

ТРАНСКРИПЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ *CCA1* У РАСТЕНИЙ *Arabidopsis thaliana* СЕВЕРНОЙ ПОПУЛЯЦИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕННОГО СВЕТОВОГО РЕЖИМА

© 2024 г. М. В. Зарецкая^{1,*}, О. М. Федоренко^{1,**}

¹Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, 185910 Россия

*e-mail: genmg@mail.ru

**e-mail: fedorenko_om@mail.ru

Поступила в редакцию 20.05.2024 г.

После доработки 13.06.2024 г.

Принята к публикации 28.06.2024 г.

Проанализирована динамика транскрипционной активности одного из ключевых генов циркадной сети *CCA1* в условиях естественного светового фотопериода длинного дня (16L : 8D) и при инвертированном световом режиме (8D : 16L) у растений *A. thaliana* северной природной популяции (Карелия). Показано, что в условиях инвертированного смещения светового режима происходит резкий подъем экспрессии этого гена со сдвигом фазы в циркадном ритме на 2 часа. Уровень транскрипционной активности *CCA1* оказался почти в два раза выше по сравнению с естественными световыми условиями. При этом эндогенный ритм гена сохранялся, но с меньшей амплитудой. С возрастом у 30-дневных растений, выросших в инвертированных условиях, произошла потеря эндогенного циркадного ритма *CCA1*. Полученные результаты позволяют заключить, что, вероятно, циркадные ритмы *A. thaliana* северных природных популяций выполняют важную роль в адаптации к изменению световых условий и что один из ключевых генов часов *CCA1* играет в этом процессе существенную роль.

Ключевые слова: *Arabidopsis thaliana*, северные популяции, циркадные ритмы, транскрипционная активность *CCA1*, фотопериод.

DOI: 10.31857/S0016675824120046 EDN: WARNCQ

Циркадные ритмы являются одним из важнейших механизмов, участвующих в адаптации растений наряду со временем цветения и сроками прорастания семян. У большинства живых организмов имеются внутренние биологические часы, генерирующие суточные (циркадные) ритмы биологических процессов с периодом около 24 часов. Эта внутренняя система циркадных ритмов полагается на интегрированные внешние сигналы окружающей среды (продолжительность дня и колебание температуры) для контроля важных физиологических процессов, определяющих развитие, и, таким образом, способствует общей приспособленности организма. Несмотря на связь с внешними стимулами, циркадные ритмы имеют эндогенное происхождение. Они не следуют пассивно циклическим изменениям светового режима, а являются результатом слаженной работы сложной системы, состоящей из центральных и периферических осцилляторов [1, 2].

После синхронизации с внешней средой осцилляторы регулируют ритмическое накопление значительной доли транскриптов, белков и

метаболитов. Такая циркадная система способствует синхронизации различных биологических функций с периодически изменяющимися условиями окружающей среды (циклами света и темноты). Это результат эволюционной адаптации к жизни в определенных геофизических условиях на вращающейся планете, где длина дня зависит от географической широты и времени года [3]. Таким образом, циркадные часы дают преимущества в приспособленности, позволяя организмам предвидеть изменения окружающей среды и адаптироваться к ним [4, 5].

Однако до сих пор нет четкого понимания принципов построения молекулярной сети, лежащей в основе системы циркадных ритмов. Известно, что это своего рода внутренний осциллятор, который в большинстве клеток живых организмов представлен комплексом белков часовых генов (clock-genes proteins) [2, 6, 7]. У *A. thaliana* ключевые гены циркадной сети – *CIRCADIAN CLOCK ASSOCIATED 1* (*CCA1*) и *LATE ELONGATED HYPOCOTYL* (*LHY*), взаимосвязаны через гены нисходящего пути с генами цветения в условиях длинного дня [8, 9, 10].

Так, GIGANTEA (GI) — компонент циркадных часов, активирует фотопериодическое цветение, т. е. синхронизирует циркадные ритмы со световыми сигналами окружающей среды [2, 11]. Он также регулирует экспрессию флоральных активаторов — *CONSTANS* (CO) и *FLOWERING LOCUS T* (FT) [12]. К тому же показано, что генная сеть, контролирующая циркадные ритмы растений, частично перекрывается с сетью, регулирующей цветение [2, 13]. Это может свидетельствовать о том, что циркадные ритмы являются важным механизмом в адаптации растений, способным влиять на время начала цветения в зависимости от геофизических световых условий.

