

エネルギー作物エリアンサスの群落構造の解析

定植1・2年目群落の生産構造図の比較

誌名	東京農業大学農学集報
ISSN	03759202
著者名	金井,一成 新村,悠典 森田,茂紀
発行元	東京農業大学
巻/号	62巻1号
巻号補足	
掲載ページ	p. 13-20
発行年月	2017年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



エネルギー作物エリアンサスの 群落構造の解析

—定植1・2年目群落の生産構造図の比較—

金井一成*・新村悠典**・森田茂紀*†

(平成28年6月9日受付/平成28年12月2日受理)

要約:石油枯渇対策や地球温暖化対策として再生可能エネルギーが注目されているが、著者らのグループは、食料と競合しないセルロース系原料作物として、イネ科のC₄型・多年生植物であるエリアンサス (*Erianthus* spp.) を取り上げ、栽培研究を進めている。エリアンサスは高いバイオマス生産性を発揮することが知られているが、物質生産を支えている群落構造の解析はほとんど行われていない。そこで本研究では、定植1年目および2年目の群落について出穂期における群落構造を比較検討した。定植2年目の群落では、1年目に比較して地上部バイオマス量が4倍ほどに増加していた。地上部バイオマス量を光合成器官(葉身)と非光合成器官(葉鞘・茎・穂)とに分けると、両者とも大きく増えていたが、とくに後者の増加が著しかった。これは、定植2年目の群落は1年目の刈り株から再生したものであり、再生を開始する時点ですでに多くの分げつ芽が形成されており、生育初期に急激に茎数を増やすことができたため、茎が長く、太くなるための生育期間が十分に確保できたからと考えられる。また、出穂期における層別刈取り法で葉重の垂直分布を調査した結果や、プラントキャノピーアナライザーを利用して葉面積の垂直分布の形成過程を調査した結果によれば、群落構造は生育とともに変化し、光合成器官の垂直分布は定植2年目に群落の高い方へ移動した。そのため、群落内の比較的高いところで相対照度が減衰してしまい、群落内部まで光が到達していなかった。このように、定植2年目は1年目よりバイオマス量が著しく増えていたが、群落構造と相対照度の減衰の様相からみると、群落としての受光態勢は必ずしも最適かどうかは分からない。間引きをして群落の光環境を改善すれば、さらに収量が上がる可能性が高い。エリアンサスは多年生作物であるため、栽植密度の影響も含めてさらに追跡していく必要があるが、本研究の結果を低投入持続的な栽培方法の確立に役立てたいと考えている。

キーワード:エリアンサス, 群落構造, 生産構造図, 葉面積指数, 物質生産

1. はじめに

人類は20世紀において、より便利で、より快適な生活を求め、その実現のために多くのエネルギーを使用した。そのほとんどは石油を始めとする化石エネルギーに由来するため、石油枯渇問題や地球温暖化問題が発生した¹⁾。これらの問題を解決するための方策として、再生可能エネルギーのバイオエタノールが注目されており、2000年以降、世界における生産量が増加している。現在、世界のいくつかの国で事業化されているバイオエタノールプラントでは、サトウキビ、トウモロコシ、コムギ、キャッサバなどの食用作物が原料として使われている。しかし、2008年に穀物の国際価格が急騰して食料危機が起こったことを契機に、食用作物をバイオエタノールの原料として利用することに批判が集まっており²⁾、食料とエネルギーとの競合を避けるために、食用としないセルロース系の原料作物を

利用することが強く求められるようになってきた^{3,4)}。

セルロース系原料としていくつかの候補作物があるが、著者らはエリアンサスに着目している。エリアンサスはサトウキビに近縁のイネ科のC₄型多年生植物であり、熱帯・亜熱帯原産であるが⁵⁾、日本でも少なくとも福島県以南で旺盛な生育を示し、高いバイオマス生産能力を発揮する⁶⁾。ストレス耐性が高く、不良環境条件でも旺盛な生育を示すことは⁷⁾、セルロース系の原料作物として有利な点である⁸⁾。

エリアンサスが高バイオマス生産性や高ストレス耐性を発揮するメカニズムについては明らかになっていないが、その背景として根系が深くて大きいことがあると考えており、著者らは、エリアンサスの根系に関する研究を進めている^{9,10,11,12)}。しかし、物質生産を支える群落構造に関しては、解析が進んでいない。そこで本研究では、エリアンサスの高バイオマス生産性の背景を理解し、低投入持続的栽

* 東京農業大学農学部

** 東京農業大学大学院農学研究科

† Corresponding author (E-mail: sm205307@nodai.ac.jp)

培システムを確立することを最終的な目標とし、本研究ではエリアンサスの群落の構造を定量的に解析した。すなわち、定植1年目と2年目のエリアンサス群落を対象とし、プラントキャノピーアナライザーを用いて群落の高さ別に葉面積指数を測定することで、群落構造を非破壊的・定量的に追跡した。また、出穂期に層別刈取り法で生産構造図を描いた。これらのデータを定植1年目と2年目で比較検討し、生育調査の結果を参考にしながら、群落構造の形成や年次変化について考察した。

