栽植密度および施肥水準がエリアンサス(Erianthus arundinaceus (L.) Beauv.)の乾物収量に及ぼす影響

誌名	日本草地学会誌
ISSN	04475933
著者名	松波,寿弥 小林,真 安藤,象太郎 寺島,義文 霍田,真一 佐藤,広子
発行元	日本草地学会
巻/号	61巻4号
巻号補足	
掲載ページ	p. 224-233
発行年月	2016年1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

AgriKnowledge

日草誌 61 (4)：224-233 (2016)

栽植密度および施肥水準がエリアンサス (*Erianthus arundinaceus* (L.) Beauv.) の乾物収量に及ぼす影響

松波寿弥[1]*・小林　真・安藤象太郎[2]・寺島義文[3]・霍田真一[2]・佐藤広子

畜産草地研究所那須研究拠点 (329-2793 栃木県那須塩原市千本松 768)
[1] 現在：東北農業研究センター福島研究拠点 (960-2156 福島市荒井字原宿南 50)
[2] 現在：国際農林水産業研究センター熱帯・島嶼研究拠点 (907-0002 沖縄県石垣市真栄里川良原 1091-1)
[3] 国際農林水産業研究センター熱帯・島嶼研究拠点 (907-0002 沖縄県石垣市真栄里川良原 1091-1)
NARO Institute of Livestock and Grassland Science, Nasushiobara, Tochigi 329-2793, Japan
[1] Present address: NARO Tohoku Agricultural Research Center, Fukushima 960-2156, Japan
[2] Present address: Tropical Agriculture Research Front, Japan International Research Center for Agricultural Science, Ishigaki, Okinawa 907-0002, Japan
[3] Tropical Agriculture Research Front, Japan International Research Center for Agricultural Science, Ishigaki, Okinawa 907-0002, Japan

受付日：2014 年 4 月 7 日/受理日：2015 年 7 月 3 日

Synopsis

Hisaya Matsunami, Makoto Kobayashi, Shotaro Ando, Yoshifumi Terajima, Shin-ichi Tsuruta, Hiroko Sato (2016) Effect of Planting Density and Fertilizer Application Level on Dry Matter Yield of *Erianthus arundinaceus* (L.). Jpn J Grassl Sci 61 : 224-233

A field experiment was carried out in Nasushiobara City (Japan) for 4 years to clarify the optimal fertilization and planting density for *Erianthus arundinaceus*, perennial biofuel crop. We established four treatments that combined two planting densities (0.25 and 0.5 hills/m^2) with two fertilizer application levels ($N : P_2O_5 : K_2O = 90 : 90 : 90$ kg/ha/yr [standard rate] and twice the standard rate), and tested their effects on three *Erianthus* lines. Dry matter yields in Year 1 were poor in all lines and all treatments, but thereafter, all lines had good yield (>15 Mg/ha/yr). However, genotypic variation in yield increased over time, with the most productive line yielding 39 Mg/ha/yr in Year 4. Planting density did not affect the dry weight per hill in Year 1 in either fertilization treatment, but in subsequent years, larger dry weights were obtained at lower density, resulting in no significant difference in yield per unit area in Years 3 and 4. Although fertilization increased the nitrogen and potassium concentrations in harvested parts in Year 2 and later at both planting densities, fertilization rate had no significant effect on dry matter yield.

Key words : Dry matter yield, Energy crop, *Erianthus*, Fertilizer application level, Planting density.

緒　　言

近年，非食用のエネルギー作物を原料とするセルロース系バイオエタノールの開発が注目されている。エネルギー作物候補とされる植物の多くは多年生草本である（服部 2008a, 2008b)。多年生草本の利用は，植え付けコストが縮小でき，経年により安定多収が期待できることが大きなメリットである。C_4 植物であるサトウキビ（*Saccharum* spp. hybrid）およびネピアグラス（*Pennisetum purpureum* Schum.）は，熱帯・亜熱帯では極めて高いバイオマス生産性を示すが（Woodard・Prine 2011)，温帯では越冬できない場合が多く，国内における多年的な栽培は限定される。国内で多年的な栽培が可能な草種は，ススキ（*Miscanthus sinensis* Anderss.）およびジャイアントミスカンサス（*Miscanthus*×*giganteus* Greef & Deuter ex Hodkinson and Renvoize）などのミスカンサス属ならびにオーチャードグラス（*Dactylis glomerata* L.）およびペレニアルライグラス（*Lolium perenne* L.）などに限られるが，ミスカンサス属は初期生育が十分でないこと，オーチャードグラスおよびペレニアルライグラスは越夏性が十分でないことが問題である（小林 2009)。

エリアンサス（*Erianthus arundinaceus* (L.) Beauv.）は熱帯・亜熱帯を起源とするイネ科の多年生 C_4 植物であるが，幾つかの系統はネピアグラスおよびサトウキビが越冬できない北関東において越冬性を示すだけでなく，高いバイオマス生産性も示す（Ando ら 2011)。エリアンサスは，熱帯・亜熱帯では通年常緑であるが，温帯では茎葉部が枯死した状態で越冬し，翌春に再生する。リグニンおよびセルロースに富んでいるため，温帯では冬季立毛乾燥が可能である（小林 2008)。低水分原料は運搬および乾燥に要するエネルギーを節約できる。これらのことから，著者らは，温帯における有力なセルロース系バイオエタノール原料候補としてエリアンサスに着目し，持続的な低コスト多収栽培法を構築すること

*連絡著者 (corresponding author)：hisaya@affrc.go.jp
本研究は，(独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業」の一環として行われた。

を目的とした研究開発を進めている（松波ら 2014a, b, c）。温帯では，冬季低温により植物生育が制限されるため，乾物収量は熱帯・亜熱帯に比較すれば劣るが，茎葉部の無機養分が茎葉基部および根部に転流した冬季に収穫を行うことにより（松波ら 2014a），常に青刈りとなる熱帯・亜熱帯での栽培に比べ低い施肥水準で持続的な栽培が可能と考えられる。

乾物収量は，気候条件あるいは土壌肥沃度といった環境条件だけでなく，施肥水準あるいは栽植密度といった栽培条件によっても影響を受ける。トウモロコシ（*Zea mays* L.）など単年生イネ科植物の多収技術の一般的な方向は密植多肥栽培である（安藤ら 1983）。初期生育が劣るとされるエリアンサス栽培において（Matsuo ら 2002；松波ら 2014a），早期多収を可能にするには密植栽培が有効と考えられるが，栽植密度が本草種の乾物収量に及ぼす影響について，長期間調査した報告は見当たらない。また，施肥が乾物収量に及ぼす影響に関する報告も極めて少なく，熱帯・亜熱帯での試験に限定されている。Mislevy ら（1997）は，フロリダにおけるエリアンサスの乾物収量の 4 年間の平均値は，168 kgN/ha/yr の施用量に比べて 336 kgN/ha/yr の施用量で有意に高くなったことを報告している。また，Matsuo ら（2002）は，タイにおいて試験を行い，定植 2 年目の乾物収量は 300 kgN/ha/yr 以上の施肥で有意に増加したと報告している。

本報では，温帯のエリアンサス栽培における最適な栽植密度および肥培管理の条件を明らかにすることを目的として，エリアンサス 3 系統を用いて栽植密度および施肥水準が乾物収量に及ぼす影響を 4 年間調査した結果を報告する。

