.5, 18.9 および 24.9ppm となり，V 期で最も高くなる傾向を示した。CP は Sb では 4.4-7.5%，Ss では 5.0-9.4% の範囲にあり，いずれも生育段階の進行に伴い低下する傾向を示した (Sb: $p < 0.01$, Ss: $p < 0.05$)。

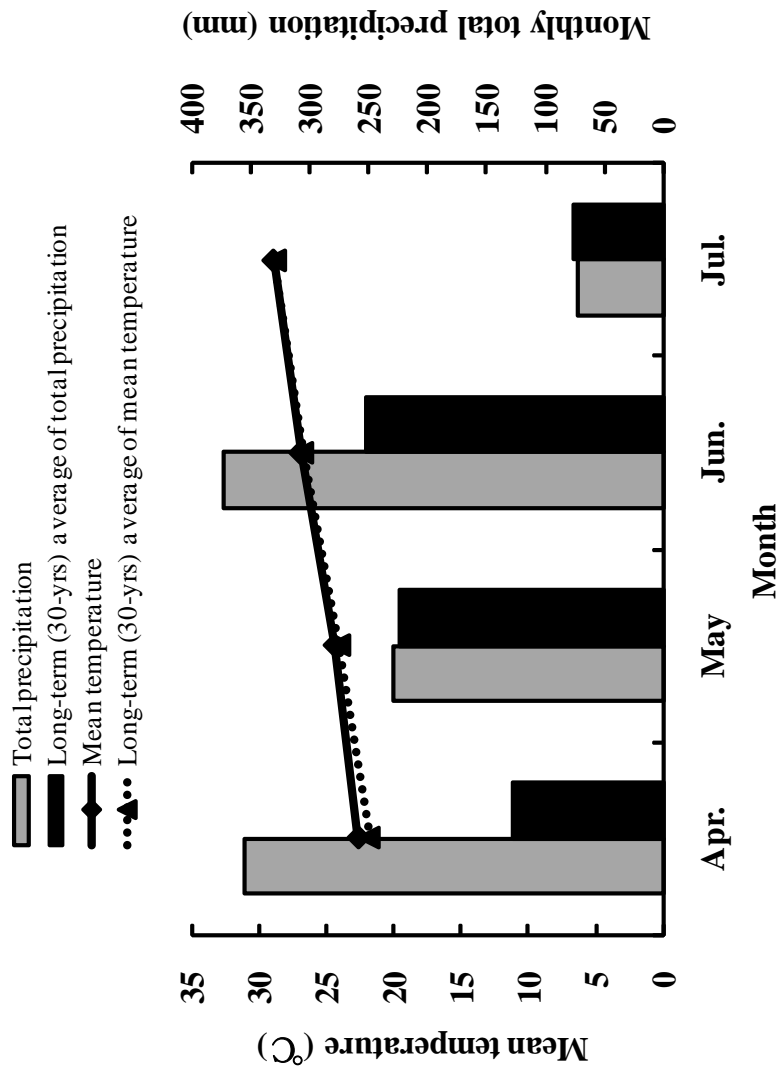


Fig. 5-1. Meteorological condition during the experimental period.

Table 5-2. Plant height, dry matter (DM) yield, leaf ratio, HCNp and crude protein content (CP) in each growth stage.

	Sb			Ss		
	V	B	H	V	B	H
Plant height (cm)	89.6 ^c	169.8 ^b	219.1 ^a	93.8 ^b	154.7 ^{ab}	208.3 ^a
DM yield (kgDM/10a)	190.5 ^c	641.7 ^b	1128.9 ^a	124.2 ^b	436.5 ^{ab}	662.8 ^a
Leaf ratio	0.6 ^a	0.3 ^b	0.2 ^c	0.6 ^a	0.4 ^{ab}	0.3 ^b
HCNp (ppm)	48.7	61.2	48.6	33.5	18.9	24.9
	34.3	134.0	154.9	28.0	38.7	43.4
	68.5 ^a	21.9 ^b	11.6 ^b	44.4	6.2	17.1
CP (%)	7.5 ^a	4.8 ^{ab}	4.4 ^b	9.4 ^A	6.6 ^{AB}	5.0 ^B
	9.8	9.5	10.1	12.3	11.8	10.5
	4.3 ^a	2.3 ^b	2.7 ^b	4.6	3.3	2.7

V: Vegetative stage, B: Booting stage, H: Heading stage

Mean values with different superscript letters within the same species on the same row differ significantly (capital letter, p<0.05; small letter, p<0.01).

3. 各生育段階における乾物現存量，HCNp および CP の垂直分布

Sb および Ss の各生育段階における部位別の乾物現存量と HCNp 含量の垂直分布をそれぞれ図 5-2 および 5-3 に示した。乾物現存量の垂直分布は両草種で同様の傾向を示した。すなわち，全ての生育段階において，葉部現存量は層位の上昇とともに漸次的に増加し，草高の中程度の層位で最も高い値を示した後，最上層位まで漸次的に減少した。茎部現存量は最下層で最も高くなる傾向を示し，層位の上昇とともに漸次的に減少する傾向を示した。また，H 期の茎部現存量は，両草種共に 200cm 以上の層位から再び増加する傾向を示した。

HCNp 含量の垂直分布は生育段階によって異なる傾向を示した。V 期の葉部では，両草種共に層位に関わらずほぼ同等の値で推移した。茎部では，両草種共に層位の上昇に伴い減少傾向で推移した。B 期では草種間でやや異なる傾向を示し，Sb の HCNp 含量は葉部，茎部共に層位の上昇に伴い増加傾向で推移した。一方，Ss の HCNp 含量は葉部，茎部共に中層位まで同程度の値で推移した後，最上層位まで漸次的に増加する傾向を示した。H 期では，両草種の葉部と茎部の HCNp 含量は共に中層位まで同程度の値で推移した後，最上層位まで漸次的に増加する傾向を示した。また，両草種共に茎部では層位 180-200cm で最も高い値を示した後，減少傾向に転じた。

各生育段階における HCNp 現存量と CP 現存量の垂直分布を図 5-4 に示した。各成分の現存量は生育段階によって異なる垂直分布を

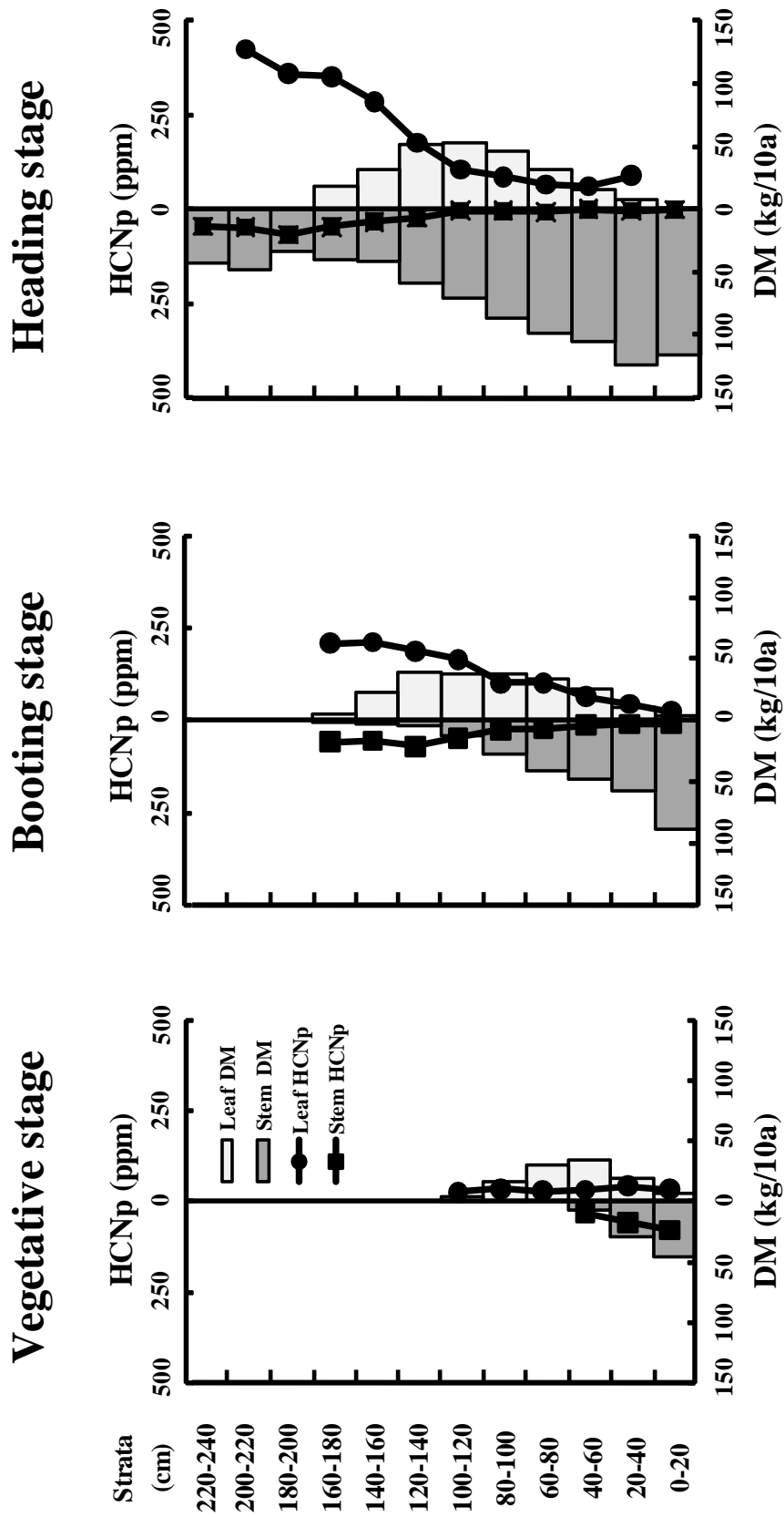


Fig. 5-2. Vertical distribution of dry matter (DM) and HCNp in each growth stage of Sb.

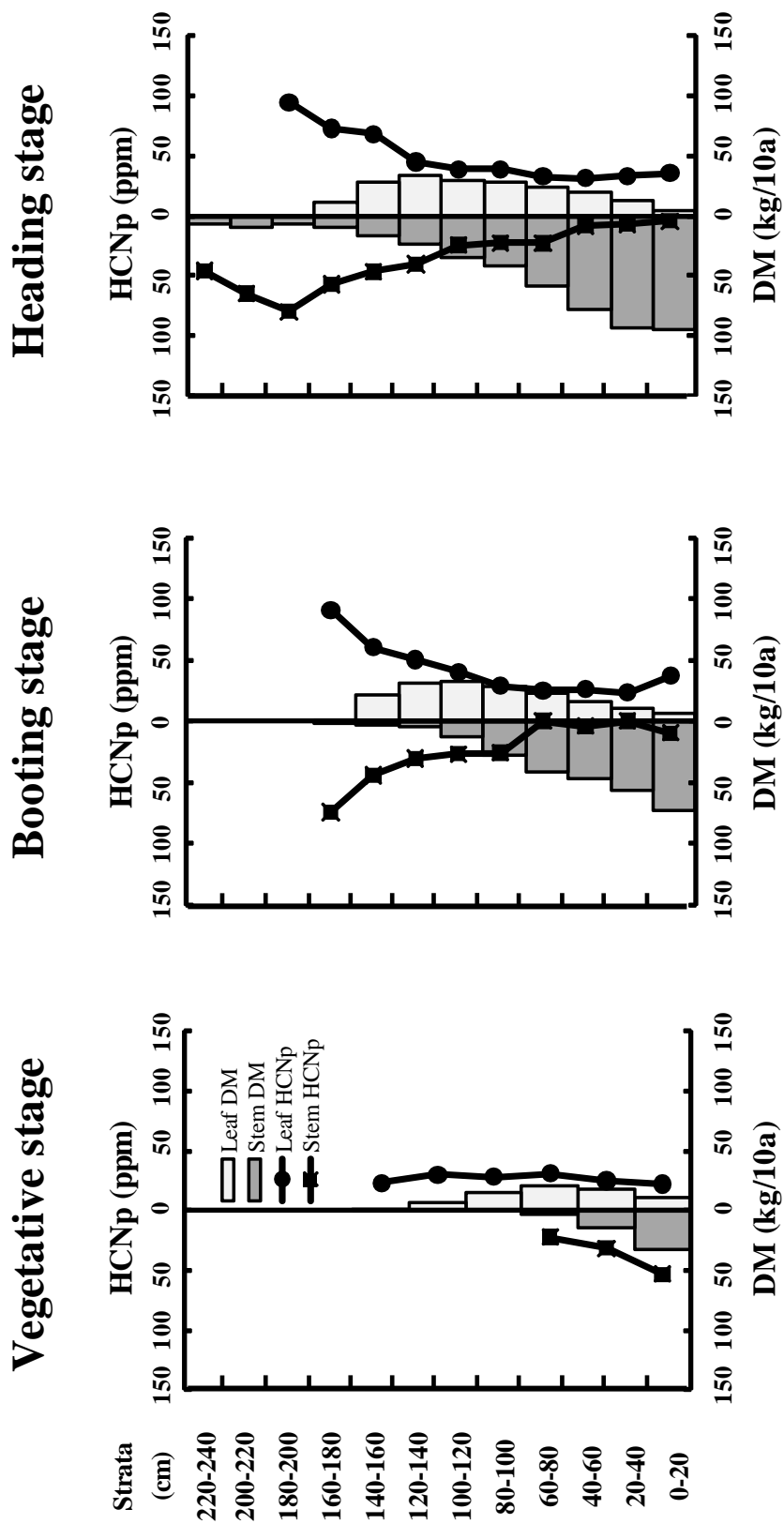


Fig. 5-3. Vertical distribution of dry matter (DM) and HCNp in each growth stage of Ss.

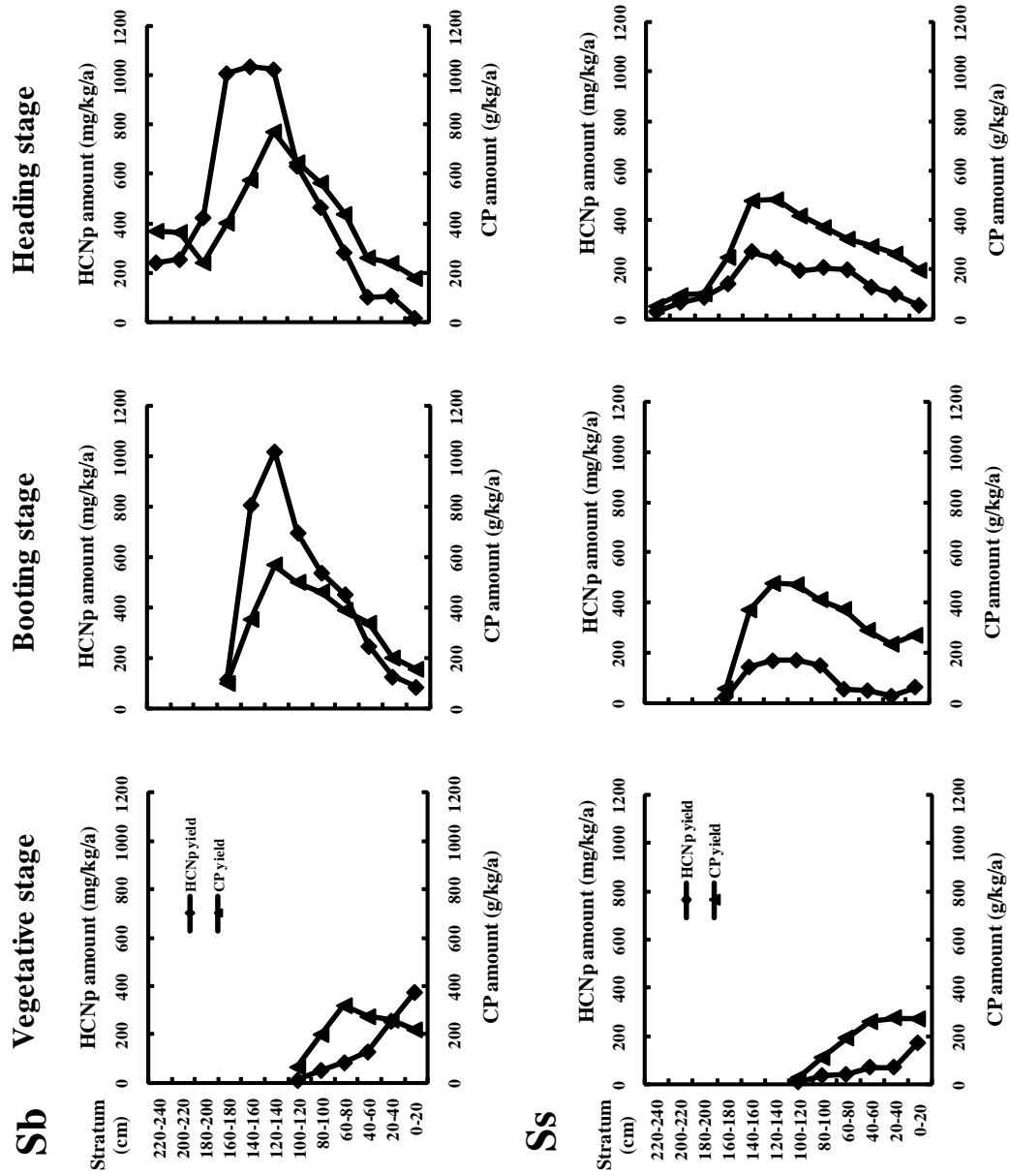


Fig. 5-4. Vertical distribution of HCNp amount and crude protein (CP) amount in each growth stage.

示した。V 期の HCNp 現存量は、両草種共に層位の上昇に伴い減少傾向で推移した。CP 現存量は、Sb では 60-80cm, Ss では 40-60cm の中層位まで増加あるいは同等の値で推移した後、最上層位まで漸次的に減少する傾向を示した。B 期と H 期の HCNp 現存量ならびに CP 現存量は共に、層位の上昇とともに漸次的に増加し、中～上層位で最も高い値を示した後、最上層位まで漸次的に減少する傾向で推移した。また、Sb の H 期の CP 現存量は 200cm 以上の上層位で再び増加した。

4. 乾物摂取量中の推定成分摂取量

乾物摂取量 1kg 当たりの HCNp 摂取量ならびに CP 摂取量を各生育段階の最上層位から採食される高さ毎に求め、それぞれの推定摂取量として図 5-5 に示した。推定 HCNp 摂取量は、V 期の Sb では 80-120cm の層位、Ss では最下層まで採食した場合にそれぞれ最も高くなる傾向を示した。B 期では両草種共に採食層位が上層位に限られる場合に高くなる傾向を示した。H 期の Sb では 140-240cm, Ss では 180-240cm の範囲で採食が行われた場合に最も高くなる傾向を示した。推定 CP 摂取量は、V 期と B 期では採食層位が上層位に限られるほど高くなり、H 期では中～上層位にかけての採食で最も高くなる傾向を示した。

各生育段階における HCNp 含量および推定 HCNp 摂取量の層位間のばらつき度を比較するために、それらの変動係数を表 5-3 に示した。

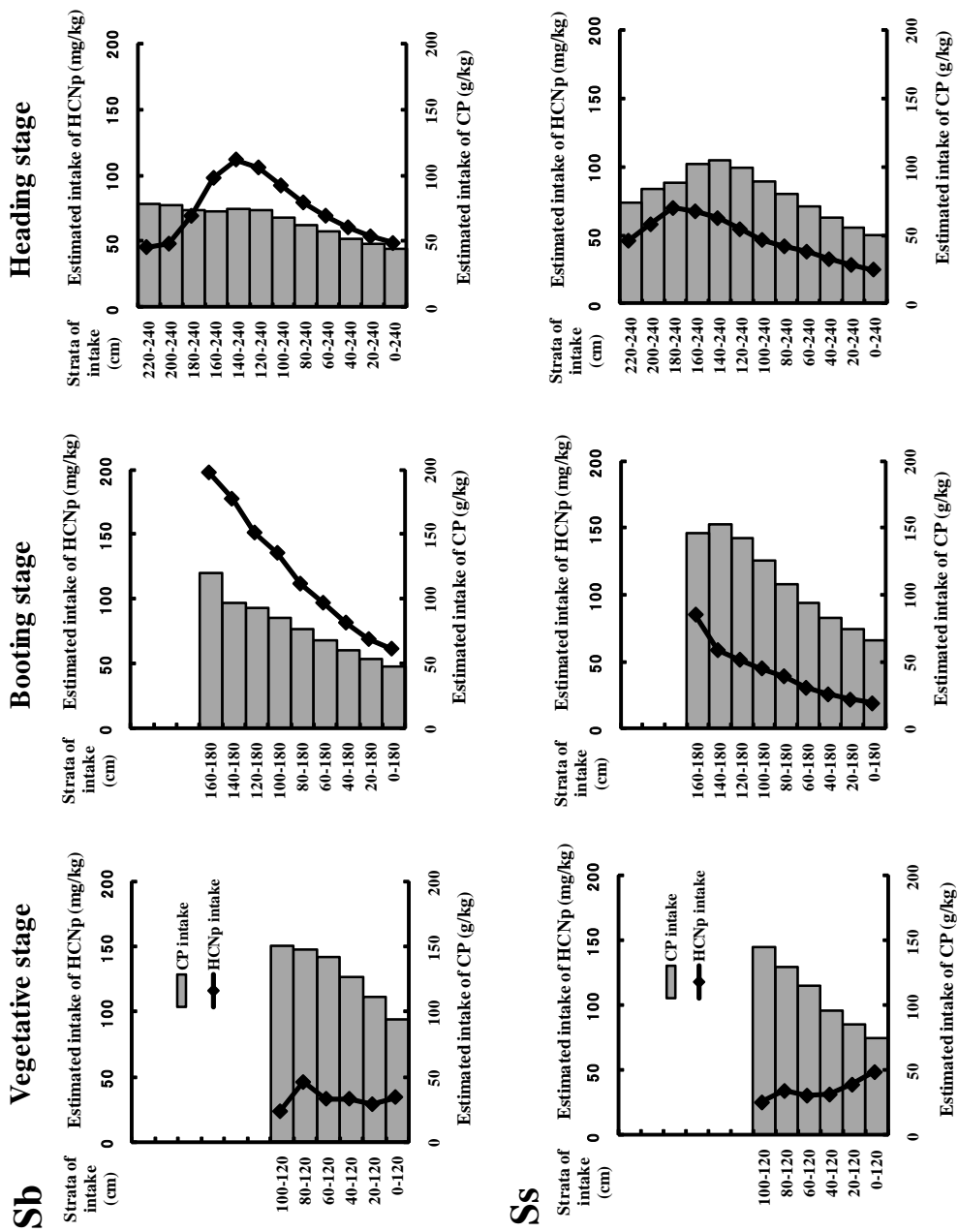


Fig. 5-5. Change of estimated intake of HCNp and crude protein (CP) in respective strata of each growth stage.

Table 5-3. Coefficient of variation in HCNp content and estimated intake of HCNp between each strata in each growth stage.

	Sb			Ss		
	V	B	H	V	B	H
HCNp content	44.0	82.8	87.3	26.9	89.2	62.6
Estimated intake of HCNp	23.0	40.3	32.0	23.3	50.5	31.8

***Values were presented as percentage on dry matter basis.**

HCNp 含量と推定 HCNp 摂取量の層位間の変動係数は共に、V 期で最も低く、B 期で高い傾向がみられた。

考 察

HCNp 含量は両草種共に、Boyd ら(1938)によって示された安全域(500ppm 以下;表 3-2)より低い値となり、草高約 90cm の栄養生長期から放牧利用が可能であることが示された。先行研究(森田ら 1967; 犬山・加治 1969;相井 1973;Wheeler ら 1990;Busk・Møller 2002)では、HCNp 含量は生育の進行とともに低下するとしており、第 3 章で行った栽培試験でもこれらの報告と一致する結果を示したが、本試験においては Sb の B 期では HCNp 含量が最も低く、Ss では高くなる傾向を示した。また、葉部の HCNp 含量は生育の進行とともに増加する傾向を示しており、この点においても前出の報告とは異なる結果となった。HCNp 含量の推移を第 3 章の栽培試験の同じ生育段階の HCNp 含量値と比較すると(図 5-6)、V 期では両草種共にこの値よりも明らかに低いことを示した。このことから、生育段階に伴う HCNp 含量の推移が先行研究の結果と異なるのは、V 期の HCNp 含量が低いことによるものと考えられた。しかし、HCNp 含量の V 期における低下と生育の進行に伴う葉部 HCNp 含量の増加の要因に関しては解明できなかった。部位別の HCNp 含量は、両草種共に V 期では茎部の HCNp 含量が葉部と比較して高い値を示し、B 期以降は葉部の HCNp 含量が茎部と比較して高

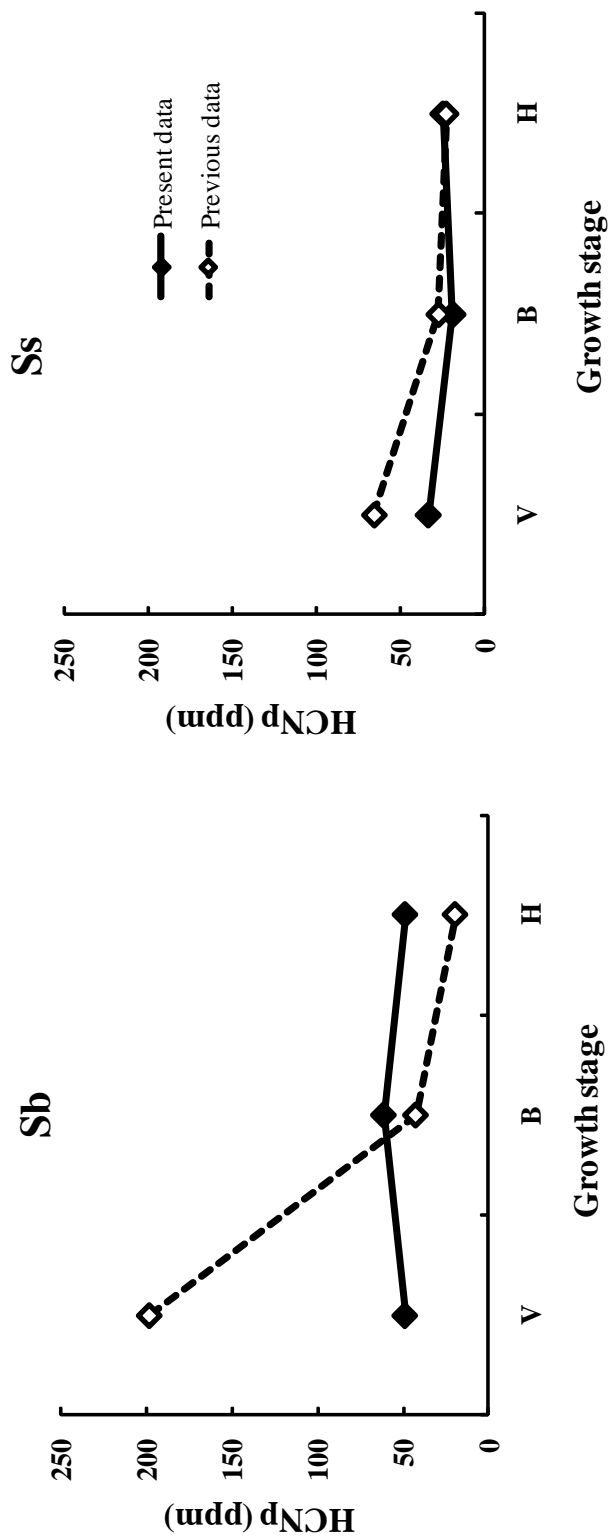


Fig. 5-6. Comparison with previous data as for changes of HCNp in each growth stage.
 Previous data was quoted from the cultivation experiment that was previously described on chapter 3-2.