2. 材料と方法

本研究では、東京農業大学農学部（厚木キャンパス）で栽培した定植1年目および2年目のエリアンサス（*Eriarthus arundinaceus*）の品種 JES1 を対象とした。除草と耕起を行った圃場に、2014年6月13日と2015年5月26日、条間1m×株間1mの栽植間隔（10条×11株）で、それぞれ110株ずつの苗を定植した。元肥および追肥は施用せず、灌水もしなかったが、いずれの群落も植付け1年目は適宜、手取り除草を行った。2014年に苗を定植した群落は冬季の間（2014年12月～2015年3月）に刈り、定植2年目に当たる2015年の群落は、この刈り株から再生したものである。このように栽培した定植1年目と2年目の群落から、標準的な生育を示した24株を選定したうえで、毎週1回、草丈と茎数を継続的に記録した。

また、再生を開始して約1ヶ月毎に、生育調査を行っている株付近において、プラントキャノピーアナライザー（メイワフォーシス株式会社製、LAI-2000）を利用して高さ別に葉面積指数を測定し、葉面積指数からみた群落構造を構築したうえで、その変化を追跡調査した。すなわち、群落内の平均的な生育を示した6株（3株×2列）が配置する長方形の対角線の、等分に位置する4箇所を計測を行うことを、位置をずらして3回繰り返すことを1組とし、4組の反復を実施した（4箇所×3回測定×4反復）。このような測定を高さ30cmごとに行い、測定結果の差引きからそれぞれの高さにおける葉面積指数を算出した。同時に、プラントキャノピーアナライザーに付属している照度計を使用し、群落内の照度を地表面から30cmごとに測定して、高さ別の相対照度を算出した。

キャノピーアナライザーによる測定精度を検証するために、出穂期に群落内で平均的な生育を示した6株を選定し、30cmごとに層別刈取りを行い、卓上面積計（メイワフォーシス株式会社、LI-3100C）を使って、それぞれの高さにおける葉面積を測定し、実測に基づいて葉面積指数の高さ別分布を解析した。

また、出穂期には、これとは別に6株（3株×2列）・2反復について層別刈取りを行い、生産構造図を描いた。すなわち、定植1年目の群落は2015年10月13日、2年目の群落は2015年10月20日に、地表面から約20cmの高さで地上部を刈取り、高さ20cmごとに切り分けた後、いずれの高さについても同化器官（葉身）と非同化器官（葉鞘、茎および穂）とに分けて紙袋に入れ、80℃に設定した乾燥機で重量の減少がゼロとなるまで（定植1年目は3日

間程度、定植2年目は10日間程度）乾燥させてから、重さを測定した。また、照度計（PELICAN社1030 Micro Case Series）を用いて群落内の光合成有効放射量を測定して、高さ別の相対照度を算出した。

3. 結 果

(1) 生育調査と収量調査

定植1年目のエリアンサスの生育はゆっくり進み、出穂期における地上部バイオマス収量は6.3t/haであった。定植2年目のエリアンサスは4月中旬ごろに再生が始まり、生育は1年目より旺盛で、出穂期における収量は定植1年目の約4倍に当たる23.5t/haに達した。このとき、バイオマス収量の増加は、同化器官より非同化器官で著しく、その結果、定植2年目の葉量比（＝同化器官の乾物重/（同化器官の乾物重＋非同化器官の乾物重）×100）は、定植2年目の方が小さかった（表1）。

地上部の生育の様相を茎数と草丈の推移（図1）についてみると、以下のとおりである。定植1年目のエリアンサスは、苗の定植後4週間ほどは茎数がほとんど増加しなかった。その後、6月下旬から増加を始め、多少の凸凹はあるが概ね出穂期ころまで直線的に増加した。一方、定植2年目の群落では4月に再生が始まり、生育初期に茎数が急激に増加した。その後の増加は緩やかで、出穂の約1ヶ月前に増加が止まった。以上の生育の結果、出穂期における茎数は定植1年目および2年目のいずれも、ほぼ同じレベルの70本/株前後となった。

定植1年目のエリアンサスの草丈は、植付け直後から増加が始まり、出穂期頃まで増加が続いたが、生育後半の増加は前半より若干、緩やかであった。これに対して、定植2年目では株が再生を始めた4月から草丈が増加し、その後は定植1年目と同様の経過をたどった。定植2年目は草丈の増加の開始時期が早かったため、生育期間が1年目より長くなり、それに伴って最終的な草丈（穂を除く葉身先端までの長さ）は、定植1年目より約140cmほど高かった。

(2) 出穂期の群落構造と相対照度

定植1年目の群落の生産構造図（図2）をみると、高さ別の同化器官の乾物重の分布は山型をしており、最大量を示した層（80～100cm）は草丈の中間地点より下にあり、重心の高さは約94cmであった。一方、非同化器官の乾物重は地表に近い層で最大で高い層ほど少なく、重心の高さは約63cmであった。定植1年目の同化器官と非同化器官

