

Научная статья

УДК 633.8:631.53.011.2

doi: 10.34655/bgsha.2026.84.3.002

Влияние обработки гиббереллином на характеристики прорастания семян периллы (*Perilla frutescens*)

Ли И¹, Сюэ Цяньсинь², Цыбикова О.М.³, Инь Синь², Чжоу Чжицзе²

¹ Современный центр сельскохозяйственного района Цзинь, Цзинь, Китай

² Чендэская академия сельскохозяйственных и лесных наук, Чендэ, Китай

³ Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, Улан-Удэ, Россия

Автор, ответственный за переписку: Сюэ Цяньсинь, 13631435674@163.com

Аннотация. Для изучения влияния обработки гиббереллином (ГК) на характеристики прорастания семян периллы (*Perilla frutescens*) в качестве материала использовались семена сорта Сяньюй. Были применены различные концентрации гиббереллина (0, 100, 200, 300, 400 мг/л) и различная продолжительность замачивания семян (4, 8, 12, 24, 36 ч). Проращивание проводили при постоянной температуре 20 °С, оценивали всхожесть, энергию прорастания и ежедневную динамику прорастания. Статистический анализ выполнен с использованием дисперсионного анализа (ANOVA) и множественного сравнения по методу наименьшей значимой разницы (LSD). Результаты показали, что концентрация гиббереллина оказывает значительное влияние на прорастание семян ($p < 0,01$). С повышением концентрации всхожесть и энергия прорастания сначала увеличивались, а затем снижались. Наилучший эффект достигнут при обработке 200 мг/л: всхожесть составила 69,3%, что на 112,0% выше контроля (32,7%), энергия прорастания — 25,3%, что на 130,3% выше контроля. Низкая (100 мг/л) и высокая (400 мг/л) концентрации оказывали менее выраженное стимулирующее действие, а чрезмерная концентрация (≥ 300 мг/л) приводила к ингибированию. Динамический анализ показал, что обработка 200 мг/л смещает пик прорастания на 4-е сутки (21%), кривая накопленной всхожести была наиболее крутой, что свидетельствует о дружном и быстром прорастании семян. Опыт с продолжительностью замачивания показал, что оптимальным временем является 8 ч, при котором всхожесть (69,3%) и энергия прорастания (25,3%) были достоверно выше ($p < 0,01$), чем при других экспозициях. Слишком короткое замачивание (4 ч) приводило к недостаточному поглощению гиббереллина, а слишком длительное (≥ 12 ч) сильно ингибировало прорастание из-за гипоксии и гормонального дисбаланса, при этом на 36-й час всхожесть составила всего 11,7%. Таким образом, рекомендуется замачивание семян в растворе гиббереллина с концентрацией 200 мг/л в течение 8 ч, что эффективно нарушает покой семян периллы, значительно повышает скорость, дружность и конечную всхожесть, обеспечивая простую и практичную технологическую схему для эффективного выращивания рассады.

Ключевые слова: *Perilla frutescens*, гиббереллин, прорастание семян, всхожесть, энергия прорастания, продолжительность замачивания.

Финансирование. Проект провинциального научно-технического плана провинции Хэбэй «Ключевое подразделение по сотрудничеству с академиками Академии сельского и лесного хозяйства города Чендэ» (№ проекта 235A9926D).

Influence of gibberellin treatment on perilla (*Perilla frutescens*) seed germination characteristics

Li Yi¹, Xue Qianxin², Oyuna M. Tsybikova³, Yin Xin², Zhou Zhijie²

¹Modern Agricultural Center of Jin District, Jin City, China

²Chengde Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Chengde, China

³Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Philippov, Ulan-Ude, Russia

Corresponding author: Xue Qianxin, 13631435674@163.com

Abstract. To study the effect of gibberellin (GA) treatment on seed germination characteristics of *Perilla frutescens*, seeds of the “Xiangyu” variety were treated with GA of different concentration (0, 100, 200, 300, 400 mg/L) and different soaking durations (4, 8, 12, 24, 36 h). Germination tests were conducted at the constant temperature of 20°C; the germination rate, germination energy, and daily germination dynamics were measured. Statistical analysis was performed using ANOVA dispersion analysis and LSD multiple comparison tests. The results showed that GA concentration had a significant effect on seed germination ($p < 0.01$). As the concentration increased, both the germination rate and germination energy first increased and then decreased. The 200 mg/l treatment provided the best results, with a germination rate of 69.3%, representing a 112.0% increase over the control (32.7%), and germination energy equaled to 25.3%, representing a 130.3% increase over the control. Low concentration (100 mg/l) and high concentration (400 mg/l) showed less promoting effects, while excessive concentration (≥ 300 mg/l) exhibited an inhibitory effect. Dynamic analysis revealed that the 200 mg/l treatment advanced the germination peak for 4th day (21%), with the steepest cumulative germination curve, indicating concentrated and rapid seed germination. The soaking duration experiment showed that 8 hours were the optimal variant, with germination rate equaled to 69.3% and germination energy – 25.3%, significantly higher than those of other durations ($p < 0.01$). Too short soaking (4 hours) led to insufficient GA uptake, while too long soaking (≥ 12 h) severely inhibited germination due to hypoxia and hormonal imbalance, with germination rate dropping to only 11.7% at 36 h. In conclusion, soaking seeds in 200 mg/l of GA solution for 8 hours are recommended, as these factors effectively break seed dormancy, significantly improve germination speed, uniformity, and final germination rate, providing a simple and practical technical solution for efficient seedling production of *Perilla frutescens*.