い値で推移した。このような生育に伴う葉部と茎部の HCNp 含量の推移は犬山・加治(1969)や Willaman・West(1915)による報告と一致した。さらに, Willaman・West(1915)は葉部の HCNp 含量が高くなる要因として, 青酸配糖体が植物の生命維持に不可欠な行程に関連し, 光合成が最も活発に行われている葉部で高い HCNp 含量を示すことを明らかにしている。一方, Busk・Møller(2002)は生育初期のソルガム茎部の HCNp 含量が高い要因として, 発芽後 5 週目では, 茎部に Dhurrin (HCNp) 合成の場があることを示し, さらに, 茎部で合成された HCNp が葉部へ輸送されることを示唆している。しかしながら, 前者の報告では光合成が盛んに行われていると考えられる発芽後 5 週目における葉部での HCNp 合成が確認されていないこと, また, 発芽後 5 週目以降の HCNp 合成に関する調査が行われていないことから, 後者の報告との整合性を図ることが困難である。これらの報告をもとに, HCNp 含量の多寡が部位間で逆転する仕組みについて考察したが, 両者の報告から, この要因を特定するには至らなかった。Busk・Møller(2002)は発芽後数日から 5 週目までの期間中, HCNp の異化が合成量を上回っていたことから, HCNp は窒素貯蔵の役割を果たしており, 分解された HCNp は他の窒素化合物の合成に供されることを示唆した。また, HCNp の貯蔵場所は表皮細胞であるが, ソルガムは葉身の相当量(最大 35%)を占める表皮細胞の層を有しているため, HCNp の貯蔵量が多いことを伺わせる知見もある(Conn 1980)。これらのことから, 茎部における HCNp は随時,

葉部へ輸送あるいは分解されるのに対し、葉部では組織の構造上から貯蔵能力が高く、生育後期においても茎部と比較してHCNpを高い値で維持したことが推測された。

HCNp含量の垂直分布は、V期では層位に関わらずほぼ同等の値で推移したが、B期とH期では最上層位まで漸次的に増加し、上層位の葉部や茎部ほどHCNp濃度が高いとする既報（下浦・西村 1953；犬山・加治 1969；相井 1973）と一致した。このことは下浦・西村（1953）や犬山・加治（1969）が指摘しているように、生長点の上昇に伴うものであり、窒素同化が旺盛で、さらに組織の成熟度が若いことに起因すると考えられた。

HCNp含量ならびにCPは層位によって異なることから、家畜が採食する層位によって乾物摂取量中のHCNpならびにCP摂取割合は変動すると考えられる。このことから、乾物摂取量1kg当たりの推定HCNp摂取量および推定CP摂取量を、最上層位から採食される高さ毎にそれぞれ求め、頂部からの採食割合と成分摂取量の関係を明らかにした。その結果、V期の推定HCNp摂取量は、Sbでは頂部から下方へ約3割の範囲、Ssでは頂部から下方への採食割合が高まるほど増加する傾向を示した。B期では両草種共に採食層位が上層位に限られるほど高く、H期のSbでは頂部から下方へ約4割の範囲、Ssでは頂部から下方へ約3割の範囲を採食した場合に最も高くなる傾向を示した。推定CP摂取量は、V期とB期では採食層位が上層位に限られるほど高く、

H 期では頂部から下方へ約 4～5 割の範囲を採食した場合に最も高くなる傾向を示した。V 期の S_s では下層位まで採食するほど乾物摂取量中の HCNp 割合が増加する傾向が示されたが、層位間における HCNp 含量と採食層位による HCNp 摂取量の変動幅が小さい(表 5-3)ことから、家畜による採食様式が HCNp 摂取量へ及ぼす影響は他の生育段階と比較して少ないと考えられた。また、B 期および H 期では下層位まで採食を行うことにより乾物摂取量中の CP 摂取割合は低下するが、HCNp 摂取割合を最小限に抑えることが可能であると示唆された。

反芻家畜に対する HCNp による致死量は体重 1kg 当たり約 2.2mg とされる(Clawson ら 1934; Boyd ら 1938; Coop・Blakley 1950)。各生育段階における乾物摂取量 1kg 当たりの推定 HCNp 摂取量で最も高い値は、S_b の V 期、B 期および H 期でそれぞれ 45.7, 198.0 および 111.6mgHCNp/kgDM であった。本試験で供した草地群落内で、この推定 HCNp 摂取量を示す範囲を体重 450kg の家畜が採食した場合、HCNp が致死量に達する乾物摂取量は、それぞれ 19.7, 4.5kg および 8.1kgDM/頭と算出された。また、S_s の V 期、B 期および H 期における推定 HCNp 摂取量の最高値はそれぞれ 48.7, 84.9 および 69.9mgHCNp/kgDM であり、HCNp が致死量に達する乾物摂取量は 18.5, 10.6 および 12.9kgDM/頭となった。V 期については、標準的な黒毛和種繁殖牛の放牧中の採食草量 8.8kg(農業・食品産業技術総合研究機構 2009)と比較してやや多いものの、B 期と H 期においては

放牧家畜が十分に採食し得る量であると考えられる。さらに、上述の体重 450kg の家畜が前出の標準的な採食草量 8.8kg を摂取した場合、Sb の B 期および H 期はそれぞれ頂部から下方へ 6 割および 5 割の範囲を採食した場合に致死量に達する可能性が示唆された。また、Ss の全生育段階および Sb の V 期では、頂部からの採食割合に関わらず HCNp 摂取量は致死量以下となった。これらのことから、B 期および H 期では、群落全体の HCNp 含量は低下するものの、家畜の採食様式によっては青酸中毒の危険性が高まることが示唆され、特にその傾向は Sb で顕著となると考えられた。

以上より、草高約 90cm の栄養生長には、基準値の 500ppm を下回る HCNp 含量を示すため、安全に放牧草地として利用することが可能である。しかしながら、穂ばらみ期以降は頂部から下方へ約 3~4 割の範囲にあたる中～高層位部分を選択的に採食した場合に、HCNp 摂取量の増加に伴う青酸中毒の危険性が懸念されることから、これらの生育段階での放牧利用時は、群落の下層位まで採食されるような放牧管理を行う必要があると考えられた。

第2節 短期放牧利用における放牧強度が採食利用率， 採食層位ならびに成分摂取量に及ぼす影響

緒 言

前節では、ソルガム属 2 草種の異なる生育段階における HCNp の垂直分布を明らかにすると共に、頂部からの採食割合に伴う推定 HCNp 摂取量の推移について検討を行った。その結果、栄養生長期の HCNp 含量は層位に関わらずほぼ同等の値で推移し、穂ばらみ期以降では層位の上昇とともに高くなる傾向を示した。また、栄養生長期では採食する層位が HCNp 摂取量に及ぼす影響は小さく、穂ばらみ期以降では頂部から下方へ 3~4 割の範囲にあたる中~高層位を選択的に採食することで、乾物摂取量中の HCNp 割合が増加する可能性が示唆された。このことから、特に、穂ばらみ期以降の放牧利用では、家畜の採食様式と群落構造における成分分布を考慮した放牧管理を行う必要があると考えられた。

一般に、放牧家畜は葉部現存量の多い位置から優先的に捕捉し、また、養分含量の比較的高い植物種や部位を選択的に採食するとされている(岡本ら 1994;高橋ら 2007)。さらに Chacon・Stobbs(1976)は放牧家畜による採食は群落草冠の上部から行われ、続いて葉を帯びた茎が採食されることを報告している。このような家畜の採食様式と前節で明らかにしたソルガム属草種の HCNp の垂直分布からは、選択採

食が行われやすい弱放牧あるいは粗放牧下では、家畜が選択的に採食する層位と HCNp が高濃度で蓄積されている層位が一致し、HCNp 摂取量が増加することが予想される。これらのことから、ソルガム属草種の放牧利用では、放牧草地の草量や草質、群落構造に対する放牧家畜の選択性を考慮した放牧管理を行うことが重要であると考えられる。

草地生産性に影響を与える最も重要な管理要因である放牧強度は、放牧草地の群落構造との相乗効果により、家畜の採食様式ならびに HCNp 摂取量にも影響を及ぼすことが推察される。このため、異なる放牧強度下での家畜の採食様式や HCNp 摂取量の変動を明らかにすることは、青酸中毒のリスク管理を考慮した放牧管理技術を構築する上で基礎的な知見となり得ると考えられる。従って、本節では、3 水準の放牧強度下で放牧試験を実施し、放牧強度の違いが家畜の採食性、採食層位、HCNp 摂取量ならびに成分摂取量に及ぼす影響について検討を行った。

材料および方法

試験は沖縄県石垣市内（東経 124° 11' ，北緯 24° 21' ，標高約 21m）の耕作地で実施した。供試圃場の土壌 pH は 7.2 であった。供試草として、ソルガム (*Sorghum bicolor* (L.) Moench, 品種高糖分ソルゴー, 雪印種苗株式会社, 札幌, 以下 Sb) およびスーダングラス (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf, 品種リッチスーダン, 雪印種苗株

式会社，札幌，以下 Ss)の2種を用いた。総面積約60aの試験圃場を4分割し，2012年5月12日にSbとSsをそれぞれ2区画に割り当て，播種量37kg/ha，畦幅50cmで条播し，基肥としてN，P₂O₅およびK₂Oをそれぞれ要素量で126，70および98kg/ha施用した。試験区は表5-4に示したように，各草種につき放牧強度を167頭/ha(以下H区)，84頭/ha(以下M区)および56頭/ha(以下L区)の3水準に設定し，簡易電気牧柵を用いて計6牧区に分割した。供試牛群は，体重約450kgの黒毛和種繁殖雌牛14頭を各7頭ずつの2群に分け，各草種の試験区にそれぞれ配置した。

2012年7月26日から29日の期間に1番草を用いて馴致のための放牧を行った。放牧終了時に一斉に掃除刈りを行い，8月22日にN，P₂O₅およびK₂Oをそれぞれ要素量で70，39および54kg/ha施用した。試験期間を10月6日から9日の3日間とし，2番草を用い1日単位でH区，M区，L区の順で牛群を移動させた。各試験区には移動式水槽を設置し自由に飲水ができるようにした。

各試験区への入退牧時に，無作為に選んだ10地点で草高の測定を行った後，5地点で1m畦長について地際から20cm毎に層別刈取りを行った。刈取った試料は葉茎別に生草重量を測定し，一部をHCNp含量の分析試料として抽出液の作出に供した。HCNpの分析はBradburyら(1991)およびHaque・Bradbury(2002)の方法に従った。残りの試料は70℃で通風乾燥し，乾物率を求めた後，以下の成分分

Table 5-4. Grazing intensity in respective pasture area.

	H	M	L
Pasture area (a)	4.2	8.3	12.5
Number of cows (head)	7	7	7
Grazing intensity (cow/ha)	167	84	56

析に供した。入退牧時の生草重量に乾物率を乗じたものをそれぞれの乾物重量とし、前後差法により乾物摂取量と採食利用率を算出した。また、HCNp 含量に乾物重量あるいは乾物摂取量を乗じたものを、それぞれ HCNp 現存量、HCNp 摂取量とした。乾物試料は 1mm の篩を通るように粉碎し、*in vitro* 乾物消化率（以下、IVDMD）と粗タンパク質含有率（以下、CP）の測定に供した。IVDMD はペプシン・セルラーゼ法（Goto・Minson 1977）によって測定し、Minson ら（1976）および Goto・Minson（1977）によって示された関係式（ $TDN = 0.683 \times IVDMD + 21.077$ ）により可消化養分総量（以下、TDN）を算出した。CP は元素分析装置（NC-200F, SUMIGRAPH 社製）を用いて窒素含有率を測定した後、6.25 を乗じて算出した。TDN および CP にそれぞれ乾物重量あるいは乾物摂取量を乗じたものを、TDN 現存量および CP 現存量、TDN 摂取量および CP 摂取量とした。

試験期間中の気温と降水量は、沖縄気象台石垣島観測所の値（気象庁 2012）を用いた。

統計処理は統計パッケージソフト Stat view J-5.0（SAS Institute Inc Cary NC, USA）を用い、放牧強度および草種を変数とする分散分析の後、t 検定を行った。

結 果

1. 試験期間中の気象条件

試験期間中の気象条件を図 5-7 に示した。平均気温は 28.2℃、積算降水量は 1230.0mm であった。月毎の平均気温は平年並みに推移したが、6月と9月の降水量が平年より多かったことから、積算降水量は平年値の約 1.3 倍となった。

2. 放牧草地の特性

放牧期間中の草地特性を表 5-5 に示した。供試草種の生育段階は、Sb が止め葉～穂ばらみ期、Ss が出穂期であった。平均草高は、Sb で 156.8cm、Ss では 174.0cm となり、Ss が Sb と比較して有意に高くなった ($p < 0.01$) が、入牧前草量は、Sb で 8.5tDM/ha、Ss では 4.9tDM/ha となり、Sb は Ss よりも有意に高い値を示した ($P < 0.01$)。葉部割合は、Sb で 35.3%、Ss では 28.8%となり、Sb は Ss と比較して有意に高かった ($p < 0.01$)。両草種の IVDMD、TDN および CP は、Sb がそれぞれ 51.5%、56.3% および 5.9%、Ss がそれぞれ 38.0%、46.5% および 4.8% となり、Sb は Ss よりも有意に高い値を示した (IVDMD, TDN: $P < 0.01$, CP: $P < 0.05$)。HCNp 含量は Sb で 73.8ppm、Ss では 26.0ppm となり、Sb は Ss と比較して有意に高い値を示した ($P < 0.01$)。

各層における IVDMD、CP、HCNp 含量および葉部割合を表 5-6 に示した。Sb の IVDMD と CP は、高い層位ほど漸次的に増加する傾向を

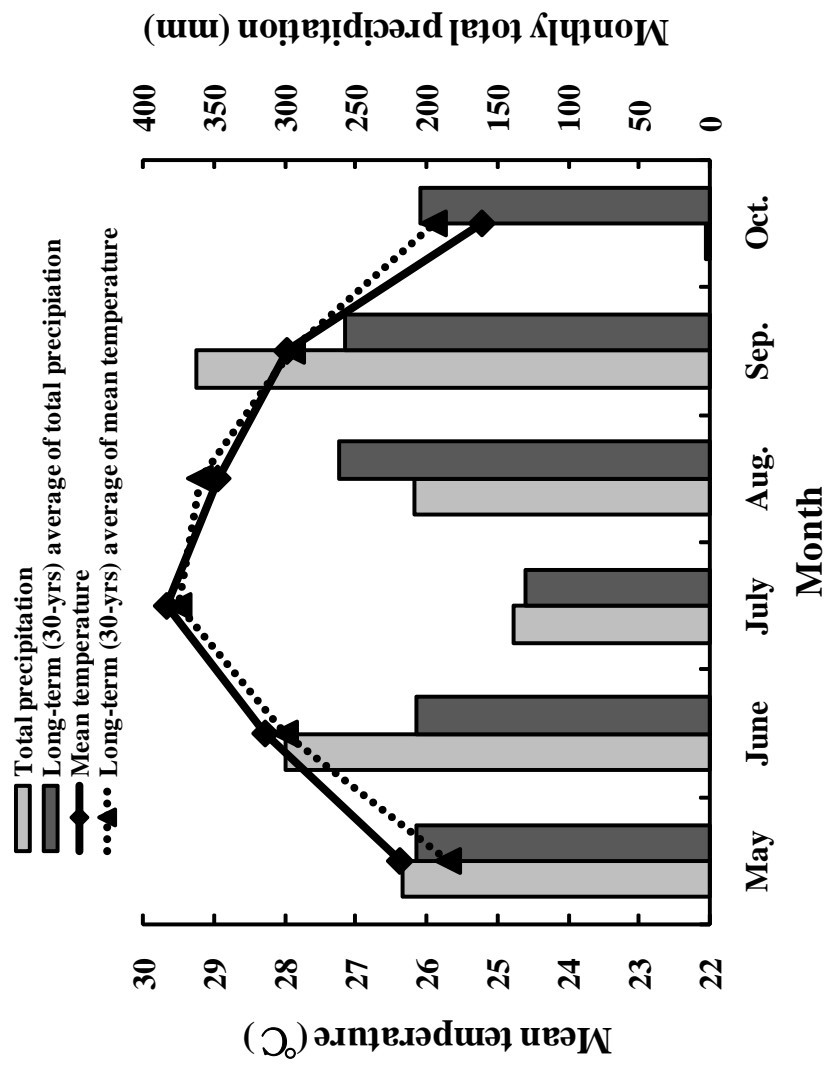


Fig. 5-7. Meteorological condition during the experimental period.

Table 5-5. Characteristics of pastures before grazing experiment.

Growth stage	Sb		Ss
	Flag leaf ~ Booting	Heading	Heading
Canopy height (cm)	156.8 ± 9.5 ^b	174.0 ± 13.7 ^a	
Herbage production (tDM/ha)	8.5 ± 1.6 ^a	4.9 ± 0.7 ^b	
Percentage of leaves	35.3 ± 2.2 ^a	28.8 ± 4.3 ^b	
IVDMD (%)	51.5 ± 0.4 ^a	38.0 ± 2.9 ^b	
TDN ¹ (%)	56.3 ± 0.3 ^a	46.5 ± 2.1 ^b	
CP (%)	5.9 ± 0.8 ^A	4.8 ± 0.3 ^B	
HCP (ppm)	73.8 ± 2.2 ^a	26.0 ± 3.7 ^b	

1 Mean values with different superscript letters on the same row differ significantly (capital letter, P<0.05; small letter, P<0.01).

2 TDN (%) = 0.683 × IVDMD + 21.077 (Minson *et al.* 1976; Goto & Minson 1977).

Table 5-6. Changes of IVDMD, CP, HCNp and leaf percentage in each stratum.

Stratum (cm)	Sb				Ss			
	IVDMD (%)	CP (%)	HCNp (ppm)	Leaf ratio (%)	IVDMD (%)	CP (%)	HCNp (ppm)	Leaf ratio (%)
160-180	–	–	–	–	39.0 ^{ab}	8.8 ^{abc}	59.8 ^a	0.15 ^c
140-160	54.2	12.7 ^a	302.8 ^a	0.78 ^a	45.4 ^a	10.7 ^a	51.3 ^{ab}	0.48 ^{ab}
120-140	54.9	11.7 ^{ab}	226.3 ^b	0.75 ^a	46.1 ^a	10.1 ^{ab}	45.1 ^{ab}	0.59 ^a
100-120	54.4	9.8 ^{bc}	165.6 ^c	0.61 ^{ab}	43.6 ^a	8.0 ^{bc}	41.4 ^b	0.49 ^{ab}
80-100	54.4	8.3 ^{cd}	118.0 ^c	0.52 ^{abc}	42.4 ^a	6.1 ^{cd}	36.3 ^b	0.40 ^{abc}
60-80	52.2	5.8 ^{de}	43.5 ^d	0.37 ^{bc}	39.8 ^{ab}	4.4 ^{de}	17.5 ^c	0.28 ^{bc}
40-60	51.4	4.2 ^e	55.4 ^d	0.26 ^{bc}	38.6 ^{ab}	3.0 ^e	18.8 ^c	0.18 ^c
20-40	49.7	4.0 ^e	25.3 ^d	0.20 ^c	37.3 ^{ab}	2.5 ^e	16.5 ^c	0.18 ^c
0-20	48.8	3.6 ^e	20.9 ^d	0.18 ^c	31.1 ^b	3.1 ^e	18.0 ^c	0.31 ^{bc}

1 Mean values with different superscript letters on the same column significantly (P<0.01).

示した。S_sのIVDMDとCPは、高い層位ほど漸次的に増加する傾向を示した後、最上層で減少する傾向を示した。HCN_p含量は両草種共に高い層位ほど増加する傾向で推移し、80-100cm以上の層位では、60-80cm以下の層位よりも有意に高い値を示した($p < 0.01$)。S_bの葉部割合は高い層位ほど増加する傾向を示した。S_sの葉部割合は高い層位ほど増加する傾向で、120-140cmの層位で最も高い値を示した後、減少傾向に転じた。

3. 家畜による利用状況

各放牧強度における利用可能草量と家畜による採食状況を図 5-8 に示した。1日1頭当たりの利用可能草量は、S_bで49.3-146.7kgDM、S_sでは30.9-91.9kgDMの範囲にあり、S_bはS_sと比較して高い値を示した($p < 0.01$)。1日1頭当たりの乾物摂取量は、S_bで37.3-67.1kg、S_sでは17.1-36.4kgの範囲にあり、S_bはS_sと比べて高い値を示した($p < 0.01$)。また、両草種共に他の試験区と比較してH区で低い値となった($p < 0.01$)。採食利用率は、S_bで42.6-75.8%、S_sでは36.7-59.7%の範囲にあり、他の試験区と比べてL区で低い値を示した($p < 0.01$)。部位毎の採食利用率は、S_bの葉部で50.7-89.8%、茎部で38.1-68.1%の範囲にあり、S_sではそれぞれ72.1-75.2%、19.9-53.8%の範囲にあった。両草種共に各試験区の部位毎の採食利用率は茎部の値よりも葉部で高い傾向を示した。

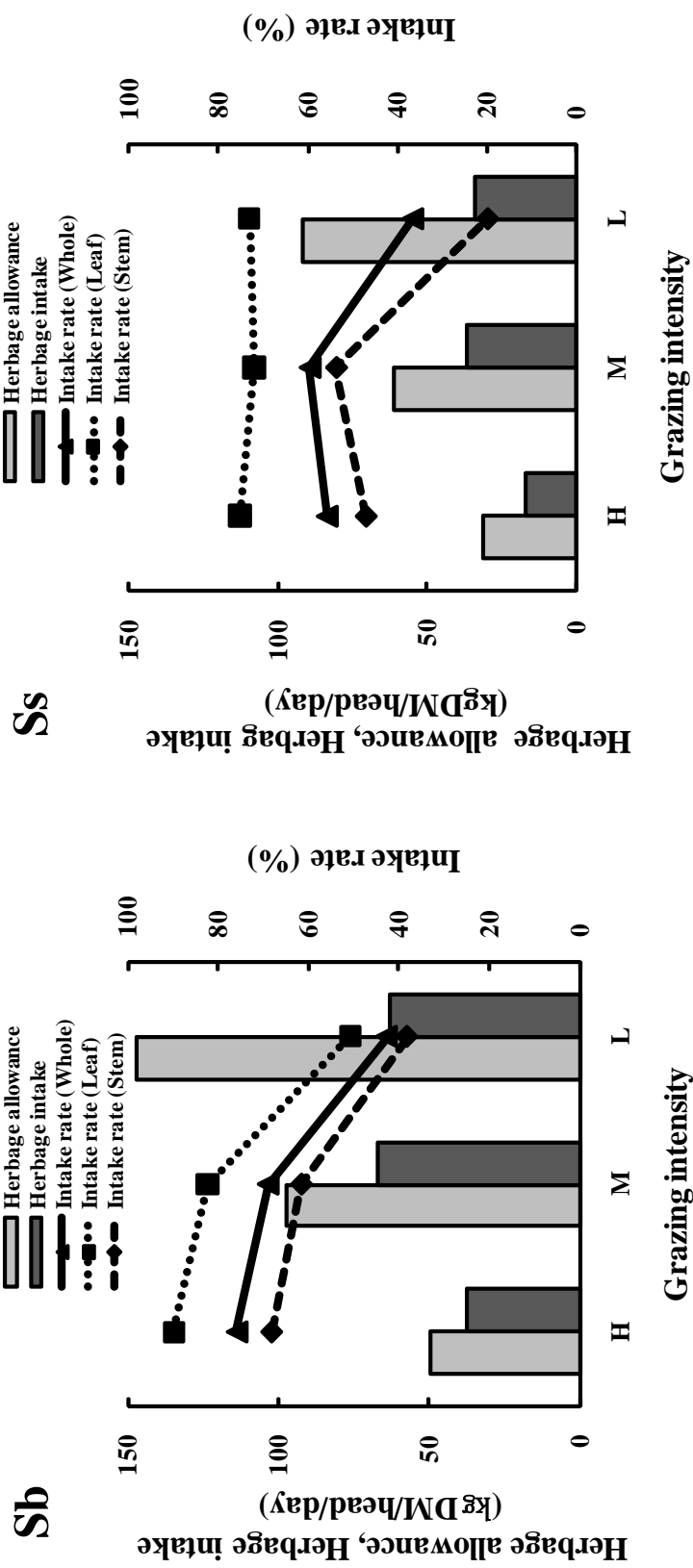


Fig. 5-8. Herbage allowance, herbage intake and intake rate on each grazing intensity.

入牧前および各試験区における退牧後の乾物現存量，TDN 現存量，CP 現存量および HCNp 現存量の垂直分布と草高を図 5-9 に示した。入牧前の乾物現存量と TDN 現存量は両草種共に最上層位まで漸次的に減少する傾向を示した。CP 現存量は両草種共，40-60cm の層位まで増加し，層位が高まるとともにやや減少し，80-100cm で最も高い値を示すものの，最上層位まで漸次的に減少する傾向を示した。HCNp 現存量は Sb では層位が高いほど増加する傾向で推移したのに対し，Ss では層位による一定の傾向は認められなかった。また，Sb，Ss 共に最上層位では減少した。退牧後草高は両草種共に H，M および L 区と放牧強度が弱くなるほど高く推移した ($p < 0.01$)。

各放牧強度における乾物摂取量，TDN 摂取量，CP 摂取量および HCNp 摂取量を図 5-10 に示した。Sb の乾物摂取量と TDN 摂取量は H 区よりも M 区で高い値を示し，L 区では同等かやや低下する傾向を示した。一方，CP 摂取量と HCNp 摂取量は放牧強度が弱くなるとともに増加する傾向を示し，H 区は他の試験区の値と比較して有意に低い値を示した ($p < 0.01$)。Ss のそれぞれの摂取量は，HCNp 摂取量の M 区と L 区でほぼ同等の値となったのを除き，Sb と同様の傾向で推移したが，放牧強度間における各摂取量の増減量は Sb と比較して小さい傾向にあった。

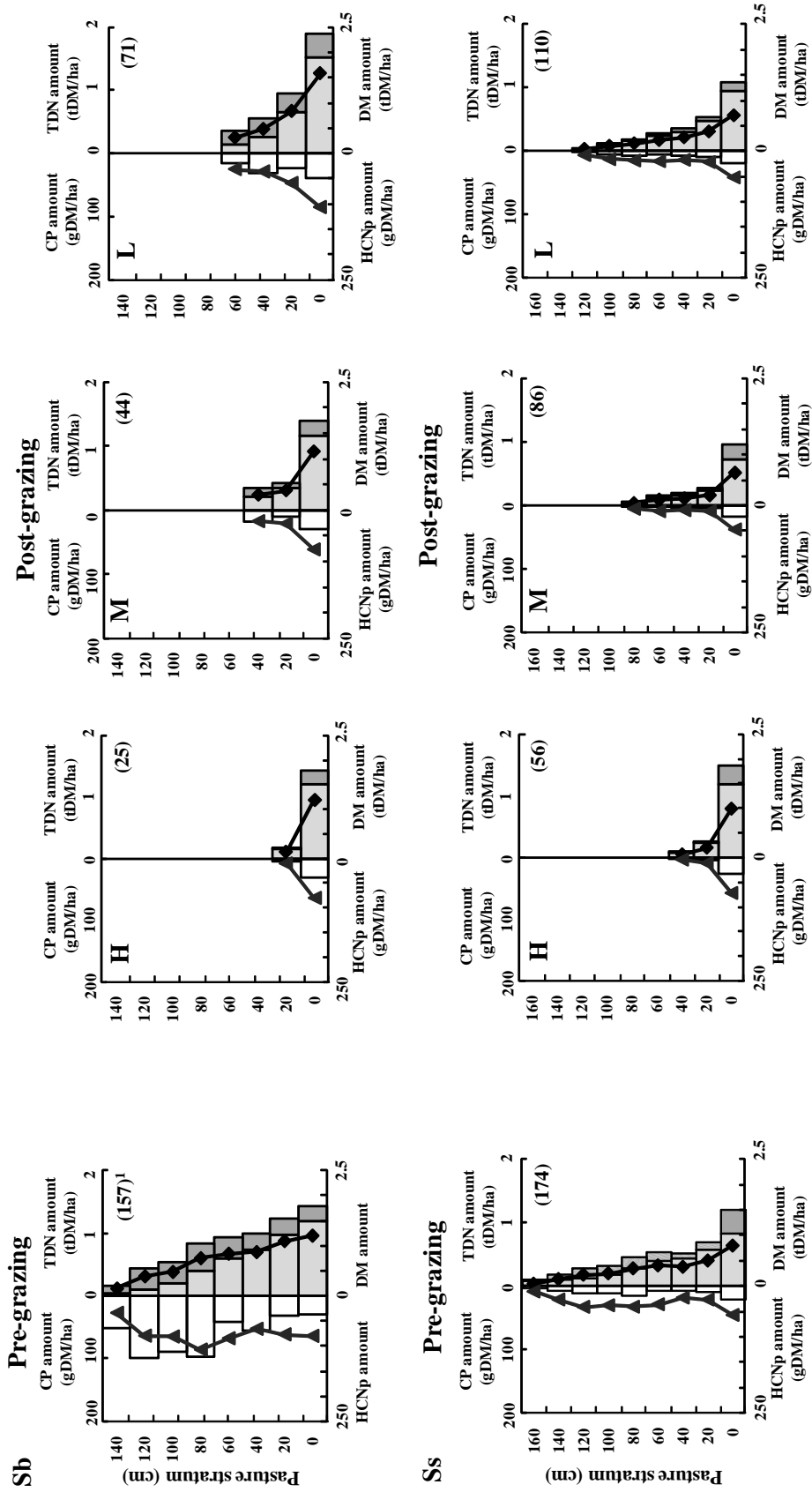


Fig. 5-9. Vertical distribution of DM amount (■ leaf and □ stem), TDN amount (—◆—), CP amount (—▲—), HCNp amount (□) and canopy height on pre-grazing and post-grazing. ¹ Number in parentheses shows canopy height.

