ネピアグラスの乾物生産に関する研究

第 6 報 植物生長抑制剤パクロブトラゾール処理 が地上部の生長と乾物収量に及ぼす影響

伊 藤 浩 司・石 井 康 之・三 角 守・岩 切 弘 明

(宮崎大学農学部)

平成 2 年 1 月 29 日受理

要 旨：植物生長抑制剤を利用してネピアグラス (*Pennisetum purpureum* Schum., 品種 Merkeron) の粗飼料としての品質を改善する可能性を検討する目的で、栄養生長期における地上部の伸長生長、乾物収量及び収量の葉身/稈比などに及ぼす抑制剤処理の影響を調べた。処理として、パクロブトラゾールの 0.538% 水溶液を植物体の草高が約 1 m に達した時期に地上部全面に散布した。

処理によって、処理当時の最上位展開葉より上位数枚の葉の葉身長及び葉鞘長は短く、葉巾は大きくなり、節間長は約 10 要素にわたり短くなった。無処理区の草高が約 3.3 m に達したとき、処理区の草高は無処理区の約 1/2 であったが、茎数は逆に約 2 倍であった。無処理区の地上部全乾物収量が 10~20 t ha⁻¹ のとき、無処理区に対する処理区の乾物収量の比は、葉身:1.262、葉鞘を含む稈:0.712、枯死部:1.274、地上部全体:0.940 であった。このように、本実験の処理濃度では、処理によって茎の伸長が抑制されるに伴って、乾物生産性は低下し、粗飼料生産上は不利となった。しかしこの不利は、収量の葉身/稈比の面での粗飼料としての品質の向上によって少なくとも部分的には補償された。

キーワード：乾物収量、収量の葉身/稈比、生長抑制剤、節間伸長、ネピアグラス、葉の伸長、パクロブトラゾール。

Studies on the Dry Matter Production of Napiergrass VI. Effect of a plant growth retardant, paclobutrazol on growth and dry matter yield of shoots : Koji ITO, Yasuyuki ISHII, Mamoru MISUMI and Hiroaki IWAKIRI (*Faculty of Agriculture, Miyazaki University, Miyazaki 889-21, Japan*)

Abstract : Elongation and dry matter yield of shoots of napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schum., cv. Merkeron), in the vegetative stage of growth, were compared between the plants sprayed with distilled water and those sprayed with a growth retardant. The retardant used was 0.538% (w/w) solution of paclobutrazol, and the treatment was done when the plant height was about 1 m. The lengths of lamina and sheath of several unfolded leaves and of about ten internodes above the phytomer of the uppermost unfolded leaf at the time of the treatment, were shorter, and their leaf widths were larger in the treated plants than in the control. The increase of shoot numbers was enhanced by the treatment. The ratio of dry matter yield of the treated to that of the control was 1.262 for lamina, 0.712 for stem with leaf sheath, 1.274 for dead parts and 0.940 for whole shoots when the whole shoots yield of the control was in the range from 10 to 20 t ha⁻¹. Thus, the suppression of shoot elongation brought about such a disadvantage in the process of roughage production as the reduction of whole shoots yield. This disadvantage, however, was partially compensated by the improvement of forage quality in terms of leaf/stem ratio of yield.

Key words : Dry matter yield, Elongation of leaf and internode, Growth retardant, Leaf/stem ratio of yield, Napiergrass, Paclobutrazol.

既報³⁾のようにネピアグラスは乾物生産力の高い牧草であるが、それは稈の多収によるところが大きく、株の生長に伴って収量が増大するとともに収量の葉身/稈比が低下し、稈は基部から次第に硬くなる。一般に、葉身に比べて稈の飼料価値は低く、稈の硬くなった部分は細断すれば家畜に採食されるが消化率は葉身や稈の上部に比べて低い⁹⁾。従って、育種的手法或いは栽培的な手段により、乾物生産力とともに収量の葉身/稈比を高く維持できれば、ネピアグラスの粗飼料としての利用性はさらに向上する。栽培的な手段の一つとして、刈り取り間隔を短