Keywords: *Perilla frutescens*; gibberellin; seed germination; germination rate; germination energy; soaking duration.

Financial support: Hebei Provincial Science and Technology Plan Project “Key Unit for Academician Cooperation with Academicians of Chengde Academy of Agricultural and Forestry Sciences” (Project No. 235A9926D).

Введение. Перилла (*Perilla frutescens*) – однолетнее травянистое растение семейства Яснотковые (Lamiaceae), используемое как в пищевых, так и в лекарственных целях, история возделывания которого в Китае насчитывает более 2000 лет. Благодаря уникальному аромату, богатому питательному составу и широкому спектру применения это растение обладает декоративной, пищевой, лекарственной и промышленной ценностью. Исследования показывают, что перилла содержит полифенольные соединения, такие как периллозид, проан-

тоцианидины, периллактон, лютеолин и апигенин, обладающие противовоспалительным, анальгетическим и антивозрастным действием. Листья периллы богаты флавоноидами, которые улавливают и ингибируют свободные радикалы, а масло семян периллы содержит до 65% незаменимой для человека альфа-линоленовой кислоты, которая полезна для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний и способствует развитию мозга [1–3].

Перилла обладает высокой экологической пластичностью и устойчивостью к неблагоприятным факторам (переувлаж-

нению, засухе, бедным почвам) и чрезвычайно широко распространена в Китае. Однако семена периллы имеют плотную восковую кутикулу, структура семенной оболочки плотная, водо- и воздухопроницаемость низкая, период покоя продолжительный, а всхожесть низкая [4]. Свежесобранные семена находятся в среднем или глубоком покое [5], всхожесть составляет всего около 30%. При прямом посеве в поле в каждую лунку высевает 5–6 семян, что требует своевременного прореживания всходов при высоте 3–4 см и окончательного формирования густоты стояния при высоте 6–7 см [6], что приводит к высоким трудозатратам.

Ряд отечественных и зарубежных специалистов изучали способы повышения жизнеспособности семян с помощью обработки гиббереллинами (GAs) для нарушения покоя и увеличения всхожести. Люй Гуйюнь и др. [7] установили, что раствор гиббереллина 200 мг/л повышает всхожесть семян периллы примерно до 70%; Пань Сюэцин и др. [8] показали, что обработка гиббереллином в соответствующих концентрациях эффективно повышает всхожесть семян. Температура и влажность являются двумя важнейшими факторами прорастания семян [9]. Динамическое исследование влияния различных концентраций гиббереллина и продолжительности замачивания на прорастание семян периллы направлено на разработку простого, легко выполнимого и недорогого метода предпосевной обработки семян, позволяющего преодолеть покой и повысить скорость прорастания, что обеспечит теоретическую основу для эффективного использования культуры и получения экономической выгоды.

Материалы и методы. 1. Изучали влияние различных концентраций гиббереллина на характеристики прорастания семян периллы сорта «Сяньюй».

Установлены следующие концентрации гиббереллина: 0 мг/л (СК), 100 мг/л, 200 мг/л, 300 мг/л, 400 мг/л (5 вариантов). Каждый вариант включал 100 семян в трехкратной повторности. Проращивание проводили при постоянной температуре

20°C, ежедневно наблюдали и регистрировали количество проросших семян.

2. Оптимальная продолжительность замачивания для прорастания. Продолжительность замачивания семян составляла 4, 8, 12, 24, 36 ч. Каждый вариант включал 100 семян в трехкратной повторности. Замачивание и проращивание проводили при концентрации гиббереллина 200 мг/л и постоянной температуре 20°C. Ежедневно наблюдали и регистрировали количество проросших семян.

Показатели прорастания [8]. Критерий прорастания: появление проростка длиной 0,2 см:

энергия прорастания (%) = $(G_4 / G) \times 100\%$;

всхожесть (%) = $(G_{10} / G) \times 100\%$;

индекс прорастания (GI) = $\Sigma (G_t / D_t)$,

где: G_4 – количество семян, проросших на 4-е сутки; G_{10} – количество семян, проросших на 10-е сутки; G – общее количество семян в опыте.

Статистическая обработка и анализ данных проводились с использованием программного обеспечения Excel и DPS, статистической обработкой результатов исследований – по Доспехову.

Результаты исследований. 1. Влияние концентрации раствора гиббереллина на всхожесть и энергию прорастания семян периллы.