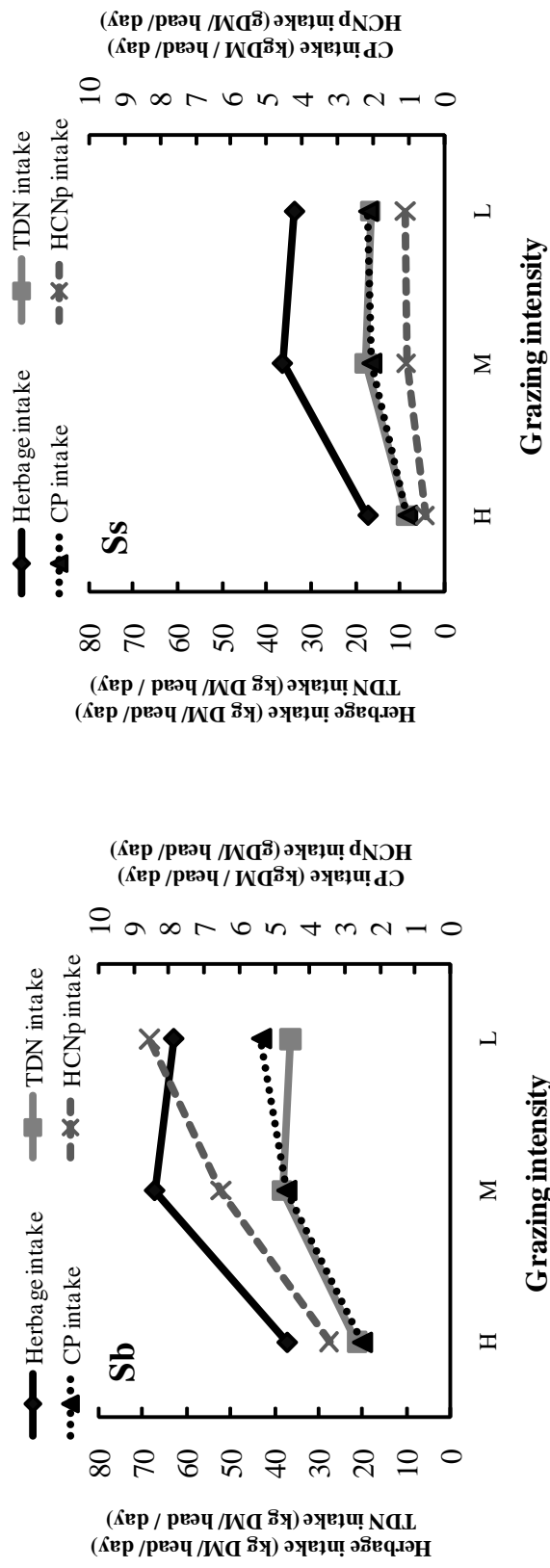


Fig. 5-10. Herbage, TDN, CP and HCNp intake on each grazing intensity.

考 察

1. ソルガム属放牧草地の草種間比較

両草種の入牧前草量は、細谷ら(1990)が実施した栽培試験における5月播種の2番草の乾物収量(約2.0-5.0tDM/ha)と比較して、同等もしくは高い値を示した。Sbの草高はSsと比較して低い値を示したが($p < 0.01$)、Sbの入牧前草量と葉部割合はそれぞれSsよりも有意に高い値を示していた($p < 0.01$)。このことから、SbではSsと比較して葉部の空間密度が高い群落構造を形成していたと考えられた。

細谷ら(1999)が行ったソルガムとスーダングラスの飼料成分の調査では、Sbと同型であるソルゴー型(糖蜜タイプ)のIVDMDおよびCPの平均値はそれぞれ51.2%および5.4%、スーダングラスでは47.5%および9.1%であった。これらの値と比較して、SbのIVDMDとCPの値はほぼ同等であったが、Ssの場合はいずれの値も低い傾向であった。Ssは早生種で生育速度が速く、放牧時には出穂期に達していたため、同時期に穂ばらみ期であったSbと比較して飼料成分の低下傾向が顕著であったと考えられる。

牧草地におけるHCNpの安全な濃度は500ppm以下とされる(Boydら1938, 表3-2)が、供試した両草種のHCNp含量はいずれもこの基準値以下であった。草種間で比較すると、SbのHCNp含量はSsよりも高い値を示した($p < 0.01$)。一般に、ソルガムのHCNp含量はスーダングラスより高く(Boydら1938)、同品種でも生育段階の進行に伴い減少

することが明らかにされている(Boyd ら 1938; 森田ら 1967, 1968; 犬山・加治 1969; 相井 1973; Wheeler ら 1990; 吉田ら 1997)。Sb は中生, Ss は早生の品種で, 両草種の早晩性の違いから放牧開始時の Sb の生育段階は Ss よりも若い状態にあった。このことから, 遺伝形質と生育段階の違いが両草種の HCNp 含量の差異に反映したと考えられた。

2. 異なる放牧強度下での家畜による採食層位と乾物および成分摂取量

放牧家畜の採食層位は退牧後の群落の草高で示され(図 5-8), 両草種共に放牧強度が弱いほど高く推移した($p < 0.01$)。すなわち, 放牧強度が弱く, 利用可能草量が多い L 区では上層位における採食が多く行われるのに対し, H 区の退牧後の草高は低く, 群落全体の採食を示していた。一般に, 放牧下での採食は群落草冠の上部から行われ, 続いて葉を帯びた茎が採食されることが知られている(Chacon・Stobbs 1976)。また, 放牧家畜は葉部現存量の多い層や養分現存量の高い部位から採食するとされる(岡本ら 1994; 高橋ら 2007)。本試験でも, 放牧家畜は上層位から優先的に採食を行い, 採食している層位の現存量の低下に伴い下層位へと採食する層位を移したと考えられた。また, IVDM, CP, HCNp 含量および葉部割合は上層位ほど高くなる傾向を示し(表 5-6), 放牧強度が弱く利用可能草量の多い試験区ほど栄養価や葉部割合の高い層を選択採食する機会が増えたことが推測された。

Sb の乾物摂取量は全試験区で Ss よりも高い値を示した ($p < 0.01$)。摂取量に影響する主な要因はひと噛み当たりの採食量であり、これは利用可能草量や葉の量などから決定される (Stobbs 1973; Chacon・Stobbs 1976; 林ら 1977)。また, Van Soest (1965) はスーダングラスを含む数品種のイネ科牧草で, 自由採食量と消化率が高い正の相関を示したことを報告している。これらのことから, 草種間における乾物摂取量の差異は, Sb の利用可能草量と IVDMD が Ss と比較して高い値であったことに起因すると考えられた。各放牧強度下における乾物摂取量は, 両草種共に H 区で最も低い値を示し ($p < 0.01$), M 区と L 区ではほぼ同等の値となった。放牧牛の採食量は利用可能草量と高い正の相関関係にあり, 漸近曲線で示されることが多くの研究者によって明らかにされている (Gibb・Treacher 1976; Combellas・Hodgeson 1979; Stockdale 1985)。利用可能草量当たりの乾物摂取量を表す採食利用率は, Sb で H 区, Ss では M 区でそれぞれ最も高くなる傾向を示した。さらに, Sb の H 区および Ss の M 区における 1 頭当たりの利用可能草量を 1 頭当たりの乾物摂取量で除すると 1.3 および 1.7 となる。すなわち, 乾物摂取量に対して 1.3-1.7 倍の利用可能草量が供給される場合に家畜の採食量は最大となり, 放牧草地の現存量を効率的に利用するものと考えられた。また, 部位毎の採食利用率は草地の群落構造と家畜による採食様式を示していると解釈できる。Sb と Ss は共に葉部の値が茎部の値より高い傾向で推移したが, これは両草種の葉部が共に中

～高層位に多く分布し、さらに放牧家畜が上層位から採食を行ったためであると考えられた。葉部採食利用率の推移は草種によって異なる傾向を示し、Sbでは放牧強度が弱いほど低下したが、Ssでは放牧強度に関わらずほぼ同等の値で推移した。このことは、家畜によって採食された層位ならびに葉部の垂直分布が草種間で異なっていたことに起因すると考えられる。Ssでは採食された層位が全試験区でSbよりも高い位置を示していた($p < 0.01$)。また、Sbで採食された層位における葉部割合は、H区からL区まで約41-57%の範囲で漸次的に高く推移したのに対し、Ssでは約41-50%の範囲で平均的に推移していた。これらのことから、Ssでは全試験区で葉部割合の高い層位を中心に採食が行われ、さらに各層位間の葉部割合の増減がSbと比較して少ない傾向にあったため、家畜による採食層位の差異に関わらず葉部の採食割合が一定となったと考えられた。

放牧強度の違いにより決定される利用可能草量は乾物摂取量に影響を及ぼし、乾物摂取量の変動に伴い成分摂取量は増減すると考えられる。また、放牧期間や草地面積が限られた放牧条件下では、利用可能草量の多寡によって放牧家畜による採食層位に差異が生じ、群落構造における各種成分の垂直分布に基づき、採食草量中の成分量が増減することが推察される。実際の各成分摂取量の推移は、TDN摂取量はH区で最も低い値を示し、M区とL区ではほぼ同等の値であった。また、CP摂取量とHCNp摂取量は放牧強度が弱いほど増加する傾向

で推移し、この傾向は特に **Sb** で顕著に示された。これらのことから、成分摂取量に対する放牧強度の影響は、その作用の仕方や程度が草種や成分によって異なり、放牧家畜による採食量の変動のみを反映するものもあれば、草地群落における摂取成分の垂直分布や家畜による採食層位に大きく影響を受けるものもあることが示唆された。TDN 摂取量では両草種共に乾物摂取量と同様の傾向で推移したことから、草地群落中の TDN の垂直分布や採食層位にほとんど影響されず、主な変動要因は乾物摂取量であったと考えられた。CP 摂取量と HCNp 摂取量は草種によって異なる傾向で推移した。**Sb** の CP および HCNp 摂取量は、放牧強度が弱くなるほど高い値を示し、L 区では乾物摂取量がやや減少したにも関わらずそれぞれ増加した。また、L 区において放牧家畜が採食した層位は葉部や CP あるいは HCNp が高濃度で分布していた層位であった。これらのことから、放牧家畜の乾物要求量を上回る豊富な草量が提供された L 区では、乾物摂取量自体の増加に加え、上層位の葉部の選択採食に起因する乾物摂取量中の HCNp および CP の増加が生じたと推察される。すなわち、**Sb** の HCNp および CP 摂取量は草地群落における垂直分布や採食層位に強く影響を受けていたと考えられた。特に、増加量が著しかった HCNp 摂取量について、前節では、穂ばらみ期以降の放牧草地において頂部から下方へ約 3~4 割の範囲を採食した場合、乾物摂取量中の HCNp 割合は増加することが示唆された。本節においては、頂部から下方へ約 5 割の範囲を採食利

用した **Sb** の **L** 区では **HCNp** 摂取量が増加し、頂部から下方へ 5 割の範囲にあたる中～高層位のみ採食によって、**HCNp** 摂取量増加に伴う青酸中毒の危険性が示された。**Ss** では、乾物摂取量や採食層位は放牧強度の強弱によって増減する利用可能草量に伴い変動するが、乾物摂取量に併せて各成分摂取量もほぼ同様の傾向で推移した。すなわち、**Ss** の成分摂取量には成分の垂直分布や採食層位による影響は認められなかった。**Ss** では **Sb** と比較して、家畜によって採食された層位が上層位の狭い範囲にあり、また、採食層位間の各種成分量のばらつきが少ない傾向にあった。このため、各種成分の垂直分布や採食層位に起因する成分摂取量の違いは **Sb** ほど顕著に現れなかったと考えられた。

ソルガム属草種の放牧利用で最も重要なことは、乾物摂取量や養分摂取量に加え、**HCNp** 摂取量を考慮した上で、1 頭当たりの利用可能草量を過不足なく供給できるように放牧強度を調節することである。本試験で得られた **TDN** 摂取量および **CP** 摂取量を 1 日 1 頭当たりに換算すると、**Sb** で 21.2-38.3kg および 2.5-5.4kg、**Ss** では 8.6-17.7kg および 1.0-2.1kg の範囲にあり、両草種共に成雌牛の放牧中に要する 1 日当たり **TDN** 要求量 3.5-4.5kg および成雌牛 (450kg) の維持に要する **CP** 量 479g (農業・食品産業技術総合研究機構 2009) を充足する値を示した。また、1 日 1 頭当たりの **HCNp** 摂取量は、**Sb** で 3.4-8.6g、**Ss** では 0.5-1.1g の範囲にあった。反芻家畜の **HCNp** による致死量は

2.2mgHCNp/kgBW (Clawson ら 1934; Boyd ら 1938; Coop・Blakley 1950) であることが報告されている。本試験では Ss の H 区を除く全試験区で 2.4-19.0mgHCNp/kgBW の範囲となり、この基準値を上回ったが、青酸中毒の徴候は認められなかった。この理由として、家畜の有する解毒能力が挙げられる。家畜は HCNp の吸収・蓄積と同時に解毒を行っており、Coop・Blakley (1950) は羊を用いた試験で、採食速度が比較的遅い場合の放牧家畜の致死量は 1 時間当たり 3.9mg/kgBW まで増加することを報告している。予備試験で行った行動調査の結果から、採食時間を 6 時間として単位時間当たりの HCNp 摂取量を算出すると 0.2-3.2mg/kgBW の範囲となり、全試験区で Coop・Blakley (1950) によって報告された値以下を示した。すなわち、採食による HCNp 摂取量およびその蓄積速度よりも解毒される速度が速かったため、青酸中毒が回避されていたと考えられる。しかしながら、より安全に放牧を行うためには、HCNp 摂取量が基準値を上回らないように、採食量の増加に伴う HCNp 摂取量の増加を抑えるように十分に注意を払う必要がある。

草地生産性の観点からは、短期的な放牧利用においては草生の維持が必ずしも必要であるとは限らず、むしろ限られた期間内で可能な限り多くの家畜に草地からの粗飼料源を直接供給することが重要であると考えられる。本試験では、H 区で他の試験区と比較して単位面積当たりの利用草量の増加が認められたことから、放牧強度を強めることで草地生産性を高めることが可能であると考えられた。また、H 区では両品

種共に家畜の維持に要する乾物摂取量，TDN 摂取量および CP 摂取量を十分に満たしており，HCNp 摂取量は M 区および L 区と比較して有意に低い値を示した ($p < 0.01$)。一方で，M 区や L 区では利用可能草量の増加に伴う採食量自体の増加や，選択採食が行われたことによる CP 摂取量および HCNp 摂取量の増加が明らかであった。このことから，青酸中毒のリスクを可能な限り低減させるためには，放牧強度を強め 1 頭当たりの利用可能草量のある程度まで減らすことで，乾物摂取量を制限すると共に選択採食を抑える必要があると考えられた。Gibb・Treacher (1976) は採食量の 3 倍の利用可能草量が供給されない場合，放牧家畜の採食量が制限されると報告している。この条件を踏まえて，供試家畜が要求する養分量と供給草量との関係から適切な放牧強度を検討すると，本試験における単位面積当たり収量および TDN 含有率と同等の放牧草地の場合，放牧家畜の標準的な採食量 7.0kg および TDN 摂取量 3.4kg を満たすためには，1 頭当たりの利用可能草量を 21.0kg 割り当てられればよいと算定される。したがって，Sb は H 区の約 2.3 倍，Ss では約 1.5 倍まで放牧強度を強めることが可能であると考えられた。

以上より，ソルガム属草種の放牧草地では放牧強度を強め利用可能草量を制限することで，頂部から下方への採食割合を 5 割以上に高め，選択採食や過食による養分の過剰摂取や HCNp 摂取量の増加を抑制することが望ましいと考えられた。また，H 区の約 1.5-2.3 倍，すなわ

ち、入牧時の 1 日当たりの放牧強度を 250-385 頭/ha まで強め、採食利用率をさらに高めることで、限られた土地面積あるいは期間内での放牧利用下における放牧頭数の増大を図ることが可能であると示唆された。

第 3 節 短期放牧利用下における家畜の採食行動 および単位時間当たり HCNp 摂取量

緒 言

前節では、ソルガム属草種の短期放牧利用下における放牧強度の違いが家畜による採食層位と摂取分量に及ぼす影響について検討を行った。その結果、弱放牧下では中～高層位での採食利用により乾物摂取量中の養分ならびに HCNp 摂取割合が増加することが示された。このことから、HCNp 摂取量の増大を抑制するためには、放牧強度を強めることで利用可能草量を制限し、採食量自体の増加と選択採食等の採食行動を制御することが望ましいと考えられた。

これまで述べてきたように、ソルガム属草種を用いた放牧では、放牧家畜に青酸中毒を発生させないように十分に留意する必要がある。放牧家畜による青酸中毒の症状は放牧草地への入牧後 10～15 分で現れ、1 時間以内に症状が回復しない場合や、さらに重篤の場合は数分間で死に至るとされている(Hindmarsh ら 1941; Udall 1947)。しかしながら、これらは高濃度で HCNp を含有する放牧草地に空腹状態の家畜を放した場合に多くみられる事例である。これに対し、採食速度が緩やかな場合は体内での HCNp 分解速度が吸収速度を上回るため、反芻家畜では約 2.2mgHCNp/kgBW (Clawson ら 1934; Boyd ら 1938; Coop・Blakley 1950)とされる致死量が、1 時間当たり 3.9mgHCNp/kgBW ま

で増加すると報告されている(Coop・Blakely 1950)。前節までに行った放牧試験では、HCNp摂取量を1日単位で調査したが、前述したように青酸中毒は入牧後の比較的短時間で発生することが多いことから、青酸中毒の危険性を低減するためには、入牧後数時間における家畜の採食様式やHCNp摂取量を把握する必要があると考えられる。本節では、生育段階の違いによって群落草高が異なるソルガム(Sb)草地の植生条件を設定し、入牧後数時間内の家畜の採食様式と単位時間当たりのHCNp摂取量の推移を明らかにすると共に、放牧強度の違いがこれらに及ぼす影響を検討した。

材料および方法

試験は沖縄県石垣市内(東経124°10′,北緯24°22′,標高約75m)の国頭マージ酸性土壌で、3月にサトウキビを収穫した後の圃場で行った。2013年5月に、堆肥と土壌改良材として炭酸カルシウムを施用した後、耕耘し、試験圃場とした。供試草として、ソルガム(*Sorghum bicolor* (L.) Moench, 品種高糖分ソルゴー, 雪印種苗株式会社, 札幌)を用いた。総面積約0.3haの試験圃場を4分割し、2013年7月6日および7月27日に、それぞれ2区画に播種量30kg/ha, 畦幅60cmで条播し、基肥としてN, P₂O₅ および K₂O をそれぞれ要素量で100, 56 および 78kg/ha 施用した。2013年9月23日に、播種時に4分割した試験圃場をそれぞれさらに2分割し、草高2水準(低:S, 高:T)×放牧

強度 4 水準 (GI-1, GI-2, GI-3 および GI-4) の 8 試験牧区を設置した。放牧強度は牧区面積によって調節し, GI-1 が前節の放牧試験で設けた H 区の約 2 倍, GI-2, GI-3 および GI-4 はそれぞれ H 区, M 区および L 区に相当するよう簡易電気牧柵を用いて分割した。各牧区の面積および設定した放牧強度を表 5-7 に示した。供試牛群として体重約 450kg の黒毛和種繁殖雌牛 8 頭を用い, 各 2 頭ずつの 4 群に分け, 4 牧区に配置した。2013 年 9 月 23 日から 9 月 25 日の期間に 1 番草を用いて 1 牧区につき 24 時間単位で連続する 2 日間の放牧を行った。なお, 供試牛群は 1 日目と 2 日目で異なる放牧強度区に配置した。また, 各牧区には移動式水槽を設置し, 自由に飲水ができるようにした。

放牧開始 1 週間前に HCNp 分析用の試料を採取し, 葉茎別に抽出液を作出した。HCNp の分析は Bradbury ら(1991)および Haque・Bradbury(2002)の方法に従った。各牧区への入牧時に 15 点, 退牧時に 20 点, 無作為に選んだ地点で草高を測定した。また, 同一牧区内の 2 地点で 1m の畦長について地際から 20cm 毎に層別刈取りを行い, 1 地点で 1m の畦長について地際から刈取りを行った。刈取った試料は生草重量を測定し, 試料の一部は葉茎別に重量測定を行った後, 約 70°C で通風乾燥し, 乾物率を求めた。入退牧時の生草重量に乾物率を乗じたものをそれぞれの乾物重量とした。なお, HCNp 含量に乾物摂取量を乗じたものを HCNp 摂取量とした。また, 入牧開始から 1, 2, 3 および 4 時間後に, 滞牧中の草地内の 6~43 (平均 23) 地点で草高を

Table 5-7. Grazing intensity in respective pasture area.

	GI-1	GI-2	GI-3	GI-4
Pasture area (a)	0.6	1.2	1.8	3.5
Number of cows (head)	2	2	2	2
Grazing intensity (cow/ha)	333.3	166.7	111.1	57.1

測定し、採食が行われた箇所をその都度測定した。さらに、入牧時に行った層別刈取りで得られた各層位の乾物重量および HCNp 含量と単位時間当たりの草高および家畜によって採食された面積（被食面積）の推移から、単位時間当たりの乾物採食量および HCNp 摂取量を求めた。

試験期間中の気温と降水量は、沖縄気象台石垣島観測所の値（気象庁 2013）を用いた。

結 果

1. 試験期間中の気象条件

試験期間中の気象条件を図 5-11 に示した。平均気温は 27.9℃、積算降水量は 1092.0mm であった。月毎の平均気温は平年よりやや高い傾向で推移した。月別の積算降水量は 5 月で平年値の約 3 倍、6 月では平年値の半分以下の値を示した。また、7 月の降水量は極めて少なく干ばつ傾向にあったが、期間中の合計降水量は平年とほぼ同等の値となった。

2. 放牧草地の草生状況

S 区および T 区における生育段階、草高、HCNp 含量、乾物収量および各放牧強度区での 1 頭当たり利用可能草量を表 5-8 に示した。生育段階は S 区が止め葉期、T 区は出穂始期であった。草高は S 区で

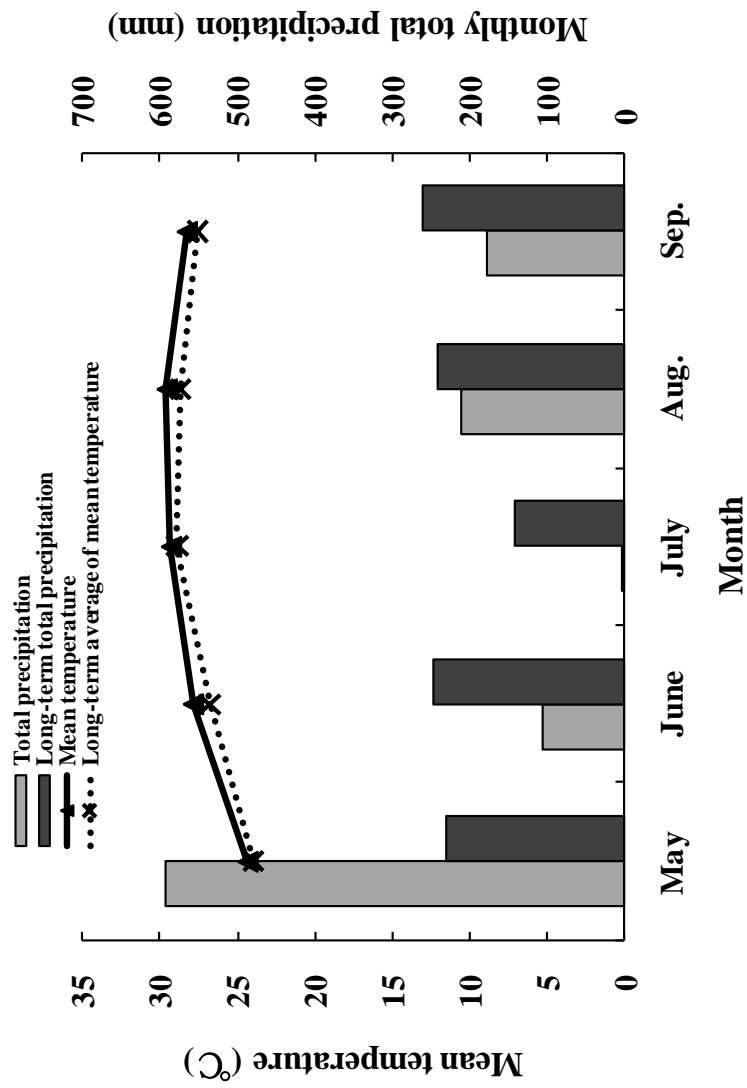


Figure 5-11. Meteorological condition during the experimental period.

Table 5-8. Growth stage, canopy height, HCNp, dry matter (DM) yield and herbage allowance in each treatment.