くすれば、この比は高まるが年間収量の減少が大きい^{3,6)}。

このようなことから、植物生長抑制剤処理が地上部の伸長生長、乾物収量及び収量の葉身/稈比に及ぼす影響を検討した。

供試した生長抑制剤は、パクロブトラゾールの 21.5%フロアブル (アイ・シー・アイ・ジャパン (株)、試験製剤名:PP-333、商品名:バウンティ) で、ジベレリンの生合成を阻害する^{7,8)}。本剤が植物の伸長を抑制する効果をもち、比較的高濃度まで、濃度が高いほど効果が大きいことはよく知られ

ている。しかし、植物体各部の乾物重の変化、或いは、個々の葉や茎の形態の変化に及ぼす影響はまだあまり明らかでない。そこで本実験では、これまでに試験^(#1)されている濃度の中では高い部類の濃度を用いた単一の濃度で処理を行ない、茎葉の伸長及び乾物重の変化を調べることにした。また、本剤の伸長抑制効果は植物体が生殖生長に入ると著しく弱まる^(#2) ように見受けられる。少なくとも、生育相によって効果の発現の様相が異なると思われるので、本実験の実験期間は、宮崎におけるネピアグラスの栄養生長期間とした。

なお、パクロブトラゾールは既に安全性が確認されており、日本の他アメリカ、欧州諸国で農薬登録されている^(#3)。

材料と方法

ネピアグラス (*Pennisetum purpureum* Schum.) の品種メルケロンを供試し、1987年度から1989年度にわたり、各年度とも、植付け当年の材料を用いて、生長抑制剤処理区と対照区との生長及び地上部各部の乾物収量などを比較した。実験期間については緒言に述べたように、栄養生長期間としたが、参考として、一部の分げつに止葉が認められた11月中旬にも調査を行った。

材料：各年度とも、春に、7—9葉期の分げつを1株1本植えとして、圃場に植付けた。基肥として、化学肥料により10a 当り成分量換算で N:10 kg, P₂O₅:15 kg, K₂O:10 kg を施用した。追肥の時期及び回数は年度により相違したが、各追肥時とも、化学肥料により10a 当り換算で N:10 kg を施用した。

1987年度の実験（以下、実験1と称する）では、4月29日に、株間及び畦間ともに50 cm（4株 m⁻²）として植付け、追肥は6月30日に行った。試験区は、対照区及び処理区とも1区画とし、それぞれ、畦長9 m×20 畦の大きさとした。

1988年度の実験（実験2）では、5月15日に株間及び畦間ともに1 m（1株 m⁻²）として植付け、追肥は6月21日と7月25日に行った。試験区は両

区ともそれぞれ、畦長7 m×11 畦の大きさに1区画とした。

1989年度の実験（実験3）では、5月7日に植付け、7月1日と8月13日に追肥した。栽植様式及び試験区の大きさは実験1と同様とした。

生長抑制剤処理：ネピアグラスを我が国で栽培すると、秋晩くならないと出穂しないが、植付け或いは刈り取り後、草高が約1 mに達した頃から節間伸長が著しくなるので、この頃に処理を行なった。ただし、実験2では、植付け後の最初の所定の時期が梅雨の多雨期となったため、7月4日に刈り株の高さ約5 cmで刈り取りを行ない、再生草の草高が約1 mに達した8月10日に処理を行なった。実験1, 3では、植付け後に初めて草高が約1 mに達した時期に処理を行ない、その期日はそれぞれ7月14日、7月18日であった。上記の各期日に、処理区はパクロブトラゾールの0.538%水溶液（21.5%フロアブルを蒸留水により40倍に希釈）を植物体地上部の全面に噴霧し、対照区には蒸留水を噴霧した。パクロブトラゾールの濃度は、前述のように、これまでに試験されている濃度の中では高い部類に入る。