材料と方法

1. 作物栽培および施肥

試験は畜産草地研究所那須研究拠点（標高 305 m，緯度 36°55'N，経度 139°56'E）で行った。供試圃場の土壌は，表層十数 cm に火山灰層，それより下層に扇状地礫層を有する普通礫質褐色低地土である（倉島ら 1993；農耕地土壌分類委員会 1995）。表 1 に供試した表層土壌の化学性を示したが，有効態リン酸および交換性塩基（K_2O, MgO および CaO）が著しく少なく，通常の作物栽培にあたっては土壌改良が必要な土壌であると考えられる。試験には草型の異なるエリアンサス 3 系統（JW630, NS1 および NS2）を供した。JW630 および NS1 の草型は分げつの茎葉部が横に拡がる開帳型であるのに対し，NS2 は開帳型と直立型の中間の草型である。JW630 は，2009 年 4 月 8 日に定植 7 年目の株を堀上げ株分けした。NS1 および NS2 は，2009 年 3 月 11 日に定植 6 年目の株を堀上げ株分けした。いずれも 5000 分の 1a ポットに移植し，圃場に定植するまで温室内で育苗した。定植は 2009 年 6 月 9 日に行った。本報では，各系統について栽植密度および施肥水準を組み合わせた 4 処理を設けた。栽植密度は，密植（0.5 株 /m^2，畝間：株間＝2×1 m）および疎植（0.25 株 /m^2，畝間：株間＝2×2 m）の 2 段階を設けた（以下，それぞれ密植区および疎植区）。施肥水準は，標準（窒素，リン酸（P_2O_5）およびカリウム（K_2O）をいずれも 90 kg/ha/yr）およびその倍量の 2 段階を設けた（以下，それぞれ標準区および倍量区）。エリアンサスは経年的に株あたりの乾物重が極めて大きくなり，再生株の直径も大きくなるため，畝間および株間を広くとる必要がある。このため，厳密に品種，施肥水準および栽植密度の 3 因子を組み合わせた試験を行うには広大な面積が必要となる。加えて，エリアンサスは飼料作物用ハーベスターによる収穫が困難で収穫に多大な労力を要する。こういったことから，本報では全ての区を 1 畝とし，3 系統を 2 m 間隔で隣接配置し，栽植密度を主区因とした分割区法で試験を行った。栽植密度，施肥水準および系統ごとに設けた 1 調査区の面積（辺縁部のボーダーを含まず）は，密植区では 10 m^2（5 株 / 区），疎植区では 16 m^2（4 株 / 区）とし，いずれも 3 反復とした。施肥は化学肥料（尿素入り高度複合 777，サンアグロ株式会社，東京）を用い，上述の量を 2-3 回に均等に分けて土壌表面に施用した。定植 1 年目の施肥は，2009 年 6 月 10 日（定植時），8 月 4 日および 9 月 7 日に，2 年目の施肥は 2010 年 4 月 14 日，6 月 7 日および 8 月 13 日に，3 年目の施肥は 2011 年 4 月 15 日および 7 月 1 日に，4 年目の施肥は 2012 年 4 月 16 日および 6 月 26 日に行った。

2. 生育調査

出穂後の 11 月下旬から 12 月初旬（2009 年 12 月 1 日，2010 年 11 月 25 日-12 月 1 日，2011 年 12 月 1 日-12 月 2 日および 2012 年 12 月 5 日）に分げつ数および草丈（稈長＋穂長）の調査を行った。分げつ数および草丈の調査は，先述の 5 株あるいは 4 株のうち生育中庸な 2 株を対象とし，これを 1 組として 3 反復で行った。

表 1.　試験開始前の供試土壌の化学性[1].

栽植密度	施肥水準	pH (KCl)	pH (H_2O)	全窒素 (g/kg)	全炭素 (g/kg)	有効態リン酸 (g/kg)	交換性塩基 K_2O (g/kg)	交換性塩基 MgO (g/kg)	交換性塩基 CaO (g/kg)	リン酸吸収係数 (g P_2O_5/kg)	CEC[2] (cmolc/kg)
密植	標準	4.3	5.2	4.1	101.3	0.03	0.14	0.09	0.52	18.0	24.2
	倍量	4.4	5.3	4.2	106.0	0.03	0.09	0.10	0.74	19.0	24.6
疎植	標準	4.3	5.1	3.5	83.0	0.04	0.10	0.07	0.49	16.1	20.1
	倍量	4.4	5.3	3.9	96.0	0.03	0.10	0.11	0.71	18.0	21.8

[1]表層 0-15 cm（n = 3）.
[2]CEC：陽イオン交換容量.

3.　植物体試料採取および分析

厳冬期の2月以降の刈取りは，越冬前11月までの刈取りに比べ圃場からの養分収奪量を減少させるだけでなく，越冬後の再生を良好にする（松波ら 2014a，b）。本報での収穫は3月（2010年3月15日，2011年3月22日-24日，2012年3月12日-13日および2013年3月5日-6日）に行った。刈取高さは地際から30 cmとした。試料採取は，生育調査を行った2株を1組として3反復で行った。収穫物は，生重を計量後，細断し，よく混ぜた細断物の一部を紙袋に入れて70℃で48時間以上通風乾燥し，乾物率を測定した。乾燥試料は，ウイレー型粉砕機で粗粉砕したのち，高速振動ミルを用いて微粉砕した。これを硫酸－過酸化水素法で分解した。分解液中の窒素濃度は蒸留法で，リン濃度はバナドモリブデン酸法で，カリウム濃度は原子吸光光度法で分析した。

4.　統計処理

統計処理には，Excel統計2008（社会情報サービス，東京）を用いた。各因子および交互作用の有意性を分散分析で検定したのち，Tukey-Kramer法により5%水準で有意差の検定を行った。

結　　果

1.　試験期間中の月別の平均気温および降水量

図1に畜産草地研究所の所内気象観測システムで測定した試験期間中の月別の平均気温および降水量を示した。定植1年目から4年目までの各年度（4月から翌年の3月まで）の年平均気温は，それぞれ12.2℃，12.5℃，12.1℃および12.5℃であり，年間降水量は，それぞれ1471 mm，2086 mm，1752 mmおよび1481 mmであった。定植2年目の年間降水量を除きほぼ平年並であった。

2.　株あたり乾物重および面積あたり乾物収量

表2に株あたり乾物重および面積あたり乾物収量を示した。

面積あたり乾物収量は，系統によらず定植1年目では3.8 Mg/ha以下と低かったが，2年目以降には15 Mg/haを超えた。

面積あたり乾物収量は，同一の施肥水準で比較するといずれの系統とも定植2年目までは疎植区に比べ密植区で有意に多い，あるいは多い傾向であったが，疎植区の株あたり乾物重が定植2年目以降に密植区に比べ著しく大きくなったため，3年目以降にはこれら2処理間で有意差が認められなくなった。なお，定植4年目のNS1およびNS2の株あたり乾物重において，栽植密度の異なる2処理間で有意差が認められなかったのは，これら2系統の疎植・倍量区のデータがばらついたためである。

同一の栽植密度で比較するとNS2の疎植区では定植3年目以降に面積あたり乾物収量が標準区に比べ倍量区で多くなる傾向であったが，これを除けば面積あたり乾物収量に対する増肥の影響は明瞭ではなかった。

系統ごとの平均でみると定植1年目までは面積あたり乾物収量に系統間差は認められなかったが，2年目以降にはNS1およびNS2に比べJW630が有意に多くなった。定植4年目の乾物収量は，NS1およびNS2ではそれぞれ26-28 Mg/ha（全ての区の平均値；27 Mg/ha）および20-27 Mg/ha（同左；25 Mg/ha）であったのに対し，JW630では38-41 Mg/ha（同左；39 Mg/ha）に達した。