Не так давно было обнаружено, что значительные изменения в режиме свет — темнота вызывают стрессовые реакции, снижая эффективность фотосинтеза. Этот ответ, называемый циркадным стрессом, приводит к снижению экспрессии *CCA1* и *LHY* при продолжительном освещении (32 ч) и длительном периоде темноты (16 ч) [14]. Однако, как было показано, циркадные часы способны регулировать реакцию организма на абиотический стресс. Эта регуляция и подгонка к суточному ритму осуществляется с помощью эпигенетических механизмов. К ним относят модификации гистонов и ремоделирование хроматина, которые регулируют доступность ДНК путем открытия или уплотнения октамера гистонов [5].

В связи с этим с целью выявления способности растений *A. thaliana* карельских популяций адаптироваться к изменению светового режима и определения, насколько быстро это происходит, мы проанализировали в сравнительном аспекте транскрипционную активность одного из ключевых генов циркадных часов — *CCA1* — при естественном световом режиме длинного дня (16L : 8D) и при инвертированном смещении его (8D : 16L). Инвертированное смещение светового режима подразумевает предоставление света в вечернее и ночное время суток при сохранении продолжительности фотопериода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовали растения *A. thaliana*, выращенные из собранных в природе семян северной природной популяции, находящейся в Карелии. Это популяция Шуйская, названная в соответствии с близлежащим населенным пунктом (61°94' с. ш.; 34°25' в. д.). Анализ экспрессии гена *CCA1* проводили на молодых листьях растений. В качестве контроля использована раннецветущая линия — *Ler* (*Landsberg erecta*).

Выращивание растений в лабораторных условиях

Выращивание растений в лабораторных условиях проводили по общепринятым методикам

культивирования *A. thaliana* [15]. Семена растений из популяции Шуйская высевали в чашки Петри и проращивали на простой среде по Гихнеру — Велеминскому, которая готовилась на основе 8%-ного агар-агара с добавлением растворов макро- и микроэлементов. Растения выращивали в условиях естественного светового фотопериода длинного дня (16L : 8D) и при инвертированном смещении его. В первом случае свет включался в 6 ч, а выключался в 22 ч; во втором — свет предоставлялся в вечернее и ночное время (с 17 до 9 ч), а темный период — в дневное время (с 9 до 17 ч). При этом длина дня оставалась прежней (8D : 16L). Условия роста на свету: освещение — 10000 лк; температура 22 °С, в темноте — 22 °С.

Для анализа уровня транскриптов *CCA1* использовали следующие группы растений, выращенные в неодинаковых условиях (рис. 1):

а — 20-дневные растения карельской популяции и *Ler*, выросшие при естественном световом режиме в условиях длинного дня (16L : 8D); 20-дневные растения (Ш20) анализировали;

б — растения карельской популяции из группы “А” (Ш20) доращивали десять дней при инвертированном световом режиме (8D : 16L); в результате анализировали 30-дневные растения (Ш30);

в и *г* — семена растений из карельской популяции, посеянные в чашки Петри, сразу помещали в инвертированные световые условия (8D : 16L);

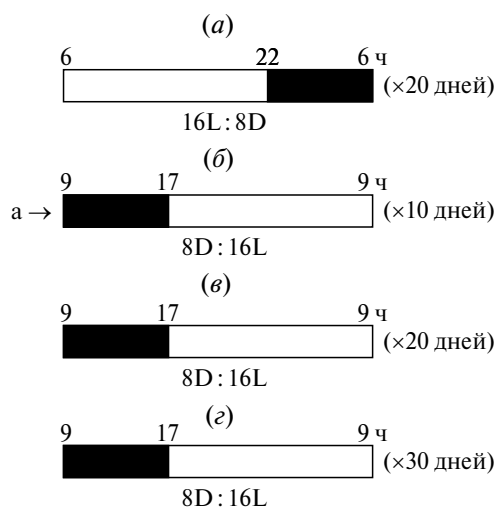


Рис. 1. Графическое представление условий выращивания растений при длинном световом дне: (а) — семена посеяны при естественном световом фотопериоде (16L : 8D); свет включался с 6 до 22 ч; 20-дневные растения (Ш20) анализировали. (б) — растения из группы “а” доращивали 10 дней при инвертированном световом режиме (8D : 16L); свет включался с 17 до 9 ч; 30-дневные растения (Ш30) анализировали. (в, г) — семена посеяны в инвертированных световых условиях (8D : 16L); 20-дневные (С20) и 30-дневные (С30) растения анализировали.