Согласно данным, представленным в таблице 1, обработка семян периллы различными концентрациями гиббереллина достоверно повышала всхожесть (прирост > 36,7%). Наилучший результат показала концентрация 200 мг/л, при которой всхожесть достигла 69,3%, что на 112,0% выше контроля. При низких концентрациях с повышением содержания гиббереллина всхожесть и энергия прорастания увеличивались; при высоких концентрациях эти показатели снижались. Гиббереллин оказывает на конечную всхожесть семян периллы эффект стимуляции в низких дозах и ингибирования в высоких дозах. Оптимальная концентрация – 200 мг/л, позволяющая повысить всхожесть в 2,1 раза по сравнению с контролем.

Таблица 1 – Влияние концентрации раствора гиббереллина на всхожесть семян периллы

Обработка (ГК, мг/л)	Всхожесть (%)	Сравнение с СК (%)	Уровень значимости 5%	Уровень значимости 1%
200	69.3±1.5	+112.0%	a	A
300	56.0±1.0	+71.3%	b	B
400	46.3±1.2	+41.7%	c	C
100	45.7±2.9	+36.7%	c	C
0(СК)	32.7±2.1	-	d	D

Примечание. Для множественного сравнения использован метод LSD (далее аналогично)

Энергия прорастания является показателем, отражающим способность семян к дружному прорастанию на начальном этапе, характеризует жизнеспособность семян и равномерность всходов [10]. Как показано в таблице 2, обработка семян периллы различными концентрациями гиббереллина не только повышала всхожесть, но и значительно увеличивала

энергию прорастания (прирост > 30,3%). Наилучший результат (25,3%) получен при 200 мг/л, что на 130,3% выше контроля; прорастание было более концентрированным и быстрым. Энергия прорастания и всхожесть тесно коррелируют, то есть обработки, повышающие энергию прорастания, обычно увеличивают и конечную всхожесть.

Таблица 2 – Влияние концентрации раствора гиббереллина на энергию прорастания семян периллы

Обработка (ГК, мг/л)	Энергия прорастания (%)	Сравнение с СК (%)	Уровень значимости 5%	Уровень значимости 1%
200	25.3±1.2	+130.3%	a	A
300	20.3±0.6	+84.8%	b	B
400	15.7±1.5	+42.4%	c	C
100	14.3±0.6	+30.3%	c	C
0(СК)	11.0±1.7	-	d	D

Как показано на рисунке 1, при обработке семян периллы различными концентрациями гиббереллина пик прорастания приходился на раннюю и среднюю фазы опыта. Во всех вариантах обработки ежедневная всхожесть достигала максимума с 4-х по 6-е сутки, затем быстро снижалась, и после 8-х суток новые проростки почти не появлялись.

Вариант 200 мг/л демонстрировал наиболее острую одновершинную кривую с пиком на 4-е сутки (21%) и все еще высоким значением на 5-е сутки (19%), после чего следовало резкое снижение. Это указывает на способность данной концентрации синхронизировать прорастание семян, так что большинство из них прорастает концентрированно в течение 2 суток. В варианте 300 мг/л пик был несколько ниже (4-е сутки, 17%), форма кривой была схожей, но в целом сдвинутой впра-

во и сниженной, что свидетельствует об ослаблении стимулирующего эффекта. В варианте 400 мг/л пик дополнительно снизился (4-е сутки, 15%), причем на 5-е сутки наблюдалось заметное падение, указывающее на ингибирующий эффект. В варианте 100 мг/л пик был наименьшим (4-е сутки, 12%), начало прорастания (3-и сутки) было медленным, а само прорастание растянутым. Контроль (0 мг/л) имел минимальный пик (4–5-е сутки, 9%), процесс прорастания был вялотекущим, небольшое количество новых проростков появлялось и после 6-х суток. Стимулирующее действие гиббереллина проявляется в повышении высоты пика и его смещении на более ранний срок. Концентрация 200 мг/л является оптимальной: высота пика на 133% выше контроля, и пик наступает на сутки раньше.

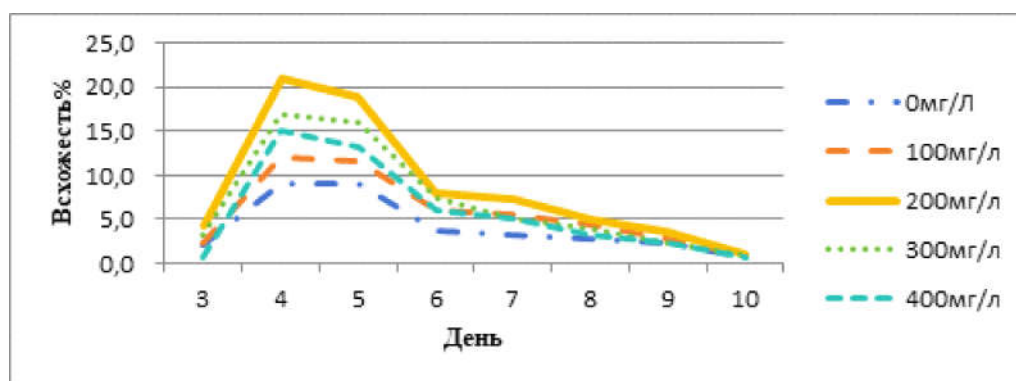


Рисунок 1. Ежедневная динамика изменения всхожести семян периллы при обработке растворами гиббереллина различной концентрации

