

スイートソルガム (*Sorghum bicolor* Moench) の 収量形成過程の解析

第1報 葉身, 葉鞘, 伸長節間の伸長様式

中村 聡・後藤雄佐・星川清親

(東北大学農学部)

1994年7月28日受理

要 旨: バイオマス資源や飼料として利用されるスイートソルガムでは、収穫物の中心となる器官は茎と葉である。これらは10~20個程度の伸長した節間と、それぞれの節に着生している葉鞘、葉身から構成されている。多収を目指した栽培上の問題点を解析するには、収量と直接結びつく器官の生長過程を解明することが重要である。そのためには、これらの器官の生長を、外観から推定できる必要がある。そこで、外観で判断できる個体の齢(葉位齢: 葉身が前の葉の葉鞘から抽出し終わった時点ごとに、抽出を完了したばかりの葉の葉位で表す齢)を用い、各節位の葉身、葉鞘、伸長節間の伸長過程について解析した。また、それら器官の伸長過程の相互関係について検討した。

供試品種は晩生のシロップソルゴー2号(S2)と中生のハイブリッドソルゴー(HS)。タイムスケールに葉位齢を用いて、葉身、葉鞘、節間の伸長様式を解析した結果、次のようにまとめられた。すなわち、第 n 葉葉身は葉位齢 $n-4$ から $n-2$ の期間に急伸長し、葉位齢 $n-1$ の頃にほぼ伸長が終わった。その葉位齢 $n-1$ の頃には、第 n 葉葉鞘が最も急速に伸長しており、最終長に達したのは葉位齢 n から $n+1$ にかけての時期であった。また、葉位齢 $n+1$ の頃から第 n 節間が急激な伸長を始め、葉位齢 $n+2$ の頃に最も増加速度が速く、葉位齢 $n+3$ から $n+4$ にかけての時期にほぼ最終長に達した。以上から、外観で測定できる葉位齢を記録することにより、その時点での個体内部で伸長している器官の位置を推定することが可能となった。

キーワード: 伸長節間, スイートソルガム, 生長曲線, 節間長, 葉位齢, 葉鞘, 葉身。

Analysis of Yield Production Process in Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* Moench) I. Elongation patterns of leaf blade, leaf sheath and elongated internode: Satoshi NAKAMURA, Yusuke GOTO and Kiyochika HOSHIKAWA (*Faculty of Agriculture, Tohoku University, Sendai 981, Japan*)

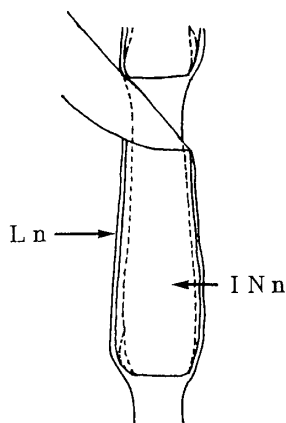
Abstract: The harvest object of a sweet sorghum plant is all parts of shoot which mainly consists of a juicy main stem, leaf blades and leaf sheaths. To obtain higher yield, it is important to understand in detail the yield production process. However, little has been known about plant age for sweet sorghum, which is an important parameter to predict the growth patterns of elongated internode (IN: defined as that having ≥ 1.0 cm), leaf blade (LB) and leaf sheath (LS). Thus, here we developed a new index of plant age (AL) by using the position of a fully expanded leaf on the stem. This study was conducted to clarify the elongation patterns of IN, LB and LS. Two cultivars, Syrup sorgho 2 (S2, a late-maturing) and Hybrid sorgho (HS, a medium-maturing), were grown under the field condition in 1992. A conceptual growth curve of IN, LB and LS was drawn by plotting their percentages of elongation on AL. IN (n : natural number) began to elongate at AL ($n+1$), rapidly elongated at AL ($n+2$) and reached its maximum length at AL ($n+3$)~AL ($n+4$). LB (n) rapidly elongated at AL ($n-4$)~AL ($n-2$) and reached its maximum length at AL ($n-1$). LS (n) rapidly elongated at AL ($n-1$), reached its maximum length at AL (n)~AL ($n+1$). Thus, AL can serve as an effective means of identifying the stage of IN, LB and LS development during the internode elongation stage.

