

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のための群落・根系形成の発育形態学的解析
金井一成（鷗友学園女子中学高等学校）

地球温暖化や化石エネルギー枯渇を背景として、再生可能エネルギーの1つであるバイオエネルギーが国内外で注目されており、食料生産との競合を避けるためにセルロース系原料作物の栽培・利用が求められている。そこで原料作物として、多年生でC₄型のイネ科草本作物であるエリアンサスを選定し、低投入持続的な多収栽培システムを構築してエネルギー利用するシステムをデザインするために、群落の茎葉部と根系の形成について発育形態学的な研究を進めた。

1. 群落構造と分けつの生育

バイオエネルギーのセルロース系原料作物として、不良環境条件下でも高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.) を選定して、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年目の群落構造を解析した結果、分けつの形成が収量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光環境が悪化した。そこで、間引きを行うことで栽植密度を下げ群落内の光環境を改善すれば、物質生産を改善できると考察した(業績1, 5, 9)。それを受けて、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、早期に間引くと必ずしも単年度の収量が高くなくても、数年に亘る群落の累積収量が最大化する可能性を実証した(業績5, 8, 9)。

また、収量形成に大きく貢献する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、多くの分けつが株の周辺側に形成されることで株が大型化することが明らかとなった(業績10)。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、生長期間も長いので、多くの長大な葉身が形成された。葉身に比較して葉鞘は相対的に短い、伸長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、高い生産性を発揮することを解明した(業績6)。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(業績11)。

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、葉身が自重を支えてい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(業績13)。茎の組織構造を走査型電子顕微鏡で観察した結果、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(業績12)。

2. 群落の茎葉部と根系の形成過程

エリアンサス群落の茎葉部は年々、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年次推移について、分けつ数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、茎数が増加するとともに株の生育変異が拡大した。また、生育変異について株間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、生育変異が拡大しにくくなる可能性も明らかにした(業績14)。

エリアンサスが大型群落を維持し、高バイオマス生産性や高ストレス耐性を示すことには根系が関わりと考え、定植1, 2年目の群落において根系を構成する個々の根の形成と枯死について定量的解析を行った結果、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確認できた。これに伴って土壌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も示した(業績2, 9)。

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するには、単に原料作物の収量を検討するだけでは不十分で、事業化のためにさらに検討すべき課題の一つとして、栽培地選定が必要である。非食用作物のエリアンサスを栽培して原料として利用するだけでは、本来そこで栽培することができた食用作物の生産を阻害するため、食料とエネルギーとの競合を完全に回避することにはならない。そこで、エネルギー作物は最終的に非農地での栽培が望まれる。そこで、耕作放棄地を対象にして、GISソフトを用いて推定した放棄年数に基づいて、具体的に栽培可能である耕作放棄地の選定を行った(業績7)。また、都市環境問題にも着目して都市の低炭素化・脱炭素化について考察した。すなわち、自然環境の維持や向上を目指した環境都市、特に中国の天津生態城に注目して、都市と農村とが共生しながら低炭素社会を形成するための政策の一つとして、バイオエネルギーの利用システムを提案した。

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、低投入持続的栽培システムが望ましい。そこで、栽植密度が群落構造の推移について与える効果を中心にして発育形態学的な解析を進めた(業績1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14)。その他、栽培体系を構築するために、群落を設立する際の苗生産や、乾燥方法についても検討を行った。すなわち、分けつ芽を摘出して多芽体を通じて苗を生産するシステムを確立した。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、乾燥方法についても検討を行った。その結果、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ヶ月間、雨風の当たらない場所で風乾処理すると、強制乾燥をしなくても含水率を15%以下にできる技術開発に成功した(業績3, 4, 9)。

利用システムについては、東日本大震災による復興支援の一環として、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て、ペレットに変換してビニールハウスにおける園芸作物栽培の暖房用燃料として熱利用するシステムデザインを行った。その事業性評価を行った結果、経済性・環境性・社会性を総合的に評価すると、一定の規模拡大を行うことによって事業性が担保されることを明らかにした。

以上のように、本研究はエネルギー作物のエリアンサスを利用することで、多年生の草本作物の群落における茎葉部と根系の発育形態学という、これまでになかった学術分野を開拓するとともに、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した。これらの研究成果は、震災復興や耕作放棄地対策に利用することで、いくつかの社会的問題の解決に役立つものであり、日本作物学会研究奨励賞に相応しい業績といえる。

研究業績

1. 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—定植1・2年目群落の生産構造図の比較—. 東京農業大学農学集報 62(1): 13-20.
2. 金井一成・新村悠典・小島淳・岡部貴誠・森田茂紀 2017. エリアンサスの根系形成と土壌中への炭素供給量の試算—改良土壌断面法とイングロスコア法の組合せによる解析—. 根の研究 26(2): 25-33.
3. 金井一成・増田南美・森田茂紀 2017. 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最適な組合せの検討. 東京農業大学農学集報 62(2): 56-61.
4. 金井一成・板倉健斗・森田茂紀 2018. エリアンサスの乾燥における刈取り時期と損傷風乾処理の効果. 日本作物学会紀事 87(1): 86-87.
5. 水嶋啓太・金井一成・森田茂紀 2018. エリアンサスの収量と群落構造に及ぼす栽植密度の影響. 日本作物学会紀事 87(3): 259-260.
6. 板倉健斗・金井一成・森田茂紀 2018. エリアンサスの分けつの発育形態学. 日本作物学会紀事 87(3): 261-262.
7. 桐山大輝・金井一成・森田茂紀 2018. 日本における耕作放棄地の分類と分布の解析の試み. 日本作物学会紀事 87(3): 263-264.
8. 金井一成・森田茂紀 2018. 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. 東京農業大学農学集報 63(2): 83-87.
9. Kanai, I. and Morita, S. 2018. Sustainable production and utilization of energy crop. Journal of the Japan Institute of Energy, P-Bc-18: 212-215.
10. 金井一成・佐藤湧大・小泉秀人・森田茂紀 2019. エネルギー作物エリアンサスにおける分けつ形成の様相. 日本作物学会紀事 88(3): 187-192.
11. 金井一成・谷津威徳・森田茂紀 2019. エネルギー作物エリアンサスの穂の発育形態学. 日本作物学会紀事 88(4): 273-279.
12. 森田茂紀・高橋拓真・石島雄大・長谷川文生・芋生憲司・金井一成 2020. エリアンサスの茎の組織構造の観察. 日本作物学会紀事 89(3): 258-259.
13. 金井一成・森田茂紀 2020. エネルギー作物エリアンサスの葉身の機械的強度の形態学的解析. 日本作物学会紀事 89(4): 325-330.
14. 金井一成・森田茂紀 2021. エリアンサス群落における株の発育変異の解析. 日本作物学会紀事 90(1): 29-37.