3.　草丈，1茎重，株あたり分げつ数および面積あたり分げつ密度

表3に草丈，1茎重，株あたり分げつ数および面積あたり分げつ密度を示した。なお，本報における1茎重とは各年度の3月の株あたり乾物重を12月の株あたり分げつ数で除した値である。

栽植密度の影響を同一の施肥水準で比較すると，草丈はいずれの系統でも定植2年目以降には密植区に比べ疎植区で高い傾向であった。また，1茎重は定植2年目までは疎植区に比べ密植区で有意に大きい，あるいは大きい傾向であったが，3年目のNS1の倍量区および4年目のJW630の倍量区を除き3年目以降でこの関係が逆転した。疎植区の株あたり分げ

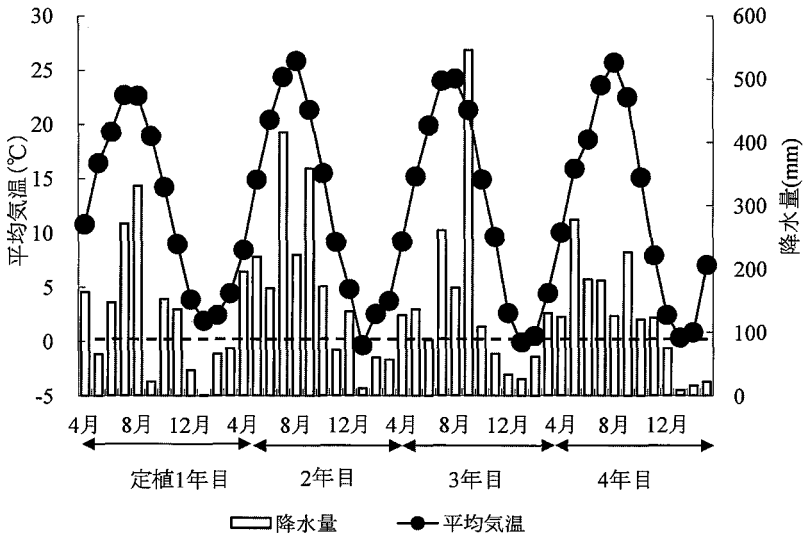

図 1.　試験期間中の月別の平均気温および降水量.

表 2.　株あたり乾物重および面積あたり乾物収量[1].

系統	栽植密度[2]	施肥水準[2]	株あたり乾物重 1年目 (kg/株)	株あたり乾物重 2年目 (kg/株)	株あたり乾物重 3年目 (kg/株)	株あたり乾物重 4年目 (kg/株)	面積あたり乾物収量 1年目 (Mg/ha)	面積あたり乾物収量 2年目 (Mg/ha)	面積あたり乾物収量 3年目 (Mg/ha)	面積あたり乾物収量 4年目 (Mg/ha)
JW630	密植	標準	0.37 a	5.32 a	5.98 b	7.62 b	2.49 ab	26.61 a	29.91 a	38.08 a
		倍量	0.71 a	4.78 a	5.92 b	8.23 b	3.72 a	23.91 a	29.59 a	41.16 a
	疎植	標準	1.02 a	6.41 a	12.6 a	15.95 a	0.92 c	16.01 b	31.53 a	39.87 a
		倍量	0.50 a	6.14 a	13.0 a	15.18 a	1.77 bc	15.36 b	32.61 a	37.94 a
NS1	密植	標準	0.75 a	3.86 b	4.13 b	5.65 a	3.76 a	19.31 ab	20.65 a	28.26 a
		倍量	0.67 a	4.48 b	4.67 b	5.37 a	3.36 a	22.38 a	23.37 a	26.83 a
	疎植	標準	0.47 a	6.06 a	8.36 a	10.41 a	1.18 b	15.14 b	20.91 a	26.02 a
		倍量	0.61 a	6.26 a	8.30 a	10.57 a	1.52 b	15.65 b	20.76 a	26.41 a
NS2	密植	標準	0.76 a	4.10 b	3.60 b	5.13 a	3.78 a	20.52 a	18.02 a	25.67 a
		倍量	0.71 a	3.72 b	4.39 b	5.01 a	3.54 a	18.60 a	21.94 a	25.06 a
	疎植	標準	0.71 a	6.32 a	7.75 ab	8.06 a	1.76 a	15.80 a	19.37 a	20.15 a
		倍量	1.02 a	6.07 a	10.06 a	10.78 a	2.56 a	15.17 a	25.15 a	26.94 a
系統ごと平均	JW630		0.58 B	5.54 A	9.39 A	11.74 A	2.23 A	21.43 A	30.91 A	39.26 A
	NS1		0.63 AB	5.16 A	6.37 B	8.00 B	2.45 A	18.12 B	21.42 B	26.88 B
	NS2		0.80 A	5.05 A	6.45 B	7.25 B	2.91 A	17.52 B	21.12 B	24.45 B
栽植密度ごと平均	密植区		0.69 A	4.38 B	4.78 B	6.17 B	3.44 A	21.89 A	23.91 A	30.84 A
	疎植区		0.65 A	6.20 A	10.02 A	11.82 A	1.62 B	15.50 B	25.06 A	29.55 A
施肥水準ごと平均	標準区		0.59 B	5.28 A	7.07 A	8.80 A	2.31 A	19.07 A	23.40 A	29.67 A
	倍量区		0.74 A	5.19 A	7.73 A	9.19 A	2.74 A	18.69 A	25.57 A	30.72 A

[1]同一年度・同一系統内の異なる小文字アルファベットは5%水準で有意差あり（n = 3）．また，系統ごと平均，栽植密度ごと平均および施肥水準ごと平均の異なる大文字アルファベットは5%水準で有意差あり．
[2]密植区および疎植区の栽植密度は，それぞれ0.5株/m^2（畝間：株間＝2×1m）および0.25株/m^2（畝間：株間＝2×2m）．標準区の施肥量は，N：P_2O_5：K_2O＝90：90：90kg/ha/yr．倍量区の施肥量は標準区の2倍．

つ数は定植2年目以降，密植区に比べ著しく増加し，同一の施肥水準で比較すると疎植区の株あたり分げつ数は密植区の1.5-2.6倍となった。この結果，疎植区の単位面積あたりの分げつ密度は，定植2年目のJW630およびNS2の倍量区を除き，定植2年目以降，密植区と同程度，あるいは密植区に比べてやや少ない水準で推移した。

施肥の影響は，草丈に対しては定植1年目のNS2の疎植区を除き試験期間を通じて認められなかった。1茎重は同一の栽植密度で比較すると定植2年目ではNS1の密植区を除き倍量区に比べ標準区で多くなる傾向であったが，定植2年目を除けば施肥水準が異なる2処理間で有意差は認められなかった。一方，単位面積あたり分げつ密度は，定植4年目のJW630およびNS1の密植区を除くと，定植2年目以降，標準区に比べ倍量区でやや多くなる傾向，あるいは2処理間で同程度であった。

NS1およびNS2の形態的特徴については前報（松波ら2014b）と同様であった。すなわち，NS1は分げつ数が著しく多いが，草丈はやや低く，1茎重が小さい茎数タイプであり，NS2は分げつ数は少ないが1茎重が大きい茎重タイプであった。これらに対し，JW630は分げつ数が多いだけでなく，1茎重も大きいという両タイプの優れた特徴を併せ持っていた。本試験の結果，4年間に渡る長期的な調査においても各系統の特徴が維持されることが示された。

4.　収穫物の無機養分濃度

表4に収穫物の無機養分濃度を示した。系統ごとの平均でみると窒素濃度はいずれの系統でも経年に減少する傾向を示した。リン濃度は定植3年目に著しく減少したが，4年目はやや増加する傾向であった。これに対し，カリウム濃度は経年に増加する傾向であった。

同一の栽植密度で比較すると窒素濃度およびカリウム濃度はいずれの系統とも定植1年目には施肥の影響を受けなかったが，定植4年目のJW630の密植区のカリウム濃度を除き，定植2年目以降には標準区に比べ倍量区で有意に増加，あるいは増加する傾向であった。一方，リン濃度は一定の傾向を示さず，定植2年目あるいは4年目のように施肥水準が異なる2処理間で差が認められた場合でも両処理区の差は窒素濃度およびカリウム濃度に比べ小さかった。

同一の施肥水準で比較すると窒素濃度は定植2年目のNS2

表 3. 草丈，1茎重，株あたり分げつ数および面積あたり分げつ密度[1].