	Short	Tall
Growth stage	Flag leaf	First heading
Canopy height (cm)	166.3 ± 13.5*	191.7 ± 11.8
HCNp (ppm)	33.7 ± 23.9	60.5 ± 22.9
DM yield (tDM/ha)	6.8 ± 0.5	12.0 ± 2.4
	GI-1	36.0
Herbage allowance	GI-2	72.0
(kgDM/head/day)	GI-3	108.0
	GI-4	210.0

*** : mean ± SD**

166.3cm, T区で191.7cm, HCNp含量はS区で33.7ppm, T区で60.5ppmであった。乾物収量はS区で6.8tDM/ha, T区では12.0tDM/haとなり, T区でS区の約2倍の高い値を示した。各放牧強度区における1頭当たり利用可能草量は, S区では20-119kgDM, T区では36-210kgDMの範囲となった。

S区およびT区における乾物現存量とHCNp含量の垂直分布を図5-12に示した。S区の葉部乾物現存量は層位の上昇に伴い100-120cmの層位まで漸次的に増加した後, 最上層位まで減少しながら推移した。T区では層位の上昇とともに漸次的に増加し, 100cmから180cmまでの層位間を同程度の値で推移した後, 減少傾向に転じた。茎部はS区, T区共に最下層で最も高く, 層位の上昇に伴い漸次的に減少した。HCNp含量はS区では葉部, 茎部共に層位の上昇に伴い増加する傾向を示し, 100-120cmの層位で最も高い値を示した後, 減少傾向で推移した。T区では葉部は180-200cmの層位まで増加傾向で推移した後, 減少傾向に転じた。茎部は120-140cmの層位まで同程度の値で推移した後, 最上層位まで漸次的に増加した。

3. 入牧後の草高, 被食面積, 積算乾物摂取量および積算HCNp摂取量の推移

入牧後の群落草高の推移を図5-13に示した。入牧後1時間で家畜によって採食された箇所草高は, S区で91.8cm, T区では

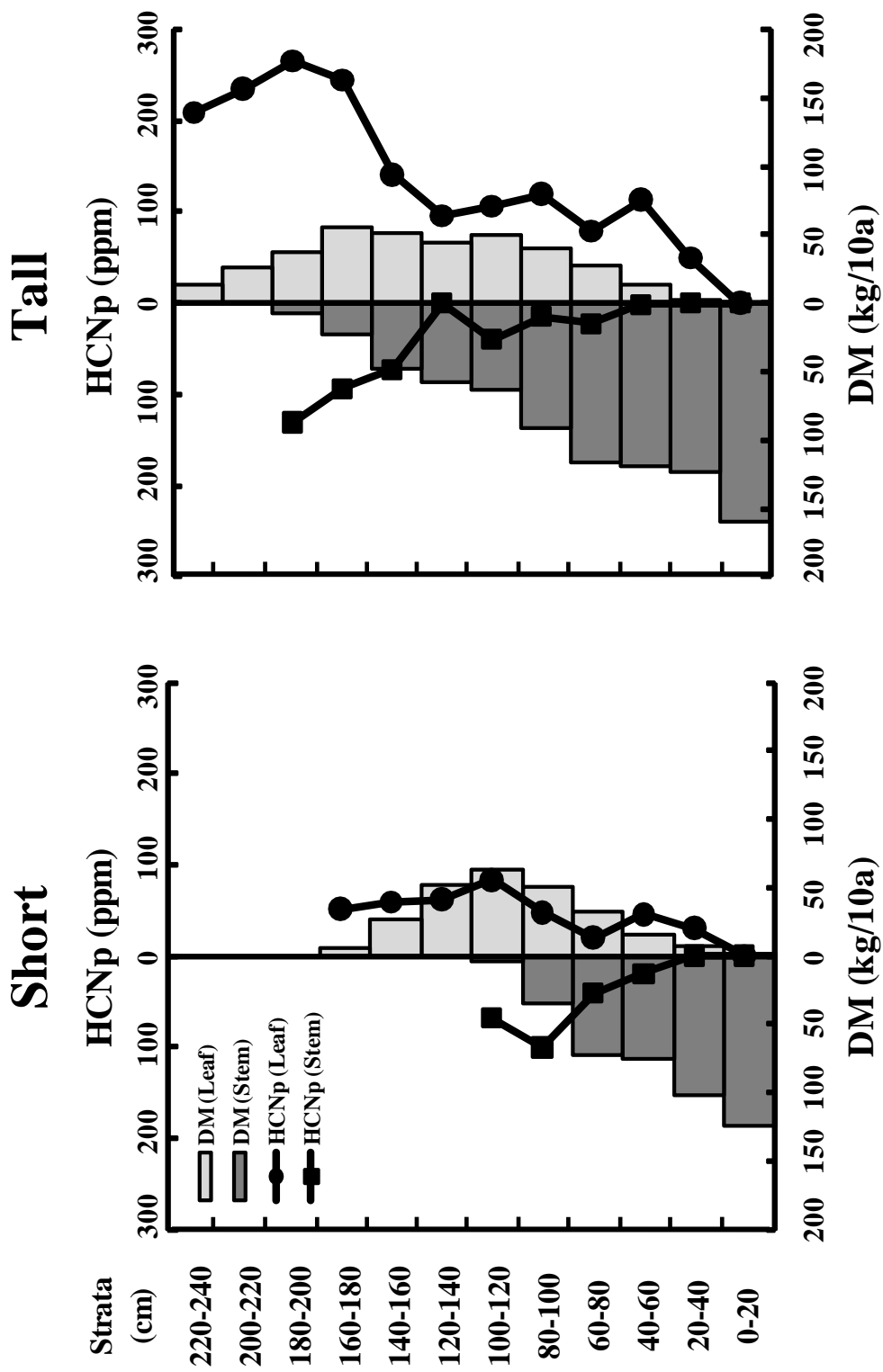
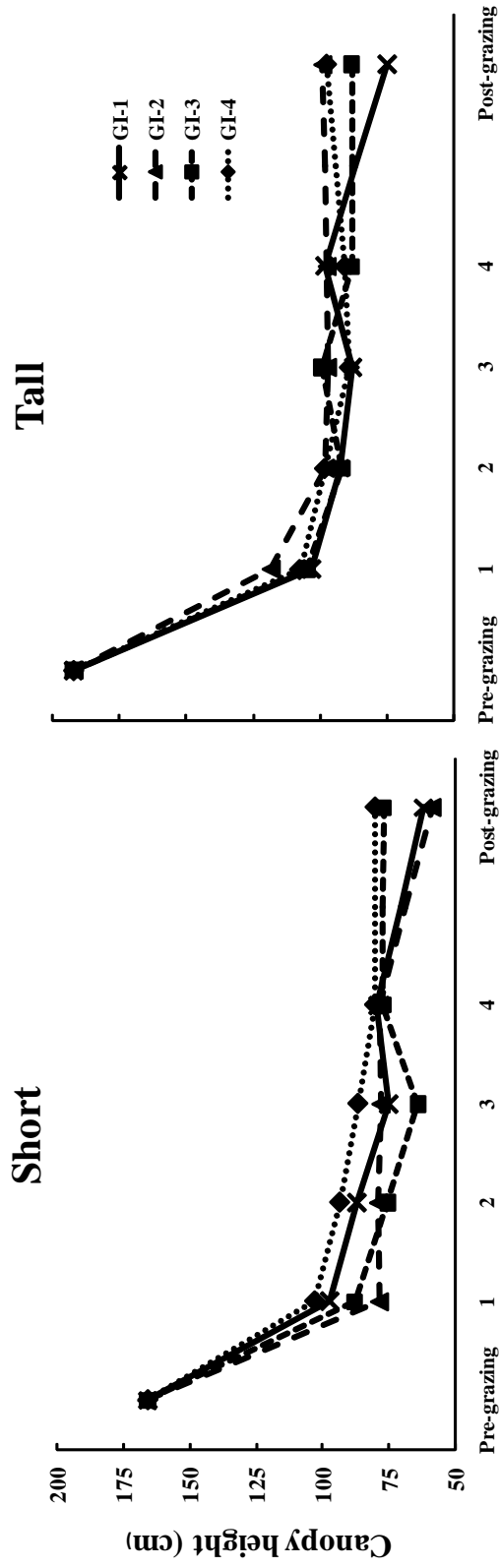


Fig. 5-12. Vertical distribution of dry matter (DM) and HCNp in different canopy height.



Elapsed time after grazing started (hour)

Fig. 5-13 . Changes of canopy height in grazing time.

108.5cm となり、両区共に入牧時の草高の 6 割程度の高さに低下していた。また、入牧後 1～4 時間経過時の草高はほぼ同等の値で推移した。24 時間経過した退牧時の草高は S 区の GI-1, GI-2 および T 区の GI-1 を除く牧区で入牧後 4 時間経過時の草高とほぼ同等の値を示した。入牧時から退牧時までの被食部の草高の減少割合は S 区, T 区いずれも約 50% となった。また、放牧強度が強いほど退牧時の草高が低い傾向を示した。

入牧後 1～4 時間経過時および退牧時の被食部の草高ならびに放牧強度の平均値の推移を表 5-9 に示した。入牧後 1 時間経過時から退牧後までの S 区の被食面積は T 区よりも高い値で推移した。放牧強度間で比較すると、入牧後 1 時間経過時の被食面積は GI-3 と GI-4 で高い値となり、入牧後 2～4 時間経過時までは GI-3 が最も高くなる傾向であった。各牧区における被食面積の積算割合の推移を図 5-14 に示した。S 区の GI-1, 2, 3 および T 区の GI-1 では、入牧後の時間経過に伴い被食面積割合は直線的に増加する傾向を示し、退牧時には 100% となった。S 区の GI-2, 3, 4 および T 区の GI-4 では入牧後 1～4 時間経過時の被食面積割合は大きく変化せず、退牧時の被食面積割合も 30-65% の範囲にあり、S 区の GI-1, 2, 3 および T 区の GI-1 と比較して低い傾向を示した。

入牧後 1～4 時間経過時における積算乾物摂取量と積算 HCN_p 摂取量の草高ならびに放牧強度の平均値を表 5-10 に示した。入牧後 1

Table 5-9. Changes of defoliation area in respective grazing area with the elapsed time after grazing started.

Treatment	Elapsed time after grazing started (hours)				Post-grazing	
	1	2	3	4		
Height	Short	7.4 ± 4.8	27.3 ± 12.4	44.8 ± 20.8	60.3 ± 35.0	127.3 ± 51.1
	Tall	5.4 ± 3.6	9.8 ± 5.6	18.4 ± 13.7	28.6 ± 18.8	82.1 ± 33.3
Grazing intensity	GI-1	3.4 ± 1.9	18.0 ± 8.5	30.0 ± 8.5	49.5 ± 2.1	60.0 ± 2.0
	GI-2	4.0 ± 2.8	14.3 ± 13.8	27.0 ± 29.7	33.0 ± 38.2	84.0 ± 38.2
	GI-3	9.0 ± 6.4	25.5 ± 27.6	40.3 ± 44.9	66.0 ± 59.4	148.5 ± 59.4
	GI-4	9.3 ± 1.8	16.3 ± 0.4	29.1 ± 8.6	29.3 ± 6.0	104.2 ± 6.0

Values (mean ± SD) are expressed as m².

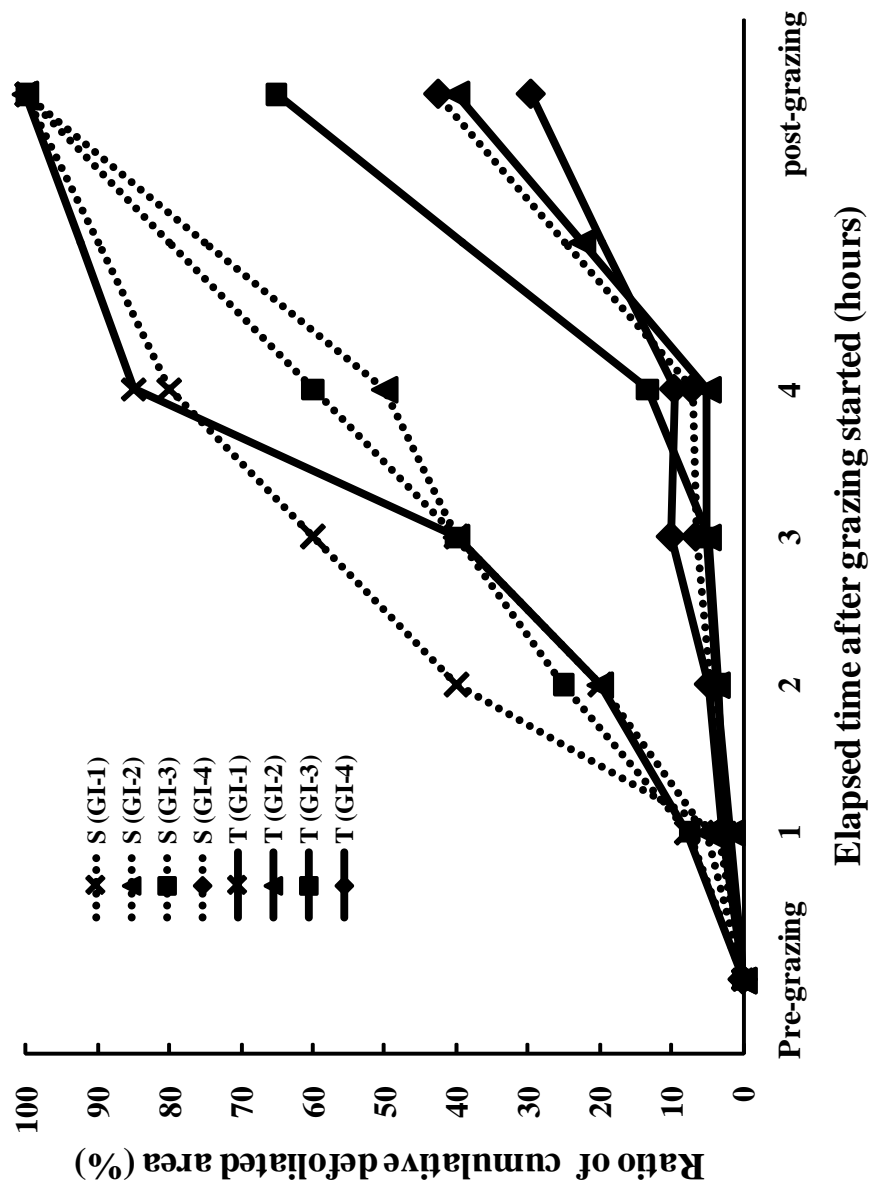


Fig. 5-14 . Changes of the ratio of cumulative defoliated area in respective grazing area during four hours after grazing started and at the post-grazing.

Table 5-10. Changes of accumulated herbage intake (kgDM/head) and HCNp intake (mgDM/kgBW) in respective grazing area with the elapsed time after grazing started.

Treatment	Elapsed time after grazing started (hours)				
	1	2	3	4	
Height	Short	0.4 ± 0.2	1.8 ± 0.5	3.2 ± 1.2	3.7 ± 1.7
	Tall	0.4 ± 0.2*	1.3 ± 0.7	2.5 ± 2.0	3.6 ± 2.3
Herbage intake (kgDM/head)	GI-1	0.4 ± 0.3	1.8 ± 0.2	3.5 ± 0.3	5.4 ± 1.1
	GI-2	0.6 ± 0.2	1.4 ± 1.2	2.6 ± 2.7	3.2 ± 3.5
	GI-3	0.4 ± 0.2	1.2 ± 0.6	1.7 ± 1.0	2.7 ± 0.2
	GI-4	0.5 ± 0.1	1.6 ± 0.6	3.4 ± 2.1	3.4 ± 1.8
Height	Short	0.06 ± 0.03	0.27 ± 0.08	0.47 ± 0.19	0.57 ± 0.26
	Tall	0.13 ± 0.08	0.30 ± 0.17	0.59 ± 0.45	0.89 ± 0.58
HCNp intake (mgDM/kg BW)	GI-1	0.08 ± 0.09	0.35 ± 0.06	0.66 ± 0.17	1.13 ± 0.61
	GI-2	0.06 ± 0.01	0.24 ± 0.15	0.44 ± 0.36	0.53 ± 0.49
	GI-3	0.09 ± 0.01	0.21 ± 0.04	0.30 ± 0.05	0.56 ± 0.25
	GI-4	0.15 ± 0.12	0.34 ± 0.23	0.72 ± 0.60	0.70 ± 0.54

*: mean±SD

時間経過時の 1 頭当たりの積算乾物摂取量は S 区, T 区共に 0.4kgDM となり, 草高に関わらず同等の値を示した。入牧後 2~3 時間経過時の S 区の乾物摂取量は 1.8 および 3.2kgDM/頭, T 区で 1.3 および 2.5 kgDM/頭となり, T 区と比較して S 区でやや高い傾向を示した。入牧後 4 時間経過時では S 区で 3.7kgDM/頭, T 区で 3.6kgDM/頭となり, 両区でほぼ同等の値を示した。入牧後 1 時間経過時の乾物摂取量は放牧強度間を通じてほぼ同等の値を示し, 入牧後 2~4 時間経過時の積算乾物摂取量は GI-1 および GI-4 が GI-2 および GI-3 と比較してやや高い傾向で推移した。入牧後 1~4 時間経過時の積算 HCNp 摂取量は, S 区で 0.06-0.57mgDM/kgBW, T 区で 0.13-0.89mgDM/kgBW の範囲であり, T 区の値は S 区と比較して高い傾向で推移した。放牧強度間における入牧後 1 時間経過時の HCNp 摂取量は GI-4 で最も高い傾向を示し, 入牧後 2~4 時間経過時の積算 HCNp 摂取量は GI-1 および GI-4 が GI-2 および GI-3 と比較して高く推移した。なお, 入牧後 1~4 時間経過時の各積算 HCNp 摂取量は, いずれの牧区も反芻家畜の致死量の基準とされる 2.2mgDM/kgBW 以下の値であった。

考 察

放牧家畜は牧区内を移動しながらパッチ状に採食を繰り返していることが観察された。入牧後 1 時間経過時に放牧家畜によって採食され

た被食箇所の高さは、入牧時の約 6 割の高さまで低下しており、放牧家畜は入牧時の群落草高の高低に関わらず頂部から下方へ 4 割程度の範囲を一度に採食した後に、次の被食箇所に移動する採食様式をとっていると考えられた。さらに、各牧区内における入牧後 2~4 時間経過後の被食箇所の草高がほぼ同等の値で推移した。また、退牧時の草高は S 区の GI-1, GI-2 および T 区の GI-1 を除く牧区で、入牧後 4 時間経過時の草高とほぼ同等の値を示した。このことから、放牧家畜は頂部から一定の高さまでの採食を繰り返して行い、群落全体の草高が均等に減少した後、さらに下層の採食を行う採食様式を示した。GI-1 は最も放牧強度が強く、1 頭当たりの利用可能草量が最も少なかったことから、上述した採食行動が他の牧区よりも多く繰り返された結果、退牧時の草高が低くなったものと推察された。さらに、放牧強度が強いほど退牧後の草高が低い傾向を示したことについても、同様の理由で説明される。

入牧後 1~4 時間経過時および退牧時の被食面積は S 区が T 区と比較して高く推移したが、このことも家畜の採食様式に起因するものと考えられた。すなわち、採食された個体の頂部からの採食割合は S 区と T 区で同程度であったが、S 区では T 区に比べ 1 回の採食で 1 個体から摂取する乾物摂取量が少ないため、同一個体の採食に要する時間が短く、次の個体を採食する機会が増加し、これにより被食面積の拡大が進んだものと推察される。また、このような採食様式と放牧区の面積

あるいは利用可能草量の多寡から、GI-4を除くS区の各放牧強度区ならびにT区のGI-1では、被食面積割合が高い傾向で推移したものと考えられた。放牧強度間においては、入放後1時間経過時の被食面積はGI-3とGI-4で大きい傾向を示した。入牧直後の放牧家畜は放牧草地の情報を得るため探査的な行動と採食を同時に行っていたことが推察され、牧区面積が比較的広いGI-3およびGI-4では、移動範囲の拡大に伴い被食面積が増加したものと考えられた。しかしながら、入牧後2時間経過時から退牧時までの被食面積には放牧強度間による一定の傾向は認められなかった。

入牧後1～3時間経過時までの積算乾物摂取量は、S区がT区と比較して高い傾向を示した。入牧開始直後の観察では、放牧家畜は頂部から下方へ約4割の層位にある節と葉身の接合部を捕捉点として、この位置から上層部位を一度に折り取って採食していた。しかしながら、草高の高いT区ではこの捕捉点がS区よりも高い位置にあり、捕捉と切断に時間を要したことが観察された。放牧家畜は葉部現存量の多い位置から優先的に採食するとされている(岡本ら 1994;高橋ら 2007)が、本試験においても頂部から下方へ約4割の高さはS区、T区共に葉部乾物現存量が最も高い層位であった。このことから、放牧直後の家畜は葉の現存量が多い頂部から約4割の位置を捕捉点としていたことが推察されるが、T区のように草高が高い場合は、ひと噛み当たりの採食量が多く、採食速度の低下とこれに伴う単位時間当たりの乾物摂取量の

低下をもたらすと考えられた。放牧強度間においては GI-2 および GI-3 が GI-1 および GI-4 と比較して高い傾向で推移したが、この原因の解明には至らなかった。

放牧強度間における入牧後 1～4 時間経過時までの積算 HCNp 摂取量は、乾物摂取量と同様の傾向で推移していたことから、HCNp 摂取量は乾物摂取量の増減に伴い変動していたと考えられた。しかしながら、草高間では、S 区の乾物摂取量は T 区より高い値で推移した一方で、HCNp 摂取量は T 区が S 区と比較して高い傾向を示していた。この要因として両区の生育段階の違いが挙げられる。本試験では播種期を変えることにより異なる水準の草高を設けたことから、草高の違いはすなわち生育段階の違いとも言い換えることができる。本章の第 1 節で実施した栽培試験で明らかにしたように、HCNp 含量の垂直分布は生育段階によって異なり、特に、頂部から約 4 割の層位における葉部 HCNp 含量は出穂期では穂ばらみ期の約 2 倍の値で分布していた。本試験での放牧時の生育段階は、S 区では止め葉期、T 区では出穂始期であり、HCNp 含量の垂直分布をみると、放牧家畜が採食した頂部から下方へ 4 割の範囲における平均 HCNp 含量は、T 区で S 区の約 3 倍と高い値を示していた。すなわち、S 区と T 区で家畜が採食した層位は共にそれぞれの草高において頂部から約 4 割の範囲にあたる中～高層位であったが、生育段階の違いにより HCNp 含量の垂直分布が異なったため、乾物摂取量中の HCNp 摂取割合に差異が生じたと考えられた。また、

放牧強度に伴う乾物摂取量中のHCNp摂取割合には一定の傾向はみられず、入牧直後あるいは1～4時間の短時間におけるHCNp摂取量は放牧強度に影響されないことが示唆されたことから、入牧後数時間におけるHCNp摂取量に影響を及ぼす主要因は生育段階であると考えられた。しかしながら、GI-3やGI-4の比較的放牧強度の弱い牧区では、入牧後4時間経過時から退牧時までの草高は同等の値で推移しており、弱放牧下ではHCNp含量の高い層位での採食が継続していることが示されたことから、乾物摂取量中のHCNp摂取割合もまた高い値で維持されていたと考えられた。このため、放牧強度は入牧後の短時間のHCNp摂取量の多寡に影響を及ぼさないことが示唆されたが、1～数日単位の放牧期間においてはHCNp摂取量の増加要因となるものと考えられる。その結果、HCNp摂取量を抑える観点から、T区においてはGI-1、S区においてはGI-1からGI-2程度の強い放牧強度での放牧が望ましいと考えられた。

以上より、放牧開始後数時間の乾物摂取量中HCNp摂取割合は、生育段階に伴うHCNp含量の垂直分布の違いにより、出穂始期のT区が止め葉期のS区よりも高い傾向を示した。青酸中毒は入牧後1時間以内に発生することが多いとされることから、HCNp摂取量の増大に伴う青酸中毒の危険性を最小限に抑えるためには、頂部から下方へ約3～4割の範囲におけるHCNp含量が著しく増加する出穂期以前に放牧を行うことが望ましいと考えられた。また、GI-1あるいはGI-2の比較的

強い放牧強度では退牧後の草高が入牧時の約 4 割に低下し、さらに、1 日の放牧で頂部から約 6 割の層位までの採食利用が行われていたことから、HCNp 摂取量ならびに草地利用率を鑑みると、GI-1 あるいは GI-2、すなわち前節で示した H 区あるいは H 区の 2 倍程度の強放牧下での放牧利用が推奨された。

第 4 節 短期放牧利用における草高と放牧強度が 放牧草地の草損失量に及ぼす影響

緒 言

前節では、異なる草高（低：S，高：T）および放牧強度（GI1～4）が入牧後の短時間における家畜の採食様式や単位時間当たりHCNp摂取量に及ぼす影響を検討した。その結果，入牧直後の放牧家畜は草高や放牧強度に関わらず，同一の個体に対し，頂部から下方へ約 4 割の範囲を一度に採食することが明らかになった。また，放牧開始後数時間における乾物摂取量中の HCNp 割合は，生育段階に伴う HCNp の垂直分布の違いにより，出穂始期の T 区において止め葉期の S 区よりも高くなる傾向を示した。このことから，HCNp 摂取量の増大に伴う青酸中毒の危険性を最小限に抑えるためには，頂部から下方へ約 3-4 割の範囲における HCNp 含量が著しく増加する出穂期以前の生育段階での放牧利用が推奨される。また，入牧後の短時間では放牧強度による HCNp 摂取量への影響は認められなかったが，1～数日間の放牧期間においては弱放牧下で HCNp 含量の高い層位での採食利用が継続して行われることが推察された。このことから，GI-1～GI-2 で設定されたような強い放牧強度での放牧利用が望ましいと考えられた。

放牧草地の群落の高さや放牧強度は，草地生産性において負の要素である草地の草損失量にも関与すると考えられる。これまでの研究結

果から、ソルガム属草種を栽培利用するに際し、HCNp 含量が高い生育初期を極力避け、HCNp 含量が十分に低下し、栄養収量の高い穂ばらみ期以降の生育段階での利用が推奨された。このため、ソルガム属草種の放牧草地は一般の牧草地で見られる短草型の草種と比較して放牧開始時の草高が高くなる傾向にあり、家畜による採食時や移動時における草損失量も大きいことが推察される。踏付けによる草損失量は家畜による採食量より多いとする報告 (Pearson 1975) や、短期的な放牧では継続的な放牧よりも踏付けによる草損失量が多いとする報告もある (Guthery・Bingham 1996) ことから、ソルガム属放牧草地で短期的な放牧を行う場合、放牧下における草地の草損失量は草地利用に影響を与える要因の 1 つとして考慮する必要がある。本節では、異なる草高および放牧強度が放牧草地の草損失量に及ぼす影響を検討するため、前節で実施した放牧試験の退牧時に、倒伏あるいは破損して落下した個体の乾物量の調査を行った。

材料および方法

前節で実施した放牧試験における退牧後の刈取り調査時に、刈取りを行った同一地点の 1m 畦長内で地表に倒伏あるいは落下している個体を回収し、損失量とした。刈取った試料は生草重量を測定し、試料の一部は葉茎別に重量測定を行った後、70℃で通風乾燥し、乾物率を求めた。生草重量に乾物率を乗じて乾物重量を草損失量とした。

また、牧区面積当たりの草損失量を牧区当たりの入牧前乾物収量で除したものを草損失率とした。なお、前節と同様に草高の高い牧区を T 区、低い牧区を S 区とし、放牧強度は最も放牧強度の強い牧区から順に GI-1, GI-2, GI-3 および GI-4 とした。

結 果

異なる草高と放牧強度下における単位面積当たりの草損失量（以下、損失量）を図 5-15 に示した。損失量は S 区で 185.7-459.6kgDM/10a, T 区で 128.5-215.1kgDM/10a の範囲にあり、放牧強度に関わらず T 区の値が S 区よりも高くなる傾向を示した。損失量と牧区当たりの草損失率（以下、損失率）の草高間ならびに放牧強度間における平均値を表 5-11 に示した。損失量の平均値を草高間で比較すると、T 区で 316.1kg/10a, S 区で 159.1 kg/10 となり、T 区で S 区の約 2 倍の値となった。損失率は T 区で 26.3%, S 区で 23.4%と T 区でやや高くなる傾向を示した。各放牧強度を通じて、損失量は 157.1-308.4kgDM/10a, 損失率は 17.2-30.7%の範囲にあり、放牧強度が強いほど損失量および損失率が増加する傾向を示した。

考 察

草高間では T 区の損失量が S 区よりも高くなる傾向が示された。S 区と T 区の草高の違いは生育段階の差によるものであり、放牧時の生育

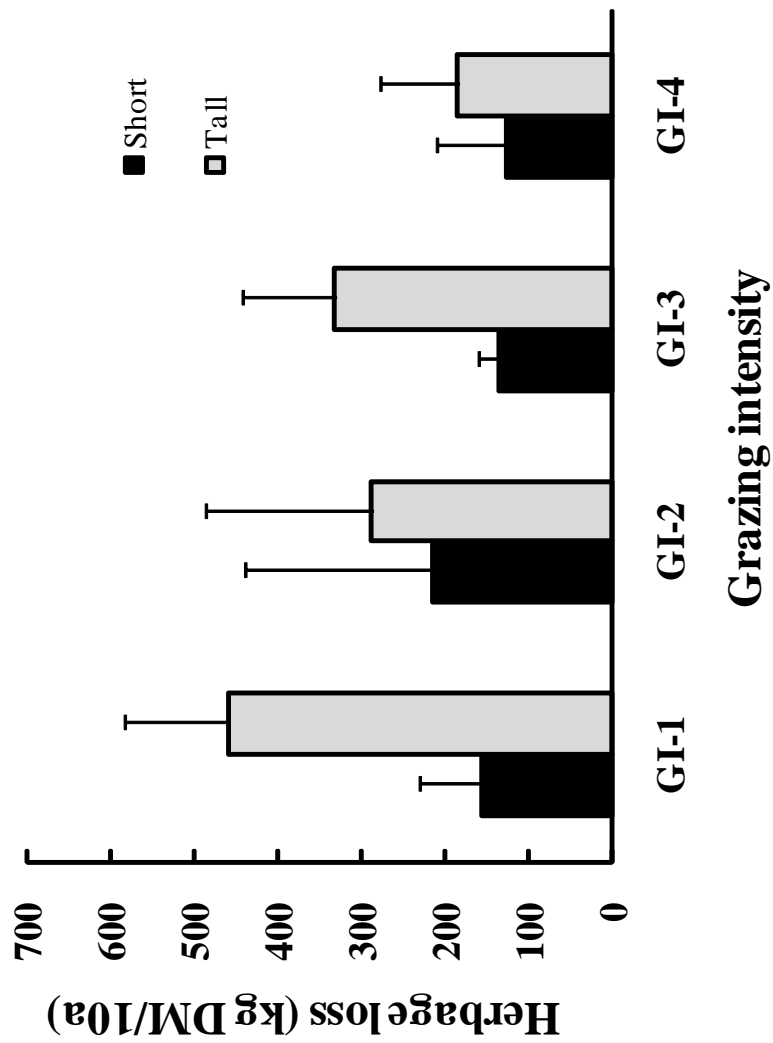


Fig. 5-15. Herbage loss under different grazing intensity and canopy height during grazing time.