Как показано на рисунке 2, кривые накопленной всхожести семян периллы имели S-образную форму (медленно-быстро-медленно), но время выхода на плато и конечные значения различались. Кривая варианта 200 мг/л была самой крутой, с максимальным наклоном на 4–5-е сутки; после 6-х суток она становилась полой и в итоге выходила на самое высокое плато. В вариантах 300 и 400 мг/л скорость подъема была несколько медленнее, чем при 200 мг/л, конечные значения – средними. Кривая контроля была самой полой, конечное значение – ми-

нимальным. Гиббереллин, в основном, влияет на скорость прорастания (наклон кривой) и конечную всхожесть (высота плато). Концентрация 200 мг/л оптимизирует оба параметра. Таким образом, гиббереллин в концентрации 200 мг/л наиболее эффективно повышает скорость прорастания семян периллы, способствуя более раннему и концентрированному появлению всходов. Слишком низкая концентрация (0, 100 мг/л) приводит к медленному и растянутому прорастанию; слишком высокая (300, 400 мг/л) – к ингибирующему эффекту.

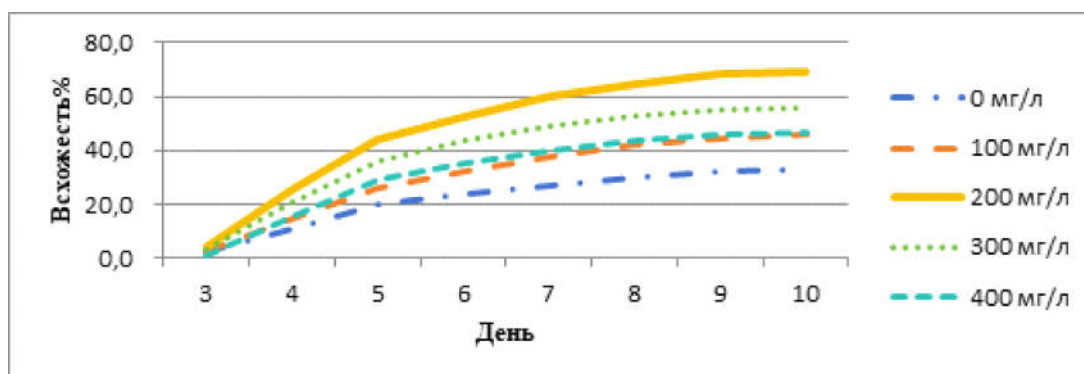


Рисунок 2. Динамика накопленной всхожести семян периллы при обработке растворами гиббереллина различной концентрации

2. Влияние продолжительности замачивания в растворе гиббереллина на всхожесть и энергию прорастания семян периллы.

Данные таблицы 3 показывают, что оптимальной обработкой является замачивание в течение 8 часов: всхожесть составила 69,3%, что достоверно выше, чем во всех других вариантах ($p < 0,01$). Слишком короткое замачивание (4 часа)

привело к снижению всхожести до 48,7%, что примерно на 30% ниже СК (различия высокодостоверны, обозначены как b/B). Это говорит о недостаточном поглощении гиббереллина и неполном проявлении стимулирующего эффекта. Слишком длительное замачивание (12, 24, 36 ч) приводило к значительному снижению всхожести, причем с увеличением времени ингибирование усиливалось. При 12 и 24 часах

всхожесть составила 29,3 и 30,3% соответственно; различия между этими вариантами не существенны, но оба достоверно хуже контроля. При 36 часах всхожесть была всего 11,7%, что на 83,4% ниже контроля и является минимальным значением. Зависимость всхожести от продолжительности замачивания имеет форму од-

новершинной кривой с пиком в 8 часов. При превышении 12 часов проявляется выраженное ингибирование, вероятно, вследствие гипоксии, нарушения метаболизма или токсического действия избытка гиббереллина при длительном замачивании.

Таблица 3 – Влияние продолжительности замачивания в растворе гиббереллина на всхожесть семян периллы

Обработка (ГК, мг/л)	Всхожесть (%)	Сравнение с СК (%)	Уровень значимости 5%	Уровень значимости 1%
8 (СК)	69.3±1.5	-	a	A
4	48.7±1.2	-29.8%	b	B
24	30.3±1.5	-56.2%	c	C
12	29.3±1.5	-57.7%	c	C
36	11.7±1.5	-83.4%	d	D

Согласно данным таблицы 4, энергия прорастания оказалась более чувствительной к продолжительности замачивания. При обработке 8 ч энергия прорастания составила 25,3%, что также достоверно выше, чем в других вариантах. При 4 ч энергия прорастания была 17,7% (снижение на 30,2% по сравнению с СК, различия высокодостоверны). При 12 и 24 ч энергия прорастания упала до 8,0 и 8,7% соответственно (различия между ними не существенны, но оба варианта высокодостоверно хуже контроля). При 36 ч энер-

гия прорастания составила всего 5,0%, что достоверно отличается от вариантов 12 и 24 ч на 5%-ном уровне значимости. Снижение энергии прорастания было более резким, чем снижение всхожести (например, при 12 ч всхожесть упала на 57,7%, а энергия прорастания – на 68,4%). Это указывает на то, что слишком долгое замачивание не только уменьшает общее количество проросших семян, но и значительно задерживает и растягивает процесс прорастания.