Key words: Age, Elongated internode, Growth curve, Leaf blade, Leaf sheath, Length of internode, Sweet sorghum.

スイートソルガムは、茎中に糖類を多量に蓄積するタイプのソルガム (*Sorghum bicolor* Moench) で、その茎を搾汁して得られた糖液からは燃料用アルコールを生産することが可能である^{5,10,11)}。また、最近では収穫物全体を用いて、メタンさらにはメタノールの生産技術も開発されている。このように、スイートソルガムはエネルギー源としての、バイオマス作物として注目されているが、さらに家畜の飼

料としての利用価値も高く^{4,9)}、近年、作物学的、栽培技術的な研究^{1,2,3,6,7)}が進められている。しかし、そのような中で収穫物がどのような過程を経て形成されていくかについては未だに不明確な点が多い。その主な原因のひとつとして生長のとらえ方やそれを解析する方法がはっきりと定まっていないことがあげられる³⁾。

スイートソルガムにおいて収穫の対象となるのは



第1図 葉位と節間位との関係。

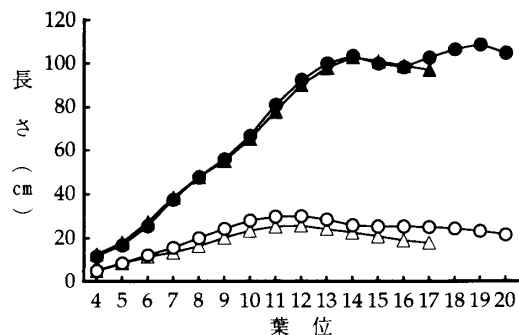
Ln: 第n葉, INn: 第n節間, nは自然数。

10～20個程度の伸長した節間とそれぞれの節に着生している葉鞘、葉身とである。従って、スイートソルガムの収量形成過程を解明するためには、これら伸長節間と葉身・葉鞘の伸長の規則性を明らかにすることが重要である。それは、個体内部での各器官の発育程度を、外観でとらえた age から推定できることにより、age の記録と収穫物の形状からその生長過程を解析できるようになるからである。節間伸長の大まかな概念を得るために、抽出したばかりの葉の葉位を個体の age として用い（葉位齢と呼ぶ）、節間の伸長様式を調べたところ³⁾、第n節間の急伸長期は葉位齢 $n+2$ 、伸長停止期は葉位齢 $n+3 \sim n+4$ であり、品種や栽植密度の影響を受けないことが明らかとなった。しかし、そこで解析の対象とした節間位 n は下位の第9～第12節間の伸長節間のみであり、また、葉身・葉鞘の伸長との相互関係については明らかにされていない。

本報では、収量形成過程を解析するための基礎的な知見を得るために、個体の age として葉位齢を用い、スイートソルガムの節間伸長期における葉身、葉鞘、伸長節間の伸長パターンの相互関係を調べた。

材料と方法

供試品種はシロップソルゴー2号（晩生、サカタのたね, X-8277: S2 と略記）とハイブリッドソルゴー（中生, サカタのたね, GW-9110F: HS と略記）。東北大学農学部内の圃場で、1991年5月17日に畝間80 cmで播種した。播種後約10日目に出芽。間引いて、株間15 cmとした。基肥として窒素成分を緩効性肥料（被覆尿素肥料: LP100）で 8 g/m^2 、速効性肥料で 2 g/m^2 、リン酸、カリ成分を緩効性肥料で 6.9 g/m^2 、 8 g/m^2 、速効性肥料で各々 2 g/m^2 を播種



第2図 各葉位の葉身長と葉鞘長。

●: S2 葉身, ▲: HS 葉身,
○: S2 葉鞘, △: HS 葉鞘。

S.E. の範囲はシンボル内のため省略した。

直前に施肥した。追肥は行わなかった。

各品種21畝（1畝長約25 m）のうちボーダー（外側2畝ずつ）を除く全個体の葉に、葉位がわかるように印をつけた。S2は第9葉から第23葉、HSは第9葉から第18葉まで、各葉身がちょうど抽出完了するごとに5～10個体をサンプルし、FAAで固定した。その後、主茎の葉身長、葉鞘長、節間長を肉眼または実体顕微鏡下で解剖して測定した。出穂期は、S2は9月10日、HSは8月29日であった。