調査：実験1, 2では主として株当りの草高、茎数及び地上部各部の乾物収量を調査した。実験1では周縁部4辺の各2列を除く10株、実験2では周縁から第2列目の畦の両端の各1株を除く5株を、それぞれ調査対象とした。実験3では主として形態に関する調査を行ない、周縁部以外の株から、植え付けた分げつ以外で、処理当時に5—6葉期であった分げつを対象として、生育中庸で葉期がほぼ揃った分げつ10—15本を採取し、葉身長、最大葉幅部の葉幅、葉鞘長及び節間長などを調査した。

結果と考察

1. 草高及び茎数

実験1における草高と茎数の変化を第1図に示した。草高は各株の最高位置の高さである。茎数は第1葉が展開している茎の数である。

同図に見られるように、処理によって草高の増大は抑制され、茎数は多くなった。対照区の茎数が殆ど変化しなかったのは、調査期間が茎数の安定期^(#4)に相当したためである。実験2, 3の結果も第1図とほぼ同様であり、草高に対する処理の影響は、長草型のススキ^(#1)、ギニアグラス^(#2)、短草型のシバ類^(#1)についての既往の調査結果と一致した。茎数

注1) アイ・シー・アイ・ジャパン（株）1987. バウンティ技術資料. 13—14.

注2) 農水省熊本種畜牧場 1989. ギニアグラス（ナツカゼ）の草丈及び採種に関する生長調整剤の効果. 昭和63年度飼料作物種子関係調査成績 28—33.

注3) 小池康男 1989. パクロブトラゾール（スマレクト）. 農薬時報（臨時増刊）13—15.

Fig. 1. Plant height and shoot numbers at different times after spraying with Paclobutrazol on July 14.

●, ○: Plant height, ▲, △: Shoot numbers
Closed: Control, Open: Treated. Differences between the corresponding values of control- and treated-plants at the same harvest date were significant at $p < 0.01$ except for the harvest at the spraying.

に対する処理の影響については、未だあまり調査されていないようであるが、供試薬剤はジベレリンの生合成を阻害することから、頂芽優勢を抑制して茎数増加を促進する効果をもつと推察される。本実験の場合、茎数の増加は主として、母茎の地上節位からの分げつの増加による。これらの分げつの茎葉の形態は処理を直接受けた分げつとほぼ同様であったが、殆ど発根せず、生長は遅かった。これに対し、母茎の地下節位からも極く小数の分げつが出現し、その生長は無処理区とほぼ同様であった。

2. 出葉速度、葉身長、葉幅、葉鞘長及び節間長

実験3の結果から、処理を行なった7月18日以後における1茎当りの展開葉数を第1表に示した。処理後44日目の8月31日以後は、処理区の方が対照区よりも約1枚少なく、区間差は1%水準で有意であった。しかしその差は8月31日以後ほぼ一定であったことから、処理によって葉の展開が一時的に抑制されたが、その抑制は遅くとも8月31日には消失していたとみなされる。また、処理後の44日間における展開葉数の区間差が約1枚に過ぎなかったことから、葉身の抽出展開速度に及ぼす処理の影響は小さいといえる。

同じく実験3の結果から、処理当日の最上位展開葉及びその後に展開した葉の要素について、処理後69日目の9月25日における葉身長、葉幅、葉鞘長及び節間長を要素別に第2図に示した。同図の0要

Table 1. Numbers of unfolded leaves per shoot at different times after spraying with paclobutrazol.

Days from Spraying	Control	Treated	Difference (Control-Treated)
0	5.45	5.56	-0.11
18	9.02	8.57	0.45
44	13.82	12.65	1.17**
69	18.20	17.24	0.96**

** : Significant at $P < 0.01$.

素は処理当日の最上位展開葉の要素である。

対照区における葉期の進みに伴う各形質の値の変化は比較的不規則で、節間長の変化はとくに不規則であった。別の実験で本実験の対照区とほぼ同様な耕種法により同時に栽培した植物体の節間長を調査した結果も同様であり、上記の不規則性はそれぞれの要素の伸長期における環境条件の相違によると推察された。