Таблица 4 – Влияние продолжительности замачивания в растворе гиббереллина на энергию прорастания семян периллы

Обработка (ГК, мг/л)	Энергия прорастания (%)	Сравнение с СК (%)	Уровень значимости 5%	Уровень значимости 1%
8 (СК)	25.3±1.2	-	a	A
4	17.7±2.1	-30.2%	b	B
24	8.7±1.5	-65.7%	c	C
12	8.0±1.7	-68.4%	c	C
36	5.0±0.1	-80.2%	d	C

Как показано на рисунке 3, вариант с замачиванием 8 ч демонстрирует наиболее острую одновершинную кривую с пиками на 4-е (21,0%) и 5-е (19,0%) сутки; прорастание концентрированное и быстрое. При 4 ч пик ниже и несколько сдвинут

(4-е сутки, 15,3%), в более поздние сроки появляется много новых проростков, прорастание растянуто. При 12 и 24 ч пик значительно снижен (<10%) и сдвинут вправо (для 24 ч пик на 5-е сутки, 9,0%), процесс прорастания вялотекущий. При 36 ч

выраженный пик практически отсутствует, ежедневная всхожесть постоянно ниже 4%, наблюдается сильное ингибирование. Таким образом, замачивание в течение 8 ч максимально концентрирует и ускоря-

ет пик прорастания; слишком долгое или слишком короткое замачивание приводит к снижению ежедневной всхожести и смещению пика.

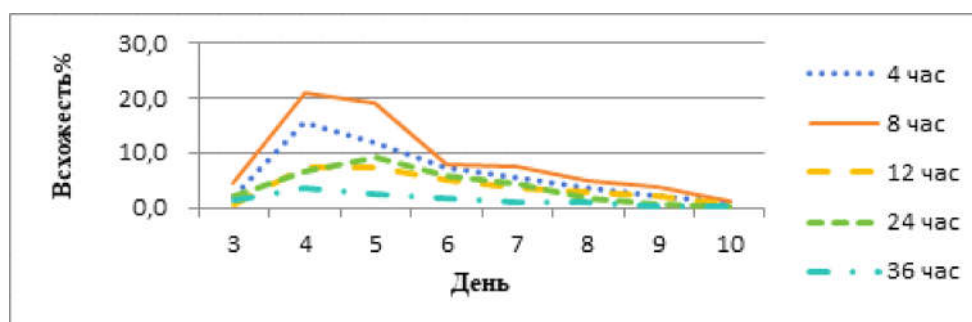


Рисунок 3. Ежедневная динамика изменения всхожести семян периллы при различной продолжительности замачивания в растворе гиббереллина

Как показано на рисунке 4, при замачивании 8 ч кривая накопленной всхожести растет быстрее всего: на 4-е сутки она составляет 25,3%, на 5-е – 44,3%, а к 10-м суткам достигает максимального плато 69,3%. При 4 ч скорость подъема заметно медленнее, конечная накопленная всхожесть лишь около 50%. Кривые для 12 и 24 ч почти накладываются друг на друга, подъем крайне медленный, ко-

нечная всхожесть около 30%. Кривая для 36 ч почти плоская, конечная всхожесть менее 12%. Замачивание в течение 8 ч значительно повышает накопленную всхожесть и сокращает время достижения 50%-ной всхожести (примерно 5-е сутки). Замачивание более 12 ч сильно подавляет общее количество проросших семян и задерживает прорастание.

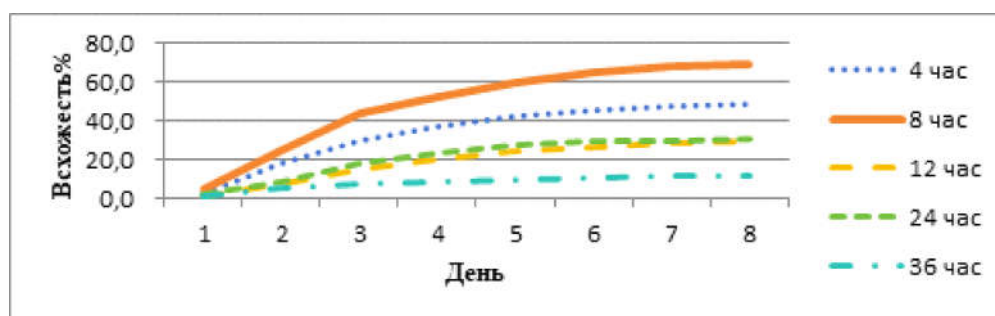


Рисунок 4. Динамика накопленной всхожести семян периллы при различной продолжительности замачивания в растворе гиббереллина

Обсуждение. Механизмы регуляции прорастания семян периллы концентрацией гиббереллина. Данное исследование показало, что гиббереллин (ГК) оказывает на прорастание семян периллы типичное для гормонов действие: стимуляция в низких концентрациях и ингибирование в высоких. Оптимальная концентрация составила 200 мг/л, при которой всхожесть достигла 69,3%, что на 112,0% выше контроля. Этот результат в целом

согласуется с данными Люй Гуйюнь и др. [7], сообщивших о повышении всхожести семян периллы примерно до 70% при использовании ГК 200 мг/л, а также подтверждает выводы Пань Сюэцзиня и др. [8] о способности ГК повышать всхожесть на 9–25%. Однако в нашем исследовании прирост при обработке 200 мг/л по сравнению с контролем достиг 112,0%, что значительно выше и, возможно, связан с более глубоким покоем используемого

сорта Сяньюй и его более низкой исходной всхожестью (32,7%).