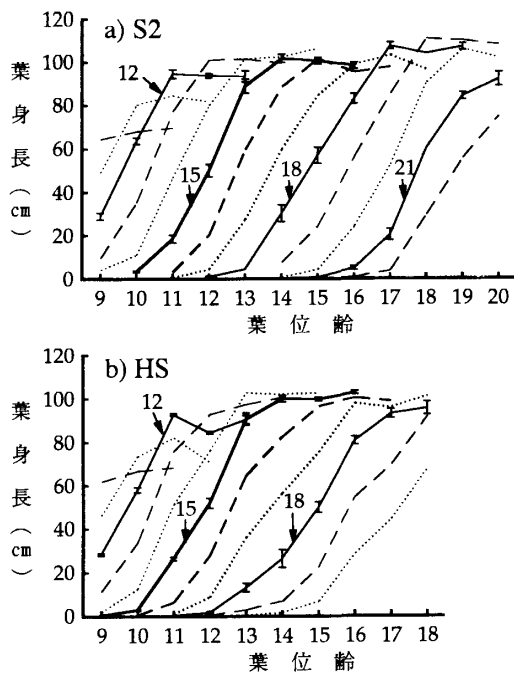
葉位と節間位との関係を第1図に示した。ある葉の葉位を n とした時、第 n 葉葉鞘に包まれている節間を第 n 節間（以後 INn と表記）とした。また、鞘葉の次の葉を第1葉とし、順次求頂的に第2葉、第3葉…とした。

葉位齢: 通常、栄養生長期のスイートソルガムは抽出中の葉が2～4枚あり、イネで用いられている葉齢の数え方をそのまま当てはめることはできない。そこで、葉身が前の葉の葉鞘から抽出し終わった時点ごとに、抽出を完了したばかりの葉の葉位で個体の齢を表し、これを「葉位齢」と呼んだ⁴⁾。たとえば、第12葉葉身が第11葉葉鞘からちょうど抽出完了した時は葉位齢12となる。この葉位齢は各葉の葉位で表されるため、現時点では自然数でしか示すことができないが、概念上、連続的な数値として扱った。

結果と考察

1. 葉身・葉鞘の伸長

葉位ごとの最終的な葉身長と葉鞘長とを第2図に示した。主茎の総葉数はS2で23～28枚、HSで19～24枚と同一品種においても幅があるため、S2は第4葉から第20葉、HSは第4葉から第17葉までを示した。第 n 葉葉身（以後 LBN と表記）の最終



第3図 各葉身の伸長過程。

a) シロップソルゴー2号。

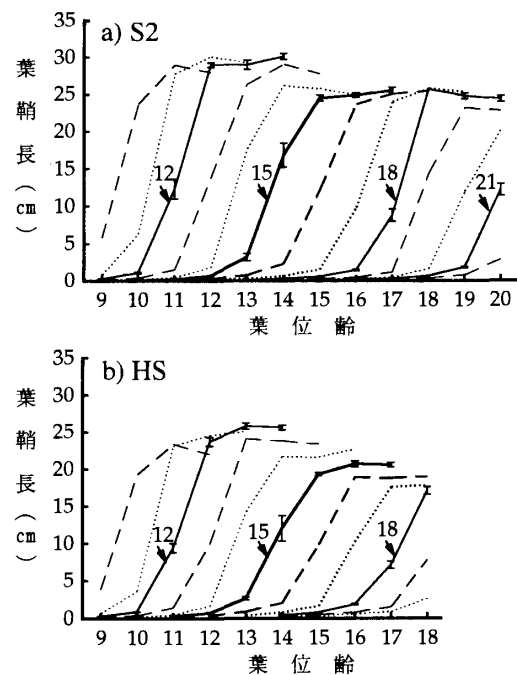
b) ハイブリッドソルゴー。

図中の数字は葉位、シンボルの上下の範囲は± S.E.を示す(煩雑さをさけるために、実線で描いた葉位についてのみ表示)。

的な長さは、葉身の伸長がほとんど終了した葉位齢 $n-1$ 以降の全サンプルの LB_n 長の平均値により表し、第 n 葉葉鞘 (以後 LS_n と表記) の最終的な長さは、葉鞘の伸長が完了した葉位齢 $n+1$ 以降の全サンプルの LS_n 長の平均値により表した。

