

エネルギー作物エリアンサスの乾燥処理のための 刈取り時期と前処理の好適な組合せの検討

金井一成**・増田南美***・森田茂紀*†

(平成 28 年 9 月 26 日受付/平成 29 年 6 月 16 日受理)

要約: 石油枯渇対策や地球温暖化対策の1つとして、バイオエネルギーの利用が関心を集めている。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、イネ科のC₄型・多年生植物であるエリアンサスに着目し、栽培利用に関する研究を進めている。エリアンサスをプラントに持ち込み、バイオエタノールを製造したりペレット化したりする際、含水率が15%以下であることが求められる。しかし、システム全体のライフサイクルアセスメントの観点からは、乾燥のために多くのエネルギーを利用することは望ましくない。本研究では、定植1年目と2年目のエリアンサスを異なる時期に刈取り、前処理を行ってから通風乾燥機にかけ、含水率の推移を調査した。その結果、12月から3月にかけては刈取り時期が遅いほど含水率が低く、植物体の表面を損傷させる前処理を行うと乾燥が速やかに進み、含水率15%に低下する時間が短いことが明らかとなった。以上の結果から、エリアンサスを原料としてエネルギー利用するためのシステムを最適化するためには、植物体が立枯れした2~3月に刈取り、植物体の表面に傷をつけてから80℃で30~46時間程度乾燥させることが望ましいと考えられる。

キーワード: エリアンサス, 刈取り時期, 前処理, 乾燥, 含水率

1. はじめに

現在、人類が直面している喫緊の課題として、石油枯渇問題と地球温暖化問題が深刻であり、これらの問題を解決するために再生可能エネルギーであるバイオエタノールが注目されている¹⁾。世界各地で事業化されているバイオエタノールのプラントでは、原料作物としてサトウキビ、トウモロコシ、キャッサバ等の食用作物が利用されている。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、食用作物を原料とすることが批判されている。この食料とエネルギーとの競合を避けるためには、食用としないセルロース系作物をバイオエタノール原料として利用する必要がある^{2,3)}。

セルロース系バイオエタノールの原料作物にはいくつかのものがあるが、著者らは、以下の二つの理由でエリアンサスに着目している。(1) エリアンサスは、サトウキビに近縁のC₄型・多年生植物で、不良環境条件下でも高いバイオマス生産性を示す⁴⁾。(2) 熱帯・亜熱帯の原産であるが、日本でも福島県以南で栽培が可能である⁵⁾。著者らは、東日本大震災で被災した福島県いわき市の水田や、原発事故に伴う放射能汚染を受けた浪江町の水田で、試験栽培して十分に生育することを確認している⁶⁾。

エリアンサスをエネルギーとして利用するには、バイオ

エタノールを製造するほか、ペレット化することが現実的な選択肢となる。著者らは、浪江町の被災水田で栽培したエリアンサスをペレット化し、施設園芸で暖房に利用するシステムデザインを進めている⁷⁾。エリアンサスはバイオエタノール化するほか、ペレット化して熱利用することが考えられるが、いずれの場合もプラントに搬入する段階で、含水率を15%程度にしておくことが望ましい⁸⁾。ただし、乾燥過程で多くのエネルギーを使うことは、システム全体のライフサイクルアセスメントの観点から避けなければならない。しかし、従来、エリアンサスを乾燥させるためのエネルギーの利用や削減に関する検討は行われていない。そこで、エリアンサスを原料とした熱利用システムを最適化するために、圃場における立枯れを利用することも考慮して、刈取り時期と乾燥の前処理の効果の組合せについて検討した。

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)で栽培したエリアンサス(*Saccharum arundinaceus* = *Erianthus arundinaceus*)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・追肥や灌水は行わないが、い

* 東京農業大学農学部

** 東京農業大学農学部(東京農業大学大学院農学研究科)

*** 元東京農業大学農学部

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

ずれの材料も、定植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、2015年に再生した株を2015年12月～2016年3月に刈取って乾燥実験（定植2年目の材料）を行った。また、2015年に苗を定植した群落は、2016年1月～3月に刈取って乾燥実験（定植1年目の材料）を行った。ただし、すべての処理区の材料を同時に乾燥処理するため、風乾区では他の処理区より6日間早く刈取った。

定植1年目の材料と2年目の材料は、2015年12月19日（定植2年目：植付け後554日）、2016年1月9日（同2年目：575日、同1年目：250日）、2月13日（同2年目：610日、同1年目：285日）、3月9日（同2年目：635日、同1年目：310日）に（風乾区は、それぞれ6日前に）刈取りを行った。