20-дневные растения (С20) и 30-дневные (С30) анализировали.

Анализ уровня транскриптов *CCA1*

Выделение суммарной РНК из листьев растений осуществлялось с использованием набора ExtractRNA (Евроген, Россия) по протоколу производителя. Качество и количество РНК определяли на спектрофотометре Smart Spec (Bio-Rad, США). Первую цепь кДНК синтезировали с помощью набора для обратной транскрипции MMLV RT kit (Евроген). Содержание мРНК оценивали методом ПЦР в режиме реального времени с интеркалирующим красителем SYBR Green на приборе Light Cycler 96 (Roche, Германия) с набором для ПЦР-PB (Евроген). Для определения уровня экспрессии РНК каждую ПЦР проводили на двух независимых образцах кДНК. Последовательности праймеров для анализа экспрессии *CCA1* – ф: 5'-GTGATGATGTTGAGGCGGATG-3', г: 5'-GAGAGCTTGGAAGGCAATTTCG-3'.

Анализ относительного содержания транскриптов проводился с помощью метода $2^{-\Delta\Delta C_t}$ [16], основанного на нормализации данных по экспрессии относительно двух референсных генов. Рассчитывалась разница значений C_t (ΔC_t) между целевым и референсными генами, затем сравнивались значения ΔC_t контрольного и опытного образцов. В качестве референсных использованы гены *18sRNA* и *ACTIN8*, которые характеризуются конститутивной экспрессией. Последовательности праймеров референсных генов: *18sRNA* – ф: 5'-TG-CCCGTTGCTCTGATGA-3', г: 5'-GGATGTGG-TAGCCGTTTCT-3'; *ACTIN8* – ф: 5'-GCAGACCG-TATGAGCAAAGAG-3', г: 5'-TGAGGGAAGCAAG-GATAGAACC-3'. О специфичности фрагментов судили по кривым плавления.

Статистическая обработка данных

Экспериментальные данные обрабатывали с использованием статистических программ Microsoft Excel и Statgraphics 2.1 (ANOVA). Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра “Карельский научный центр Российской академии наук”.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ транскрипционной активности гена *CCA1*

A. thaliana относится к длиннодневным растениям, т. е. ему требуется продолжительность светового дня не менее 12 ч (14–16 ч) [17]. В связи с этим для изучения транскрипционной активности *CCA1* растения выращивали в условиях длинного дня: 16 ч день и 8 ч ночь. В условиях естественного

светового фотопериода (16L : 8D) анализ проводили на 20-дневных растениях *A. thaliana* популяции Шуйская и линии *Ler*. Свет включался в 6 ч. Результаты представлены на графике (рис. 2). Динамика экспрессии *CCA1* в обеих группах растений оказалась сходной: фаза пришлась на одно и то же время – 7 ч, т. е. максимальная амплитуда экспрессии гена достигалась уже через час после светового стимула и была примерно одинакова в обеих группах.

Изучение динамики транскрипционной активности гена *CCA1* растений *A. thaliana* в условиях инвертированного светового режима (8D : 16L) проводилось на растениях популяции Шуйская. Анализировали три группы растений: первая – это 30-тидневные растения, которые только последние десять дней росли в инвертированных условиях; вторая и третья группы – это 20-ти и 30-тидневные растения, выросшие в инвертированных световых условиях из семян. Результаты представлены на двух диаграммах: на одной – экспрессия *CCA1* анализировалась, когда свет предоставлялся в вечернее время с 17 ч (рис. 3), а на другой – свет продолжался в утренние часы с 5 до 9 ч, что соответствует началу светового периода в естественных условиях (рис. 4).