両品種とも、葉身長は LB_{14} までは葉位が上がるにつれて長くなった。S2 では LB_{14} と LB_{19} とで2つの極大値を持つパターンとなり、一方、HS では LB_{14} ひとつの極大値であった。グレインソルガムでは、葉位ごとの葉身長のパターンは一般的には止葉の4~5枚下の葉が最長になる単峰形となり、HSのパターンがそれにあたる。しかし、環境条件によっては2つの峰を持つパターンになることが報告されており⁹⁾、S2においてそのパターンがみられた。葉位ごとの葉鞘長のパターンは両品種とも LS_{12} が最長となる単峰形となった。本実験では、このような長さのパターンを示した葉身・葉鞘について、その伸長過程を調べ、一般的な伸長様式概念を得ようとしたものである。

葉身の伸長過程を、タイムスケールに葉位齢を用いて第3図に示した。図中の数字は各葉位を示し、S2 (a 図) は $LB_{10} \sim LB_{22}$ について、HS (b 図) は



第4図 各葉鞘の伸長過程。

a) シロップソルゴー2号。

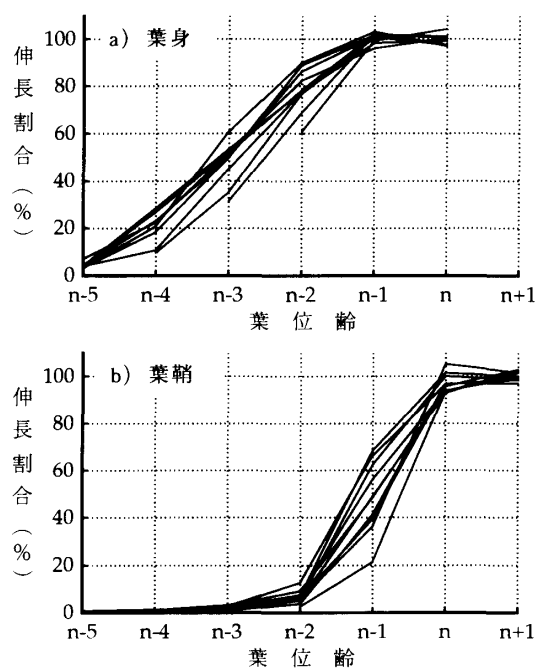
b) ハイブリッドソルゴー。

第3図脚注参照。

$LB_{10} \sim LB_{20}$ について示した。葉身の伸長は S 字曲線を描き、これらの伸長曲線は葉位がひとつ上位になるつれてほぼ1葉位齢ずつ遅れて平行にずれていた。また、各葉身が最も急激に伸長したのは、例えば LB_{15} では葉位齢12の時、 LB_{18} では葉位齢15の時と、それぞれの葉身の葉位から3を引いた葉位齢の時であった。

葉鞘の伸長過程を同様に第4図に示した。葉鞘の伸長も S 字曲線で、各葉鞘が最も急激に伸長したのは、例えば LS_{15} では葉位齢14の時、 LS_{18} では葉位齢17の時と、各葉鞘の葉位から1を引いた葉位齢の時であった。また、葉鞘の急伸長期の期間は葉身の場合よりも短かった。

葉身、葉鞘の伸長過程を葉位にとらわれずに一般的な傾向として把握することを目的として、まずそれぞれの葉位を n とおき、葉位齢も n を用いて表し、 LB_n 、 LS_n (n は $11 \sim 20$ の範囲) の伸長曲線を第5図 a, b に示した (S2 についてのみ示した、HS は S2 同様であった)。縦軸を伸長割合でとっているが、これは各葉身、葉鞘の最終的な長さに対するある葉位齢での長さの割合である。第5図 a から葉身 (LB_n) の伸長過程を整理すると、葉位齢 $n-4$ から葉位齢 $n-2$ の期間に急激な伸長をし、葉位齢 $n-1$ の頃にはほぼ伸長が終わるものと考えられた。一方、