Table. 5-11. Herbage loss and herbage loss ratio under different grazing intensity and canopy height during grazing time.

	Canopy height		Grazing intensity			
	S	T	GI-1	GI-2	GI-3	GI-4
Herbage loss (kgDM/10a)	159.1	316.1	308.4	251.2	233.7	157.1
Herbage loss ratio (%)	23.4	26.3	30.7	27.8	23.8	17.2

段階は S 区が止め葉期，T 区は出穂始期であった。ソルガム (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) の乾物収量は出穂前後で 30% 以上増加する (春本ら 1986) とされ，本試験においても一部で出穂がみられた T 区の乾物収量は S 区の約 2 倍と高い値を示していた。このことから，T 区での損失量が S 区よりも高かった要因として，T 区では 1 箇所踏み倒しによる損失量が大きかったことが挙げられる。一方で，損失率においては S 区よりも T 区でやや高くなる傾向を示したものの，ほぼ同程度の値となった。本試験では，家畜によって採食された箇所で刈取り調査を行った際に，同一箇所から破損部や踏み倒された個体を回収し，損失量とした。また，前節で示した通り，退牧時の被食面積は T 区と比較して S 区で大きい傾向にあった (表 5-9)。損失率は単位面積当たりの草損失量に被食面積を乗じて得た牧区当たりの草損失量を牧区当たりの入牧前草量で除して求めたものであり，被食面積とは正比例の関係にある。単位面積当たりの損失量は T 区で高い値を示していたものの，T 区の被食面積は S 区よりも小さく，これらの積の結果，両区間の損失率は損失量ほど大きな差を生じなかったものと考えられる。

放牧強度間では放牧強度が強い牧区ほど損失量および損失率が増加する傾向がみられた。Fonceca ら (2012) は採食割合が高い，すなわち放牧強度の強い牧区ほど，退牧後に損傷した草量が増加することを報告している。また，Quinn・Hervey (1970) は 3 水準の放牧強度下に

において、最も放牧強度の強い牧区で損失量および損失率が高い値を示したことを報告しており、この要因として放牧地での家畜の行動の違いを挙げている。同報告では、弱放牧下では1頭当たりの利用可能草量が多く、放牧家畜の欲求が速やかに満たされるため、伏臥や休息に費やす時間が多いが、強放牧下では採食行動の時間が長く、さらに移動距離が増加していたことを指摘し、採食行動に伴う移動の増加が損失量の増加をもたらしたとしている。長草型草種の草地における損失としては、踏み倒しの他に採食時の食べこぼし等が予想されたが、実際の放牧家畜の採食行動からは、採食時に切断され、落下した損失よりも移動時の踏み倒しによる損失が多いことが観察された。さらに、退牧後の調査では破損し、落下した個体よりも株元から倒伏している個体が多く回収されたことから、損失の主要因は移動時の踏み倒しであったことが示唆された。また、前節の結果から、放牧家畜は一定の高さまでの採食を繰り返し、放牧草地の草高が均等に減少した後、さらに下層位へと採食するものと考えられ、加えて、放牧強度が強い牧区ほど退牧後の草高は低くなる傾向が示された。草高の低下は採食頻度の多さに起因すると考えられ、本試験においても放牧強度の強い牧区では、採食頻度と採食に伴う移動時間の増加が損失量の増加をもたらしたものと推察された。

以上より、放牧草地の草損失量は草高の高いT区ならびに放牧強度の強い牧区で増加する傾向が明らかになった。また、草高間ならびに

放牧強度間の草損失率はいずれも約 20-30%の範囲内での変動であったことが示された。これらのことから、ソルガムを用いた放牧利用においては入牧前草量の 20-30%程度が損失することを考慮して 1 頭当たりの利用可能草量を想定し、放牧頭数や放牧期間あるいは牧区の面積を調整することで、より適切な放牧強度下での放牧利用が可能となると考えられた。

第 5 節 摘 要

ソルガム属草種の放牧草地における群落構造と放牧強度が家畜の採食様式、成分摂取量ならびに放牧草地の草損失量に及ぼす影響を検討するため、初めに、ソルガム(Sb)およびスーダングラス(Ss)の異なる生育段階(栄養生長期:V期、穂ばらみ期:B期、出穂期:H期)におけるHCNpとCPの垂直分布を明らかにした。また、頂部からの採食割合に伴うHCNpおよびCPの推定摂取量について検討を行った。その結果、両草種共に、全生育段階においてHCNp含量はBoydら(1938)によって示された安全域(500ppm以下;表3-2)より低い値を示した。また、V期のHCNp含量は層位に関わらずほぼ同等の値で推移し、B期以降では層位の上昇とともに高くなる傾向を示した。さらに、V期では頂部からの採食割合がHCNp摂取量に及ぼす影響は小さく、穂ばらみ期以降では頂部から下方へ3~4割にあたる中~高層位を選択的に採食することで、乾物摂取量中のHCNp割合が増加する可能性が示唆された。推定CP摂取量は、V期とB期では採食層位が上層位に限られるほど高くなり、H期では頂部から下方へ4~5割の範囲を採食利用することにより最も高くなる傾向を示した。これらのことから、HCNp含量が安全基準値を十分に下回る草高約90cmのV期以降で放牧利用に供することが可能であると考えられたが、B期以降は頂部から下方へ3~4割の範囲にあたる中~高層位部分を選択的に採食した場合にHCNp

摂取量が増加する危険性が懸念される。このため、B 期以降での放牧利用時は、群落の下層位まで採食させることで HCNp 摂取量を最小限に抑える必要があると考えられた。

続いて、異なる放牧強度が家畜の採食性、採食層位および成分摂取量に及ぼす影響を検討するため、3 水準（強：H，中：M，弱：L）の放牧強度区を設け、Sb および Ss 草地で放牧を実施した。H 区では単位面積当たりの利用草量が増加し、HCNp 摂取量は M 区や L 区と比較して有意に低い値を示していた。一方で、M 区と L 区では利用可能草量の増加に伴う採食量の増加および選択採食に起因する CP および HCNp 摂取量の増大がみられ、特に頂部から下方へ約 5 割の範囲を採食利用した Sb の L 区における増加は顕著であった。供試家畜に必要な養分量と供給草量との関係から放牧強度を検討すると、本試験と同様の放牧条件下では、H 区の約 1.5-2.3 倍まで放牧強度を強めることが可能であると考えられた。これらのことから、ソルガム属草種の放牧草地では放牧強度を強め利用可能草量を制限することで、頂部から下方への採食割合を 5 割以上に高め、選択採食や過食による養分の過剰摂取や HCNp 摂取量の増加を抑制する必要があると考えられた。また、H 区の約 1.5-2.3 倍まで放牧強度を強めることで採食利用率をさらに高め、限られた土地面積あるいは期間内での放牧利用下における放牧頭数の増大を図ることが可能であると示唆された。

次に、草高および放牧強度が入牧後数時間における家畜の採食様

式と単位時間当たりHCNp摂取量に及ぼす影響を検討するため、2水準の草高区(低:S,高:T)および4水準の放牧強度区を設けたSb草地で放牧試験を実施した。その結果、入牧後数時間内の放牧家畜は、草高や放牧強度に関わらず、同一の個体に対し、頂部から下方へ約4割の範囲を一度に採食していることが明らかになった。また、乾物摂取量中のHCNp割合は、生育段階に伴うHCNp含量の垂直分布の違いにより、出穂始めのT区において止め葉抽出期のS区よりも高くなる傾向を示した。このことから、HCNp摂取量の増大に伴う青酸中毒の危険性を最小限に抑えるためには、頂部から下方へ約3~4割の層位におけるHCNp含量が著しく増加する出穂期以前の生育段階での放牧利用が推奨される。また、入牧後の短時間では放牧強度によるHCNp摂取量への影響は認められなかったが、1~数日間の放牧期間においては弱放牧下でHCNp含量の高い層位での採食利用が継続して行われることが推察された。さらに、放牧強度の強い牧区における退牧後の草高からは1日の放牧で頂部から下方へ約6割の範囲で採食利用が行われていたことが示され、HCNp摂取量ならびに草地生産性の観点から、H区~H区の2倍に相当する放牧強度下での放牧利用が望ましいと考えられた。

本章の最後に、異なる草高(低:S,高:T)および放牧強度が放牧草地の草損失量に及ぼす影響を検討した。その結果、放牧草地の草損失量は草高の高いT区ならびに放牧強度の強い牧区で増加する傾向

を示した。また、草高間ならびに放牧強度間の草損失率はいずれも約20-30%の範囲であった。これらのことから、ソルガムを用いた放牧利用においては入牧前草量の20-30%程度が損失することを考慮して1頭当たりの利用可能草量を想定し、放牧頭数や放牧期間あるいは牧区の面積を調整することで、より適切な放牧強度下での放牧利用が可能となると考えられた。

以上より、ソルガム属草種の放牧草地においては生育段階によって草地群落におけるHCNp含量の垂直分布が異なり、頂部から下方へ3～4割の範囲における採食利用では乾物摂取量中のHCNp割合が増加するため、穂ばらみ期以降の利用では頂部から下方へ5割以上を採食利用させることによりHCNp摂取量の低減を図る必要があると考えられた。さらに、入牧後の短時間における家畜の採食様式とHCNp摂取量、草地における草損失量を考慮した場合、出穂期以前の放牧利用が望ましいと考えられる。また、1頭当たり利用草量を調整する際に草地から20-30%程度の草損失量が生じる可能性を考慮することで、さらに適切な放牧強度の設定が可能となることが示唆された。

第 6 章 ソルガム属草種における再生草の生産性に 関与する剪葉高の検討

第 1 節 刈取り高さの違いが乾物生産量，栄養価 ならびにHCN_p含量に及ぼす影響

結 言

ソルガム属草種を用いた放牧管理技術を構築するため，前章までに，短期放牧利用下における群落構造と放牧強度が草地生産性や放牧家畜の採食様式，HCN_p 摂取量を始めとする成分摂取量，さらに草地の草損失量に及ぼす影響について検討を行った。その結果，草地生産性と利用率の向上を図りながら HCN_p 摂取量の増加を抑制するためには，放牧強度を強め利用可能草量を制限することにより，頂部から下方へ 5 割以上を採食利用させることが必要であると考えられた。

前章で実施した放牧試験では，放牧強度が弱いほど高い層位での採食が行われており，退牧後草高が高くなることが示された。さらに，予備調査として同放牧試験実施後 68 日目の再生草地の収量調査を行ったところ，退牧後草高が低い強放牧区ほど再生草の草高が有意に高く ($S_b:p < 0.01$, $S_s:p < 0.05$)，乾物収量が増加する傾向を示した (表 6-1)。このことから，放牧強度の違いは剪葉強度の差として反映され，草地の再生に影響を及ぼしたことが推察された。剪葉とは，植物の

Table 6-1. Canopy height and dry matter (DM) yield at the regrowth period of 68 days after the grazing conducted.

	Sb			Ss		
	H	M	L	H	M	L
Grazing intensity (cow/ha) ¹	167	84	56	167	84	56
Canopy height after grazing (cm) ¹	24.9	44.2	70.7	55.7	86.3	110.2
Canopy height of 68 days after grazing (cm) ²	125.1 ^{a3}	108.0 ^{ab}	88.0 ^b	128.4 ^A	107.8 ^B	110.4 ^C
DM yield of 68 days after grazing (kgDM/10a) ²	260.6	209.4	130.7	148.0	130.1	134.2

¹ Data was quoted from the grazing trial in 2012, that was previously described on chapter 5-2.

² Data was recorded at 17 December 2012 in the field where the grazing was conducted.

³ Mean values with different superscript letters within the same rows on the same species differ significantly (small letters : $p < 0.01$, capital letters : $p < 0.05$).

地上部を放牧や刈取りによって取り除くことであり、その頻度や強度、時期は牧草の再生量や栄養価、維持年限を変化させる(Humphreys 1987)。前章では異なる放牧強度下での家畜による採食割合すなわち剪葉強度の変化が明らかにされたが、このような剪葉強度の変化に対する再生草地の反応を検討することは、放牧後の再生草を利用する場合の有用な知見となり得ると考えられる。本節では、剪葉高が再生草の生産性に及ぼす影響について検討するため、異なる放牧強度すなわち剪葉強度を想定して 3 水準の刈取り高さを設け、それぞれの高さで刈取り処理を施し、再生させた 2 番草の収量、栄養価および HCNp 含量について調査を行った。

材料および方法

試験は琉球大学農学部亜熱帯フィールド科学教育研究センター内の圃場(東経 127° 76' , 北緯 26° 25')で実施した。供試草として、ソルガム(*Sorghum bicolor* (L.) Moench, 品種高糖分ソルゴ, 雪印種苗株式会社, 札幌, 以下 Sb)およびスーダングラス(*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf, 品種リッチスーダン, 雪印種苗株式会社, 札幌, 以下 Ss)の 2 種を用いた。試験区は、草種を主区、刈取り高さを副区とする分割区法により、3 反復で配置した。1 区面積は 6m²(2m×3m), 畦幅 50cm の 4 畦とし、25cm, 50cm および 75cm の 3 水準の刈取り高さを設定した。

2013年5月9日に1.8kg/10aの播種量で条播した後、基肥としてN、P₂O₅およびK₂Oをそれぞれ要素量で10.0、5.6および7.8kg/10a施用した。同年6月26日に基肥の半量で追肥を施用した。S_sおよびS_bの1番草がそれぞれ穂ばらみ～出穂期に達した7月30日および8月20日に、3水準の刈取り高さで刈取りを行った後、基肥の半量で追肥を施用した。再生草(2番草)の刈取りは、穂ばらみ～出穂期に達した処理区毎に、地際から10cmの高さで1mの畦長について行った。各処理区の刈取り日を表6-2に示した。収穫物は葉、茎および穂に分別し、生草重量を測定した後、一部をHCNp含量の分析試料として抽出液の作出に供した。HCNpの分析はBradburyら(1991)およびHaque・Bradbury(2002)の方法に従った。残りの試料は70℃で通風乾燥し、乾物率を求めた後、1mmの篩を通るように粉碎し、*in vitro*乾物消化率(以下、IVDMD)と粗タンパク質含有率(以下、CP)の測定に供した。IVDMDはペプシン・セルラーゼ法(Goto・Minson 1977)によって測定し、CPは元素分析装置(NC-200F, SUMIGRAPH社製、東京・大阪)を用いて窒素含量を測定した後、6.25を乗じて求めた。

試験期間中の気温と降水量は、沖縄気象台那覇観測所の値(気象庁 2013)を用いた。

統計処理は統計パッケージソフトStat view J-5.0(SAS Institute Inc, Cary, NC, USA)を用い、草種毎に刈取り高さを変数として分散分析を行い、有意性が認められた場合はTukey-Kramer法により平均値間の

Table 6-2. Cutting date on each cutting height.

Species	Cutting height (cm)		
	25	50	75
Sb	10/26	10/19	9/22
Ss	9/28	9/16	8/31

差を検定した。

結 果

1. 試験期間中の気象条件

試験期間中の気象条件を図 6-1 に示した。平均気温は 27.6℃, 積算降水量は 1282.0mm であった。月毎の平均気温は平年よりやや高い傾向で推移した。月別の積算降水量は 5 月で平年値の約 3 倍, 6 月では平年値の半分以下の値を示した。また, 7 月の降水量は極めて少なく干ばつ傾向にあったが, 期間中の合計降水量は平年とほぼ同等の値となった。

2. 各刈取り高さにおける再生草の生育特性

刈取り処理を施し再生させた 2 番草の生育特性を表 6-3 に示した。草高は Sb で 133.1-188.6cm, Ss では 112.0-168.5cm の範囲にあり, 両草種共に刈取り高さが低くなるほど高く推移した。Sb では刈取り高さ 25cm と 50cm が 75cm より有意に高い値を示し ($p < 0.01$), Ss では 25cm, 50cm および 75cm の順に高い値で推移した ($p < 0.01$)。乾物収量は Sb で 930.4-1224.8kgDM/10a, Ss では 654.7-861.5kgDM/10a の範囲となり, 両草種共に刈取り高さが低くなるほど増加する傾向を示した。刈取り高さからの再生部位の乾物収量は, Sb では 25cm, 50cm および 75cm の順に 833.3, 646.5 および 137.7kgDM/10a となり, 25cm と 50cm

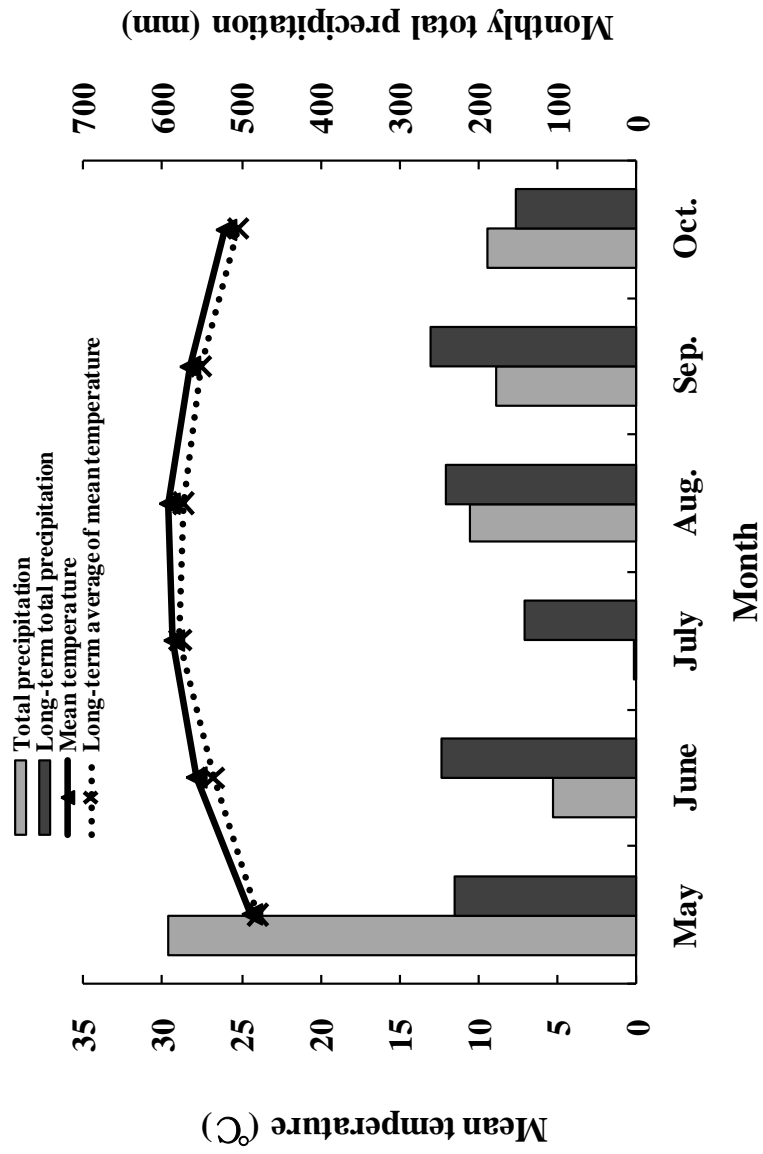


Figure 6-1. Meteorological condition during the experimental period.

Table 6-3. Plant height, dry matter (DM) yield, *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD), crude protein content (CP), HCNp and digestible DM yield in each cutting height treatment.

	Sb			Ss		
	25	50	75	25	50	75
Plant height (cm)	188.6 ^{a1}	187.9 ^a	133.1 ^b	168.5 ^a	137.8 ^b	112.0 ^c
DM yield (kgDM/10a)	1224.8	1069.0	930.4	861.5	681.9	654.7
Parts of regrowth	833.3 ^a	646.5 ^a	137.7 ^b	642.4 ^a	225.5 ^b	55.5 ^b
Regrowth : Residue	0.7 : 0.3	0.6 : 0.4	0.2 : 0.8	0.7 : 0.3	0.3 : 0.7	0.1 : 0.9
IVDMD (%)	50.1	52.3	49.8	44.1	47.4	49.7
CP (%)	6.6	4.8	6.9	6.1 ^{ab}	8.1 ^a	4.9 ^b
HCNp (ppm)	54.4	57.7	78.7	15.9	21.0	34.4
Digestible DM yield (kgDM/10a)	616.5	560.6	460.4	379.9	321.5	312.0

¹Mean values with different subscript letters within the same row in the same species differ significantly (p<0.01).

が 75cm よりも有意に高い値を示した($p < 0.01$)。Ss では 25cm, 50cm および 75cm の順で 642.4, 225.5 および 55.5kgDM/10a となり, 25cm が 50cm と 75cm の場合と比較して有意に高い値を示した($p < 0.01$)。IVDMD は Sb で 49.8-52.3%, Ss では 44.1-49.7%の範囲にあり, Sb では 50cm, Ss では 75cm でそれぞれ最も高くなる傾向を示した。CP は Sb では 4.8-6.9%の範囲にあり, 50cm で最も低い傾向を示し, 25cm と 75cm ではほぼ同等の値であった。Ss では 4.9-8.1%の範囲となり, 50cm で最も高く, 75cm で最も低くなる傾向を示した($p < 0.01$)。HCNp 含量は Sb では 54.4-78.7ppm, Ss では 15.9-34.4ppm の範囲にあり, 両草種共に 75cm で最も高くなる傾向を示した。可消化乾物収量は Sb では 460.4-616.5kgDM/10a, Ss では 312.0-379.9kgDM/10a の範囲にあり, 両草種共に 25cm で最も高くなる傾向を示した。

各刈取り高さにおける部位別乾物収量を図 6-2 と表 6-4 に示した。部位の区分は葉部, 茎部, 穂部, 側芽および枯死部とした。Sb の葉部と茎部収量は処理区間で有意な差が認められず, 穂部の収量は 25cm と 50cm が 75cm よりも有意に高い値を示した($p < 0.05$)。側芽の収量は 75cm で最も高くなる傾向がみられ, 25cm ではほとんど確認されなかった。枯死部は 25cm と 50cm で 75cm よりも有意に高い値を示した($p < 0.01$)。Ss の葉部と穂部の収量は 25cm, 50cm および 75cm の順に高くなる傾向を示し($p < 0.01$), 茎部収量では処理区間に有意な差が認められなかった。側芽の収量は 75cm が 25cm と 50cm と比較して有意に高い値

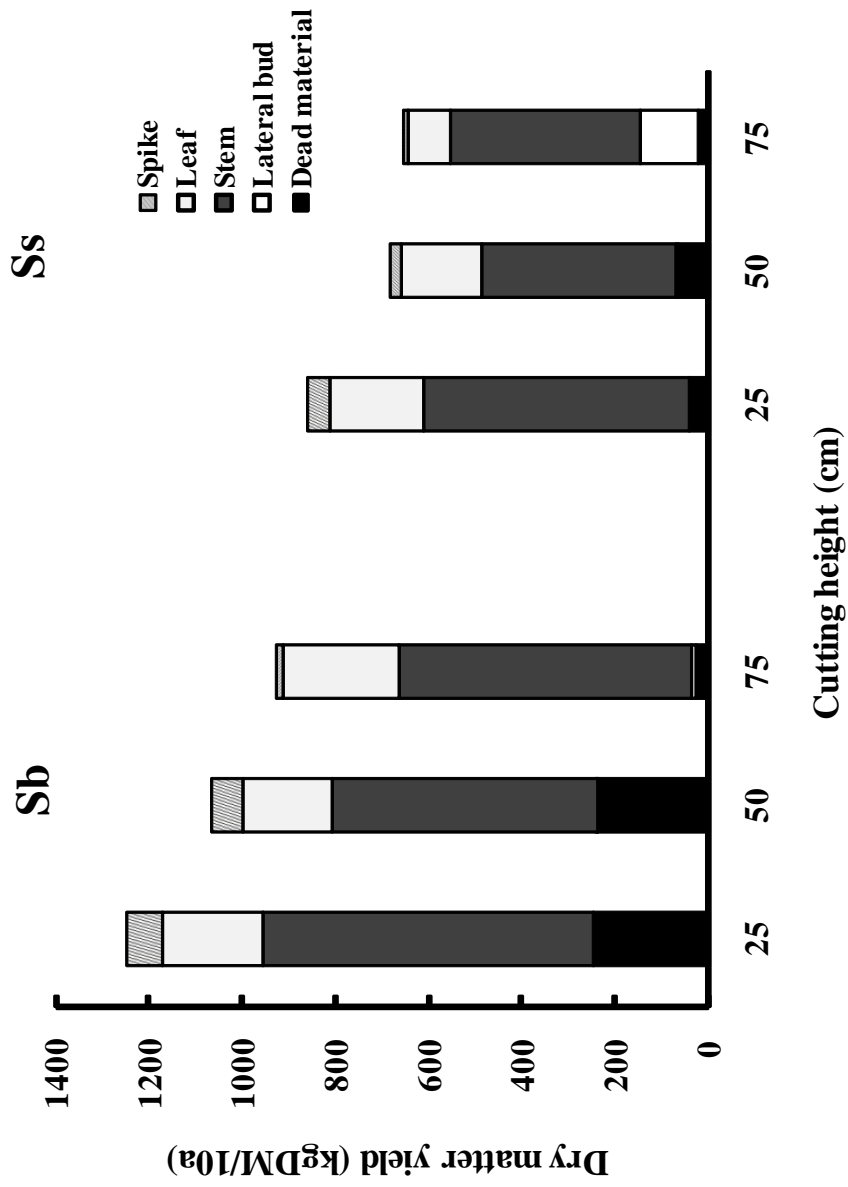


Fig. 6-2. Dry matter yield in each parts in differ cutting height treatment.