材料は、それぞれ3、4株を地表から約30cmの高さで刈取り、定植1年目の材料については長さ30cmに裁断して、また定植2年目の材料については、以下の4種類の前処理を行い、それぞれ段ボール箱に入れて、80℃に設定した通風乾燥機（藤原製作所製VC-100、ヤマト科学製DK-83およびDK-600Tの3機を使用）で処理した。この場合、通風乾燥機の容量に対して段ボール箱（外寸：幅535×奥行385×高さ345mm、内寸：幅525×奥行375×高さ330mm）の容量が約50%になるように設定した。また、乾燥の際は段ボール箱の側面に数カ所、通気のための穴をあけ、さらに上蓋をあけることで、通気を図った。この際に、サンプルが通気によって損失するのを防ぐため、金網を載せ固定した。乾燥開始後96時間までは1時間ごとに、それ以降は2時間ごとに重量を測定し、含水率（湿量基準）

を算出した。前処理として、①30cmに裁断した区（30cm区）、②チョッパーで2～3cm（12月のみ15cm）に処理した区（チョッパー区）、③30cmに裁断してから6日間、雨風の当たらない場所で風乾した区（風乾区）、④材料を裁断せずに手で折り曲げたうえで、足で数回踏みつけて材料の表面に傷をつけた区（損傷区）を設けた。