第0要素以下の要素については図示しなかったが、各形質とも区間差はなく、処理の影響は処理当時の最上位展開葉の要素より上位の要素にあらわれた。影響の範囲は、葉では数要素に、また、節間では第0要素からこの調査時におけるすべての要素に及び、処理によって、葉身長、葉鞘長及び節間長は短くなり、葉幅は大きくなった。

葉身長の区間差は、第4要素からあらわれて第7-8要素で最も大きくなり、第11要素になると消失した。既報⁵⁾の夏における調査結果によると、葉身長が1 mm以上の未展開葉は約7枚であった。従って、第2図の第7要素の葉の葉身長は処理当時に約1 mmであったと推察される。この7枚のうち、下位3枚の葉身長は処理の影響を受けなかったが、それより上位の葉は若い葉ほど影響を強く受け、その後の葉は新しい葉ほど処理の影響は弱まった。このような処理当時の生長段階と処理の影響の強さとの関係は葉幅、葉鞘長及び節間長においても同様の傾向であったが、節間の伸長に対する処理の影響は葉身や葉鞘の伸長に比べておそくまで残った。

つぎに、処理の影響を受けた要素を各形質間で比較すると、葉身長と葉幅とでは、区間差が最大となった要素及び消失した要素は一致したが、区間差があらわれ始めた要素は葉鞘の方が1要素高かった。この相違は、葉幅の変動巾が小さいために処理の影響が弱い場合の区間差を検出できなかったことによ

Fig. 2. Length of lamina and sheath, and lamina width of unfolded leaves and length of internodes from various positions on a stem on the 69th day after spraying with paclobutrazol.

Stem positions were numbered consecutively from the oldest to the youngest phytomer. The phytomer of the uppermost unfolded leaf at the time of treatment was numbered as 0.

▲, △: Lamina length, ■, □: Lamina width, ◆, ◇: Sheath length, ●, ○: Internode length. Closed: Control, Open: Treated. "*" and "***" mean that the values of treated plants differed significantly from those of the corresponding positions of control plants at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively. All of the internode lengths of the treated plants differed significantly at $p < 0.01$ from those of the control plants, except for the internode of the position 12.

るのかもしれない。葉身長と葉鞘長とでは、影響があらわれた要素数はほぼ一致した。しかし、葉鞘長の区間差があらわれ始めた要素、最大となった要素、消失した要素はいずれも葉身長に比べて2-3要素低かった。この差は葉身と葉鞘の伸長が同調する要素間隔を示すと推察され、その間隔は水稻²⁾の1に比べて大きい。節間長では第0要素から区間差を生じ、これは葉鞘長に比べて2要素低かった。しかし、対照区の要素間変動が不規則なために区間差が最大となった要素が明確でなく、処理の影響が長く続いたために区間差が消失した要素を葉の場合と対比できなかった。従って、節間と葉身或いは葉鞘

Fig. 3. Height of lamina joint of unfolded leaves from various positions on a stem on the 69th day after spraying with paclobutrazol.

Stem positions were numbered consecutively from the oldest to the youngest phytomer. The phytomer of the uppermost unfolded leaf at the time of treatment was numbered as 0. Closed: Control, Open: Treated. Values of treated plants differed significantly at $p < 0.05$ from those of the corresponding positions of control plants except for the values of the position 0.

との伸長が同調する要素間隔は明らかでなかった。

以上のような処理の影響によって、処理区の草高は低くなる(第1図)とともに、処理後展開する数枚の葉の葉節の高さはほぼ同じか、むしろ上位の葉の方が僅かながら低い場合もあった。即ち、第3図に示したように、対照区ではすべての葉で、上位ほど高いという関係があったのに対して、処理区では、第0要素から第4要素にかけては、上位ほど低くなった。第4要素以上の葉では上位ほど高くなったが、要素間差は対照区に比べて小さかった。従って、処理区の第1要素から第5、6要素までは、上位の葉が下位の葉を押し分けて展開する状態となり、これらの葉の着生状況はあたかも扇状を呈した。従って、処理区の葉の配列は対照区に比べて、垂直方向に密な状態であった。

3. 乾物収量

実験1における地上部全乾物収量の変化を第4図に示した。

乾物収量の増大速度は対照区に比べて処理区の方が、葉身及び枯死部ではやや大きく、稈及び地上部全体ではやや小さい傾向がみられたが、各調査時とも、区間差は有意ではなかった。実験2の結果については図を省略したが、乾物収量の変化はいずれも第4図と同様の傾向であった。

Fig. 4. Dry matter yield of shoots at different times after spraying with paclobutrazol on July 14.