表1 群落構造の指標

	定植1年目	定植2年目
同化器官の乾物重 (g/株)	325.8	918.3
非同化器官の乾物重 (g/株)	312.7	1431.5
葉量比 (%)	51.0	39.1

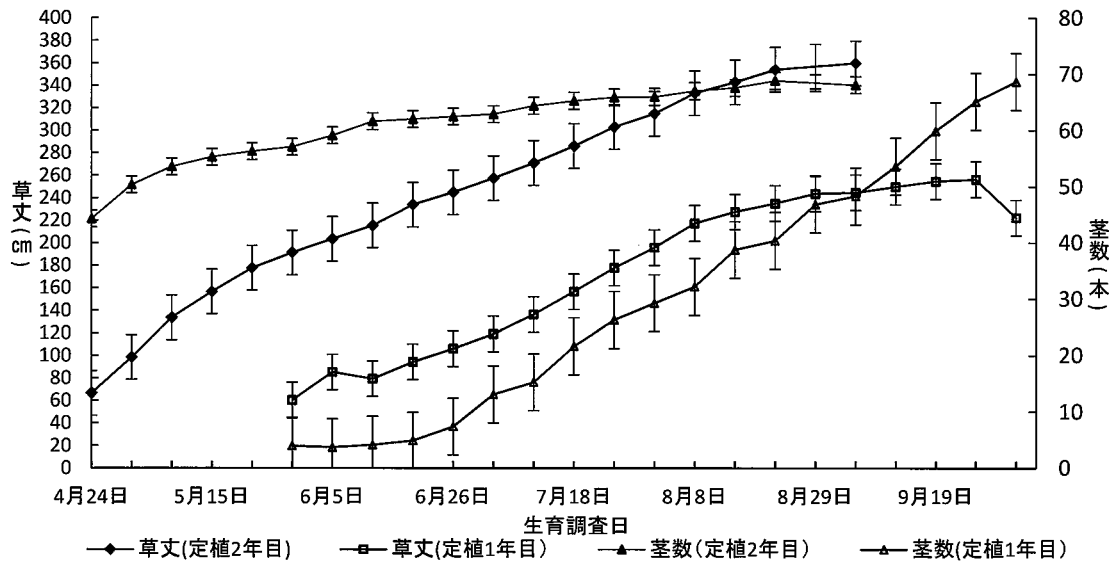


図1 定植1年目および2年目の草丈と茎数の推移
縦線は標準誤差を示す (n=24)。

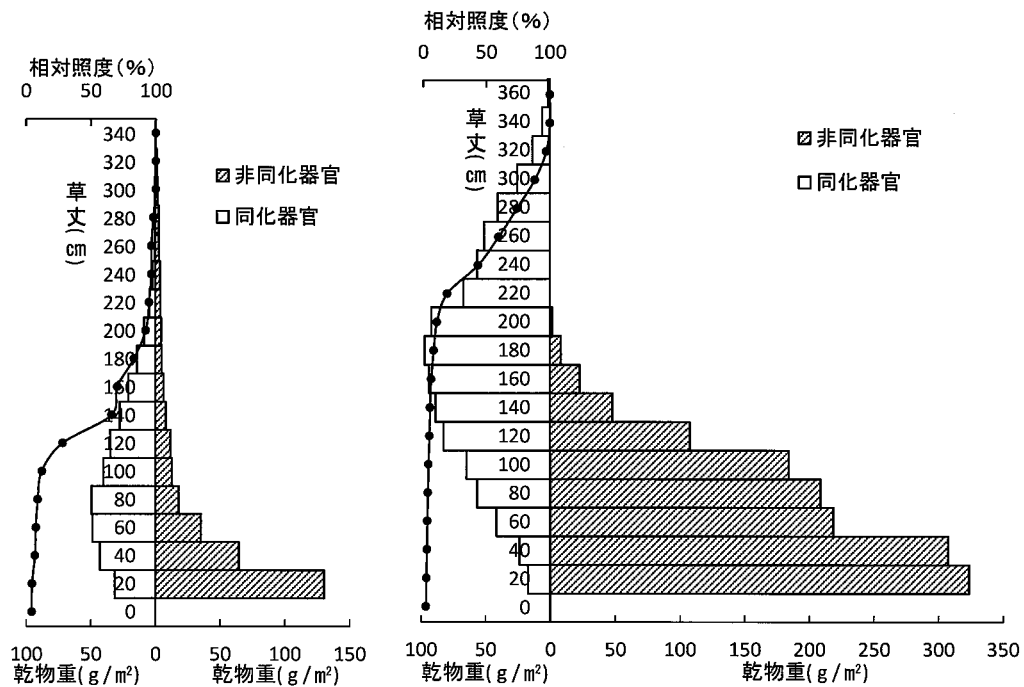


図2 定植1年目および2年目の群落の生産構造図 (左:1年目, 右:2年目)

を合わせた株全体の乾物重の重心の高さは約79cmであった。

定植2年目のエリアンサスの生産構造図(図2)をみると、同化器官の乾物重の総量は定植1年目より多く、分布は山型を示したが、全体が高い側に移動していた。すなわち、最大値を示した高さ(180~200cm)は定植1年目より高く、草丈の中間にあった。同化器官の乾物重の重心の高さは約169cmであり、これは定植1年目よりも高かった。非同化器官は同化器官以上に乾物重の増加が著しかったが、分布パターンは定植1年目に似ていた。すなわち、地表に近