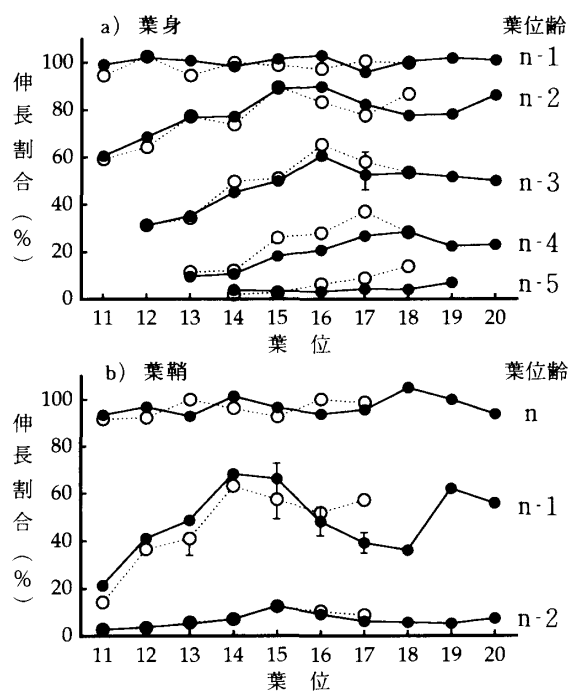


第5図 S2における葉身(a図), 葉鞘(b図)の伸長パターン。
一般化するためにnを用いて表し, 各葉位の伸長曲線を重ねて示した。

葉鞘(LSn)の伸長過程は, 葉位齢n-2の頃に急激な伸長が始まり, 葉位齢n-1の頃に最も速く伸長し, 葉位齢nのころにほぼ最終長に達した。しかし, 各葉位の葉身, 葉鞘の伸長曲線を第5図のように重ねた場合, 急伸長期における葉位による変動が大きかった。このことは, HSでも同様であった。

次に, この変動について解析した。第5図に示した生長を葉位ごとに分けて, 各葉位ごとの葉身・葉鞘の伸長割合の増加過程を第6図に示した。図中, nで表した葉位齢ごとに各葉位の伸長割合を結んで示した。この図は, たとえばa図において, LB15が葉位齢n-3すなわち葉位齢12の時には, S2, HSともに伸長割合は約50%であり, また, 葉位齢n-1, すなわち葉位齢14の時には, LB15はほぼ伸長し終わっていることを示している。葉位齢12の時には, LB12が抽出完了し, さらに抽出中の葉身が3枚あるので, LB15は外観から確認できる最も若い葉にあたる。また, 葉位齢14の時には, LB15は抽出中の最下位の葉身であり, この時点では抽出中であっても葉身そのものの伸長は終わっていたことを示す。

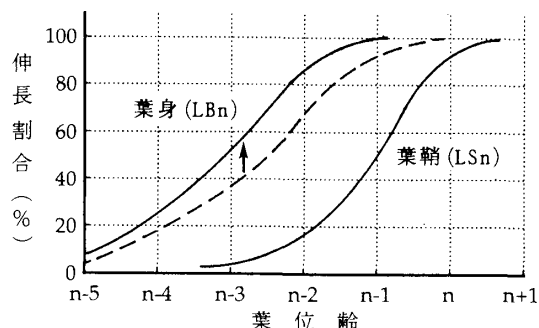
nで表すと同じ表示となる葉位齢の時の伸長割合を, 各葉位間で比較すると(第6図aの実線はS2,



第6図 葉位による葉身(a図), 葉鞘(b図)の伸長割合の変動。

●: S2, ○: HS.

