

氏名	金井一成
学位(専攻分野の名称)	博士(農学)
学位記番号	乙第960号
学位授与の日付	令和4年10月20日
学位論文題目	エネルギー作物エリアンサスの栽培・利用システムの構築に関する研究
論文審査委員	主査 教授・博士(農学) 上地由朗 教授・博士(農学) 西尾善太 教授・博士(農学) 松田浩敬 農学博士 森田茂紀*

論文内容の要旨

地球温暖化の影響が顕著に現れるようになり、低炭素社会ではなく、脱炭素社会が強く求められている。そのための方途として再生可能エネルギーの利用があり、太陽光発電や風力発電だけでなく、バイオマスエネルギーが国内外で注目されている。その際、食料生産との競合を避けるために糖質系原料作物やデンプン系原料作物ではなく、セルロース系原料作物の栽培利用が求められているが、事業化に向けた研究が遅れている。

そこで、本研究では、セルロース系バイオマスエネルギーの原料作物として、不良環境条件下でも高いバイオマス生産性を示す多年生草本作物のエリアンサス (*Saccharum spp.*) を取り上げ、低投入持続的に栽培してしたうえで、バイオマスをエネルギー利用するための研究を進め、その成果を利用するシステムデザインを行った。

1. 群落の発育形態学的解析

(1) 群落構造と間引きの効果

セルロース系バイオマスエネルギーの原料作物として、エリアンサスを選定し、物質生産の背景となる群落構造について発育形態学的な研究を行った。

定植1年目と2年目の群落の構造を解析した結果、分けつの生育が収量形成に大きく貢献することが明らかとなった。また、定植2年目になると群落の発育に伴って収量は増加するものの、群落内の相対照度は高い位置で減衰して群落内の光環境が悪化した。そこで、間引きを行い、栽植密度を下げることで、群落内の光環境を改善すれば、群落としての物質生産を改善できると考察した。

実際に、複数の群落において異なる年次に間引きを行ったところ、いずれの群落でも受光態勢が改善され、収量が増加した。また、早期に間引きを行うと、必ずしも単年度の収量が

*東京大学名誉教授

高くなくても、数年に亘る群落の累積収量が最大化する可能性を明らかにした。

(2) 群落内の生育変異の推移

エリアンサス群落は年々、大型化するが、それに伴って群落を構成している株の生育に大きな差異が認められる。そこで、群落を構成する株の生育変異とその年次推移について、茎数/株に着目して個体群生態学的な観点から解析した結果、苗の定植後、茎数が増加しながら株の生育変異が拡大した。

また、生育変異について株の相互作用に着目して検討した結果、茎数/株が小さいと株が受ける被圧が大きく、反対に大きいと被圧が小さい傾向が認められ、最終収量一定の法則が成り立つ可能性が示唆された。さらに、間引きを行うと収量が増加するだけでなく、群落内の株の生育変異が拡大しにくくなる可能性も明らかにした。

2. 群落を形成する株の発育形態学的解析

(1) 群落構造の機械的強度

エリアンサスが高バイオマス生産性を発揮する背景として大型の群落構造があると考え、群落構造の形成と維持について、形態学的観点から検討した。まず、葉身が自重を支える実態を検討した結果、葉身が支えている自重(葉身重) < 葉身の各部位が支持できる最大の重さ(支持重)であり、葉身が自立している事実と整合していることを確認した。葉身は主に中肋によって支持されており、中肋の大型化と形態的变化が葉身の機械的強度に貢献していることも明らかにした。

茎の組織構造を走査型電子顕微鏡で観察を行った結果、茎周辺の円環状領域に多くの維管束が密集していた。また、維管束周辺部分を細胞壁が肥厚した小型細胞が埋めているため円環状領域の機械的強度が高く、茎は倒伏しにくいと考えられた。

(2) 株を構成する分けつの生育

収量形成に大きく貢献することが明らかになった分けつの生育を解析した結果、エリアンサスの株は発育形態学的に異なる3種類の分けつから構成されることや、新しい分けつの多くは株の周辺側に形成され、それに伴って株が大型化することが明らかになった。また、それぞれの分けつでは上位3枚程度の葉が同時に展開し、生長速度が速いだけでなく、生長期間も長いため、多くの長大な葉身が形成される。葉身に比較して葉鞘は相対的に短い、伸長する節間が多く、葉鞘の着生する位置が相互に離れているため、受光態勢に優れ、高い物質生産性を発揮していることを明らかにした。さらに、生育せずに枯死する分けつの生育には出穂と刈取り時期との前後関係が関わるため、穂の構造および幼穂形成過程も明らかにした。

