

Эпигенетические механизмы контроля экспрессии генов, участвующих в адаптации растений *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. на северной периферии ареала

М.В. Зарецкая, О.М. Федоренко

Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия
genmg@mail.ru

Цель: Изучение эпигенетического механизма репрессии гена *FLC* – ключевого ингибитора инициации цветения, с участием длинных некодирующих РНК (*COOLAIR*, *COLDAIR* и *COLDWRAP*) и компонента комплекса PRC2 – метилтрансферазы *CURLY LEAF*, у растений *Arabidopsis thaliana* северных природных популяций (Карелия).

Материалы и методы: В работе использовали растения *A. thaliana*, выращенные из собранных в природе семян. Яровизацию проводили на 14-дневных проростках (стадия розетки) при 2–4 °С в течение 10, 20, 30, 40 или 63 (9 недель) дней. Время начала цветения определяли у 60 растений из каждой популяции. Содержание уровня транскриптов генов *FLC*, *CLF* и lncРНК определяли в молодых листьях растений методом ПЦР в режиме реального времени с интеркалирующим красителем SYBRGreen на приборе iCycler iQ5 (Bio-Rad, США) с набором для ПЦР-РВ (Евроген).

Результаты: Время начала цветения – это адаптивно значимый признак для растений. Оно должно происходить в строго определенное время, чтобы обеспечить максимальный репродуктивный успех и выживаемость экотипа. Карельские популяции *A. thaliana* представлены в основном поздноцветущими формами растений, которым для цветения требуется продолжительная яровизация. Однако одна из изученных популяций оказалась гетерогенной по срокам начала цветения: в ее состав входят как раннецветущие, так и поздноцветущие формы растений. Увеличение длительности холодового воздействия приводило к сокращению доли поздно зацветающих растений. Выявлена неодинаковая реакция растений отдельных популяций на яровизацию различной продолжительности.

Примером эпигенетического механизма адаптации *A. thaliana* к нестабильным условиям на северной периферии ареала вида является репрессия гена *FLOWERING LOCUS C (FLC)*, который кодирует ингибирующий цветение фактор транскрипции *FLC*. Репрессия *FLC* происходит под воздействием низких температур. Выявлены особенности экспрессии гена *FLC*: установлен низкий уровень транскриптов мРНК *FLC* у неяровизированных растений, что отличается от данных других исследователей. В процессе яровизации происходит увеличение уровня экспрессии *FLC* на 10-й и 20-й день с последующим снижением ее к 30-му дню. Особенным образом представлена динамика экспрессии генов *FLC* в процессе яровизации у S1 потомства одного раннецветущего растения, при этом экспрессия *FLC* у них изменяется согласно классическим представлениям: первоначально высокий уровень транскриптов *FLC* в процессе яровизации снижается. Предполагается, что генетические и эпигенетические механизмы, участвующие в контроле темпов зацветания, и гены, вовлеченные в этот процесс, могут различаться у растений популяций разных географических регионов.

Важную функцию в яровизационно-опосредованном эпигенетическом механизме перехода к цветению выполняют lncРНК. При участии репрессирующего комплекса PRC2 они подавляют транскрипцию *FLC* путем метилирования гистонов H3 по Lys27 с образованием репрессирующих меток H3K27me3. Также в метилировании гистонов и регуляции конформации хроматина, влияющего на экспрессию гена *FLC*, участвует метилтрансфераза гистонов *CURLY LEAF*. Динамика экспрессии трех lncРНК (*COOLAIR*, *COLDAIR* и *COLDWRAP*) оказалась сходной: относительно высокий уровень транскриптов у неяровизированных растений в начале холодового воздействия (20 дней) снижался, а затем повышался к 30-му дню яровизации. Анализ экспрессии гена *CLF* показал, что в процессе холодового воздействия она имеет тенденцию к постепенному усилению к 20-му и 30-му дню яровизации, а затем достоверно снижается к 40-му дню. Характер изменения транскриптов *CLF* в ходе яровизации не зависел от принадлежности растений, к какой-либо из изученных популяций Карелии. Сопоставление динамики экспрессии гена *CLF* с динамикой транскриптов гена *FLC* позволяет предположить, что метилтрансфераза гистонов *CLF* участвует в регуляции экспрессии гена *FLC* при яровизации растений *A. thaliana* карельских популяций.

Выводы: Полученные результаты позволяют судить о своеобразии генетических процессов и эпигенетических механизмов, участвующих в регуляции транскрипционной активности генов и lncРНК, контролирующей адаптивно-значимый признак *A. thaliana* – время начала цветения – в популяциях, расположенных на северной периферии ареала вида.

Финансирование: Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (№ FMEN-2022-0009).