系統	栽植密度[2]	施肥水準[2]	草丈 (cm)				1茎重[3] (g/本)				株あたり分げつ数 (本/株)				単位面積あたり分げつ密度 (本/m²)			
			1年目	2年目	3年目	4年目	1年目	2年目	3年目	4年目	1年目	2年目	3年目	4年目	1年目	2年目	3年目	4年目
JW630	密植	標準	293 a	425 a	431 a	475 ab	7.7 a	43.5 a	46.5 a	51.4 b	68 a	124 b	128 b	147 bc	34 ab	62 a	64 a	74 a
		倍量	293 a	437 a	417 a	472 b	8.9 a	35.3 ab	42.2 a	61.1 ab	84 a	137 b	140 b	135 c	42 a	69 a	70 a	68 a
	疎植	標準	274 a	437 a	437 a	510 a	4.5 a	26.5 ab	47.4 a	69.0 a	78 a	242 ab	265 a	232 ab	19 b	60 a	66 a	58 a
		倍量	280 a	452 a	429 a	501 ab	7.2 a	20.4 b	45.8 a	60.6 ab	97 a	321 a	283 a	252 a	24 b	80 a	71 a	63 a
NS1	密植	標準	267 a	393 a	356 ab	415 a	7.6 a	24.7 a	29.7 a	34.9 a	100 a	157 c	139 b	162 ab	50 a	78 a	69 a	81 a
		倍量	255 a	379 a	331 b	432 a	6.9 a	26.4 a	29.1 a	36.9 a	99 a	171 c	161 b	145 b	50 a	86 a	80 a	73 a
	疎植	標準	246 a	390 a	363 a	467 a	4.4 b	22.9 a	32.7 a	43.2 a	108 a	265 b	257 a	242 a	27 a	66 a	64 a	60 a
		倍量	243 a	410 a	382 a	460 a	4.7 b	19.1 b	28.8 a	41.6 a	128 a	327 a	287 a	245 a	32 a	82 a	72 a	61 a
NS2	密植	標準	328 a	449 a	393 a	459 a	10.7 a	49.1 a	41.6 a	58.5 a	70 a	84 b	87 b	87 b	35 a	42 a	44 a	44 a
		倍量	324 a	439 a	406 a	460 a	11.0 a	43.2 a	43.7 a	52.7 a	65 a	86 b	98 b	93 ab	32 ab	43 a	49 a	47 a
	疎植	標準	295 b	459 a	412 a	506 a	9.1 a	41.3 a	52.8 a	62.9 a	77 a	154 b	147 b	129 ab	19 b	38 a	37 a	32 a
		倍量	331 a	463 a	416 a	496 a	10.7 a	27.7 b	48.3 a	63.7 a	95 a	225 a	206 a	166 a	24 ab	56 a	51 a	41 a
系統ごと平均	JW630		285 B	436 A	429 A	489 A	7.1 B	33.0 A	45.5 A	60.5 A	82 B	203 AB	204 A	191 A	30 B	67 B	68 A	65 A
	NS1		253 C	393 B	358 C	443 B	5.9 B	23.3 B	30.1 B	39.2 B	109 A	230 A	211 A	198 A	40 A	78 A	71 A	69 A
	NS2		319 A	452 A	407 B	480 A	10.4 A	40.3 A	46.6 A	59.5 A	76 B	137 B	134 B	119 B	28 B	45 C	45 B	41 B
栽植密度ごと平均	密植区		293 A	420 B	389 B	452 B	8.8 A	37.0 A	38.8 B	49.3 B	81 B	126 B	125 B	128 B	40 A	63 A	63 A	64 A
	疎植区		278 B	434 A	406 A	490 A	6.8 B	26.7 B	42.6 A	56.8 A	97 A	252 A	241 A	211 A	24 B	63 A	60 A	53 B
施肥水準ごと平均	標準区		284 A	425 A	399 A	472 A	7.3 A	35.1 A	41.8 A	53.3 A	83 A	167 B	170 B	166 A	31 A	58 B	57 B	58 A
	倍量区		288 A	429 A	397 A	470 A	8.2 A	29.2 B	39.7 A	52.8 A	95 A	205 A	196 A	173 A	34 A	69 A	66 A	59 A

[1] 同一年度・同一系統内の異なる小文字アルファベットは5%水準で有意差あり（n = 3）．また，系統ごと平均，栽植密度ごと平均および施肥水準ごと平均の異なる大文字アルファベットは5%水準で有意差あり．

[2] 密植区および疎植区の栽植密度は，それぞれ0.5株/m²（畝間：株間＝2×1m）および0.25株/m²（畝間：株間＝2×2m）．標準区の施肥量は，N：P_2O_5：K_2O＝90：90：90 kg/ha/yr．倍量区の施肥量は標準区の2倍．

[3] 1茎重＝各年度の3月の株あたり乾物重/12月の分げつ数．

の倍量区を除き2年目以降に疎植区に比べ密植区で有意に高まる，あるいは高まる傾向であった。リン濃度は定植4年目に疎植区に比べ密植区で高まる傾向が認められたが，それを除けば栽植密度が異なる2処理間で同程度であった。一方，倍量区のカリウム濃度は，定植4年目のNS1を除き定植2年目以降に密植区に比べ疎植区で高まる傾向であったが，標準区では一定の傾向が認められなかった。

系統ごとの平均でみるとNS1の窒素濃度は定植2年目以降，JW630およびNS2に比べやや高く推移したが，カリウム濃度およびリン濃度についてはNS1が他の2系統と同程度あるいはやや低くなる傾向を示した。

5. 圃場からの養分収奪量

表5に圃場からの養分収奪量を示した。系統ごとの平均でみると窒素およびカリウムの収奪量は経年に増加したのに対し，リンの収奪量は定植3年目以降に収穫物のリン濃度が著しく減少したことを反映して2年目が最も多くなった（表4および5）。

同一の栽植密度で比較すると，窒素およびカリウムの収奪量は，定植2年目のJW630およびNS2の密植区の窒素収奪量を除き，定植2年目以降に標準区に比べ倍量区で多くなる傾向であった。一方，リンの収奪量には一定の傾向が認められなかった。窒素，リンおよびカリウムの収奪量は同一の施肥水準で比較するといずれも定植2年目までは疎植区に比べ密植区で有意に多い，あるいは多い傾向であったが，3年目以降は栽植密度が異なる2処理間で差が認められなくなった。

系統ごとの平均でみると定植2年目以降のJW630の窒素，カリウムおよびリンの収奪量は，株あたり乾物重および面積あたり乾物収量が大きかったことを反映して（表2），NS1およびNS2に比べ有意に多い，あるいは多い傾向であった。

標準区の窒素およびカリウムの収奪量は，系統によらず定植2年目以降には施肥量（窒素およびカリウムでそれぞれ90 kg/ha/yrおよび75 kg/ha/yr。いずれも元素あたり）に比べ多くなり，3年目以降には倍量区でも収奪量が施肥量と拮抗するか，あるいは収奪量が施肥量に比べ多くなった。こ

表 4.　収穫物の無機養分濃度[1].