Table 6-4. Dry matter yield (kg DM/10a) of each part in different cutting height treatment.

Parts	Sb			Ss		
	25	50	75	25	50	75
Leaf	216.0	187.9	249.9	199.2 ^a	174.6 ^{ab}	91.6 ^b
Stem	708.5	572.0	626.3	569.8	413.7	406.6
Spike	74.6 ^A	70.3 ^A	17.7 ^B	49.7 ^a	20.8 ^{ab}	6.7 ^b
Lateral bud	0.0	0.2	9.8	0.0 ^B	6.7 ^B	129 ^A
Dead material	248.1 ^a	238.6 ^a	26.7 ^b	42.9 ^{AB}	66.0 ^A	20.8 ^B

Mean values with different subscript letters within the same row in the same species differ significantly (Capital letter ; $p < 0.05$, small letter ; $p < 0.01$).

を示し ($p < 0.05$), 25cm ではほとんど確認されなかった。枯死部は 50cm で最も高く, 75cm で最も低い値を示した ($p < 0.05$)。

刈取り高さからの再生部位における葉部, 茎部および穂部の割合, 各部位ならびに全体の IVDMD, CP および HCNp 含量を表 6-5 に示した。Sb の葉部割合は 25cm と 75cm が 50cm と比べ, 茎部割合は 50cm が 25cm および 75cm と比べそれぞれ有意に ($p < 0.01$) 高い値を示した。Ss の葉部割合は刈取り高さが高いほど, 茎部割合は刈取り高さが高いほどそれぞれ有意に高い値となる傾向を示した ($p < 0.01$)。両草種共に穂部割合はほぼ同等の値となった。IVDMD は両草種共に刈取り高さが高いほど高くなる傾向を示した (Ss: $p < 0.01$)。Sb の葉部 IVDMD では, 刈取り高さが高いほど有意に高く, 穂部では 50cm, 25cm および 75cm の順に高くなる傾向を示した (葉部: $p < 0.01$, 穂部: $p < 0.05$)。茎部では処理区間に有意な差が認められなかった。Ss の葉部ならびに茎部では刈取り高さが高いほど高くなる傾向を示したが ($p < 0.01$), 穂部では有意な差がみられなかった。CP は Sb では 75cm で最も高くなる傾向を示したが (葉部: $p < 0.05$, 全体および茎部: $p < 0.01$), 穂部ではほぼ同等の値となった。Ss では全体ならびに全部位において 50cm で最も高くなる傾向を示した (全体, 葉部, 茎部: $p < 0.01$, 穂部: $p < 0.05$)。HCNp 含量は両草種共に 75cm で最も高くなる傾向を示した (Sb: $p < 0.05$, Ss: $p < 0.01$)。また, Sb の葉部および茎部の HCNp 含量は刈取り高さが高いほど, 穂部では刈取り高さが高いほどそれぞれ高くなる傾向

Table 6-5. Plant part ratio, *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD), crude protein content (CP) and HCNp content in each regrowth part in different cutting height treatment.

Item	Cutting height (cm)	Sb			Ss			Total	Spike	Total
		Leaf	Stem	Spike	Leaf	Stem	Spike			
Plant part ratio	25	0.6 ^a	0.3 ^b	0.1	0.3 ^b	0.6 ^a	0.1	-	0.1	-
	50	0.3 ^b	0.6 ^a	0.1	0.5 ^{ab}	0.4 ^b	0.1	-	0.1	-
	75	0.6 ^a	0.3 ^b	0.1	0.7 ^a	0.2 ^c	0.1	-	0.1	-
IVDMD (%)	25	50.9 ^b	49.2	56.7 ^{AB}	52.5 ^b	42.4 ^b	48.9	51.3	48.9	46.6 ^b
	50	53.8 ^{ab}	54.8	61.2 ^A	59.0 ^{ab}	53.6 ^{ab}	54.9	55.2	54.9	56.5 ^a
	75	60.3 ^a	49.3	49.6 ^B	60.3 ^a	59.3 ^a	52.5	56.1	52.5	56.8 ^a
CP (%)	25	11.3 ^B	2.5 ^b	8.4	14.8 ^{ab}	3.2 ^b	10.3 ^{AB}	8.6 ^{ab}	10.3 ^{AB}	6.8 ^b
	50	12.8 ^{AB}	2.5 ^b	8.7	17.2 ^a	8.0 ^a	12.3 ^A	5.9 ^b	12.3 ^A	12.6 ^a
	75	14.4 ^A	6.2 ^a	9.0	13.3 ^b	7.0 ^a	8.5 ^B	11.7 ^a	8.5 ^B	11.8 ^a
HCNp (ppm)	25	94.4	18.7	71.3	29.1 ^B	ND	69.2	69.8 ^{AB}	69.2	14.5 ^b
	50	124.8	26.0	55.0	39.9 ^{AB}	30.7	70.0	55.4 ^B	70.0	38.9 ^{ab}
	75	154.9	58.5	47.7	71.5 ^A	65.1	66.7	113.5 ^A	66.7	69.9 ^a

Mean values with different subscript letters within the same column in the same species differ significantly (Capital letter ;

p < 0.05, small letter ; p < 0.01).

ND means that was no detected.

を示した。S_sでは葉部のHCN_p含量は刈取り高さが高いほど有意に高くなる傾向を示し($p < 0.05$)、茎部でも同様の傾向がみられたが、穂部では75cmで最も低くなった。

刈取り高さからの再生部位の日乾物生産量(以下、CGR)を算出し、表6-6に示した。CGRはS_bでは25cm、50cmおよび75cmの順にそれぞれ13.9、13.5および4.3g/m²/日となり、S_sではそれぞれ9.6、3.8および1.7g/m²/日となった。両草種共に刈取り高さが低いほどCGRは増加する傾向を示したが、穂ばらみ～出穂期に達するまでの生育日数は長くなる傾向にあった。

考 察

前章で実施した放牧後の再生草地で得られた結果(表6-1)同様、2番草の乾物収量は刈取り高さが低いほど高くなる傾向を示した。西村・荒田(1953)はソルガム属草種(*Sorghum vulgare* var. *saccharatum*)の1番草を1m、50cmおよび10cmの高さでそれぞれ刈取った後、再生させた2番草では刈取り高さが低いほど収量が増加したことを報告しているが、本試験でもそれらの結果と一致した。前出の報告では、刈取り高さが低いほど収量が増加した要因として生長ホルモンの関与を指摘している。生長ホルモンの生成は頂芽と葉で行われ、葉での生成量は葉の老化とともに減少するとされる。また、その作用の1つとして側芽の伸長抑制作用が認められている。このため、収穫時に地上

Table 6-6. Growing period, dry matter (DM) yield and crop growth rate (CGR) for regrowth parts during the regrowth period on each cutting height treatment.

	Sb			Ss		
	25	50	75	25	50	75
Growing period (days)	60	48	32	67	60	33
DM yield (kgDM/10a)	833.3	646.5	137.7	642.4	225.5	55.5
CGR (g/m²/day)	13.9	13.5	4.3	9.6	3.8	1.7

部の葉を全て刈取った場合は、生長ホルモンが生成されず、新しい分げつが伸長を始める。一方、刈取り高さが高く葉が残された場合、生長ホルモンが引き続き生成されるため新しい分げつは伸長しない。この場合は、残草部の葉の老化に伴い生長ホルモンの生成量が減少することにより、新しい分げつの伸長が開始するとされる。すなわち、刈取り高さが高い場合には、新しい分げつの伸長開始が遅延するため生育速度が遅延し、再生日数や生育環境が同じ場合では、刈取り高さを低くして再生させた個体と比較して、生育量が減少するものと推察される。本試験では2番草刈取り時の生育段階を統一したことにより、刈取り高さが低い刈取り区では再生期間が延長したため、刈取り高さと収量の関係性を生育速度の低下のみで説明することは難しい。しかしながら、2番草刈取り時に若い側芽が確認されたのは、主に刈取り高さが高い75cmの刈取り区であったことから、25cmならびに50cmでは側芽は既に分げつとして生長していたと考えられた。すなわち、刈取り高さが低い刈取り区では、生長ホルモンによる分げつ伸長抑制の解除が速やかに行われ、新しい分げつの伸長に伴う収量増加が促進されたものと推察される。また、刈取り高さの低い刈取り区では再生部位におけるCGRが高い値を示したことも、これと同様の理由によると考えられた。大泉(1977)はソルゴの刈取り後の分げつ芽伸長に及ぼす貯蔵物質の影響を検討し、再生初期には刈取り高さの高い刈取り区で分げつ芽の伸長が遅く、その後時間の経過とともに、貯蔵物質の多いものほど伸長量が増

加することを報告している。さらに、再生初期の側芽の伸長抑制は刈り残された刈り株中のオーキシンによるものであるとして、生長ホルモンの作用を認めている。本試験では貯蔵物質や生長ホルモン等について調査を行っていないものの、異なる刈取り高さに伴う再生草の生産性の違いは、前出の2件の報告と同様に、生長ホルモンの作用として説明されると考えられた。

部位別収量をみると、刈取り高さ75cmでは穂部の乾物収量が著しく低い値を示した。前出した西村・荒田(1953)は、高い刈取り高さでは、高い節位から出た腋芽の伸長が悪く、早く出穂する傾向にあったと報告しており、本試験でも同様の現象が観察された。このことから、刈取り高さ75cmにおける穂部収量の低下要因は、高節位からの分けつの生育不良によるものであると推察された。この高節位分けつほどエイジングの進行が早いとする報告は他の牧草でも報告されている(増田 1977)。なお、25cmならびに50cmで枯死部の割合が高い値を示したのは、生育期間の延長に起因すると考えられる。枯死部の増加は生産性の観点からは負の要素として捉えられる。しかしながら、刈取り高さの低い刈取り区ほどCGRが高く、出穂期に至るまでの生育日数は延長するものの枯死部を差し引いても高い乾物収量を得ることが可能であることは明らかであった。このため、刈取り高さが低い場合、枯死部が増加しても生産性に及ぼす影響は小さいと考えられた。

残存部では草齢の進行に伴いIVDMDならびにCPが著しく低下し、

残存部割合が多い刈取り高さの高い区では、全体の IVDMD ならびに CP が低下するものと推察されたが、IVDMD は Sb ではほぼ同等の値、Ss では刈取り高さが高いほど高くなる傾向を示した。また、CP は刈取り区 50cm において Sb では最も低く、Ss では最も高くなる傾向を示し、刈取り高さによる一定の傾向がみられなかった。HCNp 含量については両草種共に刈取り高さが高くなるほどに増加する傾向を示した。これら栄養価および HCNp 含量は、各刈取り区の残存部と再生部において、より割合が高い部位の値に近い値を示していた。

1 番草の刈り残しである残草部は草齢とともに木化が進むため、家畜の採食性は低いことが推察されることから、採食部の実質的な飼料価値は再生部位において評価されると考えられる。再生部の IVDMD は、両草種共に刈取り高さが高いほど高くなる傾向を示した。刈取り高さの低い 25cm では伸長量が大きく、出穂に至るまでの再生期間が長い分、エイジングが進み IVDMD が低下したものと考えられる。また、再生部内で成熟度の違いに伴い消化性に差が生じていたことも推察される。例外的に、Sb の穂部 IVDMD は 75cm で特に低くなる傾向を示したが、これは穂部の生育不良が要因であると考えられた。穂部の IVDMD は細胞内容物含量の増加とともに高まる(細谷ら 1990)とされるが、75cm の刈取り区ではエイジングが早く、穂部が十分に発達しない状態での出穂が観察されたことから、細胞内容物の蓄積量が少なかったものと推察される。

CPについては、Sbでは50cmの刈取り区で最も低くなる傾向を示したが、Ssでは同刈取り区で最も高い値となり、この草種間における相異は茎部CPに起因するものであった。また、CPは部位毎の含有率が大きく異なることから、葉茎比が個体としてのCP含有率に大きく影響すると考えられた。

HcNp含量は全刈取り区で牧草地における安全基準500ppm (Boyd 1938;表 3-2)以下となり、刈取り高さが低いほどHcNp含量が低い傾向にあった。HcNpの主要な決定要因は組織の成熟度であるとされる(下浦・西村 1953;犬山・加治 1969)ことから、IVDMDと同様、低い刈取り高さでは生育期間の延長に伴う草齢の進行により低下したものと考えられた。また、刈取り高さが高い刈取り区では、窒素代謝系におけるアミノ酸合成が十分に行われずままエイジングが進行し出穂したため、余剰の窒素化合物としてHcNpが比較的高い濃度で蓄積されたことも推察される。例外的に、Sbの穂部HcNpでは刈取り高さが高いほど低下する傾向を示したが、この要因を解明することはできなかった。

乾物収量と栄養価の面から総合的な評価を行うため、再生部位のIVDMDとCPをそれぞれ乾物収量に乘じ栄養収量を求めたところ、Sbの可消化乾物収量は25cm, 50cmおよび75cmの順に427.5, 356.7および77.3kgDM/10a, Ssではそれぞれ695.5, 127.3および31.5kgDM/10aとなった。また、CP収量はSbでは25cm, 50cmおよび75cmの順に72.1, 38.5および16.1 kgDM/10a, Ssではそれぞれ43.4,

28.4 および 6.6 kgDM/10a となり、いずれも刈取り高さが低いほど高い値を示した。

以上より、刈取り高さの低い刈取り区では出穂に達するまでの生育期間は延長するものの、乾物収量が著しく増大した。また、刈取り高さの最も低い 25cm の IVDMD および CP は他の刈取り区と同等もしくはやや低くなる傾向を示したが、HCNp 含量は最も低い値となった。実質上の飼料価値を示している再生部位においては、25cm の可消化収量が 50cm および 75cm のそれぞれ 1.2-5.5 倍および 5.5-22.0 倍、CP 収量ではそれぞれ 1.5-1.9 倍および 4.5-6.6 倍と、刈取り高さの低い刈取り区で高い栄養収量が得られた。再生部位の HCNp 含量については、25cm の刈取り区は 50cm および 75cm の刈取り区のそれぞれ 0.4-1.3 倍および 0.2-0.6 倍と低くなる傾向を示した。これらのことから、刈取り高さ 25cm は 50cm および 75cm と比較して、再生草において高い栄養収量と HCNp 含量の低下による飼料としての安全性を確保することが可能な剪葉高として効果的であることが示唆された。さらに、剪葉高すなわち家畜に採食させる高さを 25cm 程度と想定し、放牧期間あるいは放牧頭数を調節することにより、再生草地の利用性を向上させることが可能であると考えられた。

第 2 節 摘 要

剪葉高が再生草の生産性に及ぼす影響について検討するため、3水準の刈取り高さ(25, 50 および 75cm)で刈取り処理を施した後、再生させた2番草の収量, 栄養価およびHCNp含量の調査を行った。乾物収量は刈取り高さが低いほど高くなる傾向を示し, Sbでは25cm, 50cm および 75cmの順にそれぞれ1224.8, 1069.0 および930.4kgDM/10a, Ssではそれぞれ861.5, 681.9 および654.7kgDM/10aとなった。IVDMDはSbで49.8-52.3%, Ssでは44.1-49.7%, CPはSbで4.8-6.9%, Ssで4.9-7.9%の範囲となった。HCNpはSbで54.4-78.7ppm, Ssでは15.9-34.4ppmの範囲となった。IVDMDは刈取り高さが高いほど高くなる傾向を示し, CPは刈取り高さによる一定の傾向を得られなかった。HCNpは刈取り高さが低いほど低くなる傾向を示した。1番草の刈り残しである残存部は草齢の進行により家畜の採食性は低いと考えられたため, 刈取り高さからの再生部位に限定して栄養収量とCGRを求めた。可消化乾物収量はSbでは77.3-427.5kgDM/10a, Ssでは31.5-295.5kgDM/10a, CP収量はSbでは16.1-72.1kgDM/10a, Ssでは6.6-43.4kgDM/10aの範囲となり, 刈取り高さが低いほど高くなる傾向を示した。CGRは刈取り高さが低いほど高くなる傾向を示したが, 刈取りまでの生育期間は延長した。

以上より, 刈取り高さが低いほど出穂に至るまでの期間は長くなるが,

高い栄養収量が得られ、HCNpも十分に低い安全域の濃度となるものと考えられた。また、これらのことを踏まえ、放牧草地の草高が25cm程度となるまで強い放牧強度で家畜に採食させることにより、再生草の乾物生産量の向上を図ると共に、HCNp含量を低下させ青酸中毒のリスクを最小限に抑えることが可能であると示唆された。

第 7 章 総合考察

本研究で対象としたソルガム属草種ソルガム(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)およびスーダングラス(*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf)は、生育速度の速さや単位面積当たりの生産性の高さ(Pederson・Rooney 2004; Skerman・Riveros 1990)から、全国的に作付利用が推進されている(農林水産省 2013d)。しかしながら、沖縄県では永年温暖地型牧草の栽培体系が既に確立されていることから、ソルガム属草種の作付面積は極めて少ない(内閣府沖縄総合事務局 2013)。ソルガム属草種の栽培は、作付後の土壌更新が容易で隣接する他の耕種作物に対して強害雑草となり難い 1~短年生の利点を生かし、未利用地や耕種作物の休閑期での短期的な作付利用を行うことで、本地域における自給粗飼料生産の新しい選択肢になりうると考えられる。

ソルガム属草種の栽培利用上の課題としては、多量に摂取すると中毒を引き起こす青酸化合物(Hydrogen cyanide potential, 以下, HCNp)を含有することや、牧草と比較して収穫や飼料調製に要する労力が多大であり、採草利用には相応の機械化が要求されることが挙げられる。後者の課題に対しては、低コスト生産および省力化が可能な(千田 2006; 小迫 2008)放牧利用が有効であると考えられるが、これまで国内における放牧利用の事例はみられない。さらに、ソルガム属草種を用いた放牧に関する報告は、国内外を問わず限られており(Boyd

ら 1938;Cunningham・Ragland 1971;Darrell ら 1995;French ら 1988a;French ら 1988b;Köster ら 1992;Mulcahy ら 1992;Radford ら 2008;進藤ら 2008;手島ら 2010;Flávia ら 2011;Fonseca ら; 2012佐々木 2013),特に,植物体中のHCN_p成分の動態と家畜の採食様式との関係を考慮した放牧管理技術の知見は極めて乏しい。これらのことから,本研究では,沖縄県におけるソルガム属草種の生産性や生育特性を明らかにすると共に,生育段階とそれに伴う群落構造におけるHCN_p成分の動態を考慮した栽培と放牧利用ならびにその管理について検討し,限られた土地資源に立脚した粗飼料生産ならびに放牧による利用技術体系を確立することを目的とした。

第2章では,沖縄県におけるソルガム属草種の生産性を明らかにするため,高消化性 bmr 品種を含む数品種・系統を用いた栽培試験を行った。10ヵ月の栽培期間中4回の刈取りで得られた合計乾物収量は,2068.0-3893.2kg/10aの範囲にあり,沖縄県の栽培奨励品種であり,基幹草種でもあるローズグラス(カタンボラ)の年間乾物収量(1800-3600kgDM/10a;望月ら 2005)と同等もしくは同等以上の高い生産性を示した。各刈取り回次における乾物収量は,生育期間中の気温が最も高く,日射量の多い生育環境下にあった2番草で最も高く,刈取り回次が進むにつれて減少傾向を示した。また,栽培期間中の合計乾物収量に占める刈取り回次毎の累積収量割合は1回目で約16%,2回目までの累積収量で約60%,3回目までの累積収量では約

90%となった。これらのことから、ソルガム属草種の栽培は年間を通じて温暖な沖縄県の栽培環境に適しており、高温期における1~2回の刈取りで高い生産性を示すことが明らかにされた。

供試品種・系統の *in vitro* 乾物消化率（以下，IVDMD）は42.8-61.0%，粗タンパク質含有率（以下，CP）は4.9-7.0%の範囲にあり，前出の本地域のローズグラスの栄養価（IVDMD：48.1%，CP：10.4%，花ヶ崎ら 2006）と比較すると，IVDMD では同等もしくは同等以上，CP ではこれより低い傾向を示した。栄養収量をローズグラス（可消化乾物収量：857kgDM/10a，CP 収量：201kgDM/10a，花ヶ崎ら 2006）と比較すると，可消化乾物収量は全品種・系統でこれより高く，CP 収量は同等もしくはこれより低い値を示した。本地域において夏季に高い栄養収量を確保する難しさについては，生育中の温度の上昇が成熟を促進し，これに伴う消化率の減少（Ivory ら 1974）や，本地域で栽培された暖地型イネ科牧草の IVDMD は平均生育温度が1℃上昇するに伴い約1-2%，CP では0.1-0.3%それぞれ低下した（川本 1998）とする報告からも明白である。供試したソルガム属草種の数品種・系統は，夏季高温条件下で既存のイネ科草種と比較して高い可消化乾物収量を示した。また，黒毛和種の繁殖牛を対象とした場合，要求される可消化養分総量（以下，TDN）は50%（農業・食品産業技術総合研究機構 2009）であるが，Minson ら（1976）および Goto・Minson（1977）によって示された関係式を用いて，TDN50%となる IVDMD を求めると42.3%とな

り、供試した全品種・系統でこの値より高く、本草種の高い TDN 供給量が示された。さらに、供試した品種・系統は、主成分分析により、高収量の品種・系統、消化性に優れる品種・系統および刈取り回次を通じて安定した生産性を示す品種・系統として評価・分類され、利用目的や栽培期間に応じて草種や品種を使い分けることで、特性を生かした効果的な飼料生産を行うことが可能であると考えられた。

農地面積の限られた沖縄県では、耕種作物と連携して同一の土地に連続して作物を栽培する作付体系が自給飼料増産の鍵となるが、ソルガム属草種は短期間での収量性の高さから、他の耕種作物の休閑期を利用した作付体系にも組み込まれるものと考えられた。また、ソルガム属草種の特徴を生かし、効率的に飼料生産を行うためには、夏季の短期的な利用が望ましい。これらのことを考慮すると、沖縄県の主要畑作物であるサトウキビ（沖縄県農林水産部 2011）の休閑期でのソルガム属草種の栽培利用はこれらの条件と符合する。サトウキビの夏植作付体系では、一般に、12月から2月の収穫後から7～9月の植付けまでの期間を休閑期とするが、この期間を利用したソルガム属草種の栽培では、台風被害が少なく高収量が得られる（森山ら 1989）ため、台風の常襲地域である本県において効果的な飼料生産体系となると考えられる。

そこで、第3章では、夏植サトウキビの休閑期におけるソルガム属草種の栽培管理技術を構築するため、遺伝型の異なる4品種（子実型：

Gs, ソルゴー型糖蜜タイプ:Fs, スーダン型:Bs, スーダングラス:Ss)について、乾物収量、栄養価とHCNp含量の推移から利用適期の検討を行った。また、無追肥区(100 kg N/ha)と追肥区(150 kg N/ha)を設け、追肥の影響を調査した。

発芽後から2週間毎に12週間目まで刈取り調査を行った結果、乾物収量は生育の進行に伴い漸次的に増加し、12週目では4品種間で8.9-15.6 t/haの範囲にあった。既報の沖縄県内における5月播種のソルガム属草種の乾物収量(7.5-14.7t/ha;福地ら 1986, 13.0-16.7 t/ha;森山ら 1989)と比較するとほぼ同程度となり、前出の本地域のローズグラスの乾物収量(望月ら 2005)よりも高い乾物生産性を示した。12週目のIVDMD, CPおよび可消化乾物収量はそれぞれ40.0-56.4%, 3.9-5.0%および4.1-8.0 t/haの範囲となり、前出の本地域のローズグラスの栄養価および可消化乾物収量(1.8-4.7t/ha;花ヶ崎ら 2006)と比較すると、IVDMDはFsとGsではローズグラスよりも高く、BsとSsではやや低く、CPは全品種でローズグラスより低い値となった。可消化乾物収量はローズグラスと同等もしくは同等以上の値を示した。HCNp含量は生育の進行に伴い漸次的に減少し、先行研究による報告(森田ら 1967;犬山・加治 1969;相井 1973;Wheelerら 1990;Busk・Møller 2002)と一致した。また、4~6週目で安全とされる濃度(500ppm以下;Boydら 1938)となり、この時期の草高は約60-100cmであった。

供試した4品種は、その生育特性からGs・FsとBs・Ssの2グループ

に分けられた。Gs・Fs 群は 12 週目まで乾物収量が漸次的に増加し、出穂期では IVDMD の増加がみられたことから、出穂期に至るまで可消化乾物収量は増加し続けた。一方、Bs・Ss 群は 8 週目の出穂期以降、乾物収量がほとんど増加せず、IVDMD は生育の進行に伴い漸次的に減少したため、出穂期以降の可消化乾物収量は横ばい傾向で推移した。また、追肥区の乾物収量は無追肥区に比べて高くなる傾向を示したことから、追肥による増収効果が示唆された。一般に、ソルガム属草種は窒素施用に対する反応性が大きいとされ、150kgN/ha 以上の窒素施用時における乾物収量の増加が報告されている(春本ら 1986; Ayub ら 2002; Bahrani・Deghani 2004; Marsalis ら 2010)。一方で、窒素施用により HCNp 含量が増加することも明らかにされており(Boyd ら 1938; Nelson 1953; 森田ら 1967; Wheeler ら 1990; Bahrani・Deghani 2004)、本研究でも、4 週目の刈取り調査直前に行った追肥により、4 週目の追肥区では無追肥区と比較して 1.3-1.9 倍高くなる傾向を示した。なお、その後の 6 週目では両処理区の値は同程度となった。これらを考慮して利用適期を検討すると、HCNp 摂取量を抑える観点からは、遺伝的に HCNp 含量の高いソルゴ型や生育速度の遅い中生あるいは晩生の品種を用いる際は 6 週目以降、草高 1m 以上での利用が望ましいと考えられた。さらに、本草種の慣行的な栽培方法に従い、6 葉期頃に窒素肥料による追肥を行う場合は、追肥の施用後 3 週間は利用を控えることで青酸中毒のリスクを低減することが可能であると考え

られた。また、Gs・Fs 群は出穂期以降の利用で高い乾物収量と栄養価が得られ、Bs・Ss 群では出穂期以前の早刈り利用により、想定している作付け期間中における再生草の利用も期待できると考えられた。これらのことから、夏植サトウキビの休閑期を利用したソルガム属草種の栽培は、沖縄県における短期的な自給粗飼料の生産利用方法として有効であり、利用適期での収穫により青酸中毒の危険性を回避しながら高い栄養収量を得ることが可能であると考えられた。

ソルガム属草種の栽培利用では、HCNp 以外の課題として、収穫や飼料調製に要する作業労力の省力化が挙げられる。このため、第 4 章では、収穫作業を必要とせず、最少の施設・資材で省力的に家畜の管理を行うことができる(千田 2006)放牧利用について検討を行った。