(3) 根系形成とターンオーバー

エリアンサスが大型群落を維持し、高いバイオマス生産性やストレス耐性を示すことには

根系が関わると考え、定植 1 年目と 2 年目の群落において根の形成と枯死について定量的な解析を行った。その結果、定植 1 年目から 2 年目にかけて根量が増えるとともに根系分布が深くなることや、新しい根が形成される一方で、古い根が枯死していることが定量的に確認できた。これに伴って土壤中に炭素が貯留され、エリアンサスを栽培することが地球温暖化対策となる可能性を示した。

3. エリアンサスの栽培・利用システムの構築

エネルギー作物を栽培し利用していくには、単に原料作物の収量を検討するだけでは不十分である。事業化のためにさらに検討すべき課題として、低投入持続的な栽培管理体系や、それを踏まえた原料バイオマスの利用システムを構築する必要がある。

栽培管理体系ではコスト・二酸化炭素排出量を削減するために、低投入持続的栽培システムの構築が必要となる。栽培管理のなかで最も重要なものに栽植密度があり、この点については群落形成を發育形態学的に解析した。その他、栽培体系を構築するために、苗生産や乾燥方法についても具体的な検討を行い、標準的な栽培システムを構築した。

(1) 苗生産と乾燥方法の確立

エリアンサスの栽培と利用の事業化を考えた場合、新たにエリアンサス栽培を開始したり、時間経過に伴う改植においては相当量の苗が必要となったりするため、組織培養を利用した苗生産方法を確立した。また、バイオマス原料をプラントに搬入する段階で原料バイオマスの含水率を 15%以下とすることが求められるため、乾燥方法について検討を行った。日本国内において事業化を進める場合は、立ち枯れが十分に進んだ 3 月に刈取り、茎葉部を物理的に損傷させた後、約 1 ヶ月、雨風の当たらない場所で風乾処理すると、強制乾燥せずに含水率を 15%以下にできる技術開発に成功した。

(2) システムデザインと評価

以上の個別研究を踏まえて、エリアンサスのバイオマス利用システムについて検討した。システムデザインの 1 つとして、東日本大震災による農業の復興普及支援の一環として、東京電力福島第一原子力発電所の事故で飛散した放射性物質によって汚染された農地でエリアンサスを栽培し、収穫したバイオマスをペレットに変換して、ビニールハウスの暖房用燃料として熱利用するシステムをデザインし、その事業性評価を行った。その結果、一定の規模拡大を行うことによって、経済性・環境性・社会性を総合的に評価した場合の事業性が担保されることが明らかとなった。

以上、セルロース系エネルギー作物として多年生イネ科草本作物のエリアンサスの群落形成に関する作物学・栽培学を展開したことは、従来的一年生作物の栽培とは異なる新たな学術分野を確立することにつながった。また、得られた知見を踏まえてエリアンサスの栽培・

利用システムを構築できた。このように新たな学術分野の確立にとどまらず、震災による被災地の農業復興普及や全国で問題となっている耕作放棄地対策に利用すること、さらに気候危機における土壌中への炭素の貯留という大きな問題に役立つ可能性が大きく、本研究の成果は、様々な社会的問題の解決に役立つことが想定される。

審査報告概要

審査論文は、セルロース系バイオマスエネルギーの原料作物として、不良環境条件下でも高いバイオマス生産性を示す多年生草本作物のエリアンサスを取り上げ、低投入持続的に栽培してしたうえで、バイオマスエネルギー利用するための研究を進め、その成果を利用するシステムデザインを行った成果である。概要は以下の通りである。まず、エリアンサス群落および株の育形態学的解析を行い、間引きによる受光態勢の改善の結果、バイオマス収量が収量の増大化の可能性があること、個体の生育量が揃う方向に向かうことを明らかにした。また、倒伏を軽減させる維管束構造、穂の構造および幼穂発育形成過程を解析し、大型の群落構造が形成される要因を明らかにした。さらに、これらの結果を踏まえ、エリアンサスの標準的な栽培システムを構築した。

これらの研究成果等を詳細に検討した結果、審査委員一同は博士（農学）の学位を授与する価値があると判断した。