系統	栽植密度[2]	施肥水準[2]	N 1年目	N 2年目	N 3年目	N 4年目	P 1年目	P 2年目	P 3年目	P 4年目	K 1年目	K 2年目	K 3年目	K 4年目
			(mg/g)				(mg/g)				(mg/g)			
JW630	密植	標準	9.74 a	6.59 a	5.40 bc	5.56 a	1.18 a	1.10 a	0.46 a	0.61 a	3.62 a	5.26 ab	4.30 a	6.46 b
		倍量	9.14 a	7.18 a	7.10 a	6.17 a	1.34 a	1.08 a	0.51 a	0.55 b	3.85 a	6.14 a	6.12 a	6.19 b
	疎植	標準	10.84 a	5.62 a	5.12 c	4.54 b	1.23 a	1.06 a	0.50 a	0.52 bc	3.02 a	4.68 b	5.51 a	5.72 b
		倍量	9.69 a	7.06 a	6.44 ab	5.88 a	1.24 a	1.09 a	0.48 a	0.49 c	3.62 a	6.35 a	6.95 a	8.05 a
NS1	密植	標準	9.04 a	6.85 a	6.60 bc	6.05 ab	1.09 a	1.04 ab	0.46 a	0.57 a	3.54 a	4.35 a	4.74 a	5.86 b
		倍量	8.92 a	7.53 a	7.89 a	6.47 a	1.10 a	1.24 a	0.49 a	0.49 b	3.50 a	4.82 a	5.12 a	7.68 a
	疎植	標準	10.00 a	6.75 a	5.80 c	5.32 b	1.17 a	1.04 b	0.45 a	0.49 b	2.75 a	4.03 a	4.04 a	5.22 b
		倍量	9.74 a	7.43 a	7.36 ab	6.03 ab	1.11 a	1.03 b	0.47 a	0.46 b	2.75 a	5.37 a	6.67 a	7.32 a
NS2	密植	標準	9.00 a	6.05 b	5.88 b	5.47 b	1.21 a	1.01 a	0.48 a	0.59 a	4.28 a	4.18 c	5.10 a	5.75 b
		倍量	8.98 a	6.72 ab	7.49 a	6.48 a	1.23 a	1.05 a	0.51 a	0.56 a	4.11 a	5.46 ab	5.57 a	7.80 a
	疎植	標準	9.44 a	5.99 b	5.49 b	5.41 b	1.33 a	1.04 a	0.48 a	0.57 a	3.65 a	4.34 bc	5.29 a	5.79 b
		倍量	8.99 a	7.52 a	7.06 a	6.39 a	1.28 a	1.13 a	0.50 a	0.56 a	4.31 a	5.76 a	5.88 a	8.16 a
系統ごと平均	JW630		9.85 A	6.67 AB	6.01 C	5.54 B	1.25 A	1.08 A	0.49 A	0.54 B	3.53 B	5.63 A	5.72 A	6.61 A
	NS1		9.42 A	7.14 A	6.91 A	5.97 A	1.12 B	1.09 A	0.47 A	0.50 C	3.13 B	4.64 B	5.14 A	6.52 A
	NS2		9.10 A	6.57 B	6.48 B	5.94 A	1.26 A	1.06 A	0.49 A	0.57 A	4.09 A	4.94 AB	5.46 A	6.88 A
栽植密度ごと平均	密植区		9.14 B	6.82 A	6.73 A	6.03 A	1.19 A	1.08 A	0.49 A	0.56 A	3.82 A	5.04 A	5.16 A	6.62 A
	疎植区		9.78 A	6.78 A	6.21 B	5.60 B	1.23 A	1.06 A	0.48 A	0.52 B	3.35 B	5.04 A	5.72 A	6.71 A
施肥水準ごと平均	標準		9.68 A	6.35 B	5.71 B	5.39 B	1.20 A	1.05 B	0.47 A	0.56 A	3.48 A	4.46 B	4.83 B	5.80 B
	倍量		9.24 A	7.25 A	7.22 A	6.24 A	1.22 A	1.10 A	0.49 A	0.52 B	3.69 A	5.61 A	6.05 A	7.53 A

[1] 同一年度・同一系統内の異なる小文字アルファベットは5%水準で有意差あり（n = 3）．また，系統ごと平均，栽植密度ごと平均および施肥水準ごと平均の異なる大文字アルファベットは5%水準で有意差あり．
[2] 密植区および疎植区の栽植密度は，それぞれ0.5株/m^2（畝間：株間＝2×1 m）および0.25株/m^2（畝間：株間＝2×2 m）．標準区の施肥量は，N：P_2O_5：K_2O＝90：90：90 kg/ha/yr．倍量区の施肥量は標準区の2倍．

れに対し，リンの収奪量は系統，処理および年次によらず標準の施肥量（リンとして39 kg/ha/yr）よりも著しく少なかった。

図2に窒素およびカリウムについて乾物収量と養分収奪量との関係を示した。なお，この図でのカリウムはK_2O換算値とした。窒素およびカリウムの収奪量は定植後年数，系統および施肥水準によらず乾物収量と高い相関関係（$r^2 > 0.91$）を示した。図には示さなかったが，リン（P_2O_5）でも収奪量（y）と乾物収量（x）の間には高い正の相関関係が認められた。しかしながら，リンの収奪量は窒素およびカリウムの場合とは異なり，定植2年目までと3年目以降では回帰式が異なった（定植2年目まで，および3年目以降でそれぞれ$y = 2.45x + 0.59$および$y = 1.34x - 4.39$。いずれも$r^2 > 0.91$）。

考　　察

エリアンサスは，熱帯・亜熱帯を起源とする植物であり，温帯での面積あたり乾物収量に関するデータはほとんどない。定植1年目のエリアンサスの乾物収量は系統によらず極めて少なく（表2），収穫には適さないと考えられた。一方，2年目以降は，茎葉部枯死にともなう折損・飛散による乾物損失が生じる冬季収穫（松波ら2014a）にもかかわらず，いずれの系統とも乾物収量が15 Mg/haを超えた（表2）。定植2年目以降のエリアンサスの乾物収量は本試験地におけるデントコーンあるいはソルガムの標準的なホールクロップ乾物収量（20–25 Mg/ha）と同程度あるいはそれ以上であり，ヨーロッパおよびアメリカで調査されたジャイアントミスカンサスあるいはスイッチグラス（*Panicum virgatum* L.）など他のエネルギー作物候補の既報値（Lewandoski ら 2003）に比べても高い部類に属する。このように，エリアンサスの乾物収量は，定植2年目以降に資源作物として実用上利用可能となるレベルに達した。

エリアンサスの面積あたり乾物収量はいずれの系統とも定植2年目までは疎植区に比べ密植区で有意に多い，あるいは多い傾向であったが，3年目以降には栽植密度が異なる2処理間で有意差が認められなくなった（表2）。定植2年目以降の疎植区の面積あたり乾物収量の著しい増加は，定植2年

表 5.　圃場からの養分収奪量[1].