Результаты показали, что у растений, выращиваемых в условиях естественного светового режима 20 дней и перенесенных в условия инвертированного светового режима на 10 дней (Ш30), происходит резкий скачок экспрессии *CCA1* со сдвигом фазы на 2 часа (рис. 3, а) относительно группы растений, выросших в условиях 16L : 8D (Ш20) (рис. 2). Максимальная амплитуда экспрессии *CCA1* пришлась на 20 ч, т. е. через 3 ч

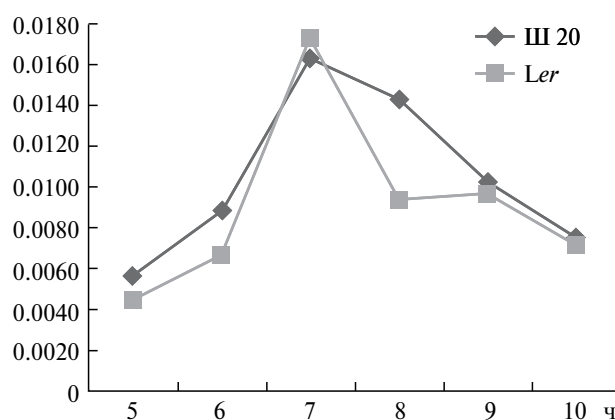


Рис. 2. Динамика транскрипционной активности *CCA1* у 20-дневных растений *A. thaliana* популяции Шуйская (Ш20) и *Ler* при выращивании их в условиях естественного светового фотопериода 16L : 8D (свет включался в 6 ч). Примечание. Здесь и на рисунках 3 и 4: по оси X – время суток в часах; по оси Y – относительный уровень транскриптов *CCA1*.

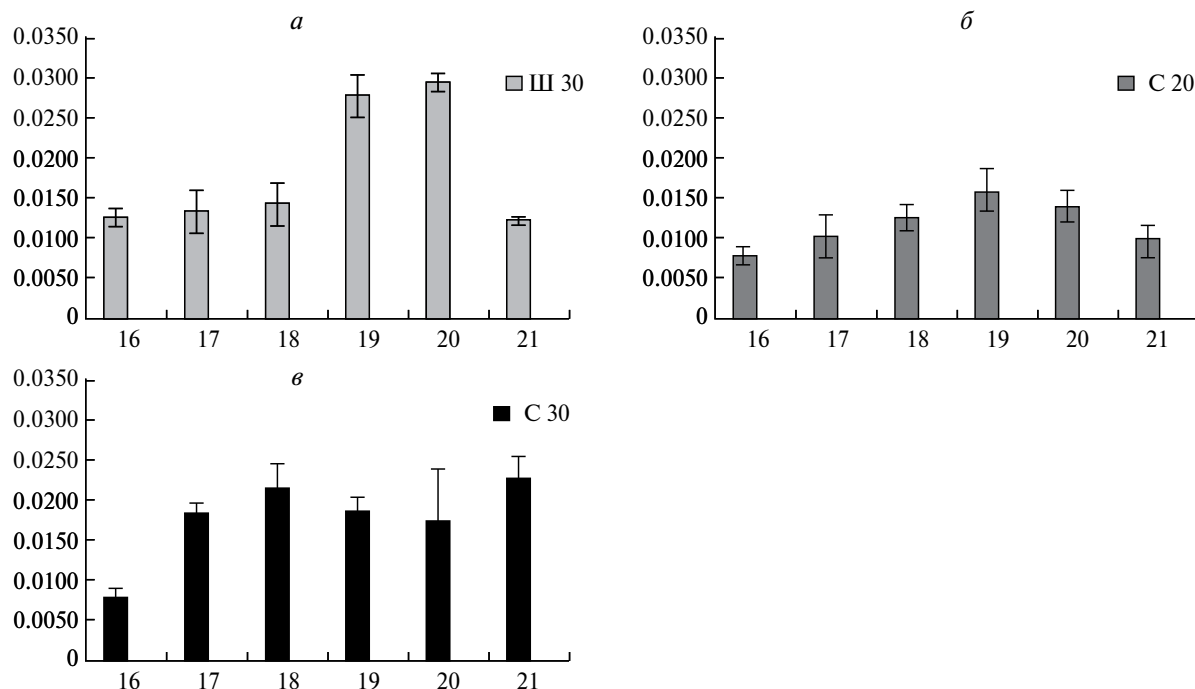


Рис. 3. Динамика транскрипционной активности *CCA1* у растений *A. thaliana* популяции Шуйская при выращивании их в условиях инвертированного светового режима 8D : 16L (свет включался в 17 ч). а – 30-дневные растения только последние 10 дней росли в инвертированных световых условиях (Ш30); б и в – 20-дневные (C20) и 30-дневные (C30) растения, постоянно выращиваемые при инвертированном световом режиме.