本草種を用いた放牧では、青酸中毒の危険性を最小限に抑えると共に、単位面積当たりの草地生産性を最大限に高める放牧管理を行う必要がある(Boyd ら 1938)。その際、草地生産性に影響を与える最も重要な管理要因として放牧強度が挙げられる(Humphreys 1987)。そこで、夏植サトウキビ作付体系の休閑期における栽培利用を想定した短期的な放牧試験を行い、放牧草地としての草地生産性の評価と、異なる放牧強度条件下での家畜の採食性やHCNp摂取量を検討した。ソルガム(Sb)草地およびスーダングラス(Ss)草地において、強放牧(H)区と弱放牧(L)区の2水準で、2回の放牧を実施した結果、試験期間中の入牧前草量は、沖縄県の基幹草種であるジャイアントスターグラス

の放牧の草量(當間ら 2003)と比較すると, Sb の H 区を除く全牧区でこれより高い値となった。乾物摂取量は Sb の H 区を除く全牧区で供試家畜の牧草草地での平均的な採食草量 8.8kg(農業・食品産業技術総合研究機構 2009)を上回り, 高い採食性を示した。牧養力は French ら(1988)がソルガム属草種の草地で実施した放牧試験での値や本地域における夏季のジャイアントスターグラス草地(當間ら 2003)と比較してやや低下し, 耐酸性の低いソルガムに対する土壌改良の必要性(Miller 1984)および利用可能草量と放牧強度の関係が課題として挙げられた。すなわち, これらの課題に対応した適切な栽培および放牧管理方法の構築によって牧養力は向上する可能性が示唆された。

後者の課題について検討したところ, 放牧強度が弱く, 利用可能草量の多い L 区では, HCNp 摂取量の増加と採食利用率の低下がみられた。一方の H 区では, 低い HCNp 摂取量と高い採食利用率を示したが, 2 番草での放牧では利用可能草量の低下による乾物および養分摂取量の不足を生じた。供試家畜による採食利用率が約 40-70%の範囲であったことを鑑みると, 供試家畜の維持に要する養分要求量の約 1.4-2.5 倍の利用可能草量を確保する必要があると考えられた。これらのことから, ソルガム属草種の草地は牧草供給量, 家畜の採食性および利用性の観点から, 沖縄県の放牧基幹草種と比較しても遜色なく, 短期的な放牧利用が可能であることが示された。さらに, 供試家畜の維持に要する養分要求量の 1.4-2.5 倍の利用可能草量を確保した上で,

強放牧条件下での放牧利用を行うことで、HCN_p 摂取量の増加を抑制すると共に草地生産性の向上を図ることが可能であると示唆された。

前述したように、ソルガム属草種の放牧利用の特殊性は、青酸中毒のリスクを最小化する放牧管理が求められる点にある。ソルガム属草種の草地群落においてHCN_pは必ずしも均一に分布しておらず(下浦・西村 1953; 犬山・加治 1969; 相井 1973), それ故, 放牧利用時には草量や草質に加え, 群落構造におけるHCN_pの分布特性や動態を明らかにし, これらに対する放牧家畜の選択性を考慮した放牧管理を行う必要がある。すなわち, ソルガム属草種の草地における群落構造と放牧強度が家畜の採食様式やHCN_pを含む成分摂取量に及ぼす影響を検討することは, 草地生産性の向上と青酸中毒の発生予防を図り, 安全に放牧を行うための重要な知見となり得ると考えられる。

そこで, 第5章では, 初めに, ソルガム(Sb)およびスーダングラス(Ss)の異なる生育段階(栄養生長期:V期, 穂ばらみ期:B期, 出穂期:H期)におけるHCN_pとCPの垂直分布を明らかにし, 放牧時の群落頂部からの採食に伴うHCN_pおよびCPの推定摂取量について検討を行った。その結果, 両草種のHCN_p含量は全生育段階において, 放牧草地における安全域(500ppm以下; Boydら 1938)より低い値であった。HCN_p含量の垂直分布は, V期では層位に関わらずほぼ同等の値で推移し, B期以降では層位の上昇とともに高くなる傾向を示し, 既報(下浦・西村 1953; 犬山・加治 1969; 相井 1973)と一致した。また, V

期における推定 HCNp 摂取量は、頂部からの採食割合に大きく影響されないが、穂ばらみ期以降では頂部から下方へ 3~4 割の範囲で採食がなされると、HCNp 摂取量が増加する可能性が示唆された。推定 CP 摂取量は、V 期と B 期では採食層位が上層位に限られるほど高くなり、H 期では頂部から下方へ 4~5 割の範囲における採食で最も高くなる傾向を示した。これらのことから、HCNp 含量が安全基準値を十分に下回る草高約 90cm の V 期以降で放牧利用が可能であると考えられた。しかし、B 期以降は頂部から下方へ 3~4 割の範囲にあたる中~高層位を選択的に採食した場合に、乾物摂取量中の HCNp 割合が増加する危険性が懸念される。このため、B 期以降での放牧利用時は、群落の下層位まで採食割合を高めることで HCNp 摂取量を最小限に抑える必要があると考えられた。

以上より明らかになったソルガム属草種の HCNp 含量の垂直分布と、一般的な家畜の採食行動 (Chacon・Stobbs 1976; 岡本ら 1994; 高橋ら 2007) とを考え併せると、家畜が選択的に採食する層位と HCNp が高濃度で蓄積されている層位が一致し、放牧時の HCNp 摂取量が増加するものと推察される。放牧家畜による選択採食は弱放牧あるいは粗放牧下において多く行われることを踏まえると、異なる放牧強度下での家畜の採食様式や HCNp 摂取量の変動を明らかにする必要があると考えられる。従って、次に、放牧強度の違いが家畜の採食性、採食層位と成分摂取量に及ぼす影響を検討するため、3 水準の放牧強度区

(強:H, 中:M, 弱:L)を設け, Sb ならびに Ss 草地で放牧を実施した。

その結果, H 区では単位面積当たりの利用草量が増加し, HCNp 摂取量は M 区や L 区と比較して有意に低い値を示した。また, 退牧後の群落の草高によって示された放牧家畜の採食層位は, 両草種共に放牧強度が弱いほど高く推移した。すなわち, 放牧強度が弱く, 利用可能草量が多い L 区では上層位における採食が多く行われ, H 区では群落の下層位まで採食が行われていたことが示された。放牧家畜の採食量は利用可能草量 (Gibb・Treacher 1976; Combellas・Hodgeson 1979; Stockdale 1985), 葉の現存量 (Stobbs 1973; Chacon・Stobbs 1976; 林ら 1977)あるいは消化率 (Van Soest 1965)とそれぞれ正の相関関係にあることが明らかにされている。さらに, IVDMD, CP, HCNp 含量および葉部割合は上層位ほど高くなる傾向を示しており, 放牧強度が弱く利用可能草量の多い牧区では, 栄養価や葉部割合の高い層を選択的に採食したことが推測された。これらのことから, M 区と L 区における CP および HCNp 摂取量の増加は利用可能草量の増加に伴う採食量の増加および選択採食に起因すると考えられ, 特に, 頂部から下方へ約 5 割の範囲を採食した Sb の L 区におけるこれらの増加は顕著であった。供試家畜に必要な養分量と供給草量との関係 (Gibb・Treacher 1976)から放牧強度を検討すると, 本試験と同様の放牧条件下では, H 区の約 1.5-2.3 倍まで放牧強度を強めることが可能であると考えられた。これらのことから, ソルガム属草種の草地では放牧強度を

強め、利用可能草量をある程度制限することで、頂部からの採食割合を5割以上に高め、選択採食や過食による養分の過剰摂取やHCNp摂取割合の増加を抑制する必要があると考えられた。また、放牧強度を強めることで採食利用率をさらに高め、限られた土地面積の効率的利用あるいは一定期間内での放牧利用下における放牧頭数の増大を図ることが可能であると示唆された。

これまで述べてきたように、ソルガム属草種を用いた放牧は、放牧家畜に青酸中毒を発生させないことが必要である。本章でこれまで述べた採食様式とHCNp摂取量との関係に関する考察は、1日単位の放牧について行った。しかしながら、青酸中毒は入牧後の比較的短時間で発生することが多く(Hindmarshら1941; Udall 1947)、青酸中毒の危険性を低減するためには、入牧後数時間における家畜の採食様式やHCNp摂取量を把握する必要があると考えられた。そこで、群落構造を構成する要素の1つとして草高に着目し、草高と放牧強度が入牧後数時間における家畜の採食様式と単位時間当たりHCNp摂取量に及ぼす影響を検討するため、2水準の草高区(低:S, 高:T)および4水準の放牧強度区を設けたSb草地で放牧試験を実施した。

その結果、入牧後数時間内の放牧家畜は、パッチ状に採食しながら移動し、草高や放牧強度に関わらず、同一の個体に対し頂部から下方へ約4割の範囲を一度に採食していることが明らかになった。放牧家畜は葉部現存量の多い位置から優先的に採食するとされている(岡本

ら 1994;高橋ら 2007)が、本研究においても頂部から全体の約 4 割の高さにある層位では S 区, T 区共に葉部乾物現存量が最も多かつため、この部分を優先的に採食したと推察された。一方で、家畜によって最初に採食されるこの層位は HCNp が比較的高濃度で分布する層位でもあった。また、設定した草高の違いは同一草種の生育段階に伴うものであるが、生育段階に伴う HCNp 含量の垂直分布の相違から、頂部から下方へ約 4 割の範囲における HCNp 含量は、T 区が S 区の約 3 倍と高い値を示していた。このため、乾物摂取量中の HCNp 摂取割合は、出穂始期の T 区において、止め葉期の S 区よりも高くなる傾向となった。このことから、HCNp 摂取量の増加を抑制するためには、頂部から下方へ約 3~4 割の範囲にあたる層位における HCNp 含量が著しく増加する出穂期以前での放牧利用が推奨される。また、入牧後の短時間では放牧強度による HCNp 摂取量への影響は認められなかったが、1~数日間の放牧期間においては、弱放牧下で HCNp 含量の高い層位の採食利用が継続して行われることが推察された。放牧強度の強い牧区における退牧後の草高からは、1 日間の放牧では頂部から下方へ約 6 割の範囲まで採食されていたことが示され、HCNp 摂取量ならびに草地生産性の観点から、167-333 頭/ha/日 (H 区~H 区の 2 倍に相当)程度の強放牧下での利用が望ましいと考えられた。また、McCollum IIIら(2010)や Bantaら(2010)が実証した牧養力を放牧日数で除し、1 日当たりの放牧頭数に換算すると、328 および 285 頭/ha/日となり、本研究の結果

と同程度の水準であった。

放牧草地の群落草高や放牧強度は、草地利用率における負の要素である草地の草損失量にも関与すると考えられる。長大作物であるソルガム属草種は、一般の牧草地でみられる短草型の草種と比較して放牧開始時の草高が高く、家畜による採食時や移動時における草損失量も大きいことが推察される。このため、ソルガム属草種の草地で短期的な放牧を行う場合、放牧下における草地の草損失量は草地利用率に影響を与える要因の1つとして考慮する必要がある。そこで、次に、異なる草高(低:S, 高:T)および放牧強度が放牧草地の草損失量に及ぼす影響について検討した。

その結果、放牧草地の草損失量は草高の高いT区ならびに放牧強度の強い牧区で増加する傾向を示し、Foncecaら(2012)がソルガム草地、Quinn・Hervey(1970)がBluegrama, prairie sandreed およびneedle & thread grassの優占草地で行った試験結果と一致した。本研究でも、生育の進行に伴い草高が伸長し、乾物収量が著しく増加したT区では、移動に伴う踏み倒しによる単位面積当たりの草損失量が大きかったと考えられる。また、草高の違いならびに放牧強度の違いを通じて草損失率は入牧時の利用可能草量の約20-30%の範囲となった。これらのことから、ソルガム(Sb)を用いた放牧利用においては、入牧前草量の20-30%程度が損失することを考慮して1頭当たりの利用可能草量を設定し、放牧頭数や放牧期間あるいは牧区の面積を調節す

ることで、より適切な放牧強度下での放牧利用が可能となると考えられた。

以上のことを考え併せると、ソルガム属草種の放牧草地においては生育段階によって草地群落におけるHCNp含量の垂直分布は異なるものの、頂部から下方へ3~4割の範囲を採食した場合、乾物摂取量中のHCNp割合が増加するため、穂ばらみ期以降の利用では頂部から下方の5割以上を採食させる強い放牧強度条件下でHCNp摂取割合の低減を図る必要があると考えられた。さらに、入牧後の短時間における家畜の採食様式とHCNp摂取量、草地における草損失量を考慮すると、出穂期以前の放牧利用が望ましいと考えられた。また、1頭当たり利用草量を調節する際に草地から20-30%程度の草損失量が生じる可能性を考慮することで、さらに適切な放牧強度の設定が可能となることが示唆された。

ソルガム属草種を用いた放牧管理技術を構築するため、これまでに短期放牧利用下における群落構造と放牧強度が採食利用率や放牧家畜の採食様式、HCNp摂取量を含む成分摂取量、さらに草地の草損失量に及ぼす影響についての検討を必要とした。さらに、予備調査として同放牧試験実施後68日目の再生草地の収量調査を行ったところ、退牧時草高が低い強放牧区ほど再生草の乾物収量が増加する傾向を示した。剪葉の頻度や強度、時期は牧草の再生量や栄養価、維持年限を変化させる(Humphreys 1987)。すなわち、放牧強度の違いは

剪葉強度の差として反映され、草地の再生に影響を及ぼしたと考えられた。このような剪葉強度の違いに対する再生草地の反応を検討することは、放牧後の再生草を利用する場合の有用な知見となり得ると考えられる。

そこで、第6章では、剪葉高が再生草の生産性に及ぼす影響について検討するため、3水準の刈取り高さ(25cm, 50cm, 75cm)で刈取り処理を施した後、再生させた2番草の収量、栄養価およびHCNp含量の調査を行った。

その結果、Sbの乾物収量は930.4kg-1224.8DM/10a、Ssでは654.7-861.5kgDM/10aの範囲となり、刈取り高さが低いほど高い傾向を示し、西村・荒田(1953)による報告と一致した。この要因としては、頂芽と葉で生成される分げつ伸長抑制作用のある生長ホルモンの関与が推察された。すなわち、刈取り高さが低い場合、大部分の葉が刈り取られるため、生長ホルモンによる分げつ伸長抑制が速やかに解除され、新しい分げつの伸長により収量増加が促進されたものと推察された。

IVDMDはSbで49.8-52.3%、Ssでは44.1-49.7%、CPはSbで4.8-6.9%、Ssで4.9-8.1%、HCNp含量はSbで54.4-78.7ppm、Ssでは15.9-34.4ppmの範囲となった。IVDMDは刈取り高さが低いほど低下する傾向を示し、CPについては、刈取り高さによる一定の傾向を得られなかった。HCNp含量は刈取り高さが低いほど減少する傾向を示した。刈取り高さの低い刈取り区におけるIVDMDとHCNp含量の低下要因

は生育期間の延長に伴う草齢の進行によるものと考えられた。1 番草の刈り取り後の残存部は草齢の進行により家畜の採食性は低く、実質的な飼料価値は再生部で評価されると考えられたため、再生部に限定して栄養収量と日乾物生産量を求めた。可消化乾物収量は Sb では 77.3-427.5kgDM/10a, Ss では 31.5-295.5kgDM/10a, CP 収量は Sb では 16.1-72.1kgDM/10a, Ss では 6.6-43.4kgDM/10a の範囲となり、刈取り高さが高いほど増加する傾向を示した。日乾物生産量は刈取り高さが低いほど高い傾向を示したが、刈取りまでの生育期間は延長した。これらのことから、刈取り高さが低いほど、再生期間は長くなるが、放牧草地全体あるいは再生部に限定した場合でも高い栄養収量が得られ、HCNp も十分に低い安全域の濃度となるものと考えられた。また、放牧草地の草高が 25cm 程度となるまで家畜に採食させることで、再生草の乾物生産量の向上と HCNp 含量の低減を図ることが可能であると示唆された。

以上より、ソルガム属草種は沖縄県の栽培環境で高い生産能力を発揮し、高温下での短期的な栽培利用で最も効率よく飼料生産を行うことが可能であると考えられた。また、台風被害の回避と生産性の高さから、夏植サトウキビ作付体系の休閑期を利用することで、限られた土地資源を有効活用した飼料生産体系を構築できることが示された。さらに、利用適期における収穫により、青酸中毒の危険性を最小限に抑え、飼料としての安全性を確保しながら、高い栄養収量を得ることが可能で

あると考えられる。HCNp の観点からは、草高約 1m、発芽後から 6 週目以降の利用が推奨された。本放牧システムは短期的な放牧利用を可能としており、放牧強度を強め、利用可能草量を制限することで HCNp 摂取量の低減と採食利用率の向上を図る必要があると考えられた。特に、穂ばらみ～出穂期での放牧利用時は、HCNp 濃度の高い頂部から下方へ 3～4 割の範囲にあたる中～高層位のみを選択採食をさせないように 167-333 頭/ha/日程度まで放牧強度を強め、頂部からの採食割合を全体の 5 割以上とすることが推奨される。また、入牧直後に家畜が採食を行う頂部から下方へ 3～4 割の範囲における HCNp 含量の出穂期での著しい増加や踏み倒し等による草損失量抑制を考慮すると、出穂期以前の生育段階での放牧利用が望ましい。さらに、放牧草地の草高が 25cm 程度となるまで頂部からの採食割合を高めることで、乾物摂取量中の HCNp 割合を低減し、青酸中毒の危険性を最小限に抑え、放牧後の再生草地の生産性を向上させると考えられた。

これらの研究結果は、沖縄県における自給飼料生産の新たな選択肢として、ソルガム属草種を利用した有効な飼料生産利用体系を構築する上での基礎的知見になり得ると考えられる。また、本草種の栽培利用上の課題に対する解決方法を追究した結果、本県のみならず本邦においても新規の利用方法であるソルガム属草種を用いた放牧利用の可能性が提示された。このことは、限られた土地資源の有効利用と省力的かつ効果的な粗飼料生産と利用体系の今後の展開に資するもの

と考えられた。

第 8 章 要 約

1. ソルガム属数品種・系統の生産性と栄養価の評価

沖縄県におけるソルガム属草種ソルガム (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) ならびにスーダングラス (*Sorghum sudanense* (Piper) Staph) 数品種・系統の生産性を明らかにした。10 ヶ月の栽培期間中 4 回の刈取りで得られた合計乾物収量は、沖縄県の奨励品種であるローズグラスと比較して同等か同等以上であった。栄養価については、粗タンパク質含有率 (以下, CP) はローズグラスと比較してやや劣るが, *in vitro* 乾物消化率 (以下, IVDMD) は同等あるいは同等以上となった。また、高温下における 1~2 回の刈取りによって高い乾物生産性を示したことから、夏季の短期的な利用方法で効率よく飼料生産を行うことができると考えられた。

2. ソルガム属数品種の利用適期および施肥管理の検討

遺伝型の異なる 4 品種 (子実型 :Gs, ソルゴー型糖蜜タイプ :Fs, スーダン型 :Bs, スーダングラス :Ss) の利用適期を検討するため、発芽から 2 週間毎に 12 週目まで刈取り調査を行い、乾物収量、栄養価および青酸化合物 (HCNp) 含量の推移を調査した。併せて、無追肥区 (100kgN/ha) と追肥区 (150kgN/ha) を設け、追肥の影響を検討した。供試品種のうち、Gs・Fs 群は 12 週目 (出穂期) まで栄養収量が増加し

たが、Bs・Ss群は8週目(出穂期)以降横ばいで推移した。従って、Gs・Fs群では出穂期以降の利用で高い栄養収量が得られ、Bs・Ss群では出穂期以前の早刈り利用により高い栄養価と収量性を確保し、さらに想定している作付け期間中における再生草の利用も期待できると考えられた。また、追肥による増収効果も示唆された。HCNp 摂取時の家畜健康上の安全性を確保する観点からは、安全濃度とされる500ppm以下となった発芽後4-6週目以降で利用可能であるが、追肥後は3週間程度利用を避けることが望ましいと考えられた。

3. ソルガム属草種の短期放牧利用の検討

ソルガム属草種ソルガム(Sb)ならびにスーダングラス(Ss)の短期放牧利用における草地生産性の評価と、異なる放牧強度下での家畜の採食性およびHCNp 摂取量の検討を行うため、強放牧(H)区と弱放牧(L)区の2水準で2回の放牧を実施した。入牧前草量を沖縄県の放牧基幹草種であるジャイアントスターグラスと比較すると、SbのH区を除く全牧区で高い値を示した。乾物摂取量はSbのH区を除く全牧区で供試家畜の牧草地での平均的な採食量を上回り、高い採食性を示した。放牧強度間で比較すると、L区でHCNp 摂取量の増加と採食利用率の低下がみられた。これらのことから、ソルガム属草種草地の供給草量、家畜による採食性、採食利用率については、本地域の放牧草地と比較しても遜色なく、短期的な放牧利用が可能であることが示された。

また、放牧強度を強めることで、HCNp 摂取量の増加を抑制し、青酸中毒の危険性を低減させると共に、採食利用率を高め、草地生産性の向上を図ることが可能であると示唆された。

4. ソルガム属草種の群落構造と放牧強度が採食様式、成分摂取量ならびに草地の草損失量に及ぼす影響

初めに、ソルガム(Sb)とスーダングラス(Ss)の異なる生育段階(栄養生長期:V期,穂ばらみ期:B期,出穂期:H期)におけるHCNpならびにCPの垂直分布を明らかにすると共に、頂部からの採食割合に伴うHCNpおよびCPの推定摂取量について検討を行った。両草種のHCNp含量は、全生育段階で放牧地における安全域(500ppm以下; Boydら1938)以下となったが、生育段階に伴って異なる垂直分布を示した。また、推定HCNp摂取量を検討したところ、V期では頂部からの採食割合に大きく影響されないが、B期以降では頂部から下方へ3~4割の範囲にあたる中~高層位を選択的に採食した場合に、乾物摂取量中HCNp割合の増加が懸念された。推定CP摂取量は、V期とB期では採食層位が上層位に限られるほど高くなり、H期では頂部から下方へ4~5割の範囲を採食した場合に増加する傾向を示した。従って、HCNp含量が安全基準値以下となる草高約90cmのV期以降で放牧利用が可能であるが、B期以降での利用の際は、群落の頂部から下方の3~4割以上を採食させることで、乾物摂取量中のHCNp割合を最

小限に抑える必要があると考えられた。

続いて、3水準（強：H，中：M，弱：L）の放牧強度区を設け、S_bならびにS_s草地での放牧を実施し、放牧強度の違いが家畜の採食性、採食層位ならびに成分摂取量に及ぼす影響を検討した。H区では単位面積当たりの利用草量が増加し、HCN_p摂取量はM区やL区と比較して低い値を示した。一方で、M区とL区では利用可能草量の増加に伴う採食量の増加ならびに選択採食に起因するCPとHCN_p摂取量の増加が明らかであった。供試家畜に必要な養分量と供給草量との関係から放牧強度を検討すると、本試験の放牧条件下では、H区の1.5-2.3倍まで放牧強度を強めることが可能であると考えられた。これらのことから、ソルガム属草種の放牧草地では、放牧強度を強め利用可能草量を制限し、頂部からの採食割合を全体の5割以上に高めることでHCN_p摂取割合の増加を抑制すると共に、単位面積当たりの放牧頭数の増大を図ることが可能であると示唆された。

次に、草高ならびに放牧強度が入牧後数時間における家畜の採食様式と単位時間当たりHCN_p摂取量に及ぼす影響を検討するため、2水準の草高区（低：S，高：T）および4水準の放牧強度区を設けたS_b草地で放牧試験を実施した。その結果、入牧後の放牧家畜はパッチ状に採食しながら移動し、入牧時草高や放牧強度に関わらず、同一の個体に対し頂部から下方へ約4割の範囲を一度に採食することが明らかになった。入牧後数時間のHCN_p摂取量は、出穂始期のT区で止

め葉期の S 区よりも高くなる傾向を示した。HCNp 含量の垂直分布は生育段階によって異なり，頂部から下方へ約 3～4 割の範囲における HCNp 含量は出穂期で著しく増加するため，HCNp 摂取量の増加を抑えるためには，出穂期以前の生育段階での放牧利用が推奨された。また，入牧後数時間では放牧強度による採食量に占める HCNp 摂取量への影響は認められなかったが，1～数日間の放牧期間においては HCNp 摂取割合の増加要因となるものと考えられた。さらに，放牧強度の強い牧区では 1 日の放牧で頂部から下方へ約 6 割の採食利用が行われていたことが示唆され，HCNp 摂取量ならびに草地利用の観点から，168-333 頭/ha/日程度（H 区～H 区の 2 倍に相当）の放牧条件下での放牧利用が望ましいと考えられた。

さらに，異なる草高（低：S，高：T）および放牧強度が放牧草地の草損失量に及ぼす影響を検討した。放牧草地の草損失量は草高の高い T 区ならびに放牧強度の強い牧区で増加する傾向を示した。また，草高や放牧強度の違いに関わらず，草損失率はいずれも約 20-30% の範囲内であった。これらのことから，ソルガム（Sb）を用いた放牧利用では入牧前草量の 20-30% 程度が損失することを考慮し，1 頭当たりの利用可能草量を想定して放牧頭数や放牧期間あるいは牧区の面積を調節することによって，より適切な放牧強度条件下での放牧利用が可能となると考えられた。

5. ソルガム属草種における再生草の生産性に関する剪葉高の検討

3水準の刈取り高さ(25cm, 50cm, 75cm)で刈取り処理を施した後、再生させた2番草の収量、栄養価およびHCNp含量の調査を行い、剪葉高が再生草の生産性に及ぼす影響について検討した。その結果、乾物収量は刈取り高さが低いほど、IVDMDとHCNp含量は刈取り高さが高いほどそれぞれ増加する傾向を示したが、CPでは刈取り高さによる一定の傾向は認められなかった。再生部の可消化乾物収量と日乾物生産量は刈取り高さが低いほど高くなる傾向を示したが、2番草刈取りまでの生育期間は延長した。これらのことから、刈取り高さが低いほど再生期間は長くなるが、高い栄養収量が得られ、HCNp含量も十分に低下するものと考えられた。従って、放牧草地の草高が25cm程度となるまで採食利用させることで、乾物摂取量中HCNp割合が低下し青酸中毒のリスクを最小限に抑えると共に、栄養価を考慮した再生草の乾物生産の向上を図ることが可能であると示唆された。

Abstract

The study was conducted to establish the forage production and utilization system in the limited land by clarifying about productivity and characteristics of *Sorghum* spp. in South-western Islands. Cultivation system and grazing method on *Sorghum* pasture were evaluated in consideration of hydrogen cyanide potential (HCNp).

1. Productivity and nutritive value in *Sorghum* spp.

The productivity and nutritive value of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) moench) and sudangrass (*Sorghum sudannense* (Piper) Stapf.) were evaluated as a short-term forage production system in Okinawa area. The nutritive yield was equivalent to a recommended variety (rhodesgrass), and high productivity was shown by harvesting a once or twice under high temperature condition. Therefore, it was considered that *Sorghum* spp. was suitable for cultivation environment in this region and short-term forage production system during summer season.

2. Optimum stage for harvesting utilization and influence of topdressing in *Sorghum* spp. pasture.

Changes in dry matter (DM) yield, *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD), crude protein (CP) and HCNp were investigated in four different varieties of *Sorghum* spp. (Grain type: Gs, Sorgo type: Fs, Sudan type: Bs, Sudangrass: Ss) with different growth stages, topdressing effects on these yields and quality were also estimated in addition. Basal fertilizer was applied at 100 kg N/ha in non-topdressing (NT) plot, additionally at 50 kg N/ha in the 6th leaf stage in topdressing (T) plot. Plants were harvested every 2 weeks after germination (WAG). The digestible DM yields increased up to 12 WAG (heading stage) in Gs and Fs, while they remained at the same level after 8 WAG (boot stage) in Bs and Ss. HCNp level decreased with maturity to reach the safe level for animal feeding (<500ppm; Boyd *et al.*1938) after 4-6 WAG when plant height approached 1 m. Topdressing showed a tendency to increase in DM yield through four varieties. However, it was suggested that the harvest should retard to three weeks after topdressing to secure its safe level, judging from the change of HCNp.