系統	栽植密度[2]	施肥水準[2]	N 1年目	N 2年目	N 3年目	N 4年目	P 1年目	P 2年目	P 3年目	P 4年目	K 1年目	K 2年目	K 3年目	K 4年目
			(kg/ha)				(kg/ha)				(kg/ha)			
JW630	密植	標準	24.0 ^{ab}	175.2 ^{a}	160.2 ^{a}	212.5 ^{a}	2.9 ^{b}	29.2 ^{a}	13.7 ^{a}	23.3 ^{a}	8.9 ^{ab}	139.4 ^{ab}	132.5 ^{a}	246.6 ^{a}
		倍量	33.9 ^{a}	171.9 ^{a}	210.3 ^{a}	253.1 ^{a}	5.0 ^{a}	25.7 ^{a}	15.3 ^{a}	22.6 ^{a}	14.2 ^{a}	147.0 ^{a}	181.1 ^{a}	254.8 ^{a}
	疎植	標準	9.6 ^{c}	90.3 ^{b}	162.0 ^{a}	180.4 ^{a}	1.1 ^{b}	16.9 ^{b}	15.9 ^{a}	20.9 ^{a}	2.9 ^{c}	74.9 ^{c}	178.0 ^{a}	229.0 ^{a}
		倍量	17.1 ^{bc}	107.6 ^{b}	212.8 ^{a}	222.6 ^{a}	2.2 ^{b}	16.6 ^{b}	15.7 ^{a}	18.7 ^{a}	6.6 ^{bc}	97.1 ^{bc}	224.1 ^{a}	306.5 ^{a}
NS1	密植	標準	33.8 ^{a}	131.5 ^{b}	135.9 ^{a}	171.5 ^{a}	4.1 ^{a}	20.0 ^{b}	9.6 ^{a}	16.0 ^{a}	13.3 ^{a}	83.4 ^{ab}	97.1 ^{a}	164.7 ^{a}
		倍量	30.7 ^{ab}	166.6 ^{a}	184.2 ^{a}	173.6 ^{a}	3.8 ^{ab}	27.5 ^{a}	11.4 ^{a}	13.3 ^{a}	11.9 ^{a}	106.4 ^{a}	118.6 ^{a}	205.0 ^{a}
	疎植	標準	11.7 ^{c}	102.4 ^{c}	121.2 ^{a}	138.5 ^{a}	1.4 ^{c}	15.7 ^{b}	9.5 ^{a}	12.7 ^{a}	3.3 ^{b}	61.1 ^{b}	84.0 ^{a}	136.0 ^{a}
		倍量	14.8 ^{bc}	116.2 ^{bc}	154.1 ^{a}	156.7 ^{a}	1.7 ^{bc}	16.2 ^{b}	9.8 ^{a}	12.1 ^{a}	4.3 ^{b}	84.2 ^{ab}	140.5 ^{a}	191.8 ^{a}
NS2	密植	標準	33.5 ^{a}	124.4 ^{a}	105.8 ^{a}	140.2 ^{a}	4.6 ^{a}	20.7 ^{a}	8.6 ^{a}	15.1 ^{a}	16.7 ^{a}	86.2 ^{a}	91.6 ^{a}	145.8 ^{a}
		倍量	31.6 ^{a}	124.5 ^{a}	162.2 ^{a}	161.0 ^{a}	4.3 ^{a}	19.4 ^{a}	11.1 ^{a}	14.1 ^{a}	14.5 ^{a}	100.3 ^{a}	118.3 ^{a}	195.1 ^{a}
	疎植	標準	16.8 ^{a}	94.2 ^{a}	106.2 ^{a}	109.2 ^{a}	2.3 ^{a}	16.5 ^{a}	9.4 ^{a}	11.5 ^{a}	6.4 ^{a}	68.2 ^{a}	103.4 ^{a}	116.6 ^{a}
		倍量	22.9 ^{a}	114.0 ^{a}	174.9 ^{a}	171.8 ^{a}	3.3 ^{a}	17.1 ^{a}	12.3 ^{a}	14.9 ^{a}	11.1 ^{a}	87.4 ^{a}	151.2 ^{a}	217.5 ^{a}
系統ごと平均	JW630		21.2 ^{A}	143.7 ^{A}	186.3 ^{A}	217.1 ^{A}	2.8 ^{A}	23.2 ^{A}	15.1 ^{A}	21.4 ^{A}	8.2 ^{B}	120.3 ^{A}	178.9 ^{A}	259.2 ^{A}
	NS1		22.8 ^{A}	129.2 ^{AB}	148.9 ^{AB}	160.1 ^{B}	2.7 ^{A}	19.9 ^{B}	10.1 ^{B}	13.5 ^{B}	8.2 ^{B}	83.8 ^{B}	110.1 ^{B}	174.4 ^{B}
	NS2		26.2 ^{A}	114.3 ^{A}	137.3 ^{B}	145.6 ^{B}	3.6 ^{A}	18.4 ^{B}	10.3 ^{B}	13.9 ^{B}	12.2 ^{A}	85.5 ^{B}	116.1 ^{B}	168.7 ^{B}
栽植密度ごと平均	密植区		31.3 ^{A}	149.0 ^{A}	159.8 ^{A}	185.3 ^{A}	4.1 ^{A}	23.8 ^{A}	11.6 ^{A}	17.4 ^{A}	13.3 ^{A}	110.4 ^{A}	123.2 ^{A}	202.0 ^{A}
	疎植区		15.5 ^{B}	104.7 ^{B}	155.2 ^{A}	163.2 ^{A}	2.0 ^{B}	16.5 ^{B}	12.1 ^{A}	15.1 ^{A}	5.8 ^{B}	77.9 ^{B}	146.9 ^{A}	199.6 ^{A}
施肥水準ごと平均	標準		21.6 ^{A}	121.4 ^{B}	131.9 ^{B}	158.7 ^{B}	2.7 ^{A}	20.0 ^{A}	11.1 ^{A}	16.6 ^{A}	8.6 ^{A}	86.2 ^{B}	114.4 ^{B}	173.1 ^{B}
	倍量		25.2 ^{A}	135.0 ^{A}	183.1 ^{A}	189.8 ^{A}	3.4 ^{A}	20.7 ^{A}	12.6 ^{A}	16.0 ^{A}	10.4 ^{A}	104.1 ^{A}	155.6 ^{A}	228.5 ^{A}

[1]同一年度・同一系統内の異なる小文字アルファベットは5%水準で有意差あり（n = 3）．また，系統ごと平均，栽植密度ごと平均および施肥水準ごと平均の異なる大文字アルファベットは5%水準で有意差あり．

[2]標準区の施肥量は，N：P_2O_5：K_2O＝90：90：90 kg/ha/yr（元素あたりでは，それぞれ90，39および75 kg/ha/yr）．倍量区の施肥量は標準区の2倍．密植区および疎植区の栽植密度は，それぞれ0.5株/m^2（畝間：株間＝2×1 m）および0.25株/m^2（畝間：株間＝2×2 m）．

