

氏名(本籍)	ユースラ エル マンナイ (チュニジア)			
学位の種類	博士(学術)			
学位記番号	博甲第6285号			
学位授与年月日	平成24年5月31日			
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当			
審査研究科	生命環境科学研究科			
学位論文題目	Molecular Mapping and Analysis of Flowering Time in Sorghum (ソルガムの開花期に関する分子マーカーによるマッピングと解析)			
主査	筑波大学教授	農学博士	奥野 員 敏	
副査	筑波大学教授	農学博士	大澤 良	
副査	筑波大学教授(連携大学院)	博士(農学)	福田 善 通	
副査	筑波大学教授	理学博士	藤村 達人	

論文の内容の要旨

日長に制御される開花期は、作物の栽培化過程における環境適応や地理的分布に密接に関係する重要な形質であるため、これまでに多くの作物で開花期に関する遺伝育種学的研究が行われてきた。本研究の対象作物であるソルガムは、アフリカ大陸のエチオピア近隣地域で起源し、その後、東アフリカや南アフリカへの伝播にとどまらず、中近東を経てインド、東南アジアならびに中国東北部にまで栽培が拡大した。19世紀、アメリカ合衆国に導入後、ソルガムの本格的な育種が行われ、世界各地で栽培されるようになった。ソルガムは主要穀物の中で、特に優れた乾燥耐性を持つことから、アフリカやアジアの乾燥地や半乾燥地に適応する重要な食用作物であるとともに、欧米諸国では家畜飼料やバイオマス資源としての需要がある。今後、地球規模での環境変動の進行が予測されるなかで、乾燥環境に対する適応能に優れたソルガムの栽培地域は拡大すると考えられる。ソルガムの栽培地域や作期の拡大にとって、開花期は重要な育種目標形質であるため、その遺伝学的基礎を解明することは、ソルガムの育種と栽培にとって重要な課題である。

本研究では、ソルガムの開花期および日長反応性に関して、世界のソルガム品種に内在する遺伝変異を解析し、連鎖不平衡解析とQTL(量的形質遺伝子座)解析により、開花期に関与するQTLの検出を目的として一連の研究を行い、以下の成績を得た。

1. ソルガムの開花期と日長反応性に関する変異の解析

本研究には、38のSSRマーカー座での遺伝子型データに基づいて選定されたソルガム・コアコレクションの構成107品種(アフリカおよびアジア27ヶ国に由来し、アフリカ原産52品種とアジア原産55品種からなる)を用いた。2008年と2009年、筑波大学農林技術センター圃場にコアコレクションを栽培し、自然日長下での開花期を調査した結果、コアコレクションの開花まで日数は56~133日であった。開花期を基にコアコレクションを早生、中生および晩生品種群に区分すると、アフリカ原産品種の90%以上は中生および晩生品種群に属し、アジア原産品種の約80%は早生および中生品種群に属した。開花期別に15品種を選定し、11時間、12時間および15時間の日長条件下における開花期の変動を調査した。15時間の長日条件に比較して、11時間の短日条件下では開花が7~24日早まり、12時間の短日条件下では開花が4~18日早まった。短日条件により、すべての品種の開花期は促進されたが、早生および中生品種群はより大きな

日長反応性を示した。

2. 連鎖不平衡解析による開花期に関与する QTL のマッピング

GLM (general linear model) に基づく Naïve モデルと Q モデルおよび MLM (mixed linear model) に基づく K モデルと K+Q モデルを用いて連鎖不平衡解析(アソシエーション解析)を行った結果、5つの SSR マーカー座が自然日長下での開花期との間で有意なアソシエーションを示した。また、11 時間日長下での開花期とは 4 つの SSR マーカー座、12 時間日長下での開花期とは 13 の SSR マーカー座、15 時間日長下での開花期とは 3 つの SSR マーカー座が有意なアソシエーションを示した。アソシエーション解析の結果から、開花期に関連する QTL が第 1 染色体から第 6 染色体まで多数存在することを示唆している。第 1 染色体上の SSR マーカー座 *Xtxp61* と第 2 染色体上の SSR マーカー座 *Xtxp13* は、11 時間および 12 時間の短日日長下における開花期とだけ有意なアソシエーションを示したことから、第 1、2 染色体上の 2 つの SSR マーカー座近傍領域には日長反応性に関与する QTL が存在すると考えられる。以上のように、連鎖不平衡解析によりゲノムワイドに散在する開花期関連領域を検出することができた。

3. SSR マーカー連鎖地図の作成と開花期の QTL 解析

遺伝解析には、日本在来品種(菊池在来)とエチオピア在来品種(SC112)の交雑から得た F₂144 個体を用いた。F₂ 個体と両親品種を自然日長と 12 時間日長で栽培し、個体ごとに出穂日、開花日および草丈を調査した。ソルガムゲノム塩基配列情報を基に作成された 580 の SSR プライマー対を用いた両親品種間の遺伝子型解析により、多型を示す 213 の SSR プライマー対を選定した。SSR 遺伝子型データを用いて連鎖解析を行った結果、ソルガム染色体 (n=10) 上に 178 の SSR マーカー座が座乗し、遺伝距離 2468cM の連鎖地図を作製した。F₂ 個体の SSR マーカー座における遺伝子型と開花期のデータを用いて連鎖解析を行った。LOD 値 2.5 以上を指標として QTL の存在を検証した結果、自然日長下では 9 個の QTL を検出し、そのうち第 7、8、10 染色体上に 3 個の新規の QTL を検出した。いずれの QTL においても菊池在来の対立遺伝子が開花期を遅らせる効果を持つ。12 時間日長における開花期の QTL 解析では、7 個の QTL を検出し、第 10 染色体上に自然日長下で検出された QTL と同じ領域に新規の QTL を検出した。自然日長下と 12 時間日長下でのみ検出された QTL は、それぞれ 4 個と 2 個であり、異なる日長条件下で共通して 5 個の QTL を検出した。以上の結果から、ソルガムの開花期は遺伝効果の小さい多数の QTL により制御されていることが明らかになった。ソルガムの開花期の遺伝的制御機構は他殖性植物のトウモロコシに類似し、自殖性植物のイネやシロイヌナズナとは異なると考えられる。

以上のように、本研究では、ソルガムの開花期の変異と遺伝に関する研究を行い、ソルガムの開花期の決定には日長反応性が深く関与するものの、その他の遺伝的要因が関係していることを明らかにし、ソルガムの開花期と日長反応性に関与する新規の QTL を見出した。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本学位論文では、アフリカ起源の穀物ソルガムの環境適応や地理的分布と密接に関係する開花期の品種変異と遺伝様式を解析した。コアコレクション 107 品種を用いた開花期と日長反応性の解析から、開花期の変異には地理的傾斜がみられないこと、早生品種ほど日長反応性が大きいことが明らかにされた。98 の SSR マーカー座の遺伝子型情報を用いて連鎖不平衡解析を行った結果、開花期や日長反応性に関与する多数の候補領域を見出した。自然日長下と 12 時間の短日条件下で日本とエチオピアの在来品種に由来する F₂ 集団を用いて QTL 解析を行い、自然日長下での開花期に関与する 3 つの QTL と 12 時間日長下での開花期に関与する 1 つの新規の QTL を検出した。ソルガムの開花期は遺伝効果の小さい多数の QTL によって制御されている点で、イネやシロイヌナズナとは明らかに異なる開花期の制御機構が関与していると考察した。これら

の成果は、ソルガムにおけるゲノム育種基盤の構築に貢献するものであり、植物育種学分野の優れた業績として高く評価できる。

平成 24 年 4 月 13 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（学術）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。