

間引き年次がエリアンサスの群落構造 および収量に及ぼす影響

金井一成*・森田茂紀**†

(平成 30 年 3 月 28 日受付/平成 30 年 6 月 8 日受理)

要約：石油枯渇や地球温暖化の対策の1つとして、バイオマスエネルギーが注目されている。著者らは食料生産と競合しないセルロース系原料作物として、不良環境下でも高いバイオマス生産性を示すエリアンサス (*Saccharum* spp.) に着目し、群落構造の解析を通して物質生産の改善について検討を行っている。前報では定植1年目と2年目の群落構造を比較検討した結果、群落構造の変化に伴って光環境が悪化している可能性が認められた。そのため、間引きを行うことで群落内の光環境が改善されれば収量の向上に寄与する可能性が考えられる。そこで、本研究では、群落AおよびBを設定し、群落Aは定植2年目の収穫後、群落Bは定植1年目の収穫後に、それぞれ間引き、群落構造および収量に及ぼす影響について解析した。その結果、いずれの群落も間引きによって収量が増加した。また、両群落の定植2年目を比較すると群落Bの方が若干低かったが、定植後3年間の累積収量は群落Bの方が高かった。その要因について解析した結果、定植1年目の収穫後に間引くと2年目の茎数が増加したが、それに伴って3年目の群落の再生を担う分けつ芽も増加したと考えられる。そのため、早期に間引くと、単年度の収量が必ずしも高くなくても、数年に亘る群落の累積収量が多くなると考えられる。出穂期における生産構造図をみると、それぞれ前年よりも群落が大型化しており、高さ毎の同化・非同化器官量が多く、同時に同化器官の乾物重のピークや、重心の高さも高くなり、群落が上部に向かって発達していた。また、群落構造が規定する光環境の変化が物質生産にどのように影響するかを検討するために、群落物質生産指数 (= Σ (葉身乾物重 \times 相対照度)) を算出したところ、間引き年次に関係なく、それぞれ前年より高い値となり、間引きによって、群落の物質生産が改善したことが示唆された。以上のように、多年生作物の収量形成は単年度で検討するだけでは不十分であり、栽培期間の累積収量を増やすという観点から、間引きによって群落内の光環境を改善する栽培管理が必要と考えられる。

キーワード：エリアンサス、群落構造、収量、生産構造図、間引き、物質生産

はじめに

石油枯渇や地球温暖化の対策の1つとして再生可能エネルギーが注目されている¹⁾。バイオマスエネルギーの原料として、食料生産との競合を避けるためにセルロース系のエネルギー作物を利用することが強く求められている^{2,3)}。そこで、著者らはセルロース系エネルギー作物として、不良環境条件でも高いバイオマス生産性を示すことから、イネ科の多年生C₄植物であるエリアンサス (*Saccharum* spp.) に着目し、栽培研究を進めている。

著者らは、エリアンサスの高いバイオマス生産性を理解するために、物質生産を支える群落構造を定植1・2年目のエリアンサス群落について解析した⁴⁾。その結果、定植2年目になると定植1年目より収量は高かったが、群落構造も変化し、群落内部の光環境が定植1年目より悪化していると考えられた。この解析結果を踏まえて、間引きによって収量が向上する可能性について前報で考察したが、検証

は行っていなかった。

本研究では、栽植間隔は同じで、定植後の年数が異なる2つの群落AおよびBを対象とし、群落Aは定植2年目の刈取り後に、群落Bは定植1年目の刈取り後に、それぞれ間引きを行った。これら2つの群落について収量と群落構造を解析することで、年次が異なる間引きの効果について検討した。また、群落AおよびBのいずれも定植後3年間の累積収量を比較することで、エリアンサスの低投入持続的な多収栽培システムの構築を目指した。

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、定植年度の異なるエリアンサス (*Saccharum arundinaceum*, Syn. *Erianthus arundinaceum*) の品種JES1の群落を対象としている。簡単な除草と耕起を行った圃場に、群落Aは2014年6月14日に、また、群落Bは2015年5月26日に、条間1m \times 株間1mの栽植間隔で、いずれ

* 東京農業大学大学院農学研究科農学専攻

** 東京農業大学農学部農学科, 東京大学名誉教授

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

も110株の苗を定植した。基肥も追肥も施用しないで、灌水も行わなかった。

2015年に、群落AおよびBの群落構造の調査を行い⁴⁾、その後、2016年4月16日にそれぞれの群落を間引いて、いずれも条間1m×株間2mとした。群落Aは定植3年目、群落Bは定植2年目および3年目において標準的な生育をしたそれぞれ9株を選定して、生育前期は毎週、生育後期は隔週で、草丈と茎数を記録した。