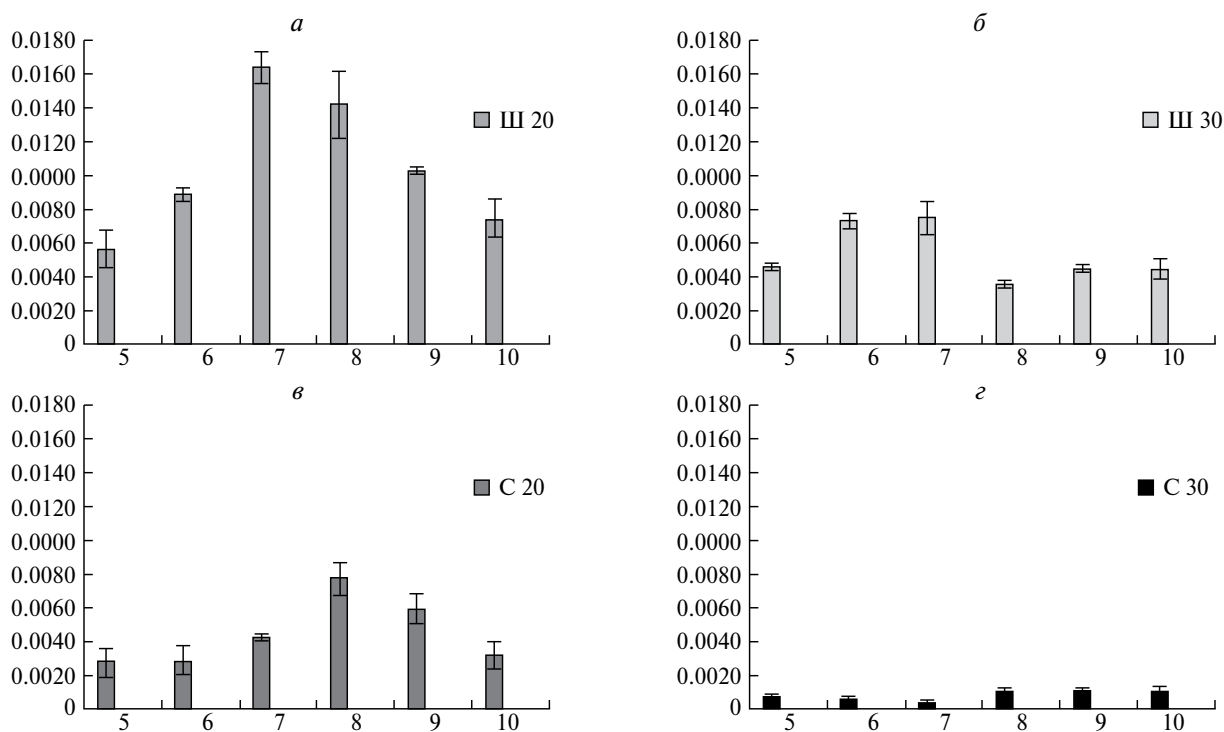


Рис. 4. Динамика транскрипционной активности *CCA1* у растений *A. thaliana* популяции Шуйская при выращивании их в условиях инвертированного светового режима 8D : 16L (свет продолжается с 17 ч до 9 ч утра). а – растения росли в условиях естественного светового фотопериода (16L : 8D) (Ш20) (данные приведены из рис. 1 для сравнения); б – 30-дневные растения только последние 10 дней росли в инвертированных световых условиях (Ш30); в и г – 20-дневные (C20) и 30-дневные (C30) растения, постоянно выращиваемые при инвертированном световом режиме.