い層で最大で、高い層ほど分布が少なかった。非同化器官の乾物重の重心の高さは約64cmで、定植1年目とほぼ同じであった。定植2年目の株全体の乾物重の重心の高さは約105cmで、定植1年目より高かった。

群落内の相対照度の推移を群落頂部から下側に向かってみると、定植1年目、2年目、いずれの場合も光合成器官の分布が増えるのに伴って減衰し、一定の高さで0%に近づいた。相対照度の減衰は定植2年目の方がやや緩やかであったが、0%に近くなる高さは高かった。定植1年目の群落では高さ100cmで0%に近くなったのに対し、定植2

年目の群落では、200 cm ですでに 0% に近かった。

(3) 群落構造と相対照度の推移

定植1年目および2年目のそれぞれの群落について、異なる生育段階においてプラントキャノピーアナライザーを利用して葉面積指数を測定し、群落構造の形成を解析した。その結果、定植1年目における生育に伴う葉面積指数の増加は定植2年目ほど著しくなく、葉面積指数は群落の下側に分布していた(図3)。

一方、定植2年目は、生育に伴う葉面積指数の増加が1年目より著しかった。また、葉面積指数の増加に伴い、その分布が群落の上側に移動していた(図4)。葉面積指数の重心の高さは生育とともに、すなわち葉面積の著しい増加に伴い、群落の上側に向かって移動した(図5)。