出穂期に、生育調査を行った株を含め、数株を層別刈取りし、生産構造図⁵⁾を描いた。すなわち、群落A:3年目は2016年11月15日に8株、群落B:2年目は2016年11月2日に8株、群落B:3年目は2017年11月6日に6株の地上部を、いずれも地表面から約20cmの高さで刈取り、高さ20cmごとに切り分け、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)に分け、80℃で重量の減少がゼロとなるまで乾燥させて重さを測定した。また、照度計(HIOKI社LR5041 VOLTAGE LOGGER)を用いて群落内の光合成有効放射量を測定し、高さ別の相対照度を算出した。これらの測定結果を基に、群落内のどの高さにおいても光合成速度は照度に比例すると仮定して、高さごとの同化器官量と、その高さにおける相対照度から群落物質生産指数^{4,6)}、すなわちΣ(同化器官量×相対照度)を算出した。

結 果

(1) 栽植間隔・定植後年数の異なる群落の生育と収量

間引き後の群落のバイオマス収量を調査した結果、群落A:3年目は31.7t/ha、また、群落B:2年目は19.8t/haで、いずれも前年の収量⁴⁾より高かった(表1)。なお、群落B:2年目の収量は群落A:2年目⁴⁾の収量より若干低かったが、株当たりのバイオマス収量は群落A:2年目の2倍近い値であった。また、群落B:3年目の収量は37.5t/haであり、前年より高かった。なお、それぞれの群落の定植後

3年間の収量を合計すると、単年度の収量は低い年もあったが、群落Bの方が高かった(表1)。

それぞれの群落の出穂期における茎数を見ると、群落B:2年目の茎数は、前年よりも多く、群落A:2年目⁴⁾と比較しても多かった(表1)。群落A:3年目の茎数は、前年と同じ程度であった。また、群落B:3年目の茎数は前年と同程度であったが、群落A:3年目より多かった。このように、早い時期に間引きすると、間引きしなかった場合より茎数が多くなった。なお、それぞれの群落の草丈は再生開始時から高くなり、最終的な草丈はいずれも300cmを超えた(表1)。

(2) 栽植間隔・定植後年数の異なる群落の構造

群落A:3年目の生産構造図(図1)を見ると、高さ別の同化器官の乾物重は山型の垂直分布を示し、その最大量は、草丈の中間より上の高さ220~240cmにあった。また、相対照度は群落下層ほど低下し、高さ180cm付近で10%以下になった。

群落B:2年目の生産構造図(図2)を見ると、高さ別の同化器官の乾物重は山型の垂直分布を示し、その最大量は、草丈の中間より下の高さ160~180cmにあった。また、相対照度は群落下層ほど低下し、高さ80cm付近で10%以下になった。群落B:2年目では、群落A:2年目より群落の比較的下層まで光が到達していた。

群落B:3年目の生産構造図(図3)を見ると、高さ別の同化器官の乾物重は山型の垂直分布を示し、その最大量は、高さ240~260cmと140~160cmの2か所にあった。また、相対照度は群落下層に向かうほど低下し、高さ180cm付近で10%以下になった。

いずれの群落においても、非同化器官の乾物重は基本的には最下層で最も多く、高い層ほど少なかった。そこで、それぞれの群落における各器官の空間的分布を定量的に把握するため、重心の高さを算出したところ、各器官および

表1 それぞれの群落の生育と収量および群落構造を示す形質の比較。

	定植1年目	定植2年目	定植3年目	
群落A	収量 [累積収量] (t/ha)	5.6 ⁹⁾ [5.6]	23.5 ⁴⁾ [29.1]	31.7 [60.8]
	茎数 (本/株)	60.0 ⁹⁾	68.1 ⁴⁾	66.8
	草丈 (cm)	251.3 ⁹⁾	359.9 ⁴⁾	358.6
	同化器官の重心の高さ (cm)	-	169.1 ⁴⁾	206.2
	非同化器官の重心の高さ(cm)	-	64.4 ⁴⁾	99.6
	株全体の重心の高さ(cm)	-	105.2 ⁴⁾	147.6
	群落物質生産指数 (g)	-	180.9*	310.5
	栽植間隔 (m × m)	1 × 1 ⁹⁾	1 × 1 ⁴⁾	2 × 1
	群落B	収量 [累積収量] (t/ha)	6.3 ⁴⁾ [6.3]	19.8 [26.1]
茎数 (本/株)		68.7 ⁴⁾	95.3	92.5
草丈 (cm)		222.4 ⁴⁾	326.8	390.1
同化器官の重心の高さ (cm)		93.7 ⁴⁾	161.5	207.0
非同化器官の重心の高さ(cm)		62.9 ⁴⁾	114.6	115.8
株全体の重心の高さ(cm)		78.6 ⁴⁾	136.0	150.9
群落物質生産指数 (g)		86.1*	237.1	428.0
栽植間隔 (m × m)		1 × 1 ⁴⁾	2 × 1	2 × 1