3. Short-term grazing in *Sorghum* spp.

The effect of grazing intensity on pasture utilization and HCNp

intake were investigated twice in two *Sorghum* spp. (*S. bicolor* (L.) Moench and *S. sudanense* (Piper) Stapf) pastures under two grazing intensities (light:L-GI and heavy:H-GI) as short-term grazing.

The herbage allowance, herbage intake and herbage utilization stood comparison with the recommended cultivar (giant stargrass) for grazing in Okinawa area as a short-term grazing. HCNp intake tended to be lower in H-GI than L-GI, while herbage utilization rate averaged in H-GI was higher than L-GI. These results suggested that *Sorghum* spp. pastures should be recommended to use under heavy grazing intensity as a short-term grazing, because of the tendency to inhibit the increase in HCNp intake by overeating or selective grazing, and improve pasture productivity and herbage utilization rate, compared with the light grazing intensity.

4. Influence of canopy structure and grazing intensity on ingestive pattern, ingredient intake and dry matter loss in *Sorghum* spp. pasture.

At first, the vertical distribution of HCNp and CP in two *Sorghum* spp. (*S. bicolor* (L.) Moench (Sb) and *S. sudanense* (Piper) Stapf (Ss)) were investigated at different growth stages (vegetative

stage: V, booting stage: B, heading stage: H). Lower HCNp was shown as compared with the criterion for the safe limit (<500ppm; Boyd *et al.*1938) in all growth stages. HCNp in the vertical distribution showed a similar value between strata on V. On the other hand, it showed a tendency to increase progressively with higher strata on B and H. Estimated HCNp intake was not influenced by ratio of defoliated strata from the top of canopy on V. However, it concerned that the increase of estimated HCNp intake on B and H was shown when grazing animal took the strata located at 30-40% of the plant height from the top of canopy. Estimated CP intake increased with intake in higher strata on V and B, and tended to increase with intake strata located at 40-50% of the plant height from the top of canopy on H. It showed that enables to graze after growing up to V stage of 90cm in height. However, it is suggested to make a grazing animal intake downward more than 30-40% of strata from the crown for minimizing on intake of HCNp.

The effects of different grazing intensity on herbage intake, defoliated strata and ingredient intake were investigated in two *Sorghum* spp. (Sb and Ss) pastures under three grazing intensities (heavy: H-GI, medium: M-GI, light: L-GI) as a short-term grazing. The highest herbage intake rate and the lowest HCNp intake were

shown in H-GI. On the other hand, HCNp and CP intake obviously were increased by overeating or selective grazing in M-GI and L-GI. An appropriate grazing condition was considered from the relation between nutrition demanded for grazing animal and herbage allowance. As a result, it was estimated that grazing intensity enables to increase up to about 1.5-2.3 times of H-GI under the same grazing condition such as this experiment. From the result mentioned above, it was recommended to increase grazing intensity by restricting herbage allowance and increasing herbage intake over 50% of the plant height from the top of canopy. Additionally, it was suggested to increase a number of animal per grazing area and to prevent animals from cyanide poisoning caused by increasing HCNp intake with overeating or selective grazing.

The effects of plant height and grazing intensity on ingestive pattern and HCNp intake during the early grazing period were determined on Sb pasture under four grazing intensities and different canopy height (short: S and tall: T) as a short-term grazing. It was clarified that grazing animals intake up to about 40% of the plant height from the top of canopy at once regardless of the plant height. HCNp intake for a few hours after putting animals on the T pasture of first heading stage showed a tendency

to increase as compared with the S pasture of flag-leaf stage. The vertical distribution of HCNp showed a different tendency with growing stage and HCNp in strata located at 30-40% of plant height from the top of canopy remarkably increased in heading stage. Therefore, grazing start by booting stage for restricting the increase of HCNp ratio in herbage intake was recommended. Although there was no effect of grazing intensity on HCNp intake for a few hours after grazing start, it was considered that grazing intensity must influence on an increase of HCNp intake during one to a few days grazing. Moreover, because grazing animals utilized about 60% of the plant height from the top of canopy after a one day grazing, it was suggested grazing utilization with increasing intensity such as 167-333 cow/ha/day (which equivalents to H-GI or twice of H-GI) from the view points of HCNp intake and pasture utilization.

The effects of canopy height (short: S and tall: T) and four grazing intensity on dry matter loss in the pasture were determined on the same pasture mentioned above. The dry matter loss in the pasture showed an increasing tendency with higher canopy height and lower grazing intensity. The loss ratio of the pasture was about 20-30% among all treatments. As a result, an appropriate grazing

intensity must enable to apply for short-term grazing by adjusting the animal numbers and grazing time and area with taking the loss ratio amount of 20-30% into consideration on sorghum pasture.

5. Effect of cutting height on regrowth of *Sorghum* spp.

After first harvesting was carried out at the different cutting height (25, 50, 75cm) on booting~heading stage for examining the effect of cutting height on regrowth of *Sorghum* spp. (Sb and Ss). The DM yield, IVDMD, CP and HCNp at second harvesting were investigated. The growing period up to reach into a heading stage extended and the DM yield significantly increased with lower cutting height ($p < 0.01$). IVDMD and HCNp showed a tendency to decrease with lower cutting height. There was no tendency between cutting height in CP. The digestible DM yield and CGR of regrowth part showed a tendency to increase with lower cutting height. The extension of growth period to a heading stage was accepted in lower cutting height, and higher nutritive yield and lower HCNp were brought at the same time. Therefore, it suggested to put grazing animal in the pasture until decreasing to the height of 25cm for minimizing the risk of HCNp poisoning and increasing regrowth production.

謝 辞

本研究の遂行ならびに論文作成にあたり、多大なご指導とご鞭撻を戴いた琉球大学農学部教授川本康博博士（主指導教官）、同准教授赤嶺光博士（第一副指導教官）、鹿児島大学農学部教授中西良孝博士（第2副指導教官）に対し、謹んで御礼申し上げます。また、本論文の審査にあたり、佐賀大学教授尾野喜孝博士ならびに琉球大学准教授伊村嘉美博士には、有意義な御指摘を賜り厚く御礼申し上げます。本研究を遂行するにあたり、温かな御助言と御協力を賜った琉球大学農学部名誉教授仲田正博士、同教授玉城政信博士、同准教授平川守彦博士、同教授佐野文子博士、鹿児島大学獣医学部准教授小尾岳士博士ならびに琉球大学農学部附属フィールド科学教育研究センターの職員各氏に深く御礼申し上げます。また、種子の提供を頂きました雪印種苗株式会社に深謝いたします。本研究の実施にあたり、多大なるご指導およびご協力を頂きました琉球大学農学部草地学研究室出身の諸先輩方、卒業生および学生の皆様、琉球大学機器分析支援センター職員各氏、試験圃場と供試家畜の供与を賜った玉津重幸氏に深く感謝申し上げます。

引用文献

- 相井孝允 (1973) ソルゴ－の利用について. IV. 青刈ソルゴ－中の青酸含量. 日草誌 19(4):333-340
- Ayub M, Nadeem MA, Tanveer A, Husnain A (2002) Effect of different levels of nitrogen and harvesting times on the growth, yield and quality of sorghum fodder. Asian J Plant Sci 1:304-307.
- Bahrani MJ, Deghani G (2004) Summer forage sorghum yield, protein and prussic acid contents as affected by plant density and nitrogen topdressing. J Agr Sci Tech 6:73-83.
- Banta JP, McCollum III FT, Greene LW (2010) Effects of grazing a brown midrib vs. a normal sorghum x sudan hybrid on steer performance. Beef progress report 2001-1, Texas A&M university research and extension center, Amarillo,
<http://www.docstoc.com/docs/50661421/Effects-of-Grazing-a-Brown-Midrib-vs-a-Normal> [2011年12月1日参照]
- Beck PA, Hutchison S, Gunter SA, Losi TC, Stewart CB, Capps PK, Phillips JM (2007) Chemical composition and in situ dry matter and fiber disappearance of sorghum x sudangrass hybrids. J Anim Sci 85:545-555
- Boyd FT, Aamodt OS, Bohstedt G, Truog E (1938) Sudan grass management for control of cyanide poisoning. Jour Amer Soc Agron 30:569-582

- Bradbury JH, Egan SV, Lynch MJ (1991) Analysis of cyanide in cassava using acid hydrolysis of cyanogenic glucosides. *J Sci Food Agric* 55:277-290
- Busk PK, Møller BL (2002) Dhurrin synthesis in sorghumbis regulated at the transcriptional level and induced by nitrogen fertilizer in older plants. *Plant Physiol* 129:1222-1231
- Chasler MD, Pedersen JF, Undersander DJ (2003) Forage yield and economic losses associated with the brown-midrib trait in sudangrass. *Crop Sci* 43:782-789
- Chacon E, Stobbs TH (1976) Influence of progressive defoliation of a grass pasture on the eating behavior of cattle. *Aust J Agric Res* 27:709-727
- Clawson AB, Bunyea H, Couch JF (1934) Remedies for cyanide poisoning in sheep and cattle. *J Washington Acad Sci* 24(9):369-385
- Combellas J, Hodgson J (1979) Herbage intake and milk production by grazing dairy cows. 1. The effects of variation in herbage mass and dairy herbage allowance in a short-term trial. *Grass Forage Sci* 34:209-214
- Conn EE (1980) Cyanogenic compounds. *Annu Rev Plant Physiol* 31:433-451
- Coop IE, Blakley RL (1950) The metabolism and toxicity of cyanides and cyanogenetic glucosides in sheep. *New Zealand J Sci Tech* 31(5):44-58

- Cunningham MD, Ragland WW (1971) Plant composition and feeding value of sudangrass and sorghum-sudangrass in a controlled grazing system. *J Dairy Sci* 54(10):1461-1464
- Darrell LR, Jr, David IB (1995) Performance, dry matter intake, digesta kinetics, and ruminal fermentation of steers grazing *Sorghum halepense* at three stocking rates. *Trop Grassl* 29:102-110
- Flávia FS, Maria LL, Andréia LM, Paulo VS, Luiz CRJ, Ricardo AR (2011) Forage mass production and grazing loss of sorghum hybrid in response to the density of the sowing and the spacing between planting lines. *R Bras Zootec* 40(7):1474-1479
- Fonseca L, Mezzalira JC, Bremm C, Filho RSA, Gonda HL, Carvalho PCdF (2012) Management targets for maximizing the short-term herbage intake rate of cattle grazing in *Sorghum bicolor*. *Livestock Sci* 145:205-211
- French AV, O'Rourke PK, Cameron DG (1988a) Beef production from forage crops in the Brigalow region of central Queensland. 1. Forage sorghums. *Trop Grassl* 22(2):79-84
- French AV, O'Rourke PK, Cameron DG (1988b) Rotational and continuous grazing of zulu forage sorghum (*Sorghum* spp. hybrid) by beef cattle grazed at 3 stocking rate. *Trop Grassl* 22(2):91-93
- 福地 稔・森山高広・仲宗根一哉・伊佐真太郎・前川 勇・庄司一成・大城真栄 (1986) 兼用型ソルガムの品種特性比較試験. *沖畜試研報* 24: 83-104

Gibb MJ, Treacher TT (1976) The effect of herbage allowance on herbage intake and performance of lambs grazing perennial ryegrass and red clover swards. *J Agric Sci Camb* 86:355-365

Goto I, Minson DJ (1977) Prediction of the dry matter digestibility of tropical grasses using a pepsin-cellulase assay. *Anim Feed Sci Technol* 2:247-253

Grant RJ, Haddad SG (1995) Brown midrib sorghum silage for mid lactation dairy cows. *J Dairy Sci* 78:1970-1980

Guthery FS, Bingham RL (1996) A theoretical basis for study and management of trampling by cattle. *Jour Range Manage* 49:264-269

花ヶ崎敬資・望月智代・守川信夫・長利真幸・當眞嗣平・真境名元次
(2006) 導入暖地型牧草の適応品種剪定試験(2) 可消化乾物収量および粗タンパク質収量の比較. *沖畜試研報* 44:79-88

Haque MR, Bradbury JH (2002) Total cyanide determination of plants and foods using the picrate and acid hydrolysis methods. *Food Chem* 77:107-114

春本 直・宇津田嘉弘・松井 徹(1986) 施肥条件ならびに刈り取り時期の差が兼用型ソルガムの生産量と飼料価値に及ぼす影響. *島根大農学研報* 20:13-18

林 兼六・伊沢 健・小田島守(1977) 放牧草の嗜好性判定における availability の重要性. *日草誌* 23(2):169-170

Hindmarsh WL, Sc BV, MRCVS, DVH (1941) Poisoning of cattle by sudan grass and other cyanogenetic plants. *Aust Vet J* 17:219-221

- 細谷 肇・青木ひかる・三井安麿(1988)ソルガムの飼料特性と利用法. I
収穫適期における1番草の草型別飼料特性. 千葉畜セ研報 12:41-50
- 細谷 肇・青木ひかる・三井安麿(1990)ソルガムの飼料特性と利用法. IV
各型における生育期別の栄養特性. 千葉畜セ研報 14:61-72
- 細谷 肇・三井安麿・堀田正樹(1999)飼料成分から見たソルガム
(*Sorghum bicolor* Moench)とスーダングラス(*Sorghum sudanense*
(Piper) Stapf)の変異性評価と品種分類. 日草誌 45:67-77
- Humphreys LR (1987) Tropical Pastures and Fodder Crops. Pasture
management and productivity. Longman Group Limited, London, p18,
103-104,110
- 犬山 茂・加治正春(1969)青刈りソルガムに含まれる部位別青酸含量の
推移について. 日草誌 15(2):126-130
- Ivory DA, Stobbs TH, McLeod MN,Whiteman PC (1974) Effect of day
and night temperatures on estimated dry matter digestibility of
Cenchrus ciliaris and *Pennisetum clandestinum*. J Aust Inst Agric
Sci 40:156-158
- 亀谷 茂(2006)沖縄県の農業と土壌肥料. 土肥誌 77:695-697
- 川本康博(1998)暖地型牧草の家畜栄養的特性と南西諸島における利
用上のいくつかの問題点. 日草九支報 28(1):7-15
- 川鍋祐夫(1989)飼料作物・野草の種類・育種・採種. 1 長大飼料作物.
粗飼料・草地ハンドブック(高野信雄・佳山良正・川鍋祐夫監修), 養
賢堂, 東京, p19-25
- 気象庁(2008)気象統計情報. 国土交通省, 東京,

- <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html> [2009年1月1日参照]
気象庁(2011)気象統計情報. 国土交通省, 東京,
- <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html> [2011年9月1日参照]
気象庁(2012)気象統計情報. 国土交通省, 東京,
- <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html> [2012年9月1日参照]
気象庁(2013)気象統計情報. 国土交通省, 東京,
- <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/statistics/average/average.html> [2013年6月28日参照]
- 小迫孝実(2008)飼料自給率向上に向けた放牧の有効性実証と今後の研究展開. 日草誌, 54:78-82
- 小竹森訓央・井村 毅・広瀬可恒(1972)放牧強度が草地生産性に及ぼす影響. 日草誌 18(2):122-129
- Köster HH, Meissner HH, Coertze RJ, Rethman NFG (1992) Voluntary intake and quality of diet selected by cattle grazing bana grass, kikuyu and forage sorghum. S Afri J Anim Sci 22(1):35-41
- Léemann AC (1935) Hydrocyanic acid in grasses. Onderstepoort Jour Vet Sci and An Ind 5(1):97-136
- Marsalis MA, Angadi SV, Contreras-Govea FE (2010) Dry matter yield and nutritive value of corn, forage sorghum, and BMR forage sorghum at different plant populations and nitrogen rates. Field Crop Res 116:52-57
- 増田泰久(1976)スーダングラスの *in vitro* 乾物消化率におよぼす生育段階の影響. 日草誌 22(3):170-174

増田泰久 (1977) 牧草の生育と消化率. 2. グリーンパニックの出現時期分
げつ構成と乾物消化率. 日草誌 23(2):130-134

松田正勝・福地 稔・松田平信 (1968) 夏型牧草の収量調査. 沖畜試験
研報 1:2-4

松浦正宏 (1990) ソルガムの品種とその利用. 畜産の研究 44:1181-1189

Mccollum III FT, McCuistion Kim, Bean B (2010) Five year
observations on grazing capacity and weight gains of stocker cattle
grazing summer annuals. Beef progress report, Texas A&M
university agricultural research and extension center, Amarillo,
<http://amarillo.tamu.edu/files/2010/11/fiveyearobservations.pdf>

[2011年12月1日参照]

Miller DA (1984) Forage Crops. Summer-annual grasses. McGraw-Hill
Inc, USA, p492

Minson DJ, Stobbs TH, Hegarty MP, Playne M (1976) Measuring the
nutritive value of pasture plant. *In: Tropical Pasture Research* (Eds
Shaw NH, Bryan W), CAB, England, p308-337

望月智代・守川信夫・長利真幸・當眞嗣平・真境名元次 (2005) 導入暖
地型牧草の適応品種剪定試験(1) 生育特性および乾物収量の比較.
沖畜試研報 43:30-36

森田二郎・仙田久芳・本多 透・永見豊一・佐野信孝 (1967) 新飼料作
物スタックスに関する試験成績. 第3報 生育にともなう青酸含量の消
長. 畜産の研究 21(7):973-974

森田二郎・仙田久芳・阿川昭登・大木 豊 (1968) 新飼料作物スタックス

- (SX-11)に関する試験. 第4報 青酸生成配糖体含量と分解酵素活性との消長. 畜産の研究 22(5):713-714
- 森山高広・仲宗根一哉・伊佐真太郎・長崎祐二・庄子一成・安谷屋兼二・玉代勢秀正(1989)ソルガムの播種期試験. 沖畜試研報 27:115-124
- 森山高広・池田正治(1993)ソルガムの早播き栽培とトウモロコシを組み合わせた作付体系. 沖畜試研報 31:101-108
- Moran EA (1954) Cyanogenetic compounds in plants and their significance in animal industry. Am J Vet Res, p171-176
- Mulcahy C, Hedges DA, Rapp GG, Wheeler JL (1992) Correlations among potential selection criteria for improving the feeding value of forage sorghums. Trop Grassl 26:7-11
- 名田陽一(1985)九州において越冬可能な暖地型牧草 10 草種のし好性を主とした放牧利用適性. 日草誌 30(4):434-440
- 内閣府沖縄総合事務局(2013)沖縄の畜産概要(資料編). 内閣府沖縄総合事務局, 農林水産部生産振興課畜産振興室, 沖縄県. p2, 36
- 仲里 徹・長堂長敏・神山光永・宮城源市(1968)ネピアグラス並びにソルガム属草種の繁殖法試験. 沖畜試研報 2:11-15
- Nelson CE (1953) Hydrocyanic acid content of certain sorghums under irrigation as affected by nitrogen fertilizer and soil moisture stress. Agron J 45: 615-617
- 西村修一・荒田 久(1953)ソルゴー(*Sorghum vulgare* var. *saccharatum*)の2度刈栽培における1番刈の高さについて. 四國農試

報 1(1):40-45

野中最子・古川研治・橋本成奏・時田光明・中辻浩喜・大久保正彦・朝日田康司(1997)泌乳牛の時間制限放牧下における放牧強度の違いが利用草量に及ぼす影響. 日草誌 43(3):266-271

農業産業振興機構(2013)統計資料. 国内統計資料. 畜産. 配合飼料の価格動向. 独立行政法人 農業産業振興機構, 東京,
http://www.alic.go.jp/joho-c/joho05_000073.html [2013年12月1日参照]

農業・食品産業技術総合研究機構(2009)日本飼養標準・肉用牛(2008年度版). 中央畜産会, 東京, p80

農林水産省(2007)食料需給表. 長期累計. 国内生産累年統計. 全国(昭和35年～平成18年). 農林水産省, 統計部, 東京,
<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/jyukyu/index.html> [2013年11月8日参照]

農林水産省(2009a)平成20年度 食料・農業・農村白書. 平成20年度食料・農業・農村の動向. 飼料自給力・自給率の向上に向けた取組. 畜種別の粗飼料と濃厚飼料の給与比率(2007). 農林水産省, 東京,
http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h20_h/trend/part1/chap1/t2_04.html [2013年12月1日参照]

農林水産省(2009b)飼料増産に向けた平成20年度の取組実績. 農林水産省, 生産局畜産部, 東京,
http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryu/kaigi/h210317/pdf/data03_2.pdf [2013年12月1日参照]

農林水産省(2012)食料自給率の推移. 総合食料自給率(カロリー・生産額), 品目別自給率等. 農林水産省, 統計部, 東京,

http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/pdf/hinnmokubetu.pdf

[2013年11月8日参照]

農林水産省(2013a)世界の食料自給率データ. 諸外国・地域の食料自給率(カロリーベース)の推移(1961~2012). 農林水産省, 統計部, 東京,

http://www.maff.go.jp/j/jyukyu/zikyu_ritu/sakumotu/013.html

[2013年11月8日参照]

農林水産省(2013b)飼料をめぐる情勢. 平成25年11月. 農林水産省, 生産局畜産部, 東京,

http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryu/pdf/siryu_data_2511.pdf

[2013年11月8日参照]

農林水産省(2013c)畜産物生産費統計. 平成23年度畜産物生産費. 農林水産省, 統計部, 東京,

http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/seisan_tikusan

[2013年12月1日参照]

農林水産省(2013d)畜産をめぐる情勢(平成25年11月). 農林水産省, 生産局畜産部, 東京

http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/l_hosin/pdf/chikumegu11.pdf

[2013年12月1日参照]

農林水産省(2013e)平成24年産作物統計. 24年産飼料作物の収穫量. 農林水産省, 統計部, 東京,

<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/index.html>

[2013

年 10 月 1 日 参照]

岡本智伸・椛田聖孝・菊地正武(1994)阿蘇地方における野草地と牧草地を両有する放牧草地の生産性. 2. 両草地間における放牧家畜の採食行動. 日草誌 40(1):53-60

沖縄県総務部(2013)八重山要覧(平成 24 年度版). 沖縄県総務部八重山事務所, 沖縄県,
<http://www.pref.okinawa.jp/site/somu/yaeyama/sinko/youran/h24yaeyamayouran.html> [2013 年 12 月 2 日 参照]

沖縄県農林水産部(2011)農業関係統計成 23 年度 3 月. 沖縄県農林水産部, 農林水産企画課, 沖縄県,
<http://www.pref.okinawa.jp/site/norin/norinkikaku/kikaku/documents/ikkatubann.pdf> [2013 年 1 月 10 日 参照]

沖縄県畜産試験場(1999)沖縄県に適する牧草・飼料作物の特徴と栽培の要点. イネ科牧草・飼料作物. 牧草・飼料作物栽培の手引き. 沖縄県畜産試験場, 沖縄県, p57-59

Oliver AL, Grant RJ, Perderson JF, O'rear J (2004) Comparison of brown midrib-6 and -18 forage sorghum with conventinal sorghum and corn silage in diets of lactating dairy cows. J Dairy Sci 87:637-644

Oliver AL, Perderson JF, Grant RJ, Klopfenstein TJ (2005) Comparative effects of the sorghum bmr-6 and bmr-12 genes. I. Forage sorghum yield and quality. Crop Sci 45:2234-2239

大泉久一(1977)飼料作物の再生における貯蔵物質の役割. I. ソルゴ

- 一の刈取り後の分けつ芽伸長に及ぼす貯蔵物質量の影響. 千葉大園
学報 25:55-62
- Pearson HA (1975) Herbage disappearance and grazing capacity
determinations of southern pine bluestem range. J Range Manage
28:71-73
- Pederson JF, Rooney WL (2004) Sorghums. In : Warm- season (C4)
grasses (Eds Moser LE, Burson BL, Sollenberger LE), ASA, CSSA,
SSSA, Madison, Madison, Wisconsin, Agronomy 45:1057-1079
- Pederson JF, Vogel KP, Funnell DL (2005) Impact of reduced lignin on
plant fitness. Crop Sci 45:812-819
- Quinn JA, Hervey DF (1970) Trampling losses and travel by cattle on
sandhills range. J Range Manage 23: 50-55
- Radford BJ, Yule DF, Braunack M, Playford C (2008) Effects of
grazing sorghum stubble on soil physical properties and subsequent
crop performance. Am J Agri & Biol Sci 3(4):734-742
- 佐々木亨 (2013) 都府県における酪農経営の低コスト生産技術. 高消化
性スーダングラスを利用した栃木での搾乳牛放牧. 畜産コンサルタント
49:28-31
- 千田雅之 (2006) 中山間地域における農用地の畜産的利用の経営的評
価と耕作放棄地解消の条件. 日草誌 52(2):124-128
- 下浦晃嗣・西村修一 (1953) ソルゴの 2 番芽の青酸含量について. 畜産
の研究 7:305-306
- 進藤和政・手島茂樹・池田哲也 (2008) ソルゴ型ソルガムを利用した冬

- 季放牧の検討. 日草誌 54(別):98
- Skerman PJ, Riveros F (1990) Sorghum spp. In : Tropical grasses (Eds Skerman PJ, Riveros F), FAO, Rome, FAO Plant Production and Protection Series 23:677-685, 690-697
- Stobbs TH (1973) The effect of plant structure on the intake of tropical pastures.1.Variation in the bite size of grazing cattle. Aust J Agric Res 24:809-819
- Stockdale CR (1985) Influence of some sward characteristics on the consumption of irrigated pastures grazed by lactating dairy cattle. Grass Forage Sci 40:31-39
- 高橋友継・小倉振一郎・菅原和夫(2007)イネ科野草における葉部の垂直分布と放牧牛における捕提高. 日草誌 53(1):1-5
- 玉代勢秀正・福地 稔(1976)ソルゴの栽培試験(I). 沖畜試研報 15:91-96
- 手島茂樹・池田哲也・進藤和政(2010)ソルゴ型ソルガムを利用した冬季放牧の検討. 2. ソルゴ型ソルガム 3 品種の検討. 日草誌 56(別):170
- Tesar MB, Miyagi T, Miyagi Y, Koja Z (1969) Grasslands and forages in the Ryukyus. 琉球大学農学部学術報告 16:223-243
- 當眞嗣平・守川信夫・長利真幸・望月智代・知念 司・与古田稔・真境名元次(2003)トランスバーラとジャイアントスターグラスの放牧利用における特性比較. (1)草地利用率と採食量および牧養力の比較. 沖畜試研報 41:108-112

- Udall DH (1947) Cyanide poisoning. In : The practice of veterinary medicine (Fifth revised edition), The author, I THACA, New York, p713-718
- Van Soest PJ (1965) Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants : Voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. J Anim Sci 24:834-843
- Wheeler JL, Mulcahy C (1989) Consequence for animal production of cyanogenesis in Sorghum forage and hay. Trop Grassl 23:193-202
- Wheeler JL, Mulcahy C, Walcott JJ, Rapp GG (1990) Factors affecting the hydrogen cyanide potential of forage sorghum. Aust J Agric Res 41:1093-1100
- Willaman JJ, West RM (1915) Notes on the hydrocyanic-acid content of sorghum. J Agr Res 4:179-185
- Wilson JR (1976) Variation of leaf characteristics with level of insertion on a grass tiller. 1. Development rate, chemical composition and dry matter digestibility. Aust J Agric Res 27: 343-354
- 吉田宣夫・清水博之・並木勝治 (1997) ソルガム属草種の生育経過に伴う青酸含量の消長. 埼玉畜セ研報 1:92-93