葉面積指数の分布の変化に伴って、相対照度の高さ別の減衰の様相も変化した。すなわち、定植1年目より2年目の方が、群落の高い位置で相対照度が0%に近い値になっ

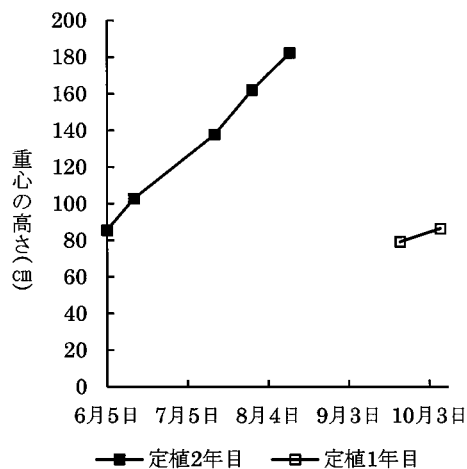


図5 定植1年目および2年目の葉面積指数の層別の重心の高さの推移

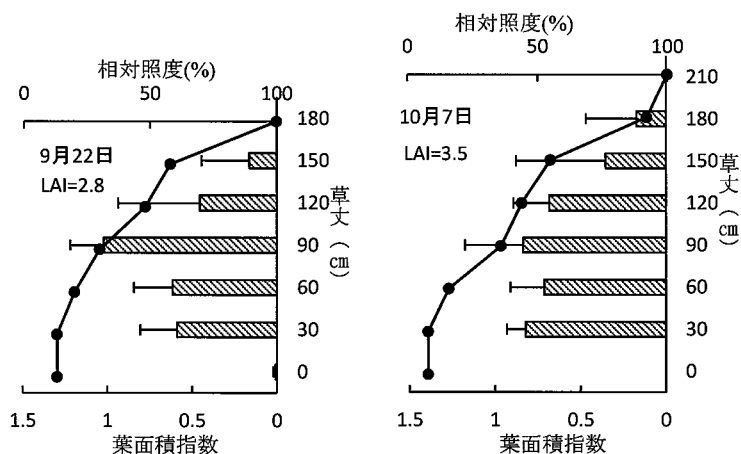


図3 定植1年目の群落の層別葉面積指数の分布と相対照度の推移
横線は標準偏差を示す (n=4)。

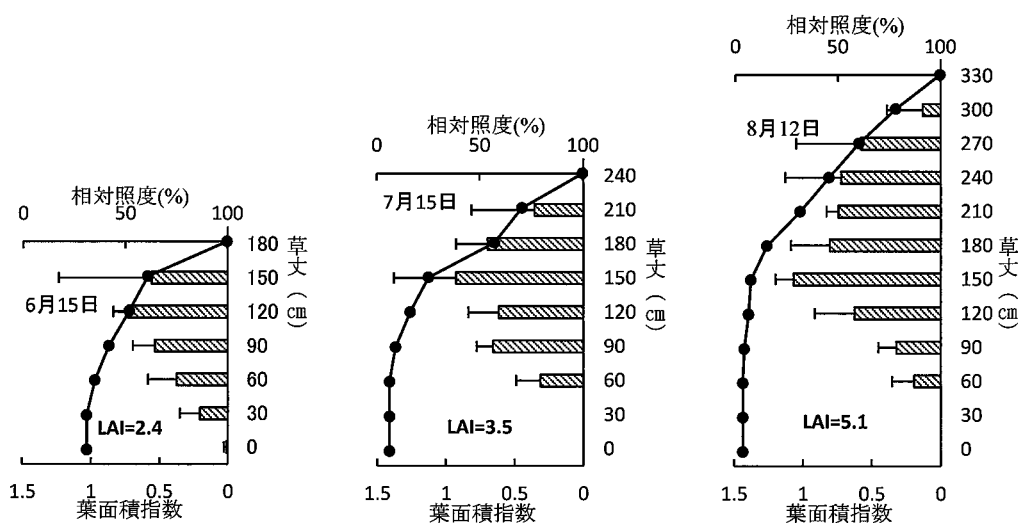


図4 定植2年目の群落の層別葉面積指数の分布と相対照度の推移
横線は標準偏差を示す (n=4)。

ていた。

4. 考 察

(1) 収量形成と株の生育

出穂期にエリアンサス群落の収量調査を行ったところ、定植1年目の収量は必ずしも多くなかったが、定植2年目は著しく増加した。定植1年目のエリアンサスの生育は旺盛ではないが、2年目以降にバイオマス収量が飛躍的に増加することは著者らのグループがすでに報告している¹³⁾。本研究でも同様の結果が確認できたことから、これは、かなり普遍的に認められる現象と考えられる。

ただし、定植1年目の群落でも2年目の群落でも、出穂期における株当たりの茎数は70本程度で、ほぼ同じであった。このことから、定植2年目の出穂期における1茎当たりの平均乾物重は、定植1年目よりかなり大きかったことが分かる。また、定植2年目の出穂期におけるバイオマス収量は1年目より増加していたが、同化器官(葉身)より非同化器官(茎・葉鞘・穂)の増加が著しいことが特徴であった。これらのことから、定植2年目の株を構成する茎が1年目よりかなり太いか、太い部分が長いことが考えられる。これは、それぞれの群落の生産構造図を描くために刈取りをしたときの観察結果と整合している。ただし、茎と同時に葉鞘のバイオマス量も増加していた可能性があり、群落形成を株の生育から理解するため、今後は分げつ形成、とくに葉身・葉鞘の大きさや生長速度について追跡する必要がある。

以上のように、本研究の結果から、茎の生育が収量に大きく影響している可能性が示唆された。著者らは、エリアンサスの茎数と乾物重との間に、処理のいかに関わらず、有意な正の相関関係が認められることはすでに報告した¹⁴⁾。ただし、この結果は植付け1年目の結果であり、植付け2年目にかけてそれぞれの茎が大きくなるため、収量に対する茎数の影響がさらに大きくなったと考えられる。植付け年数の如何に係らず、茎数と収量との間に正の相関関係があるかどうかは分からず、多年生作物の収量形成については、経年変化を含めて改めて検討を行っていく必要がある。

(2) 群落構造と株の生育

本研究の結果、多年生作物であるエリアンサスの群落構造が、定植1年目から2年目にかけて大きく変化したことが明らかとなった。群落の物質生産を解析する場合、生産構造図を描いてみることはオーソドックスなアプローチであるが、これまでの研究の多くは1年生の食用作物か、自然生態系を構成する複数の植物種を対象としたものがほとんどであり、多年生草本植物の群落構造の経年的な変化を追跡した報告は少ない。本研究の結果は、多年生草本植物の群落構造の経年変化を明らかにした一例として、貴重なデータといえる。

群落全体のバイオマス量が増加したときに非同化器官の増加が著しかったことは、すでに結果で記載した。これに対して、同化器官はバイオマス量が増加するとともに、高

さ別の分布が高い方へ移動していたのが特徴的である。苗を定植した1年目は植付け時の1~2本の茎から出発したが、生育調査のところで記載したように、植付け直後から1ヶ月ほどは茎数がほとんど増加せず、その後、出穂期まで徐々に茎数が増加した。これは、生育初期に出現して生育期間が相対的に長い分げつが少なく、生育が進んでから順次出現してくる、生育期間が相対的に短い分げつの割合が多かったことに対応するはずである。すなわち、株を構成している分げつの生育期間には大きな変異が認められ、分げつの生育期間の長短は総葉数の差、すなわち葉面積の大小として現れたと考えられる。定植1年目の群落は葉面積の形成は生育初期から旺盛というわけではなく、順次、出現してくる、生育期間が異なる分げつの総体として葉面積が規定されるため、その高さ別の分布は相対的に低い位置にピークが形成されたと考えられる。定植1年目のバイオマス収量が高くなかったことは、このような分げつ形成の反映として理解できる。

これに対して、定植2年目は、前年度の冬季間に刈り取りを行った株からの再生という形で生育が始まった。再生開始時点で、刈り株にはすでに多くの分げつ芽が形成されていたはずである。そのため、生育調査の結果が示すように、株再生開始後の短期間に多くの茎数が確保され、その後、出穂期まで徐々に増えた。したがって、出穂期における最終的な茎数は定植1年目と2年目でほぼ同じであったが、その発育形態学的な構造は異なっていたと考えられる。すなわち、定植2年目の株を構成する多くの茎は、株の再生開始直後に生育を開始しているため、生育期間が相対的に長いものが多く、そのため茎は太く、長く、着生した葉の数が多いたはずである。草丈は、定植1年目と2年目でほぼ同じような推移を示し、定植2年目は生育期間が長い分、最終的な草丈も長くなった。上記のような茎の構成を持つため、生育期間が相対的に長い茎に多くの葉が着生するだけでなく、その茎も1年目よりも長く、そのため同化器官としての葉身の高さ別分布のピークは、1年目より高い位置に移動していたと理解できる。