после светового стимула, а у растений в условиях естественного светового режима — через один час (6–7 ч). Таким образом, в данных условиях происходит задержка транскрипционной активности гена, однако амплитуда экспрессии *CCA1* указанных растений оказалась почти в два раза выше по сравнению с растениями, выросшими в условиях естественного светового режима. По-видимому, это связано с более активным откликом на свет после 10-дневного роста в инвертированных световых условиях. Сдвиг фазы на 2 ч отражает потребность в дополнительном времени для адаптивной перестройки молекулярно-генетических процессов, участвующих в контроле циркадных ритмов. Когда продолжительность освещения достигла утренних часов суток, после 6 часов происходит увеличение транскрипционной активности *CCA1* с максимальной амплитудой в 7 ч, но примерно в два раза меньшей (рис. 4, б), чем у растений, выросших в условиях естественного светового периода (рис. 4, а). Это служит доказательством сохранения эндогенного циркадного ритма *CCA1*.

Для определения реакции растений, сразу после прорастания оказавшихся в инвертированных световых условиях, был предпринят следующий эксперимент: посеянные семена сразу поместили в условия 8D : 16L на 20 и 30 дней (рис. 3). Стояла задача выяснить, как изменяется циркадный фенотип (который визуализируется с помощью количественных показателей — фазы и амплитуды) и как на это повлияет возраст растений, т. е. длительность пребывания в инвертированных условиях.

Результаты анализа транскрипционной активности *CCA1* в вечернее время показали, что у растений C20 (рис. 3, б) фаза (максимальная экспрессия) достигалась через два часа после светового стимула в 17 ч (т. е. в 19 ч), что немного быстрее, по сравнению с 30-дневными растениями (Ш30) в таких же условиях (рис. 3, а), но амплитуда почти точно соответствовала амплитуде 20-дневных растений Ш20 (рис. 4, а), выросших в условиях естественного светового режима. Таким образом, за 20 дней роста в условиях инвертированного светового режима растения смогли к ним адаптироваться. Растения, выращиваемые в таких же условиях 30 дней (C30), продемонстрировали активный отклик на свет: фаза экспрессии *CCA1* пришлась на первый час после светового стимула (на 18 ч) и амплитуда примерно в 1.5 раза выше (рис. 3, в) по сравнению с растениями C20 (рис. 3, б). Далее, в утренние часы у растений C20 в инвертированных световых условиях фаза транскрипционной активности *CCA1* была достигнута через 2 ч (в 8 ч) (рис. 4, в). По сравнению с растениями, выросшими в естественных световых условиях (Ш20; рис. 4, а), происходит задержка фазы на 1 ч, но с меньшей (в два раза) амплитудой. Такая же амплитуда у растений Ш30 наблюдается в подобных условиях

в утренние часы (рис. 4, б), что свидетельствует о сохранении эндогенного ритма экспрессии *CCA1* у растений C20 в инвертированных световых условиях. 30-дневные растения (C30) в аналогичных условиях показали в утренние часы очень низкую экспрессию *CCA1* (рис. 4, з). Такая низкая экспрессия указывает на потерю эндогенного ритма гена. Возможно, это связано с возрастом растений и/или является результатом адаптации к необычным световым условиям.

Таким образом, настоящее исследование показало, что искусственно измененные световые условия влияют на циркадные ритмы растений *A. thaliana* северной природной популяции. Были зафиксированы следующие реакции на инвертированный световой режим:

- резкий подъем транскрипционной активности одного из ключевых генов циркадной сети *CCA1* на световой стимул;

- сдвиг фазы экспрессии этого гена (при различных условиях выращивания растений), указывающий на необходимость определенного периода времени для молекулярно-генетических процессов адаптации;

- сохранение эндогенного ритма экспрессии *CCA1* у растений в течение 10-ти дней (Ш30) и 20-ти дней (C20) роста в инвертированных световых условиях и потеря его у 30-тидневных растений (C30) в этих же условиях.

Последний из указанных результатов в какой-то мере согласуется с мнением A. Venkat и S. Muneer [2], которые считают, что при снятии внешних сигналов дня и ночи эндогенный ритм экспрессии генов часов становится свободно текущим и через некоторое время перестает совпадать с суточными изменениями.