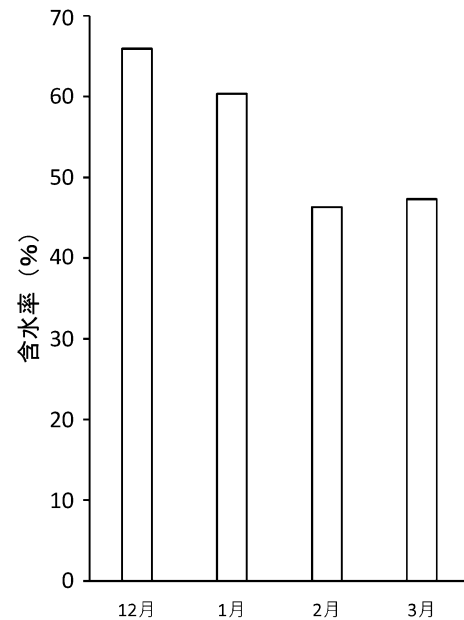


図2 定植2年目のエリアンサスを異なる時期に刈取った直後の含水率

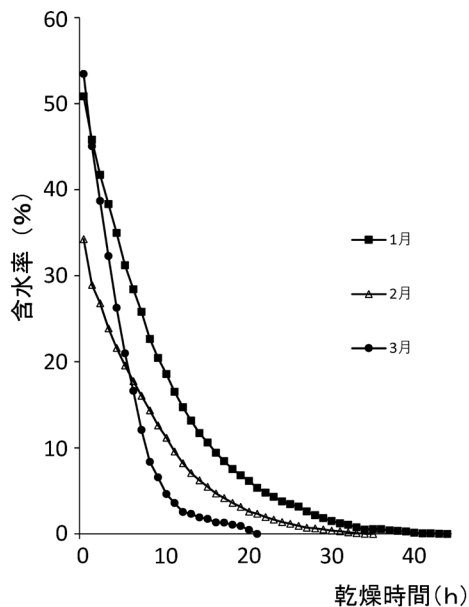


図1 定植1年目のエリアンサスを異なる時期に収穫して乾燥させた場合の含水率の推移

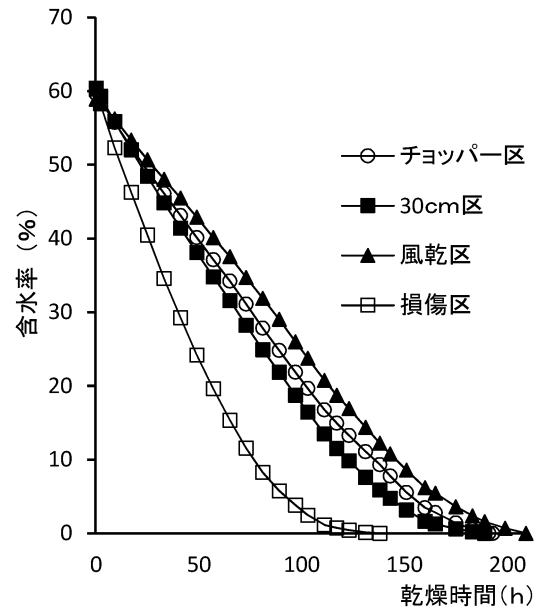


図3 定植2年目のエリアンサスを1月に収穫し異なる前処理をして乾燥させた場合の含水率の推移

3. 結 果

(1) 定植1年目の材料の含水率の推移

定植1年目のエリアンサスは、年明け前後から立枯れとなった。刈取り時期によって乾燥開始時の含水率が異なり、1月≒3月>2月であった(3月6~9日に合計71.5mmの降雨があった後、雨の中で刈り取った)。いずれの時期も、乾燥とともに含水率は低下したが、1月と2月は含水率の低下は緩やかで、3月は急速であった(図1)。定植1年目の材料は、刈取り時期が遅いほど乾燥が早く進み、含水率がプラント搬入時に必要な15%まで低下するのに必要な時間は、1月は11時間50分、2月は7時間40分、3月は6時間20分であった。

(2) 定植2年目の材料の含水率の推移

定植2年目のエリアンサスも、年明け前後から立枯れとなり、刈取りが遅いほど含水率は低い傾向が認められた(図2)。いずれの刈取り時期においても、乾燥時間の増加に伴って含水率は低下し(図3)、乾燥開始時の含水率が低いほど含水率が15%に到達する時間が短い傾向が認められた(図2, 4)。乾燥のための前処理の効果を見ると、3月を除いて損傷区で乾燥が最も速く進んだ。その他の前処理の効果は刈取り時期によってまちまちで、必ずしも一定の傾向は認められなかった。定植2年目では、含水率15%に到達する時間は刈取り時期や前処理によって異なったが、いずれの場合も定植1年目の約8時間に比較してかなり長かった。

4. 考 察

(1) 定植1年目の材料

本研究の結果、定植1年目の材料については、年末から年明けにかけて立枯れが進み、それに伴って刈取り時期における含水率が低下した。ただし、2016年3月には刈取り時期における含水率が高かったが、収穫当日に約70mm

の雨が降ったことと、1月や2月に刈取った材料より初期の乾燥が早く進んでいる。以上を考え合わせると、刈取り直前の降雨によって一時的に含水率が高く、その水分が速やかに失われ、その後、降雨直前の水分が乾燥時間の経過とともに蒸発した可能性がある。すなわち、3月に刈取った材料を含め、刈取りが遅いほど含水率が低く、乾燥によって含水率が15%に到達する時間が短い傾向が認められるといえるであろう。

したがって、定植1年目の材料は圃場で立枯れとなった2~3月に刈取り、80℃で約8時間乾燥させるのが望ましいと考えられる。立毛乾燥を利用するアイデアは、水稲でも低コスト化のための技術として検討されている。その結果によると、積算温度と粉の含水率との間にはほぼ直線的な関係が認められ、立毛乾燥で乾燥を省力化でき、低コスト化に貢献できる可能性が高い⁹⁾。本研究の材料とは、1年生か多年生か、子実部分か地上部全体かという違いはあるが、立枯れ現象を利用するという点で参考になる管理作業といえる。

なお、著者らは定植1年目のエリアンサスのバイオマスの乾燥についてすでに予備的検討を行い、その結果を報告した¹⁰⁾。すなわち、同一の品種のエリアンサスを本研究の圃場に隣接する圃場で、異なる年次にほぼ同じ要領で栽培した材料を、本研究の30cm区と同じ前処理で乾燥させた結果、年明けの立枯れした材料では、約8時間で含水率が15%となった。両実験でほぼ同じ結果が得られていることは、これらのデータの信頼性が高いことを示している。

(2) 定植2年目の材料

定植2年目の材料でも、年末から年明けに立枯れが進むのに伴って含水率が低下し、乾燥によって含水率15%に到達する時間も短かった。すなわち、12月以降、刈取り直後の含水率は低下したが、2月および3月は含水率自体が低く、大きな差はなかった。したがって、定植2年目のエリアンサスも立枯れした2~3月に刈取り、乾燥させるのが