これらのことから、収量形成だけでなく、それを支える群落の物質生産の基礎となる群落構造は、群落の構成する個々の株の生育、とくに分げつ構成と密接に関係していることが明らかとなった。これを援用すると、生育初期に早目に多くの茎数を確保し、生育期間の長い分げつの割合をあげることが収量形成に必要と考えられる。ただし、このような分げつ形成に伴って光合成器官の重心の位置が高くなるため、群落内の相対照度は高い位置で減衰することとなり、物質生産にとってマイナスに働く可能性もある。この点については、以下で考察する。

(3) 群落構造の形成過程の解析

本研究では、プラントキャノピーアナライザーで高さ別に葉面積指数を測定して、その差し引きから同化器官の高さ別の分布を構成することを試みた。このような方法で群落の構造を解析した事例がみつからなかったため、方法論についての比較検討ができていないが、今回の試みでは、

プラントキャノピーアナライザーで測定した葉面積指数の測定値が信頼できることを前提としている。この点についての従来の検討結果は、信頼性を支持しているものが多いが^{15,16)}、葉面積の絶対値が小さい場合は誤差が生じることも報告されている^{16,17,18)}。生育の遅い植付け1年目で、プラントキャノピーアナライザーを利用した測定の開始を遅らせている理由は、ここにある。本研究で対象としたエリアンサスの群落では株数も限られているため、随時刈取りを行う破壊的な調査を行うことはできず、データの信頼性の検証は限られている。すなわち、刈取りの直前にプラントキャノピーアナライザーで、定植1年目の群落について葉面積指数を測定するとともに、実際に30cm毎に刈取り、卓上面積計葉面積を実測した。葉面積の絶対値については対応が必ずしもよくなかったが、高さ別の分布の様相は類似した傾向を示した。さらに、定植1年目の出穂期に層別刈取り法を用いて測定した葉の乾物重の高さ別分布の様相とも整合していた。したがって、エリアンサス群落に対してプラントキャノピーアナライザーを記載したような方法で使用して群落構造の形成を議論しても、全体の論旨に特段の問題はないと考えている。この点は今後、測定データを増やして検討していくが、本研究では、群落構造の形成過程に関する貴重なデータであることから、葉面積指数の絶対値ではなく葉面積指数からみた群落構造の形成と、出穂期の生産構造図を結びつけて議論することができるという前提で、若干の考察を試みたい。

本研究では、同化器官および非同化成器官のバイオマス量が増加しながら、とくに同化器官の分布が高い方へ移動することを明らかにできた。それに伴って、群落内の相対照度が大きく減衰する位置が高い方へ移動することも確認できた。定植1年目は測定データが少なく、葉面積の絶対値が小さいので、参考とする場合以外は除外し、定植2年目のデータに基づいて議論を進める。本研究では、葉面積が増加するのに伴って相対照度が50%未満になる位置が高くなることを明らかにした(図6)。定植2年目は定植1年目より収量がかなり多かったが、出穂期における生産構

造図と、その形成過程をみる限り、群落の受光態勢は必ずしもいいものではない可能性がある。

群落としての物質生産は同化器官としての葉面積の絶対値と相対照度との兼ね合いで決まるため、判断基準がないのが現状である。そこで、群落の物質生産能力を検討する一助として、葉面積に相対照度を掛けけたものを高さ別に算出し、群落としての総和(仮に群落物質生産能力指数としておく)の推移をみたところ(図7)、定植1年目には、群落の生育に伴って短期間に、群落物質生産能力指数が増加した。一方、定植2年目には葉面積が著しく増加したにもかかわらず、群落物質生産能力指数の増加は緩やかであった。このことは、葉面積が増加しても群落としての物質生産能力はさほど増加していないことを意味しており、その原因として、群落内における相対照度の減衰の様相が大きく関係している可能性が考えられる。群落として一定の物質生産能力が長期間に渡って維持された結果、群落の収量としては増加したということであろう。上記の考察は群落の部位によって、また、形成時期によって葉面積当たりの光合成速度に有意な差異がないことを仮定するという乱暴なものではあるが、群落の構造と物質生産とを結び付けて議論して課題を抽出する範囲で、ある程度有効なものではないだろうか。破壊的な調査によって群落の物質生産能力を検証するまでの作業仮説としておきたい。