Физиологические основы стимуляции прорастания семян гиббереллином включают: 1. активацию гидролитических ферментов (α -амилазы, протеазы) в эндосперме, что приводит к расщеплению крахмала и запасных белков и обеспечению зародыша растворимыми сахарами и аминокислотами [11]; 2. стимуляцию растяжения клеток зародыша, увеличивающую механическое усилие для прорыва семенной оболочки корешком; 3. антагонизм с абсцизовой кислотой (АБК), снижающий чувствительность семян к ингибирующим сигналам и способствующий снятию покоя [12]. При слишком низкой концентрации ГК (100 мг/л) эти процессы протекают недостаточно активно, семена после набухания все еще подвержены ингибированию АБК, начало прорастания замедлено, пик низкий (рис. 1). При повышении концентрации до 200 мг/л сила гормонального сигнала достаточна для преодоления покоя, прорастание синхронизируется, что выражается в острой одновершинной кривой ежедневной всхожести (пик 21% на 4-е сутки) и максимальном наклоне кумулятивной кривой (рис. 2). При концентрациях ≥ 300 мг/л всхожесть и энергия прорастания снижаются. При 400 мг/л всхожесть составила лишь 46,3%, что даже ниже, чем при 100 мг/л (45,7% – значения близки и статистически неразличимы, но высота пика и динамика процесса хуже). Возможные причины ингибирования высокими концентрациями включают: нарушение баланса эндогенных гормонов из-за избыточной стимуляции экзогенным ГК и ингибирование по принципу обратной связи путей синтеза гиббереллинов; индукцию избыточного образования этилена, ускоряющего старение семян; изменение проницаемости семенной оболочки под действием высоких доз ГК, приводящее к утечке электролитов и растворимых сахаров и метаболическим повреждениям [13]. Следовательно, в производственных условиях принцип «чем выше концентрация, тем лучше эффект» не работает, и 200 мг/л является экономически эффек-

тивной концентрацией для преодоления покоя семян периллы сорта Сяньюй.

Эксперимент с продолжительностью замачивания показал, что оптимальное время составляет 8 ч; при этом всхожесть и энергия прорастания были достоверно выше, чем при других вариантах ($p < 0,01$). При слишком коротком замачивании (4 ч) семена не успевают впитать достаточное количество воды, поступление гиббереллина в эндосперм ограничено, что не позволяет полностью активировать систему гидролитических ферментов; в результате всхожесть составила лишь 48,7%, а прорастание было растянутым (рис. 3, 4). При увеличении времени замачивания до 12 ч и более всхожесть и энергия прорастания резко падали; при 36 ч всхожесть составила 11,7%, а энергия прорастания – 5,0%. Эта тенденция тесно связана с физиологическим состоянием семян. Для прорастания необходимы вода, кислород и оптимальная температура. Длительное замачивание (≥ 12 ч) создает условия переувлажнения, поступление кислорода затрудняется, метаболизм в эндосперме переключается с аэробного дыхания на анаэробное, что ведет к образованию токсичных промежуточных продуктов (этанола, ацетальдегида), повреждающих клетки зародыша [14–15]. Одновременно гипоксия ингибирует окислительное фосфорилирование в митохондриях, возникает дефицит АТФ, и активность гидролитических ферментов не поддерживается. Кроме того, длительное воздействие экзогенного ГК может привести к тому, что соотношение ГК/АБК сначала возрастет, а затем упадет; некоторые исследования указывают на то, что чрезмерно долгое замачивание способно индуцировать экспрессию генов синтеза АБК и восстанавливать состояние покоя. В нашем исследовании различия во всхожести между вариантами 12 и 24 ч были незначимы (29,3 и 30,3%), но оба варианта были достоверно ниже контроля (8 ч). Это указывает на то, что при превышении критической продолжительности (около 8–12 ч) ингибирующий эффект проявляется быстро и необратимо. Сле-

дует отметить, что в таблице 3 вариант 8 ч использован в качестве контроля для сравнения, хотя, строго говоря, это один из опытных вариантов, и его всхожесть 69,3% следует рассматривать как оптимальную обработку, а не как чистый контроль. В тексте следовало бы уточнить «сравнение с вариантом 8 ч», но само сопоставление данных корректно.