Исследований, подобных нашему, когда светлый и темный период меняются местами в суточном ритме, в литературе не встречается. В отличие от работ других авторов, в которых использовано существенное изменение длительности светлого и темного периодов [9, 14], в настоящем исследовании естественный фотопериод длинного дня сохранен. Так, H. Sugiyama с соавт. [9] изучали влияние ультракоротких фотопериодов (3L : 3D; 2L : 2D; 1L : 1D) на растения *A. thaliana*, а S. Nitschke с соавт. [14] подвергали этот вид продолжительному световому воздействию (32 ч) с последующим длительным периодом темноты (16 ч). Оказалось, что такое изменение фотопериода в обоих случаях приводит к циркадному стрессу и влияет на физиологические показатели растений и экспрессию генов. В работе [9] показано, что значительное сокращение фотопериода приводит к снижению экспрессии флоригена FT и задержке цветения растений. В исследовании S. Nitschke с соавт. [14] циркадный стресс вызвал подавление интенсивности

фотосинтеза, гибель клеток листьев и снижение транскрипционной активности *CCA1* и *LHY*. Также выращивание длиннодневного растения *A. thaliana* на коротком дне приводит к задержке цветения [18], а на постоянном свете применяется как стрессовый фактор [19]. В нашем исследовании природный фотопериод длинного дня, свойственный растениям *A. thaliana*, сохранялся, и это привело к усилению транскрипционной активности *CCA1* в ответ на световой стимул в необычное время.

Таким образом, результаты настоящего исследования показали, что радикальное изменение светового режима при сохранении длины дня не приводит к стрессовым реакциям, таким как снижение экспрессии *CCA1*. Наоборот, наблюдается процесс адаптации к новым световым условиям. Полученные результаты позволяют заключить, что вероятно, циркадные ритмы *A. thaliana* северных природных популяций выполняют важную роль в адаптации к изменению светового режима, и что один из ключевых генов часов *CCA1* играет в этом процессе существенную роль.

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

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с использованием в качестве объекта животных.

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием в качестве объекта людей.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhu Z., Quint M., Anwer M.U. *Arabidopsis* *EARLY FLOWERING 3* controls temperature responsiveness of the circadian clock independently of the evening complex // *J. Exp. Bot.* 2022. V. 73. № 3. P. 1049–1061.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erab473>
2. Venkat A., Muneer S. Role of circadian rhythms in major plant metabolic and signaling pathways // *Front. in Plant Sci.* 2022. V. 13.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.836244>
3. Ueda H.R. Systems biology flowering in the plant clock field // *Mol. Syst. Biol.* 2006. V. 2(60).
<https://doi.org/10.1038/msb4100105>
4. Yamashino T., Ito S., Niwa Y. *et al.* Involvement of *Arabidopsis* clock-associated pseudo-response regulators in diurnal oscillations of gene expression in the presence of environmental time cues // *Plant Cell Physiol.* 2008. V. 49(12). P. 1839–1850.
<https://doi.org/10.1093/pcp/pcn165>
5. Ronald J., Davis S.J. Making the clock tick: The transcriptional landscape of the plant circadian clock // *F1000Res.* 2017. V. 6(951).
<https://doi.org/10.12688/f1000research.11319.1>
6. Flis A., Fernández A.P., Zielinski T. *et al.* Defining the robust behaviour of the plant clock gene circuit with absolute RNA timeseries and open infrastructure // *Open Biol.* 2015. V. 5(10).
<https://doi.org/10.1098/rsob.150042>
7. Linde A.M., Eklund D.M., Kubota A. *et al.* Early evolution of the land plant circadian clock // *New Phytol.* 2017. V. 216. P. 576–590.
<https://doi.org/10.1111/nph.14487>
8. Suárez-López P., Wheatley K., Robson F. *et al.* *G. CONSTANS* mediates between the circadian clock and the control of flowering in *Arabidopsis* // *Nature.* 2001. V. 410(6832). P. 1116–1120.
<https://doi.org/10.1038/35074138>
9. Sugiyama H., Natsui Y., Hara M. *et al.* Late flowering phenotype under ultra-short photoperiod (USP) in *Arabidopsis thaliana* // *Plant Biotechnology.* 2014. V. 31(1). P. 29–34.
<https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.13.1104a>
10. Rees H., Joynson R., Brown J.K.M. *et al.* Naturally occurring circadian rhythm variation associated with clock gene loci in Swedish *Arabidopsis* accessions // *Plant Cell Environ.* 2021. V. 44. P. 807–820.
<https://doi.org/10.1111/pce.13941>
11. Anwer M.U., Davis A., Davis S.J., Quint M. Photoperiod sensing of the circadian clock is controlled by *EARLY FLOWERING 3* and *GIGANTEA* // *Plant J.* 2020. V. 101(6). P. 1397–1410.
<https://doi.org/10.1111/tpj.14604>
12. Sawa M., Kay S.A. *GIGANTEA* directly activates *FLOWERING LOCUS T* in *Arabidopsis thaliana* // *Proc. Natl Acad. Sci. USA.* 2011. V. 108. P. 11698–11703.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1106771108>
13. Salathia N., Davis S.J., Lynn J.R. *et al.* *FLOWERING LOCUS C*-dependent and -independent regulation of the circadian clock by the autonomous and vernalization pathways // *BMS Plant Biol.* 2006. V. 6. № 10.
<https://doi.org/10.1186/1471-2229-6-10>
14. Nitschke S., Cortleven A., Iven T., Feussner I. *et al.* Circadian stress regimes affect the circadian clock and cause jasmonic acid-dependent cell death in cytokinin-deficient *Arabidopsis* plants // *Plant Cell.* 2016. V. 28(7). P. 1616–1639.
<https://doi.org/10.1105/tpc.16.00016>
15. Иванов В.И., Касьяненко А.Г., Санина А.В. и др. Краткая характеристика *A. thaliana* и некоторые сведения о его культивировании, технике скрещиваний и учете изменчивости // *Генетика.* 1966. Т. 8. № 1. С. 115–120.
16. Livak K.J., Schmittgen T.D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2– $\Delta\Delta C_t$ method // *Methods.* 2001. V. 25. P. 402–408.
<https://doi.org/10.1006/meth.2001.1262>