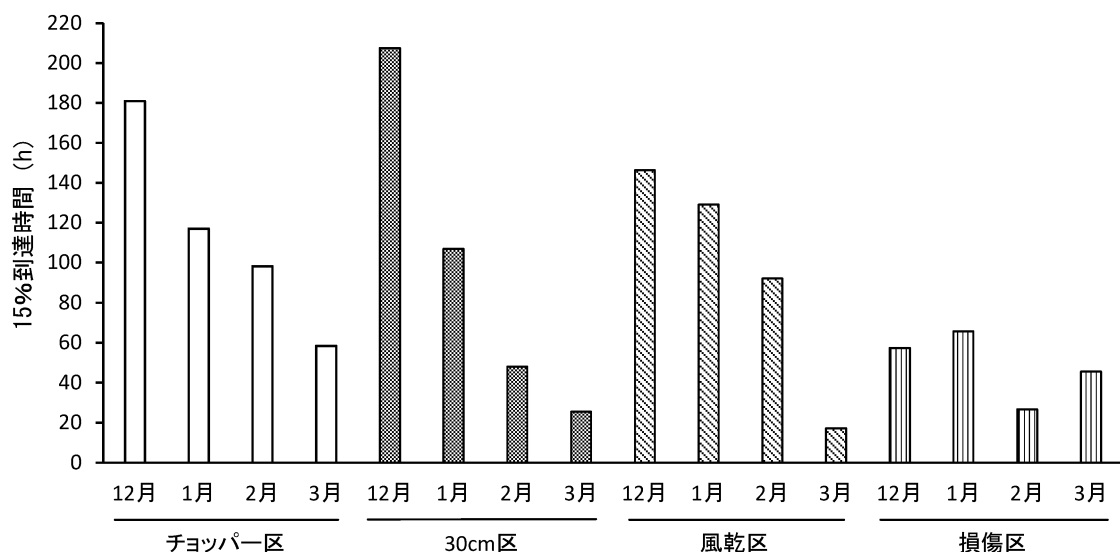


図4 定植2年目のエリアンサスを異なる時期に刈取り乾燥させた場合の前処理区別の含水率15%到達時間

望ましいといえる。なお、定植2年目の材料を80℃で乾燥させた場合、含水率が15%まで低下するのに約30~46時間かかっており、定植1年目の材料よりかなり長かった。その理由については、前処理の効果とともに考察したい。

すなわち、定植2年目の材料は刈取り直後（乾燥開始の直前）にいくつかの前処理を行い、その効果を検討した。材料を短く裁断するほど断面からの水の蒸発が促進され、乾燥が速やかに進むと考えていたが、実際には明確な効果は認められなかった。一方、定植1年目の材料の乾燥実験を進める過程で、材料の表面を損傷すると乾燥が速いことにたまたま気づき、前処理に加えたところ、刈取り時期に係らず乾燥を著しく速める効果が認められた。

木材の乾燥でも参考になる現象が認められている。木材では、丸太より分割材で乾燥が速く進むことが報告されている¹¹⁾。そのため、エリアンサスを短く裁断するほど断面からの乾燥が速く進むことを期待したが、効果は認められなかった。一方、スギの樹皮を剥ぐと、剥がない場合より乾燥が速く進むことも報告されており、樹皮が乾燥を抑制しているためと考えられている¹²⁾。本研究の損傷処理を、樹皮を剥ぐことと直接比較することは難しいが、茎葉部の表面を傷つけることで、表皮を含む周辺の構造が破壊され、茎葉部の内部が大気と直接、つながるという意味で共通の効果がある可能性が考えられる。すなわち、表皮周辺部分の構造がしっかりしていることは植物体からの水の損失を防ぐことに大きく貢献しており、いくら軸方向の長さを短くしても、乾燥効果は低いことが示唆される。

定植1年目に比較して2年目の材料で含水率が15%に達する時間が非常に長くなったことは、茎の構造が関係している可能性が考えられる。すなわち、エリアンサスの群落形成では、定植1年目から2年目にかけて群落下部において非同化器官の乾物重が大きく増加するが、このとき茎が太く、長くなっていることが確認されている¹³⁾。このことは、本研究の刈取り時にも確認している。茎が太く、長くなったことに伴って茎の含水量が増え、茎の内部から表面までの物理的な距離が長くなることで、乾燥しにくいことにつながっている可能性がある。なお、茎が太くなることに伴って茎の周辺部分の組織構造が変化する可能性もあり、この点は予備的な観察で確認している。このことも2年目で乾燥に時間がかかることに係っている可能性があるため、今後の検討課題としたい。

(3) 残された課題

本研究の結果から、エリアンサスは圃場で立枯れ状態となった2~3月頃に刈取り、表面を損傷させて乾燥するのがよいといえる。ただし、実際に事業化を展開するには、以下の点についても検討を行っておく必要がある。

すなわち、①本研究では、刈取り後の風乾の効果は必ずしも明確ではなかった。ただし、本研究では損傷後に風乾する処理区を設けていないが、損傷後に風乾することで、乾燥時間をさらに短縮できる可能性は高い。風乾のための条件（自然条件・時間・場所等）がクリアされるなら、乾燥のためのエネルギーを削減するため、損傷させた後に