Динамические кривые прорастания (рис. 3, 4) дополнительно показывают, что замачивание в течение 8 ч смещает пик прорастания на более ранний срок и делает его более концентрированным: ежедневная всхожесть на 4-е и 5-е сутки составила 21 и 19% соответственно, накопленная всхожесть к 5-м суткам достигла 44,3%, а к 10-м – 69,3%. В то же время при 12 и 24 ч пик ежедневной всхожести был ниже 10%, кумулятивные кривые были пологими, а конечная всхожесть составила лишь около 30%. Это свидетельствует о том, что продолжительность замачивания влияет не только на общую всхожесть, но и, что более важно, на скорость и равномерность прорастания. При прямом посеве в поле дружное прорастание позволяет сократить трудозатраты на прореживание [6, 16], поэтому замачивание в течение 8 ч имеет важное практическое значение.

Предыдущие исследования по стимуляции прорастания семян периллы гиббереллином, в основном, были сосредоточены на одном факторе (концентрация или время) и конечных показателях (всхожесть) [7–8]. В данной работе одновременно изучены два ключевых фактора – концентрация и продолжительность замачивания, а также проведен анализ процесса с использованием ежедневной динамики прорастания и кумулятивных кривых, что позволило более полно выявить влияние гиббереллина на процесс прорастания. Например, обработка 200 мг/л не только повысила конечную всхожесть, но и сместила пик прорастания с 4–5 суток (9% в контроле) на 4-е сутки (21%), увеличив высоту пика на 133%. Это указывает на то, что гиббереллин в первую очередь ускоряет инициацию прорастания и

фазу выхода корешка. Кроме того, в работе установлен «пороговый эффект» продолжительности замачивания: 8 ч является оптимальным временем, а превышение 12 ч вызывает сильное ингибирование. Эта количественная оценка может служить ориентиром для практического применения в производстве.

Заключение. Таким образом, концентрация гиббереллина и продолжительность замачивания семян оказывают значительное влияние на прорастание семян периллы. Замачивание семян в растворе гиббереллина с концентрацией 200 мг/л в течение 8 ч эффективно нарушает покой семян, повышает всхожесть и энергию прорастания, обеспечивает концентрированное и быстрое появление всходов, предоставляя простую и практичную технологическую схему для эффективного выращивания рассады периллы. В производственных условиях следует избегать слишком высоких концентраций (≥ 300 мг/л) и чрезмерно длительного замачивания (≥ 12 ч) во избежание ингибирующего эффекта.

Рекомендации по практическому применению и ограничения. На основании полученных результатов рекомендуется для выращивания рассады периллы сорта Сяньюй проводить замачивание семян в растворе гиббереллина с концентрацией 200 мг/л в течение 8 ч с последующим сливом воды, проветриванием и проращиванием либо прямым посевом. Необходимо учитывать: 1. температуру при замачивании следует поддерживать около 20 °С, так как повышение температуры может ускорить анаэробное дыхание; 2. после замачивания не следует повторно замачивать семена на длительное время во избежание вторичной гипоксии; 3. оптимальные концентрации и продолжительность могут различаться для разных сортов периллы (например, Сяньюй, Гуйсу и др.), поэтому перед массовой обработкой рекомендуется проводить небольшие предварительные испытания. Ограничения данного исследования включают: использование только одного сорта, отсутствие сравнения реакции раз-

ных сортов на гиббереллин; отсутствие измерений содержания эндогенных гормонов (ГК, АБК), интерпретация механизмов основана преимущественно на литературных данных; опыты по проращиванию проводились в термостате с постоянной температурой, тогда как в полевых условиях (переменная температура, свет,

микроорганизмы) эффект может отличаться. В будущем можно изучить взаимодействие гиббереллина с другими регуляторами роста (например, 6-БАП, этифон), а также возможность сочетания с низкотемпературной стратификацией для более эффективного преодоления глубокого покоя.