*金井ら (2017) のデータをもとに算出。

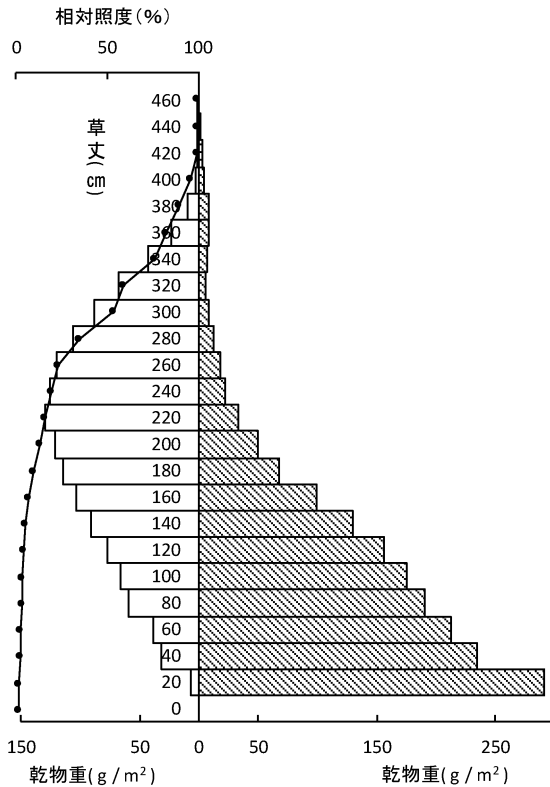


図 1 群落 A : 3 年目の出穂期における生産構造図。
 斜線: 非同化器官, □: 同化器官, ●: 相対照度。

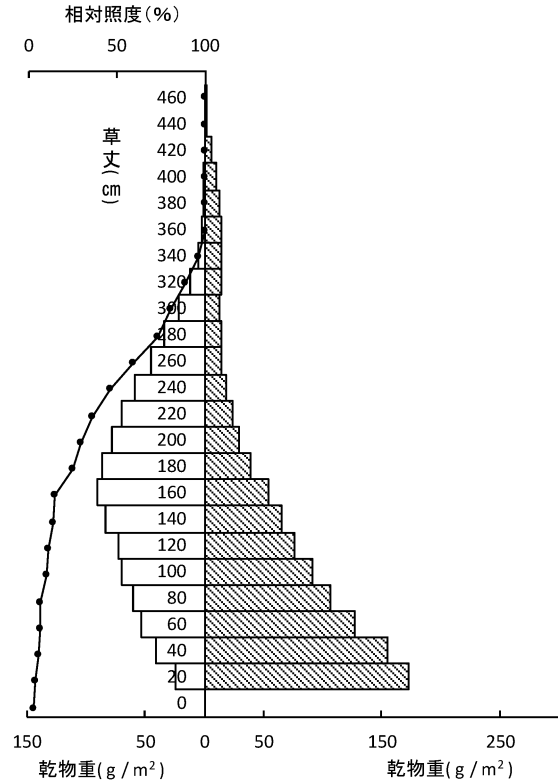


図 2 群落 B : 2 年目の出穂期における生産構造図。
 斜線: 非同化器官, □: 同化器官, ●: 相対照度。

株全体の重心の高さは、定植後年数の経過とともに上層へと移動した (表 1)。

出穂期における群落物質生産指数^{4,6)}を算出したところ、前年よりも高くなった (表 1)。また、それぞれの群落の群落物質生産指数の推移を見ると、群落 B の方が高い値で推移した。

考 察

(1) 間引きが栽培期間の収量および茎数に与える影響

多年生作物であるエリアンサスの群落としての収量が最大となる栽植間隔は、定植後の年数によって変わることを、すなわち、最適な栽植間隔が徐々に大きくなる可能性を報告した^{4,7)}。そのため、複数年に亘る栽培期間中に間引くことで、収量を増やせる可能性がある⁴⁾。ただし、以上の考察は、異なる栽植密度で栽培した場合の収量の経年推移と、同じ栽植密度で栽培した場合の群落構造の経年変化に基づくものである。すなわち、栽培期間中に間引くと収量がどのように推移するかは、まだ検討していなかった。そこで、同じ品種を異なる年度に同じように定植して、同じように栽培した 2 つの群落を同年に間引いて栽培した。すなわち、群落 A では群落内の光環境が悪化した後の定植 2 年目の刈取り後に、群落 B は光環境が悪化する前の定植 1 年目の刈取り後に、それぞれ間引きを行った群落を対象として、その年度だけでなく、栽培期間中の累積収量を最大化するという観点から、検討を行った。