風乾する効果を検討しておく価値がある。②刈取り時期を決めるために、翌年度の再生に及ぼす影響についても考慮しておく必要がある。10月に刈取ると、翌年度の再生状況が著しく悪くなることはすでに報告した¹⁴⁾。12月から3月にかけての刈取りでは、翌年度の再生に悪い影響を与える報告はないため、問題はないであろうと考えているが、この点は数年間におけるバイオマス総生産量に係る重要な点なので、確認しておきたい。③定植3年目以降の乾燥過程は2年目と同じことを予想しているが、この点も確認しておきたい。

以上のように、確認しておいた方がよい課題はいくつか残るものの、現時点では、2~3月に刈取り、材料の表面を損傷させて（場合によってはさらに風乾させて）から乾燥させることが最適といえる。実際の乾燥温度と乾燥時間との組合せは、事業化に向けてさらに検討した方がよいが、現時点では80℃で1~2日程度（約30~46時間）が目安となる。

謝辞：本研究で利用したエリアンサスの苗は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・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。また、エリアンサスの収穫と乾燥実験について、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) SORDA G, BANSE M, KEMPERT C (2010) An overview of biofuel policies across the world. Energy Policy 38 : 6977-6988.
- 3) HATTOROI T, MORITA S (2010) Energy crops for sustainable bioethanol production ; which, where and how? Plant Production Science 13 : 221-234.
- 4) SEKIYA N, ABE J, SHIOTSU F, MORITA S (2014) Cultivation of *Erianthus* and napier grass at an abandoned mine in Lampung, Indonesia. American Journal of Plant Sciences 5 : 1711-1720.
- 5) 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. 日本草地学会誌 61 : 224-233.
- 6) 阿部 淳, 松田浩敬, 小林奈通子, 関谷信人, 我有 満, 山田敏彦, 森田茂紀 (2015) 福島県浪江町被災水田におけるイネ科多年生バイオマス作物の栽培試験. 日本作物学会第239回講演要旨集 36.
- 7) 森田茂紀 (2013) 東日本大震災による被災水田の再生試案. 農業および園芸 88 : 895-900.
- 8) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2014) バイオマスエネルギー技術研究開発/セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業. 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構研究評価委員会. 東京. pp. III-23.
- 9) 酒井長雄, 青木政晴, 土屋 学 (2011) 子実用水稲多収品種の収量性と立毛乾燥を前提とした倒伏耐性. 北陸作物学会報 46 : 23-26.
- 10) 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.
- 11) 佐野哲也, 井 春夫, 吉田貴紘, 大原誠資 (2012) 乾燥時

- 期が分割材の天然乾燥経過に与える影響. 日本森林学会誌 **94**: 142-148.
- 12) 岩田隆明, 野原正人, 大塚和典 (1981) スギ, ヒノキ丸太の林内乾燥について. 岐阜県林業センター研究報告 **9**: 49-59.
- 13) 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.
- 14) 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.

Effects of Harvest Time and Pretreatment on Drying of Erianthus Biomass

By

Issei KANAI^{**}, Minami MASUDA^{***} and Shigenori MORITA^{*†}

(Received September 26, 2016/Accepted June 16, 2017)

Summary : As a countermeasure for global warming and depletion of fossil fuel, bioenergy has become a focus of attention in the world and also in Japan especially after the Great East Japan Earthquake. Bioenergy has been required to be derived from cellulosic raw material to avoid possible competition with food production. We have been focusing on Erianthus (*Saccharum* spp.), a perennial C₄ grass, as cellulosic raw material for bioenergy, because it shows high yield performance as well as high tolerance to environmental stresses including poor soil conditions. To make pellets from Erianthus biomass, its water content has to be 15% or less with less energy for drying from the viewpoint of Life Cycle Assessment in the whole system. In this study, we examined the time course of the water content during drying biomass harvested at different times in winter in one- and two-year Erianthus populations. We harvested Erianthus in December, January, February and March, respectively to dry. The water content of Erianthus at standing decreased gradually to reach the lowest in February through March. The less the water content at harvest, the faster the time to be less than 15% water content. The two-year Erianthus effects of four pretreatments (cut into 30 cm increments, air-drying, chopped and injury) were also examined. As a result, only injury of biomass showed significant effects on drying. When harvesting in February through March was followed by injury pretreatment, it took around 30~46 hours at 80 degrees to attain 15% water content, which is the recommendation from the viewpoint of energy utilization in the system.

Key words : Erianthus, *Saccharum arundinaceus*, harvest time, drying, water content

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

** Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture (Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture)

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

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