シンボルの上下に示した範囲は±S.E.を示す。
S.E.の範囲がシンボル内の時は省略した。

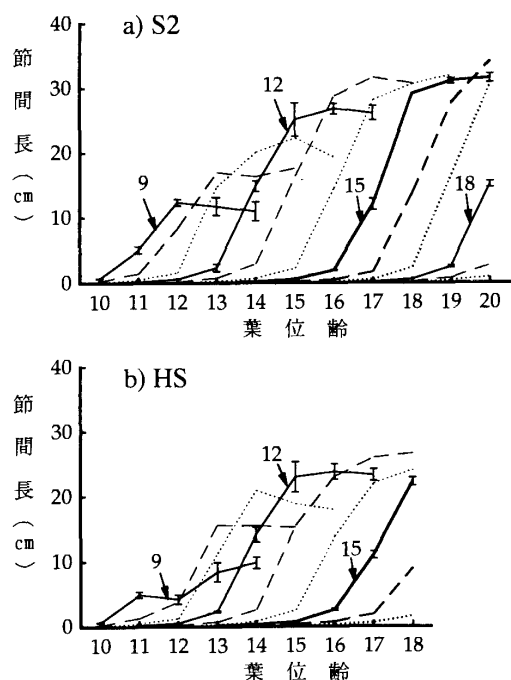


第7図 スイートソルガムにおける葉身と葉鞘の伸長パターンの概念図。

矢印: 葉位が増加するに従って伸長曲線は矢印のように上昇する傾向がある。

破線はHS), n-2, n-3で表される葉位齢については, LB16までは葉位が高いほど伸長割合が増大するが, これより上位においてはほぼ一定であった。ソルガム属作物の生育初期において, 主茎の抽出中葉数は徐々に増加するが²⁾, このことは, n-2, n-3, n-4の葉位齢において, 葉位が増すほど伸長割合が増大することと, 上位ほど葉身が長いことによりおこるものと考えられる。

一方, 葉鞘の急伸長期である葉位齢n-1の伸長割合は葉位ごとで大きく変動し, また, 葉位間での



第8図 各節間の伸長過程。

- a) シロップソルゴー 2 号。
b) ハイブリッドソルゴー。

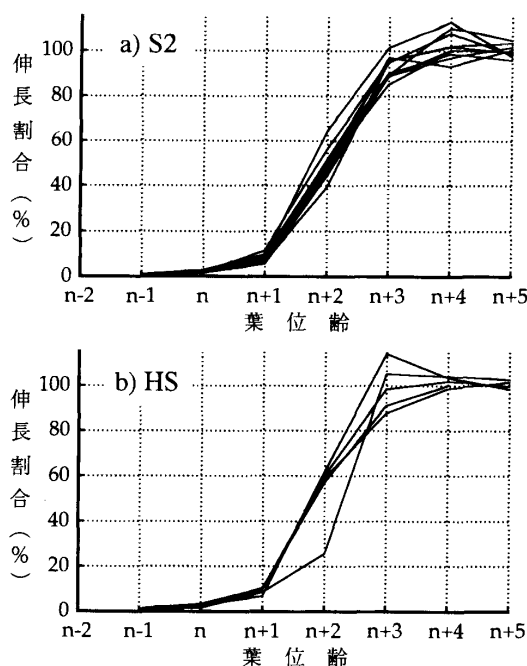
図中の数字は節間位を示す (煩雑さをさけるために、実線で描いた節間位についてのみ表示)。

一定の傾向を見いだすには至らなかった (第6図b)。これは、この時期の葉鞘の伸長が速く、葉位齢を自然数で表すだけの精度では、把握しきれなかったものと考えた。

以上の結果や考察をもとに、葉身と葉鞘の伸長曲線を概念化したものが第7図である。葉身、葉鞘の伸長は大まかに次のように把握してよいと考えられる。すなわち、葉身は葉位齢 $n-4$ から葉位齢 $n-2$ の期間に急激に伸長し、葉位齢 $n-1$ にほぼ伸長が終わる。また、葉鞘は葉位齢 $n-1$ の頃に最も急速に伸長し、葉位齢 n から葉位齢 $n+1$ にかけての時期に最終長に達する。なお、下位の葉身では点線の伸長パターンを示すが、葉位が上がるにつれて実線の伸長パターンに近づき、LB16 以降の葉身では実線の伸長パターンとなる。