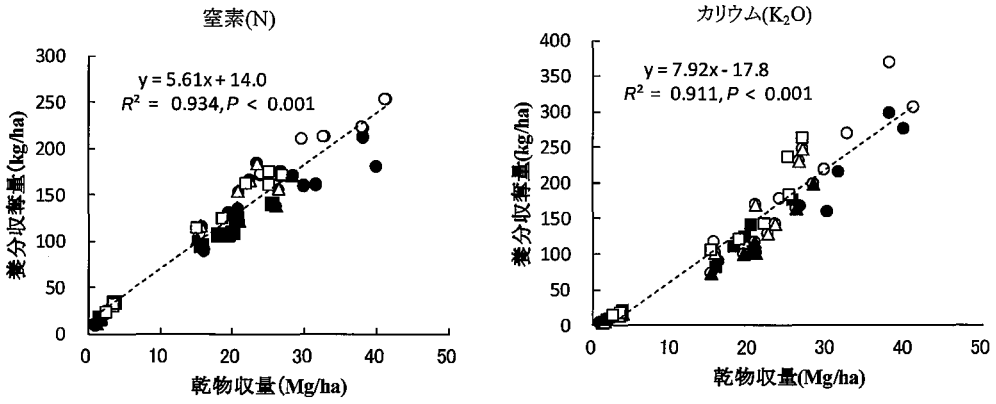

図 2.　乾物収量と養分収奪量との関係．左図：窒素，右図：カリウム．系統：JW630（●，○），NS1（▲，△），NS2（■，□）．施肥水準：標準区（●，▲，■），倍量区（○，△，□）．

目以降に疎植区の分げつ数が著しく増加し，面積あたり分げつ密度が密植区と大差なくなったことに加え，3年目以降に疎植区の1茎重が密植区に比べ著しく増加したことによる（表3）。林ら（2012）は，異なる栽植密度で植え付けた定植2年目のエリアンサスについて，株あたり乾物重は栽植密度が低くなるほど増加すること，および面積あたり収量は中密度区が最も多く，次いで高密度区，低密度区の順であったことを報告している。林ら（2012）の中密度区および低密度区

の栽植密度は，本報のそれぞれ密植区および疎植区と同じである。本報および林ら（2012）の結果を考え合わせると本報より栽植密度を高めることによって3年目以降の面積あたり乾物収量が増加するとは考えにくく，温帯におけるエリアンサス栽培の最適な栽植密度は，本報の設定範囲，すなわち，0.25-0.5株/m^2が妥当と考えられた。これはデントコーン(6.0-7.5株/m^2（栃木県農務部経営技術課2002)）およびジャイアントミスカンサス（1.0-4.0株/m^2（Lewandoskiら2000)）の一般的な栽植密度に比べ著しく小さい。エリアンサスは多数の分げつの結合体であり，本報で用いた系統の草型は開帳型あるいは開帳型と直立型の中間である。エリアンサス栽培において面積あたりの乾物収量をさらに増加させるには，草型を直立型へ改良し，密植栽培を可能にすることが有効と考えられる。直立型への改変は，機械収穫の効率を向上させるためにも望ましい形質であろう。

本報では標準（N：P_2O_5：K_2O＝90：90：90 kg/ha/yr）およびその倍量の2施肥水準を設けたが，増肥は収穫物中の窒素およびカリウムの濃度を高めたものの，乾物収量を有意に増加させることはなかった(表2および4)。Mislevyら(1997)は，フロリダにおけるエリアンサスの乾物収量の4年間の平均値は，施用量が168 kgN/ha/yrの場合に比べ336 kgN/ha/yrの場合の方が有意に多かったと報告している。また，タイで行われた試験では，定植2年目のエリアンサスはネピアグラスと同程度の高い乾物生産性を示し，ネピアグラスと同様に300 kgN/ha/yr以上の施肥水準で乾物収量は有意に増加した（Matsuoら2002)。ネピアグラスは施肥反応性が大きく（Hoshinoら1979；宮城1981)，少なくとも600 kgN/ha/yrの施肥水準まで乾物収量は増加する（宮城1981)。本報で設定した施肥水準より増肥すれば，温帯においてもエリアンサスの乾物収量が更に増加する可能性はあるが，Mislevyら（1997）およびMatsuoら（2002）のいずれの報告でも増肥による乾物収量の増加率は施肥量の増加率に比べ著しく小さい。乾物収量増加の観点だけで過剰な施肥を行うと栽培コストが高くなるばかりでなく，環境負荷増大も懸念される。

ミスカンサス属あるいはスイッチグラスなどエネルギー作物の有力候補とされる多年生イネ科植物の多くは低投入で高いバイオマス生産性を示すとされる（Schwarzら1994；Landstromら1996；Himkenら1997；Danalatosら2007；Christianら2008)。本報で供試した土壌は，特に肥沃度が高いとはいえないにもかかわらず（表1)，エリアンサスはいずれの系統とも低い施肥水準で高いバイオマス生産性を示した（表2)。温帯においてエリアンサスが低投入で高いバイオマス生産性を示すのは，深根性で根域が広いこと(Matsuoら2002；Shiotsuら2011)，および冬季に茎葉下部および根部に貯蔵された無機養分を翌春の再生に利用する機構が備わっていること（松波ら2014a）など施肥以外の給源から養分を獲得する能力が高いためと考えられる。窒素濃度およびリン濃度が経年に，あるいは定植3年目に著しく減少したのに対し，カリウム濃度は経年に増加する傾向を示した(表4)。これはカリウムが土壌鉱物から多く供給されるのに対し，窒素およびリンは天然供給量が少ないことを反映した結果と考えられた。

本報のように秋季収穫に比べ圃場からの養分収奪量が少なくなる冬季収穫（松波ら2014a）であっても，定植2年目以降の全ての系統の標準区および3年目以降のJW630の倍量区では，窒素およびカリウムの収奪量が施肥量に比べ多くなり，これらの区では明らかに収奪的な栽培となっていた（表5)。表4に示した定植2年目以降の収穫物の窒素濃度およびカリウム濃度は，系統および施肥水準によらず冬季刈取りのジャイアントミスカンサスの既報値（Lewandoskiら2000）とほぼ同程度であり，単位収量あたりの養分収奪量はエリアンサスで特に高いとはいえない。また，収奪量が施肥量よりも多くなる事例は，本報のみならずジャイアントミスカンサスあるいはスイッチグラスなど他のエネルギー作物候補でも報告されている（Ercoliら1999；Reynoldsら2000)。収奪量が施肥量を上回る状況が続けば，経年的に土壌肥沃度が低下し，いずれ多収栽培の永続性が損なわれることも危惧される。窒素およびカリウムの収奪量は乾物収量に強く依存するため（図2)，施肥量は乾物収量に応じて，すなわち，経年に，また，乾物収量が大きい系統ほどより多くする必要があると考えられる。図2に示した窒素およびカリウムの収奪量相当が永続的な多収栽培を行うために求められる最低限の施肥量となろう。本報よりも多い施肥水準における収量性，成長特性あるいは養分収支などについては本報の結果と異なる可能性もある。エリアンサスにおける施肥基準を策定するためには今後これらについて明らかにしていく必要があろう。

エリアンサスの面積あたり乾物収量には明瞭な系統間差が認められ，定植3年目以降はNS1およびNS2に比べJW630が有意に多くなった（表2)。定植4年目のJW630の乾物収量は38-41 Mg/haであり，NS1およびNS2の乾物収量（20-28 Mg/ha）に比べ著しく多くなった（表2)。ヨーロッパおよびアメリカで調査されたエリアンサス以外のエネルギー作物候補の中で面積あたり乾物収量が40 Mg/haに達した例は，わずかに灌水条件下のジャイアントミスカンサスおよびダンチク（*Arundo donax* L.）で報告があるのみである（Lewandoskiら2003)。JW630の定植4年目の乾物収量は，Mislevyら（1997）のフロリダにおけるエリアンサスの4年間の平均乾物収量（47-52 Mg/ha）に比べると少ないが，Terajimaら（2007）の種子島における定植3年目のエリアンサスの乾物収量(42 Mg/ha)とほぼ同程度であった。Tsurutaら(2012)は，Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP)マーカーによる系統解析の結果，エリアンサスを3つのグループに分類している。本報で供試した3系統はいずれも遺伝的に近縁なグループに属するが，収量構成要素である草丈，分げつ数および1茎重については栽培条件によらない系統固有の特徴が認められた。JW630およびNS1は，いずれも分げつ数が多いことで特徴づけられるが，NS1はJW630に比べ草丈が低く，1茎重が著しく小さい（表3)。一方，NS2の1茎重はJW630と同程度であるが，分げつ数はJW630およびNS1に比べ著しく少ない（表3)。JW630が高いバイオマス生産性を示すのは，分げつ数が多いことに加え，1茎重も大