エリアンサスの収量を解析すると、収量が高い場合には非同化器官の割合が高かった。すなわち、栽植密度も無視

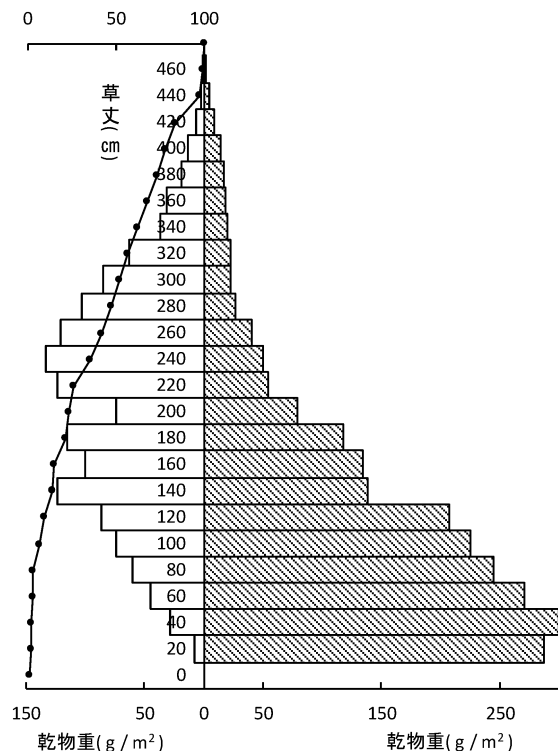


図 3 群落 B : 3 年目の出穂期における生産構造図。
 斜線: 非同化器官, □: 同化器官, ●: 相対照度。

できないが、群落を構成している個々の株の茎数が収量に大きな影響を与える⁸⁾。したがって、収量を増やすためには、茎数の確保が重要である (その他に、個々の茎の太さ

もある)。そこで、異なる時期の間引きの効果について、収量だけでなく、株あたり茎数に着目して検討した。

その結果、間引きを行うと、いずれの群落でも前年より収量が高かった(表1)。なお、間引き年次が早いと、翌年の収量は間引きをしなかった場合より低いが、翌々年(定植3年目)の収量が著しく増加した。そこで、栽培期間中の累積収量を比較すると、群落Bの方が高かった。すなわち、多年生作物の収量は、単年度で検討するだけでは不十分であり、複数年に亘る累積収量という視点から検討する必要がある。

また、それぞれの群落の出穂期における茎数をみると、群落A:3年目は前年の茎数と同程度であったが、群落B:2年目は前年の茎数より多く、その後も多かった。定植1年目から2年目にかけて間引くと、その後の茎数が増えたが、茎の基部側に形成された分げつ芽の数も増加し、それが次年度の株の再生を担う中心となるため、次年度の茎数も多く、それぞれの茎の生育期間も長くなるため、収量も増加したと考えられる。さらに、群落B:3年目の茎数が群落A:3年目より多く、次年度の再生を担う分げつ芽も十分に確保されている可能性が高く、栽培期間の累積収量を最適化できる可能性が高い。

このように、早期に株当たりの茎数を確保すると、単年度でみた場合の収量が必ずしも高くなくても、複数年に亘る栽培期間の収量の合計を最大化できる可能性が高いことが明らかになった。

以上、栽培期間中に間引きを行うことで栽植間隔を変え、単年度の収量が必ずしも高くなくても、栽培期間中の累積収量を最適化するという、これまでの一年生作物にはない視点が提示できた。

(2) 間引きおよびその処理時期が群落構造に与える影響

そこで、収量についてさらに検討を進めるために、間引きによって、物質生産の基盤となる群落構造の変化について解析した。その結果、それぞれの群落は、間引きによって物質生産量が前年よりも多くなるとともに、群落が巨大化したことが明らかになった。また、収量が高くなるにしたがって、前年よりも、高さ毎の各器官量が増加しただけでなく、同化器官量の最大を示す層と、各器官および株全体の重心の高さは前年よりも高くなった。このように、収量が高くなると、各器官の垂直分布量が増加するだけでなく、群落が上部に向かって発達していることが明らかになった。