実際、エリアンサス群落の収量形成という観点からみた最適密度は、植付け年次とともに変化することを、すでに報告している¹⁹⁾。すなわち、植付け1年目は低密度(1m×1m)の収量が最高であったのに対し、植付け2年目には中密度(2m×1m)で収量が最高となった。したがって、これらの研究結果を総合すると、多年生作物の栽培システムでは、群落の形成とともに最適栽植密度が変化する可能性があり、生育とともに栽植密度を変えることが有効である可能性がある。すなわち、間引きを適切な年次に行うことで、単位面積当たりの総バイオマス収量の経年変化を含めて最大化できる可能性が大きい。栽植密度が群落として

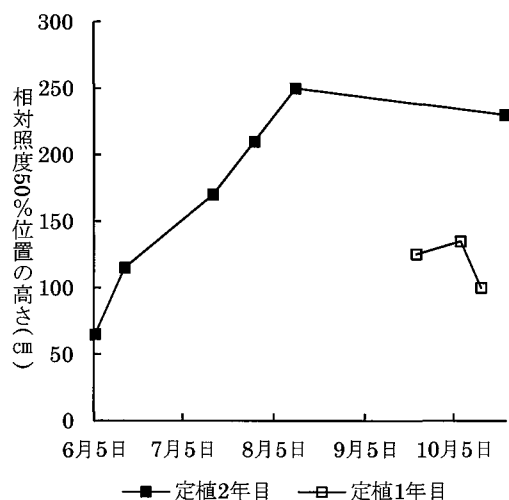


図6 定植1年目および2年目の相対照度50%位置の推移

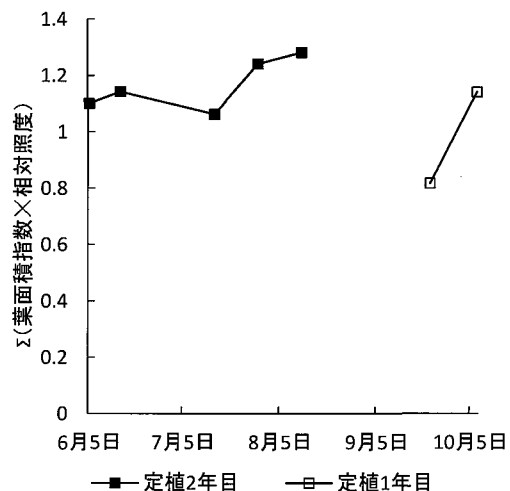


図7 定植1年目および2年目の高さ毎の葉面積指数×相対照度の総和の推移

の収量形成や、窒素利用効率に大きな影響を与えることはすでに報告したところであり¹³⁾、群落の物質生産を考察するうえで重要なポイントとなる。すなわち、多年生草本植物であるエリアンサスを長期に渡って栽培して、その間の合計のバイオマス収量を最大にすることを目指した場合、肥料や機械という形で補助エネルギーを投入することに比較して低投入である間引きという管理作業を導入することで、低投入持続的な多収栽培システムを構築できるのではないか。ここで採用する間引きは、1年生の食用作物を栽培する場合の間引きとは意義がことなるものであり、少なくとも数年の時間スケールで合計のバイオマス収量を考えていくという点も含めて新しい視点を提示できたと考えている。

以上、定植1年目と2年目のエリアンサスの群落構造とその形成過程を生産構造図と生育調査の結果を手がかりにして解析した。その結果、2年目にはバイオマス収量の増加とともに、群落構造が大きく変化することが、形成過程を含めて明らかとなった。その背景には、前年度の刈取り時点で形成されている分けつ芽の数と翌年の生育があると推察される。一方で、群落内の相対照度の減衰も高い方へ移動することから、群落としての物質生産機能をさらに効果的に発揮させるために、栽植密度の調節、すなわち間引きによって栽植密度を下げるのが有効と考えられる。この点は理論的な検討だけでは限界があるので、実際に間引きを行い、群落構造と収量がどのように変化するかを追跡している。いずれにせよ、これまでの1年生食用作物の栽培学とは異なる、多年生草本バイオマス作物の栽培学の確立が必要と考えられる。このような観点から研究を展開することで、エリアンサスの低投入持続的な多収栽培システムを確立し、それを実証したうえで現場に還元したいと考えている。

謝辞：本研究で利用したエリアンサスの苗は、農業研究機構・九州沖縄農業研究センターの我有満氏から分譲して頂いたものである。エリアンサスの栽培管理と収穫にあたっては東京農業大学農学部農学科作物学研究室の学生の協力を得た。

