

Биосинтетическая активность гардении жасминовидной *Gardenia jasminoides* J. Ellis в культурах *in vitro* (обзор)

А. С. Бугаев, В. С. Ражновская, Н. С. Пивоварова, М. Н. Повыдыш✉

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО СПбХФУ Минздрава России). 197022, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 14, литера А

✉ **Контактное лицо:** Повыдыш Мария Николаевна. **E-mail:** maria.povydysh@pharminnotech.com

ORCID: А. С. Бугаев – <https://orcid.org/0009-0004-9911-9411>;
В. С. Ражновская – <https://orcid.org/0009-0002-5818-3754>;
Н. С. Пивоварова – <https://orcid.org/0000-0003-3020-8526>;
М. Н. Повыдыш – <https://orcid.org/0000-0002-7768-9059>.

Статья поступила: 10.04.2025

Статья принята в печать: 07.10.2025

Статья опубликована: 10.10.2025

Резюме

Введение. Гардения жасминовидная (*Gardenia jasminoides* Ellis) — вечнозеленый кустарник из семейства *Rubiaceae*, естественно произрастающий в Китае и Японии и активно культивируемый в качестве декоративного растения во многих регионах мира. В данном обзоре приведены данные о результатах исследований накопления биологически активных веществ (БАВ) в различных культурах, возможности индукции их биосинтеза и биологической активности БАВ, выделенных из культур гардении жасминовидной.

Текст. В настоящее время из интактного растения *G. jasminoides* выделено и идентифицировано около 162 соединений, среди которых флавоноиды, иридоидные гликозиды, желтый пигмент гардении, монотерпеноиды, сесквитерпеноиды, тритерпеноиды, органические кислоты и их производные. Наиболее важными биологически активными компонентами *G. jasminoides* являются иридоидные гликозиды и желтые пигменты – производные кроцина. Использование культур растительных клеток является одним из наиболее перспективных подходов к получению БАВ растительного происхождения, поскольку данный метод характеризуется меньшей зависимостью от климатических и экологических факторов, обеспечивает более точное управление процессом и позволяет сокращать производственный цикл, что способствует эффективному масштабированию производства. Рядом исследователей были получены каллусные и суспензионные культуры, а также культуры побегов и модифицированных корней *G. jasminoides*. С целью повышения продукции основных классов биологически активных веществ – иридоидных гликозидов, полифенольных соединений и каротиноидов – в каллусных, суспензионных и побеговых культурах гардении жасминовидной был проведен ряд исследований по введению в питательные среды специфических добавок. Было показано, что культуры клеток *G. jasminoides* обладают высокой антиоксидантной активностью благодаря фенольным соединениям, таким как феруловая и хлорогеновая кислоты. Экстракты каллусной культуры показали значительно большую супероксиддисмутазную активность, чем экстракты листьев. В то же время только экстракты каллусных культур проявляли антимикробную активность против *Escherichia coli* и *Bacillus cereus*.

Заключение. Обзор литературных данных позволяет заключить, что культуры *G. jasminoides in vitro* обеспечивают стабильное и усиленное производство ценных вторичных метаболитов (иридоидных гликозидов, полифенолов, каротиноидов), превосходящее показатели интактных растений, что открывает перспективы промышленного получения БАВ и препаратов на их основе.

Ключевые слова: гардения жасминовидная, *Gardenia jasminoides*, химические компоненты, биологическая активность, каротиноиды, иридоидные гликозиды

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. А. С. Бугаев – сбор и обработка литературных данных, подготовка текста статьи. В. С. Ражновская – сбор литературных данных. М. Н. Повыдыш, Н. С. Пивоварова – обсуждение результатов, разработка концепции исследования.