そこで、群落構造の変化に伴って物質生産にどのように影響するかを検討するために、群落物質生産指数(=Σ(葉身乾物重×相対照度))を算出した。その結果、間引き年次の如何に係らず、前年より高い値となった。そこで、前報⁴⁾で対象とした群落も含め、群落物質生産指数がどのような推移をしたか検討した。その結果、それぞれの群落は定植年数を経るにしたがって、群落物質生産指数も高くなったが、群落Bのほうが高い値で推移した(表1)。以

上のことから、早い時期に間引きを行うことで光環境の悪化を避けることができれば、群落の物質生産に有利な状況を作り出せる可能性が示唆された。

以上、本研究ではエリアンサスの2つの群落AおよびBを異なる年次に間引きを行い、それが収量および群落構造の推移に与える影響について検討した。その結果、群落が大型化する過程で、群落内の光環境が悪化する前(本研究では定植1年目から2年目にかけて)に間引くことで、栽培期間中の累積収量を増やせる場合があることを実証できた。ただ、その間引きの時期が定植1年目から2年目にかけてかどうかは必ずしも明らかではない。どのような栽植密度で定植するかどうかを含めて、遺伝的背景や自然条件で異なる可能性を否定できない。最適栽植密度の検討には、さらに実証データの積み重ねが必要である。いずれにしても、一年生作物の栽培では想定されていない栽植密度の調節がエリアンサスの栽培システムを確立する場合に必要となることは確かである。

謝辞: 本研究で利用したエリアンサスの苗は、すべて農業研究機構・九州沖縄農業研究センター(当時)の我有満氏から分譲して頂いた。エリアンサスの生育調査および群落構造の調査では、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。本研究の一部は、住友財団環境研究助成を受けた。

引用文献

- 1) SHIOTSU F, HATTORI T, MORITA S (2011) Biomass as energy resource. In United Nations University ed. Designing Our Future from Local and Regional Perspective Bioproduction, Ecosystem and Humanity. United Nations University Press, Tokyo, pp. 88-98.
- 2) BOODDIGER D (2007) Boosting biofuel crops could threaten food security. *The Lancet*. **370**: 923-924.
- 3) HATTORI T, MORITA S (2010) Energy crops for sustainable bioethanol production; which, where and how? *Plant Production Science* **13**: 221-234.
- 4) 金井一成, 新村悠典, 森田茂紀 (2017) エネルギー作物エリアンサスの群落構造の解析一定植1・2年目群落の生産構造図の比較一. *東京農業大学農学集報* **62** (1): 13-20.
- 5) MONSI M, SAEKI T (1953) Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany* **14**: 22-52.
- 6) 野本宜夫, 横井洋太 (1981) 植物の物質生産. 東海大学出版会, 東京, pp. 1-32.
- 7) 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** (7): 562-570.
- 8) HATTORI T, SHIOTSU S, DOI T, MORITA S (2010) Suppression of tillering in *Erianthus ravennae* (L.) Beauv. due to drought stress at establishment. *Plant Production Science* **13** (3): 252-255.
- 9) 金井一成, 森田茂紀 (2015) エリアンサスのエネルギー利用システム最適化のための刈取り時期・乾燥時間の検討. *日本作物学会関東支部会報* **30**: 50-51.

Effect of Thinning in Different Years on Yield and Canopy Structure in *Erianthus* Populations

By

Issei KANAI* and Shigenori MORITA**†

(Received March 28, 2018/Accepted June 8, 2018)

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. We examined canopy structure of one- and two-year *Erianthus* populations in the previous report. The result of our investigation showed that two-year population had much higher yield comparing with one-year population. At the same time analysis on the canopy structure of two-year population suggested light condition in the canopy might be worse, though this has not yet been verified. In this study, we examined effect of thinning from 1 m x 1 m to 2 m x 1 m in different years. A-population was thinned after the two-year harvesting, B-population thinned after the one-year harvesting, respectively. As a result, biomass production in the subsequent year was larger by decrease in the planting density by thinning, possibly because of improving light conditions in the canopy. Although the yield in the second year of B-population is less than that of A-population, total yield during the first three years of B-population is much more than that of A-population. Based on the analysis of yield of both populations, yield should depend on the number of tiller buds formed in the previous year and growth period of tillers. In conclusion it is considered better to control planting density to improve the light condition in the canopy to lead to better growth and development of tillers through increasing matter production to get greater total yield during growth period, where the thinning time should be determined depending on growth condition.

Key words : canopy structure, dry-matter production, *Saccharum arundinaceum*, thinning, yield

* Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture

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

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