きいという形態的特徴によっていた。

謝　辞

本研究を遂行するにあたり，畜産草地研究所業務第3科第1支援チームの職員の方々および契約職員　印南美歩氏にご協力頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

引 用 文 献

Ando S, Sugiura M, Yamada T, Katsuta M, Ishikawa S, Terajima Y, Sugimoto A, Matsuoka M (2011) Overwintering ability and dry matter production of sugarcane hybrids and relatives in the Kanto region of Japan. JARQ 45 : 259-267

安藤忠男・河野憲治・赤木英二・緒方昭逸（1983）ソルガムの物質生産過程に及ぼす栽植密度と窒素施与量の影響（その1）．土肥誌 54：467-472

Christian DG, Riche AB, Yates NE (2008) Growth, yield and mineral content of *Miscanthus*×*giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests. Industrial Crops and Products 28 : 320-327

Danalatos NG, Archontoulis SV, Mitsis I (2007) Potential growth and biomass productivity of *Miscanthus*×*giganteus* as affected by plant density and N-fertilization in central Greece. Biomass and Bioenergy 31 : 145-152

Ercoli L, Mariotti M, Mansoni A, Bonari E (1999) Effect of irrigation and nitrogen fertilization on biomass yield and efficiency of energy use in crop production of *Miscanthus*. Field Crops Research 63 : 3-11

服部太一朗（2008a）セルロース系バイオエタノールと原料植物をめぐる国内外の動向（1）．農業および園芸 83：1164-1169

服部太一朗（2008b）セルロース系バイオエタノールと原料植物をめぐる国内外の動向（2）．農業および園芸 83：1265-1270

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．日作紀 81（別）：262-263

Himken M, Lammel J, Neukirchen D, Czypionka-Krause U, Olfs HW (1997) Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions : Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. Plant soil 189 : 117-126

Hoshino M, Ono J, Sirikiratayanond N (1979) Dry matter production of tropical grasses and legumes and its seasonal change in Thailand. Grassl Sci. 24 : 310-317

小林　真（2008）バイオメタノール製造に果たしうる資源作物の役割．作物研究 53：91-96

小林　真（2009）バイオマスを利用したガス化・メタノール合成技術と永年生草類利用技術の展望．日草誌 55：284-287

倉島健次・太田　健・草場　敬・天野洋司・山本克己・木村　武・近藤　熙・斎藤元也（1993）草地試験場内土壌の分類とその特性．草地試験場研究資料 3：1-47

Landstrom S, Lomakka L Andersson S (1996) Harvest in spring improves yield and quality of reed canary grass as a bioenergy crop. Biomass and Bioenergy 11 : 333-341

Lewandoski I, Clifton-Brown JC, Scurlock JMO, Huisman W (2000) Miscanthus: European experience with a novel energy crop. Biomass and Bioenergy 19 : 209-227

Lewandoski I, Scurlock JMO, Lindvall E, Christou M (2003) The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. Biomass and Bioenergy 25 : 335-361

松波寿弥・小林　真・安藤象太郎・寺島義文（2014a）温帯の冬季におけるエリアンサス（*Erianthus arundinaceus* (L.) Beauv.）体内の無機養分と非構造性炭水化物の動態．日草誌 59：246-252

松波寿弥・小林　真・安藤象太郎・寺島義文（2014b）刈取りの時期と高さが越冬後の数系統のエリアンサス（*Erianthus arundinaceus* (L.) Beauv.）の再生に及ぼす影響．日草誌 59：253-260

松波寿弥・小林　真・安藤象太郎・寺島義文・霍田真一（2014c）エリアンサス（*Erianthus arundinaceus* (L.) Beauv.）に吸収された窒素の由来．日草誌 60：97-101

Matsuo K, Chuenpreecha T, Matsumoto N, 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

Mislevy P, Martin FG, Adjei MB, Miller JD (1997) Harvest management effects on quantity and quality of *Erianthus* plant morphological components. Biomass and Bioenergy 13 : 51-58

宮城悦生（1981）ネピアグラス（*Pennisetum purpureum* SCHUMACH）の生産性および飼料価値に関する研究　1. 窒素施肥が生産に及ぼす影響．日草誌 27：216-226

農耕地土壌分類委員会（1995）農耕地土壌分類第3次改定版．農業環境技術研究所資料 17：1-79

Reynolds JH, Walker CL, Kirchner MJ (2000) Nitrogen removal in switchgrass biomass under two harvest systems. Biomass and bioenergy 19 : 281-286

Schwarz H, Liebhard P, Ehrendorfer K, Ruckenbauer P (1994) The effect of fertilization on yield and quality of *Miscanthus sinensis* 'Giganteus'.Industrial Crops and Products 2 : 153-159

Shiotsu F, Abe J, Ra H, Gau M, Morita S (2011) Root distribution of perennial energy crop *Erianthus*. Abstracts of the 7th International Symposium, Structure and Function of Roots: 160-161

Terajima Y, Matsuoka M, Irei S, Sakaigaichi T, Fukuhara S, Ujihara K, Ohara S, Sugimoto A (2007) Breeding for high biomass sugarcane and its utilization in Japan. Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT) 26 : 759-763

栃木県農務部経営技術課（2002）栃木県農作物施肥基準，p53-54.

Tsuruta S, Ebina M, Kobayashi M, Hattori T, Terauchi T (2012) Analysis of genetic diversity in the bioenergy plant *Erianthus arundinaceus* (Poaceae: Andropogoneae) using amplified fragment length polymorphism markers. Grassl Sci. 58 : 174-177

Woodard KR, Prine GM (2011) Dry matter accumulation of elephantgrass, energycane and elephantmillet in a subtropical climate. Crop Sci 33 : 818-824

要　旨

松波寿弥・小林　真・安藤象太郎・寺島義文・霍田真一・佐藤広子（2016）栽植密度および施肥水準がエリアンサス（*Erianthus arundinaceus* (L.) Beauv.）の乾物収量に及ぼす影響．日草誌 61：224-233

草型が異なるエリアンサス3系統を用いて栽植密度および施肥水準が収量に及ぼす影響を4年間調査した。栽植密度（0.25および0.5株/m²）および施肥水準（90および180 kgN/ha/yr）を組み合わせた4処理を設けた。乾物収量は，定植1年目には少なかったが，2年目以降にはいずれの系統とも15 Mg/haを超えた。定植3年目以

降の収量には明瞭な系統間差が認められ，最高収量の系統では４年目に全処理区の平均で 39 Mg/ha/yr に達した。栽植密度は定植１年目の株あたり乾物重には影響を与えなかったが，２年目以降は栽植密度が低い区で乾物重が著しく増加した。この結果，栽植密度の面積あたり乾物収量に対する影響は定植３年目以降では有意な差が認められなくなった。増肥は収穫物の窒素およびカリウムの濃度を増加させたが，面積あたり乾物収量には明瞭な影響を与えなかった。

キーワード：エネルギー作物，エリアンサス，乾物収量，栽植密度，施肥水準.