Для цитирования: Бугаев А. С., Разновская В. С., Пивоварова Н. С., Повыдыш М. Н. Биосинтетическая активность гардении жасминовидной *Gardenia jasminoides* J. Ellis в культурах *in vitro*. Разработка и регистрация лекарственных средств. 2025;14(4). <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-4-2078>

Biosynthetic activity of *Gardenia jasminoides* J. Ellis in *in vitro* cultures (review)

Artem S. Bugaev, Varvara S. Razhnovskaya, Nadezhda S. Pivovarova, Maria N. Povydysh✉

Saint-Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University. 14A, Professora Popova str., Saint-Petersburg, 197022, Russia

✉ **Corresponding author:** Maria N. Povydysh. **E-mail:** maria.povydysh@pharminnotech.com

ORCID: Artem S. Bugaev – <https://orcid.org/0009-0004-9911-9411>;

Varvara S. Razhnovskaya – <https://orcid.org/0009-0002-5818-3754>;

Nadezhda S. Pivovarova – <https://orcid.org/0000-0003-3020-8526>;

Maria N. Povydysh – <https://orcid.org/0000-0002-7768-9059>.

Received: 10.04.2025

Accepted: 07.10.2025

Published: 10.10.2025

Abstract

Introduction. *Gardenia jasminoides* Ellis is an evergreen shrub of the *Rubiaceae* family, naturally growing in China and Japan, and cultivated as an ornamental plant in many regions of the world. This review presents data on the results of studies of the accumulation of biologically active substances in various *in vitro* cultures, the possibility of inducing their biosynthesis, and the biological activity of substances isolated from *Gardenia jasminoides* cell cultures.

Text. To date, about 162 compounds have been isolated and identified from *G. jasminoides*, including flavonoids, iridoid glycosides, gardenia yellow pigment, monoterpenoids, sesquiterpenoids, triterpenoids, organic acids and their derivatives. The most important biologically active constituents of *G. jasminoides* are iridoid glycosides and yellow pigments – crocin derivatives. The use of plant cell cultures is one of the most promising approaches to obtaining biologically active substances of plant origin, since this method is characterized by less dependence on climatic and environmental factors, provides more precise process control and allows for a shorter production cycle, which contributes to the effective scaling of production. A number of researchers have obtained callus and suspension cultures, as well as shoot and modified root cultures of *G. jasminoides*. In order to increase the production of the main classes of biologically active substances – iridoid glycosides, polyphenolic compounds and carotenoids in callus, suspension and shoot cultures of *G. jasminoides*, a number of studies were conducted on the introduction of specific additives into nutrient media. It was shown that *G. jasminoides* cell cultures have high antioxidant activity due to phenolic compounds such as ferulic and chlorogenic acids. Callus culture extracts showed significantly greater superoxide dismutase activity than leaf extracts. At the same time, only callus culture extracts exhibited antimicrobial activity against *Escherichia coli* and *Bacillus cereus*.

Conclusion. A review of the literature data allows us to conclude that *in vitro* *G. jasminoides* cultures provide stable and enhanced production of valuable secondary metabolites (iridoid glycosides, polyphenols, carotenoids), exceeding the indicators of intact plants, which opens up prospects for the industrial production of biologically active substances and phytopreparations.

Keywords: *Gardenia jasminoides*, chemical components, biological activity, carotenoids, iridoid glycosides

Conflict of interest. The authors declare that they have no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Contribution of the authors. Artem S. Bugaev – collection and processing of literary data, preparation of the text of the article. Varvara S. Razhnovskaya – collection of literary data. Maria N. Povydysh, Nadezhda S. Pivovarova – discussion of the results, development of research components.

For citation: Bugaev A. S., Razhnovskaya V. S., Pivovarova N. S., Povydysh M. N. Biosynthetic activity of *Gardenia jasminoides* J. Ellis in *in vitro* cultures. *Drug development & registration*. 2025;14(4). (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-4-2078>

ВВЕДЕНИЕ

Гардения жасминовидная (*Gardenia jasminoides* Ellis) – вечнозеленый кустарник из семейства *Rubiaceae*, естественно произрастающий в Китае и Японии и активно культивируемый в качестве декоративного растения во многих регионах мира [1].

Гардения жасминовидная является ценным источником многих вторичных метаболитов, таких как фенольные соединения, иридоиды, хинины и каротиноиды [2].