▲, △: Lamina, ■, □: Stem with leaf sheath, ◆, ◇: Dead parts, ●, ○: Whole shoots. Closed: Control, Open: Treated. No significant difference was found between the corresponding values of control- and treated-plants at the same harvests.

各実験の結果を一括して、各調査時における対照区と処理区との乾物収量の関係を第5図に示した。

各実験の個別の結果からは両区の収量に有意差は得られなかったが、第5図の注に記した回帰式によると、対照区に比べて処理区の方が、葉身及び枯死部の収量は大きく、稈及び地上部全体の収量は小さかった。対照区の地上部全体の収量が $10-20 \text{ t ha}^{-1}$ のときの対照区に対する処理区の乾物収量の比は、葉身:1.262, 稈:0.712, 枯死部:1.274, 全体:0.940であり、回帰式を示さなかったが葉身と稈の合計収量の比は0.894であった。また、収量の葉身/稈比は対照区の0.532に対して処理区は0.992であり、処理区の方が高かった。

処理にともなう葉身収量の増加は、1茎当りの葉数(第1表)や個葉の大きさ(第2図)が増加することによるのではなく、茎数の増加(第1図)によるものである。このように処理区の方が葉量が多いにも拘らず全乾物収量は少なかった。その一つの理由として、個葉の光合成能力及び植物体各部の呼吸能力の変化が推察されるが、これらの点は現在明らかでない。C₃-植物のてんさいでは、パクロブトラゾール処理によって個葉の見掛けの光合成能力が増大するが、ネピアグラスについては調査例が見当らない。呼吸能力については、処理区の方が稈の緑色部の比率の高いことが観察されたことから、稈の

Fig. 5. Relationships between the dry matter yields of shoots of control- and treated-plants during the period from the 17th to the 73th day after spraying with paclobutrazol.

△: Lamina, □: Stem with leaf sheath, ◇: Dead parts, ○: Whole shoots.
Regression equations;
Lamina..... $Y = 1.414^a \cdot X - 71.325$,
 $R^2 = 0.927^{**}$

Stem with leaf sheath.....
 $Y = 0.668^b \cdot X + 38.686$,
 $R^2 = 0.953^{**}$

Dead parts..... $Y = 1.384^{ac} \cdot X - 15.306$,
 $R^2 = 0.982^{**}$

Whole Shoots... $Y = 0.950^c \cdot X - 14.708$,
 $R^2 = 0.980^{**}$

where X and Y are the values of control- and treated-plants, respectively. "****" means significance at $p < 0.01$. Regression coefficients with different superscripts differ significantly at $p < 0.05$.

単位乾物重当りの呼吸速度は大きい可能性はあるが、稈の全量は少ないのでその呼吸速度は必ずしも処理区の方が大きいとは限らないと推察される。その他の理由として、葉の配列の変化があげられる。即ち、処理によって葉の垂直方向の分布密度が高まった(第3図)。このことは、個体群内部の散光の浸透及び炭酸ガスの輸送の面で乾物生産上不利な要因である。さらに、処理によって、茎の伸長が抑制される(第1, 2図)ことは、光合成産物の受容体の容量の増大が抑制されることであり、このことも乾物生産速度を低下させる要因となり得る。しかし、処理後に出現した分げつが、少なくとも生長の初期には、母茎の光合成産物の受容体として機能したかもしれない。

