

氏 名	さい とう ひろ き 齊 藤 大 樹
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学 位 記 番 号	農 博 第 1664 号
学位授与の日付	平 成 19 年 11 月 26 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	農 学 研 究 科 農 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Identification of heading time genes for the development of new ecotypes in rice (<i>Oryza sativa</i> L.) (イネの新しい生態型の開発に寄与する出穂期遺伝子の同定)
論文調査委員	(主 査) 教 授 谷 坂 隆 俊 教 授 白 岩 立 彦 教 授 山 田 利 昭

論 文 内 容 の 要 旨

イネにおいて、出穂期は品種の地域適応性に関わる重要な形質である。イネの出穂期は、感光性 (PS: photoperiod sensitivity) の強度と基本栄養生長期 (BVG: basic vegetative growth period) の長さによって決定される。BVGの長さは、通常、適日長条件下における最短の到穂日数で表され、一方、PSの強度は長日条件下における到穂日数と適日長条件下における到穂日数の差によって表される。PSの強度とBVGの長さにはそれぞれ大きな遺伝的変異があり、これらの組合せによって生じる出穂特性はきわめて多様である。このため、イネ品種には各栽培地域に出穂特性に基づく固有の生態型が存在する。イネの栽培地が南北に長い日本のイネ品種に関しては、各生態型を決定する出穂期遺伝子型がほぼ明らかにされている。しかし、日本以外の国の栽培品種に関しては、生態型と関与遺伝子型との関係は未解明である。本論文は、韓国および台湾の稲作にそれぞれ著しい生産性の向上と安定とをもたらした2つの生態型品種群 (韓国: 統一系品種群, 台湾: *japonica* 品種群) の出穂期に関する遺伝解析を行い、これら地域の品種がもつ出穂期遺伝子型を解明するとともに、極早生突然変異系統X61の新規出穂期遺伝子を同定し、この新規不感光性遺伝子を利用した新しい生態型開発の可能性について検討を加えたものである。その主な内容は以下の通りである。

1. 統一系品種 (TG 品種, *indica-japonica* 交雑種) 26品種, 韓国の *japonica* 品種 (JT 品種) 18品種, および日本の *japonica* 品種 (JP 品種) 16品種の計60品種を供試し、播種期の移動に対する到穂日数 (DH: days to heading) の変化を調査した。TG 品種群では播種期の遅れにともなう DH の変化はみられなかったが、JT および JP 品種群では DH が小さくなる (早生化する) 品種が大半であった。上記60品種を短日条件 (10時間日長) および長日条件 (14時間日長) で栽培して、それらの BVG の長さおよび PS を推定したところ、TG 品種は JT および JP 品種よりかなり長い BVG をもつことが判明した。また、TG 品種はいずれも弱い PS を示したが、JT および JP 品種の中には強い PS を示すものが多く含まれていた。したがって、TG 品種は長い BVG と弱い PS に特徴づけられること、このような出穂特性は TG 品種に特有のものであることが明らかになった。

2. TG 品種は、PS が弱く、感光性遺伝子座である *Se1* 座に劣性アレルをもつと推定されたことから、TG 品種と *Se1* 座に関する検定系統 (ER および LR) との交雑後代を用いて、出穂期に関する分離分析を行ったところ、TG 品種は *Se1* 座に不感光性アレルをもつこと、および日本品種にはない未知の晩生遺伝子 *k* をもつことが明らかになった。この *Se1* 座の不感光性アレルは、品種日本晴の感光性アレル *Se1-n* と比較して、第2エクソンの CCT-motif (機能上重要) に4bpの欠失を有しており、さらに、既知の不感光性アレル *Se1-e* とも配列が異なっていたことから、*Se1* 座の新規アレルであることが明らかになった。そこで、このアレルを *Se1-k* と命名した。また、分子マーカーを用いて未知の晩生遺伝子 *k* の座乗染色体を調査したところ、*k* は第8染色体の SSR マーカー RM5432 と同 RM5556 の間に座乗する新規遺伝子であることが明らかになった。そこで、この遺伝子座を *Lh4* (*Late heading-4*, *k=lh4*) と命名した。一方、TG 品種がすべてもつ *Se1-k* と *lh4* は JT および JP 品種には存在しなかったことから、*Se1-k* と *lh4* は TG 品種の成立に重要な役割を果たしたことが明らかになった。

3. 基本栄養生長性遺伝子 *Ef1* は短日条件下で出穂を促進するが、その劣性アレル *ef1* はその機能をもたず短日条件下で出穂を遅延させる。台湾の *japonica* 品種台中65号 (T65) は劣性アレル *ef1* をもつため、日本の品種と比較して、はるかに長いBVGを示す。一方、B-type response regulatorをコードする *Ehd1* は、*Ef1* と同様に、第10染色体に座乗し、短日条件下で出穂を促進することが知られている。このため、*Ef1* と *Ehd1* は同一座のアレルと考えられるが、十分な解析が行われていない。そこで、T65にイネ野生種 *Oryza glaberrima* の *Ehd1* を導入したT65の準同質遺伝子系統T65eとT65との交雑F₃集団 (1819個体)、および中国品種大同在来の *Ef1-a* を導入したT65の準同質遺伝子系統T65EaとT65eとの交雑F₃集団 (1881個体) を短日条件下 (10時間日長) で栽培して、*Ef1* 座と *Ehd1* 座との異同を調査した。その結果、*Ef1* と *Ehd1* は同座であることが明らかになった。次にT65、T65Ea、T65Eb (日本品種坊主5号の *Ef1-b* を導入したT65の準同質遺伝子系統) およびT65eについて、*Ehd1* 座の塩基置換の有無をCAPS分析によって調べたところ、T65EaおよびT65Ebでは、T65型 (*ef1* 型) の塩基置換が認められなかった。このことから、これらの系統は *Ehd1* 座に機能喪失型の *ehd1* をもたないことが明らかになり、*Ef1* と *Ehd1* は同座のアレルであることが確認された。さらに、台湾の *japonica* 品種のBVGおよび *Ef1* (= *Ehd1*) 座の遺伝子型を調査したところ、これらの品種はT65と同程度の長いBVGをもつこと、および *Ef1* (= *Ehd1*) 座に機能喪失型のアレル *ef1* (= *ehd1*) をもつことが明らかになった。したがって、*ef1* は台湾に適応する *japonica* 品種の成立に重要な役割を果たしたことが明らかになった。また、*indica* 品種および台湾以外の *japonica* 品種には *ef1* が分布していなかったこと、および台湾の *japonica* 品種の由来が日本の *japonica* 品種間交雑であったことから、*ef1* はこの *japonica* 品種間交雑の際に生じた突然変異に起源したと考えられた。