Список источников

1. LIU Rong, TANG Fang. Effects of *Perilla frutescens* extract on colonic circular muscle strip motility in rats with limb ischemia-reperfusion. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*. 2008;39(10):1540-1542 (In Chin.). DOI: CNKI:SUN:ZCYO.0.2008-10-031.
2. Y.U. Xiaolin, X.U. Buqian, H.U. Zhuoyan et al. Studies on the chemical properties of two water-soluble pigments from *Perilla frutescens*. *Journal of South China Agricultural University*. 2001;22(1):85-87 (In Chin.). DOI: CNKI:SUN:HNNB.0.2001-01-025.
3. F.U. Yurong, ZHANG Wanming, CHEN Guimin et al. Determination of gallic acid and total phenolic acids in *Sedum aizoon* L. *Chinese Traditional Patent Medicine*. 2006;28(7):1016 (In Chin.). DOI: CNKI:SUN:ZCYA.0.2006-07-026.
4. Y.U. Qigao. Standardization study on seed germination testing of *Perilla frutescens*. *Journal of Changjiang Vegetables*. 2010;(10):24-26 (In Chin.). DOI: CNKI:SUN:CJSC.0.2010-10-013.
5. LIU Huina, ZHANG Keliang, ZHAO Daqiu et al. A review of seed dormancy and germination. *Molecular Plant Breeding*. 2020;18(2):621-627 (In Chin.). DOI: 10.13271/j.mpb.018.000621.
6. L.I. Shengzhi, ZHANG Kairong. Key cultivation techniques of open-field *Perilla frutescens* in Pingnan, Guangxi. *Special Economic Animal and Plant*, 2024(3): 112-114. (In Chin.). DOI: CNKI:SUN:TZJD.0.2024-03-039
7. LYU Guiyun, XING Yu. Effects of gibberellin on germination characteristics of *Perilla frutescens* seeds. *Agricultural Engineering Technology (Greenhouse Horticulture)*. 2008;(7):34-35. (In Chin.). DOI: 10.16815/j.cnki.11-5436/s.2008.07.010.
8. PAN Xueqin, ZHAO Shuo, ZHOU Haowei et al. Effects of low-temperature soaking with different concentrations of gibberellin on seed germination of *Perilla frutescens*. *Shanghai Vegetables*. 2021;(6):72-75. (In Chin.). DOI: CNKI:SUN:SHSC.0.2021-06-042.
9. JIAO Dezhi, HUANG Zhaoyue, WANG Leyuan et al. Response of reed seed germination to different environmental factors. *Seed*, 2017;36(1):94-97 (In Chin.). DOI: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2017.01.094.
10. YU Jinhua, ZHANG Junsheng, LI Jianfeng et al. Discussion on adding germination energy to seed quality indicators. *Seed World*. 2006;(9):39 (In Chin.). DOI: CNKI:SUN:SJZZ.0.2006-09-022.
11. LI Qiaoxia, ZHANG Li, WANG Yu et al. Research progress on gibberellin regulation of plant flowering and floral organ development. *Chinese Journal of Cell Biology*. 2019;(4):746-758 (In Chin.). DOI: 10.11844/cjcb.2019.04.0026.
12. HU Guohua. Study on Effects of Gibberellin on Seed Germination and Seedling Growth of *Lagerstroemia indica*. *Anhui Forestry Science and Technology*. 2019;45(4):24-27 (In Chin.). DOI: CNKI:SUN:AHLY.0.2019-04-007.
13. ZHAO Yining, LIU Yanhong, ZHENG Pengli. Physiological mechanisms of exogenous gibberellin treatment affecting the seed germination process of *Fraxinus hupehensis* Chih. Shang et Su. *Hubei Agricultural Sciences*. 2024;63(5):70-76 (In Chin.). DOI: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2024.05.013.
14. ZHOU Shouxiang. Knowledge of seed physiology. Seed germination physiology. *Hubei Agricultural Sciences*. 1990;(8):40-41 (In Chin.). DOI: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.1990.08.017.
15. ZHOU Shouxiang. Knowledge of seed physiology. Seed germination physiology (Continued). *Hubei Agricultural Sciences*. 1990;(9):39-40 (In Chin.). DOI: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.1990.09.021.
16. Ли И., Бурлов С.П., Перилла, ее значение и промышленное использование // Роль аграрного образования и науки в устойчивом развитии агропромышленного комплекса: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию со дня образования Забайкальского аграрного института - филиала ФГБОУ ВО «ИрГАУ им. А.А. Ежовского». Иркутск, 2024. С. 147-155 [Li I., Burlov S.P. *Perilla: Its Significance and Industrial Use. Role of Agricultural Education and Science in the Sustainable Development of the Agro-Industrial Complex: Proc. of the Int. Sci. and Pract. Conf. Irkutsk*, 2024. Pp. 147–155 (In Russ.)]. EDN: RNEJJQ.

Информация об авторах

Ли И – агроном, Современный центр сельскохозяйственного района Цзинь, li05161020@163.com;

Сюэ Цяньсинь – научный сотрудник, Чендэская академия сельскохозяйственных и лесных наук, 13631435674@163.com;

Оюна Матвеевна Цыбикова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой растениеводства, луговодства и плодовоовощеводства, Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, ORCID 0000-0002-9772-7390, oyuna_sodnom@mail.ru;

Инь Синь – научный сотрудник, Чендэская академия сельскохозяйственных и лесных наук, 710160369@qq.com;

Чжоу Чжицзе – главный научный сотрудник, Чендэская академия сельскохозяйственных и лесных наук, 997488493@qq.com.

Information about the authors

Li Yi – Agronomist, Modern Agricultural Center of Jin District, li05161020@163.com;

Xue Qianxin – Senior Research Fellow, Chengde Academy of Agricultural and Forestry Sciences, 13631435674@163.com;

Tsybikova O.M. – Candidate of Science (Agriculture), Associate Professor, Head of Chair of Plant Production, Grassland Management and Horticulture, Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Philippov, ORCID 0000-0002-9772-7390, oyuna_sodnom@mail.ru;

Yin Xin – Senior Research Fellow, Chengde Academy of Agricultural and Forestry Sciences, 710160369@qq.com;

Zhou Zhijie – Professor-level Senior Researcher, Chengde Academy of Agricultural and Forestry Sciences, 997488493@qq.com

Статья поступила в редакцию 21.04.2026; одобрена после рецензирования 04.06.2026; принята к публикации 09.06.2026.

The article was submitted 21.04.2026; approved after reviewing 04.06.2026; accepted for publication 09.06.2026.