引用文献

- 1) 内藤 勝 (2006) 京都議定書の批准と家庭の二酸化炭素排出の現状と削減対策. 嘉悦大学研究論集. 49 : 1-30.
- 2) BODDIER, D. (2007) Boosting biofuel crops could threaten food security. The Lancet. 370 : 923-924.
- 3) SORDA, G., BANSE, M. and KEMFERT, C. (2010) An overview of biofuel policies across the world. Energy Policy. 38 : 6977-6988.
- 4) HATTORI, T. and MORITA, S. (2010) Energy crops for sustainable bioethanol production ; which, where and how? Plant Production Science. 13 : 221-234.
- 5) 関谷信人・塩津文隆・阿部 淳・森田茂紀 (2015) 原料作物のエリアンサスとネピアグラスの根. 根の研究. 24 : 11-22.
- 6) 森田茂紀・関谷信人・阿部 淳 (2013) セルロース系バイオエタノール原料作物の研究戦略. 日本エネルギー学会誌. 92 : 562-570.
- 7) SEKIYA, N., ABE, J., SHIOTSU, F. and MORITA, S. (2014) Cultivation of *Erianthus* and napier grass at an abandoned mine in Lampung, Indonesia. American Journal of Plant Sciences. 5 : 1711-1720.
- 8) MATSUO, K., CHUENPREECHA, T., MATSUMOTO, N. and PONRAGDEE, W. (2002) Eco-physiological characteristics of *Erianthus* spp. and yielding abilities of three forages under condition of cattle feces application. JIRCAS Working Report. 30 : 187-194.
- 9) SEKIYA, N., HATTORI, T., ABE, J. and MORITA, S. (2014) Distribution and quantity of root systems of field-grown *Erianthus* and napiergrass. American Journal of Plant Sciences. 5 : 1711-1720.
- 10) SHIOTSU, F., ABE, J., DOI, T., GAU, M. and MORITA, S. (2015) Root morphology and anatomy of field-grown *Erianthus arundinaceus*. American Journal of Plant Sciences. 6 : 103-112.
- 11) SEKIYA, N., ABE, J. and MORITA, S. (2016) Production and shedding of *Erianthus arundinaceus* roots revealed by ingrowth core method. Grassland Science. 62 : 61-65.
- 12) SHIOTSU, F., ABE, J., GAU, M. and MORITA, S. (2016) Root-shoot relationships in four strains of field-grown *Erianthus arundinaceus* at seeding stage. Plant Production Science. 19 : 161-164.
- 13) RA, K., SHIOTSU, F., ABE, J. and MORITA, S. (2012) Biomass yield and nitrogen use efficiency of cellulosic energy crops for ethanol production. Biomass and Bioenergy. 37 : 330-334.
- 14) HATTORI, T., SHIOTSU, F., DOI, T. and MORITA, S. (2010) Suppression of tillering in *Erianthus ravennae* (L.) Beauv. due to drought stress at establishment. Plant Production Science. 13 : 252-255.
- 15) 山本晴彦・鈴木義則・早川誠而 (1995) プラントキャノピーアナライザーを用いた作物個体群の葉面積指数の推定. 日本作物学会紀事. 64 : 333-335.
- 16) IWAYA, K., YAMAMOTO, H., HAYAKAWA, S. and KAMICHKA, M. (2004) Estimation of top nitrogen content in rice canopy using optical and nondestructive method. Journal of Agricultural Meteorology. 60 : 87-94.
- 17) 丸山篤志・桑形恒男・大場和彦 (2005) プラントキャノピーアナライザーによる植物面積指数の測定誤差とその葉群傾斜角への依存性. 農業気象. 61 : 229-233.
- 18) 荒井義光・佐藤博志 (1998) プラントキャノピー・アナライザーによる水稻葉面積指数の推定 (1). 東北農業研究. 51 : 61-62.
- 19) 林 智仁・羅海燕・阿部 淳・我有満・上床修弘・森田茂紀 (2012) 異なる栽培密度で植え付けたエネルギー作物エリアンサスの2年目のバイオマス収量および根系形態. 日本作物学会紀事. 81 (別1) : 262-263.

Canopy Structure of *Erianthus* Populations with Reference to Years after Planting

By

Issei KANAI*, Yusuke SHINMURA** and Shigenori MORITA*†

(Received June 9, 2016/Accepted December 2, 2016)

Summary : *Erianthus*, a perennial C₄ grass, has been the focus of attention as cellulosic raw material for bioethanol, because it shows high yield performance and high tolerance to environmental stresses. Canopy structure of *Erianthus*, however, has rarely been studied, though it has a possible relation to high yield potential. We examined canopy structure of one- and two-year *Erianthus* populations at different growth stages using Plant Canopy Analyzer. The result of our investigation is that two-year plant population showed much higher yield comparing with one-year population. At the same time, canopy structure of two populations at heading was different from each other. Biomass of nonphotosynthetic organs was much higher in the two-year population, while its distribution pattern was not different from that in the one-year population. Because mean stem number of each plant is not different between one- and two-year populations, stem in two-year population should be larger, which could contribute to much higher yield performance. Biomass of photosynthetic organs (leaf blade) in the two-year population was larger than that in the one-year. At the same time, vertical distribution of leaf blade biomass has the peak at the higher position in the two-year population. Such canopy structure leads to rapid decrease of intercepted radiation, which suggests light condition in the canopy was not always best for the two-year population. There is a possibility, therefore, that biomass yield of population will be higher with thinning to a lower planting density. The present study figured out canopy structure of *Erianthus* population with different planting year which was effective information to enable the construction of low-input and sustainable cultivation system.

Key words : *Erianthus arundinaceus*, canopy structure, productive structure, leaf area index (LAI), dry-matter production

* Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture

** Graduate school of Tokyo University of Agriculture

† Corresponding author (E-mail : sm205307@nodai.ac.jp)