2. 節間の伸長

伸長節間の伸長過程を第8図に示した。伸長節間と非伸長節間との境を決めるのはむずかしいが、本報ではとりあえず 1 cm 以上伸長した節間を伸長節間と定義した。両品種とも IN8 は 1 cm 以上に伸長した節間と 1 cm 未満でしかなかった節間が混在したために、図示しなかった。ある 1 つの節間、たとえば、S2 の IN15 の伸長過程を詳細に追うと、葉位齢 16 の頃から急激に節間伸長し始め、葉位齢 17 の



第9図 節間の伸長パターン。

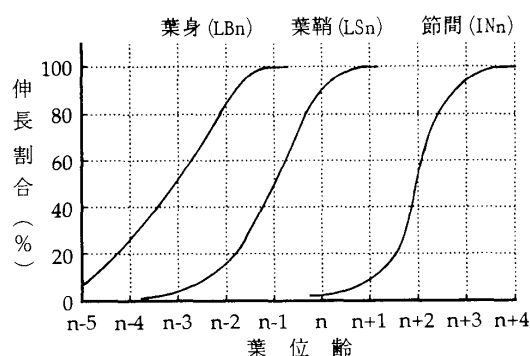
- a) シロップソルゴー 2 号。
b) ハイブリッドソルゴー。

一般化するために n を用いて表し、各節間位の伸長曲線を重ねて示した。

時に最も急速に伸長し、葉位齢 18~19 で最終長に達した。他の節間も、同様な伸長パターンを描き、それらはほぼ 1 葉位齢ずつ平行にずれていた。

これらの節間の伸長過程を一般化する目的で、サンプル期間中にほぼ S 字の伸長曲線が描けた節間位、S2 では IN10~IN19、HS では IN10~IN14 について、まずそれぞれの節間について節間位を n とおき、次のように伸長曲線を描いた。すなわち、節間長を伸長割合 (各節間の最終長に対する割合) で表し、それを縦軸にとり、横軸には n を用いて表した葉位齢をとって、各節間 (IN n) の伸長パターンをまとめた (第9図)。なお、IN n の最終長として、その節間の伸長がほとんど終了したと考えられる葉位齢 $n+4$ 以降の全サンプルの IN n の長さの平均値を用いた。

両品種とも IN n は葉位齢 $n+1$ の頃から急激な伸長を始め、葉位齢 $n+2$ の頃に最も増加が速く、葉位齢 $n+3$ から葉位齢 $n+4$ にかけての時期にほぼ最終長に達した。急伸長期である葉位齢 $n+2$ の頃の伸長割合は、HS の IN10 で特に低い割合だったが、その他の節間では約 40~60% の範囲内で、節間位による変動は葉身、葉鞘に比べ少なく、ほぼ一定であると考えられた。なお、この伸長パターンは、下位の伸長節間 (IN9~IN12) だけで大まかに描いた伸



第10図 葉身、葉鞘、節間の伸長パターンの概念図。
LBn, LSn, INnの伸長パターンを示す(nは自然数)。

長パターン³⁾と同様であった。

以上の結果を基に、ある節位の葉身(LBn)、葉鞘(LSn)、節間(INn)の伸長の相互関係をまとめて示したのが第10図である。なお、図中の伸長曲線は概念化した曲線であり、フリーハンドで描いた。具体的に、この図を用いてnが15の時、すなわちLB15, LS15, IN15についてそれらの伸長過程の関係を追ってみると次のようになる。葉身LB15は葉位齢12の頃に急激に伸長して抽出し、外観上観察できるようになる。葉位齢13~14の間にLB15は最終長に達し、伸長が終わる。その頃葉鞘LS15は急伸長しており、これによってLB15は上におしあげられ、抽出が続く。LS15の伸長は、葉位齢15(LB15が完全に抽出した時)をやや過ぎて終了する。続いて葉位齢16頃に、節間IN15が急激な伸長を始め、葉位齢17の頃に、最も急速に伸長し、葉位齢18~19の時にIN15の伸長が終わる。