処理による減収の機構は明らかでないが、前述の

ように地上部全体の減収は5%程度であり、枯死部を除く葉身と稈の合計収量の減少は約10%であった。この程度の減収にとどまるのであれば、実用的にはあまり大きな問題ではないと考えられる。本実験の場合は、過年度の実験³⁾に比べて少肥或いは栽植密度が低いことによって、対照区の乾物収量は約20 t ha⁻¹に過ぎなかったが、過年度の実験結果によると、多肥条件下のネピアグラスの植付け当年の生産力は、東京から西表島にかけて、30—35 t ha⁻¹であり、処理を行った場合の収量が無処理の場合の90%としても、その収量は他の多くの飼料作物・牧草の乾物生産力にまざる。他方、処理によって収量の葉身/稈比は増大した。これは粗飼料としての品質からみると望ましいことであり、処理によって品質は向上したといえる。この品質の向上が乾物収量の減少をどの程度補うかは、家畜に対する栄養収量の変化から評価しなければならない。それは現在困難であるが、評価の一端として、本実験の葉身及び稈の乾物収量と既報⁹⁾の各乾物収量と *in-vitro* 乾物消化率との関係式を用い、処理による乾物消化率の変化はないものとして、葉身と稈による可消化乾物収量を試算した。その結果によると、処理区の値は対照区の96%であり、処理による葉身/稈比の増大は乾物収量の10%の減少を完全に補うには至っていなかった。しかし、品質に関するその他の事柄として、刈り取り時の感触では、処理区の稈は対照区に比べて明らかに柔らかく、青刈り給与した場合の稈の採食部分は処理区の方が多いと推測された。また、処理によって草高が低くなったことは稈が柔らかいこととともに収穫作業を容易にする。

以上により、パクロブトラゾール処理によってネピアグラスの粗飼料としての利用性が改善される可能性があると推察された。しかし、本実験は単一の処理濃度及び処理時期による実験であり、処理の有効なことを確認するためには、いくつかの処理法を組合せた実験が必要である。著者らの予備的な実験の結果を参照すると、濃度を高くすると収量の葉

身/稈比は増大して品質は向上するであろうが、収量の減少が大きくなると予想される。従って、栄養収量を最も大きくする最適処理濃度があると推測される。この濃度及びそれによる栄養分の増収の程度を明らかにすることが当面必要であろう。他方、処理時期については、茎が大きく伸長した後では処理の意味がなくなるので、茎の伸長が急速となる時期以前に限定される。生長抑制剤処理が実用的な手段となり得るか否かは、現在、予測できないが、処理の効果に関する検討を重ねることは、処理の実用化の可否を判断するために必要であるとともに、ネピアグラスの生長や生産性の解析に役立つと思われる。

引用文献

1. Dalziel, J. and D.K. Lawrence 1984. Biochemical and biological effects of kaurene oxidase inhibitors, such as paclobutrazol. British Plant Growth Regulator Group Monograph 11: 43—57.
2. 星川清親 1976. イネの生長. 農文協, 東京. 112—113.
3. 伊藤浩司・村田吉男・稲永 忍・大久保忠旦・武田友四郎・沼口寛次・宮城悦生・星野正生 1988. ネピアグラスの乾物生産に関する研究. 第2報 東京以南の6地域における乾物生産力. 日作紀 57: 424—430.
4. ———・稲永 忍 1988. ————. 第3報 東京及び宮崎における葉位別の個葉の面積及び光—光合成関係. 日作紀 57: 431—437.
5. ———・——— 1988. ————. 第4報 葉の生長と乾物生産に及ぼす温度の直接的影響と後作用. 日作紀 57: 699—707.
6. ———・村田吉男・武田友四郎・星野正生・大久保忠旦・宮城悦生・沼口寛次・稲永 忍 1990. ————. 第5報 収穫部各部の乾物収量の地域差. 日作紀 59: 48—55.
7. 大塩裕陸 1989. イネの倒伏軽減剤. 化学と生物 27: 283—284.
8. 太田保夫 1985. 新しい矮化剤の作用特性について. 植物の化学調節 20: 17—24.
9. 田中重行・伊藤浩司・宮城悦生・稲永 忍 1989. 栽培地域を異にしたネピアグラスの乾物収量と可消化乾物収量. 日作紀 59: 562—568.