4. 品種銀坊主のX線照射後代に得られた、1遺伝子劣性突然変異系統X61は、原品種と比べて1ヶ月以上出穂が早く、感光性を完全に失っている。この突然変異遺伝子座 *Se13* 座は、感光性遺伝子座 *Se1* および *E1* 座とは異なる座であること、さらに、それらの座より上位で機能することが明らかにされているが、染色体上の位置は未同定である。そこで、分子マーカーを用いて連鎖分析を行ったところ、第1染色体のSCARマーカーINDEL4073_2とSSRマーカーRM12208の間 (約474kb以内) に座乗することが明らかになった。この領域には、発色団合成に関わる遺伝子 *OsHY2* が存在するため、X61の *OsHY2* の塩基配列を調べたところ、第1エクソンに1塩基挿入があり、これによってフレームシフト突然変異 (塩基配列中にストップコドンが誘発) が生じていることが明らかになった。したがって、X61は発色団合成酵素の変異によって光情報の受容と伝達に関する機能を喪失した突然変異体であると結論された。*Se13* 座は *Se1* および *E1* 座より上位で機能する遺伝子座であることから、その劣性アレル *se13* は感光性を完全に喪失させる。したがって、*se13* と、互いに効果が異なる種々の基本栄養成長性遺伝子とを組合せることによって、日長の影響を受けない多様な生育期間をイネに付与することができると結論された。

論文審査の結果の要旨

イネの栽培地が南北に長い (北緯30~45度、沖縄を除く) 日本のイネ品種には、関東以西型、東北・北陸型および北海道型の3生態型が分化しており、それらの成立に寄与した出穂期遺伝子が明らかにされている。しかし、日本以外のイネ品種に関しては、生態型と関与遺伝子型との関係は未解明である。本論文は、韓国および台湾の稲作に画期的収量増と安定生産をもたらした2つの生態型 (韓国: 統一系品種群、台湾: 台湾 *japonica* 品種群) の成立に寄与した出穂期遺伝子を解析するとともに、突然変異系統X61の不感光性および極早生性の原因遺伝子 *se13* の染色体上の位置と機能を解析し、*se13* を用いた新しい生態型開発の可能性について検討した結果をとりまとめたものである。評価される点は以下の通りである。

1. 統一系品種 (TG品種)、およびそれらの成立以前に韓国で栽培されていた *japonica* 品種の播種期の移動に対する到穂日数の変化並びに短日および長日条件における到穂日数を調査し、TG品種は長い基本栄養性長期と弱い感光性に特徴づけられること、このような出穂特性はTG品種に特有のものであることを明らかにした。

2. TG品種の出穂期に関する遺伝子型を調査して、TG品種はすべて *Se1* 座に新規不感光性アレル *Se1-k*、第8染色体上の新規出穂期遺伝子座 *Lh4* 座に晩生アレル *lh4* をもつことを明らかにした。また、これら2遺伝子座間には相互作用があることを認め、TG品種の成立には、*Se1-k* と *lh4* の組み合わせが重要な役割を果たしたと結論した。

3. 短日条件下で出穂を促進する、2つの基本栄養性遺伝子 *Ehd1* と *Ef1* に関して対立性検定を行い、これら2つの遺伝子

が同座（第10染色体）の機能型アレルであることを明らかにした。また、*Ef1*座に関する遺伝子分析および品種日本晴の塩基配列情報に基づく塩基配列解析から、基本栄養生長期の長い台湾の *japonica* 品種はすべて短日条件下で出穂遅延させる劣性のアレル *ef1* をもつが、日本の *japonica* 品種は *ef1* をもたないことを明らかにし、*ef1* が低緯度に位置する台湾の *japonica* 品種の成立に大きく寄与したことを示した。

4. 突然変異系統 X61 の不感光性および極早生性の原因遺伝子 *se13* の精密マッピングを行って、*se13* が第 1 染色体の SCAR マーカー INDEL4073_2 と SSR マーカー RM12208 の間に座乗する発色団合成関連遺伝子 *OsHY2* の機能喪失型アレルであり、感光性を完全に喪失させる効果のあることを明らかにした。この結果から、*se13* と、互いに効果が異なる種々の基本栄養成長性遺伝子とを組合せることによって、日長の影響を受けない多様な生育期間をイネに付与することができると結論した。

以上のように、本論文は、韓国および台湾において新たなイネの生態型を成立させた出穂期遺伝子を同定するとともに、これまでになかったイネ品種の新しい生態型の開発に寄与しうる出穂期突然変異遺伝子を発見したものであり、育種学、遺伝学、作物学およびそれらの応用分野の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成19年10月22日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。