また、異なる見方でこの図を用いると、ある時期に伸長最盛期をむかえている器官の位置を知ることができる。たとえば葉位齢が15の時に急伸長している器官の位置を求めるには、図中の伸長曲線の急伸長期の葉位齢が15になるようにnを求めればよい。すなわち、第n節間(INn)が急伸長する時期は葉位齢n+2であるから、n+2が15、すなわちnは13となり、葉位齢15の時にはIN13が急伸長していることが推察できる。同様にして葉位齢15の時に急伸長している葉身・葉鞘の位置を推定すると、LB17~19とLS16とである。

ところで、葉位齢は止葉抽出完了までを表す概念ではあるが、スイートソルガムでは止葉が抽出する頃になると、止葉の1~2枚下位の葉の葉身の基部が強く巻かれている。そのため、止葉を含む上位1~3

葉の葉身(この場合これらの葉身は極端に短い)の抽出完了が外観から判断できず、葉位齢の適用が困難となる。

しかし、最上位の数節間を除いた茎収量の中心となる伸長節間の多くについて、葉位齢を用いた今回の報告で、節間と葉身、葉鞘との伸長に関する相互の規則性を明らかにできたものと考えている。

この葉位齢に基づいた各器官の伸長の規則性を用いることにより、外観から判断し、記録した葉位齢から、ある特定の葉や節間がいつ頃伸長していたのかが推定でき、これにより群落の中の個々の個体について詳細な生長の解析が可能となる。このようにして、今後、スイートソルガムの群落構築過程を解明し、乾物収量の形成過程を明らかにしていこうと考えている。また、解析の精度を高め、内部の生長をより詳細に把握するためには、現在自然数だけで表している葉位齢を、少数第1位まで表わすことが必要である。この点については現在解析・検討中である。

引用文献

1. 後藤雄佐・星川清親・酒井 究・大友健二 1989. スイートソルガム栽培におけるトウモロコシ用除草剤の効果. 第2報 圃場生産における除草剤(メトラクロール・アトラジン混合剤)施用の効果. 日作東北支報 32: 80-82.
2. ———・中村 聡・星川清親 1991. ソルガム属作物の初期生長の解析. 日作東北支報 34: 13-14.
3. ———・———・酒井 究・星川清親 1994. スイートソルガム (*Sorghum bicolor* Moench) 節間の伸長・肥大様式の解析—葉位齢を用いて—. 日作紀 63: 473-479.
4. 原田重雄・井口武夫・大泉久一・西尾伸一・大山 茂・樽本 勲 1966. ソルガム属作物の導入ならびに定着に関する研究. 第1報 品種の導入とその特性. 中国農試報 A13: 111-144.
5. 星川清親 1981. バイオマスとしてのサトウモロコシ, その国産の可能性検討を提唱する. 農及園 56: 497-503.
6. ———・高橋 清・後藤雄佐 1988. スイートソルガムの栽培特性, 特に水田転換畑における連作栽培を中心として. バイオマス変換計画研究報告 10: 28-50.
7. ———・後藤雄佐・酒井 究 1989. スイートソルガム栽培におけるトウモロコシ用除草剤の効果. 第1報 除草剤(メトラクロール・アトラジン混合剤)とセーフナがスイートソルガムの出芽におよぼす影響. 日作東北支報 32: 76-79.
8. Mass, S.J., G.F. Arkin and W.D. Rosenthal 1987. Relationships between the areas of successive leaves on grain sorghum. Agron. J. 79: 739-745.

-
9. 大下友子・榎木茂彦・久馬 忠・近藤恒夫・名久井忠
1992. スイートソルガム搾汁残渣サイレージの飼料
特性及び化学的・生物的处理による飼料価値の改善.
東北農試研報 84:173—185.
 10. Shin, S.F., G.J. Gascho and G.S. Rahi 1981. Model-
ing biomass production of sweet sorghum. Crop
Sci. 73:1027—1032.
 11. Smith, G.A., M.O. Bagby, R.T. Lewellan, D.L.
Doney, P.H. Moore, F.J. Hills, L.G. Campbell, G.
J. Hogaboam, G.E. Coe and K. Freeman 1987.
Evaluation of sweet sorghum for fermentable
sugar production potential. Crop Sci. 27:788—
793.
-