17. Квитко К.В., Мюллер А. Новый объект для генетических исследований — *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. // Исследования по генетике. Т. 1. Л.: Изд-во ЛГУ. 1961. С. 79.
18. Fujiwara S., Oda A., Yoshida R. et al. Circadian clock proteins LHY and CCA1 regulate SVP protein accumulation to control flowering in *Arabidopsis* // Plant Cell. 2008. V. 20(11). P. 2960–2971. <https://doi.org/10.1105/tpc.108.061531>
19. Millar J., Carrington J.T., Tee W. et al. Changing planetary rotation rescues the biological clock mutant *lhy cca1* of *Arabidopsis thaliana* // bioRxiv. 2015. <https://doi.org/10.1101/034629>

Transcriptional Activity of *CCA1* in Northern Population *Arabidopsis thaliana* Plants under Altered Light Conditions

M. V. Zaretskaya^{1,*}, O. M. Fedorenko^{1,**}

¹ Institute of Biology of Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, 185910 Russia

*e-mail: genmg@mail.ru

**e-mail: fedorenko_om@mail.ru

The dynamics of the transcriptional activity of one of the key genes of the circadian network, *CCA1*, was analyzed under conditions of a natural light photoperiod of a long day (16L : 8D) and under an inverted light regime (8D : 16L) in *A. thaliana* plants of the northern natural population (Karelia). It has been shown that under conditions of an inverted shift in the light regime, there is a sharp increase in the expression of this gene with a phase shift in the circadian rhythm by 2 hours. The level of *CCA1* transcriptional activity was almost two times higher compared to the natural light conditions. At the same time, the endogenous rhythm of the gene was preserved, but with a smaller amplitude. With age, 30-day-old plants grown under inverted conditions experienced a loss of endogenous *CCA1* circadian rhythm. The results obtained allow us to conclude that the circadian rhythms of *A. thaliana*, northern natural populations, probably play an important role in adaptation to changing light conditions, and that one of the key clock genes, *CCA1*, plays a significant role in this process.

Keywords: *Arabidopsis thaliana*, northern natural populations, circadian rhythms, dynamics of *CCA1* transcriptional activity, photoperiod.