Экстракты *G. jasminoides* используются для лечения кровотечений, сосудистых заболеваний, нервных расстройств, зубной боли, панкреатита, гепатита, жел-

тухи, ран, ожогов, травм мышц, раздражения кожи, а также в качестве антиангиогенного средства и для лечения диабета [3–5].

Процесс культивирования растений требует значительного времени, а их развитие на протяжении полного жизненного цикла подвержено влиянию климатических условий, экологической обстановки, насекомых и микробных заболеваний. Это делает получение вторичных метаболитов из природных объектов малоэффективным. В связи с этим целесообразен поиск альтернативных методов получения биологически активных веществ (БАВ). Одним из наиболее перспективных подходов является использование культур растительных клеток, поскольку данный метод характеризуется меньшей зависимостью от климатических и экологических факторов, обеспечивает более точное управление процессом и позволяет сокращать производственный цикл, что способствует эффективному масштабированию производства [6]. Считается, что в культурах клеток высших растений *in vitro* процессы вторичного метаболизма и его регуляция отличаются от таковых у интактных растений, поэтому состав вторичных соединений в интактном растении и в полученной из него культуре клеток может существенно различаться [7]. Это позволяет предположить появление ценных видов биологической активности у культур клеток, что было показано в ряде исследований [8–10].

Были получены каллусные и суспензионные культуры *G. jasminoides* Ellis, а также культуры побегов на

различных питательных средах. Каллусогенез и индукция суспензионных культур происходили на средах, обогащенных регуляторами роста, обеспечивающими активное клеточное деление и поддержание жизнеспособности клеток. Культуры побегов успешно формировались на средах, оптимизированных для морфогенеза и пролиферации растительных клеток [11, 1]. Также была получена культура генетически трансформированных корней (hairy roots) [12].

В данном обзоре приведены данные о результатах исследований накопления биологически активных веществ в различных культурах, возможности индукции их биосинтеза и биологической активности БАВ, выделенных из культур гардении жасминовидной.

**Гардения жасминовидная:
химические компоненты
и биологическая активность**

В настоящее время из *G. jasminoides* выделено и идентифицировано около 162 соединений, среди которых флавоноиды, иридоидные гликозиды, желтый пигмент гардении, монотерпеноиды, сесквитерпеноиды, тритерпеноиды, органические кислоты и их производные (таблица 1). Наиболее важными биологически активными компонентами *G. jasminoides* являются иридоидные гликозиды и желтые пигменты – производные кроцина [13].

Таблица 1. Биологически активные соединения, обнаруженные в *G. jasminoides*

Table 1. Biologically active compounds found in *G. jasminoides*

Группа БАВ BAS group	Основные компоненты Main substances	Литература References
Флавоноиды Flavonoids	Рутин, кверцетин, катехин, 5,7,3',5'-тетрагидроксифлавоны-6,4'-диметоксифлавоны, 5,7,3'-тригидроксифлавоны-6,4',5'-триметоксифлавоны, кемпферол, 3-гидроксифлавоны-12-ен-11-кетон, 5,4'-дигидроксифлавоны-7,3',5'-триметоксифлавоны, 5,7,3',4',5'-пентаметоксифлавоны и 3,5,6,4'-тетрагидроксифлавоны-3',5'-диметоксифлавоны Rutin, quercetin, catechin, 5,7,3',5'-tetrahydroxyflavone-6,4'-dimethoxyflavone, 5,7,3'-trihydroxyflavone-6,4',5'-trimethoxyflavone, kaempferol, 3-hydroxyflavone-12-en-11-ketone, 5,4'-dihydroxyflavone-7,3',5'-trimethoxyflavone, 5,7,3',4',5'-pentamethoxyflavone and 3,5,6,4'-tetrahydroxyflavone-3',5'-dimethoxyflavone	[14–16, 39]
Иридоидные гликозиды Iridoid glycosides	Генипин, генипозид, жасмигенипозид А, жасмигенипозид В, генипин 1-О-β-D-изомальтозид, метиловый эфир деацетил-асперулозидной кислоты, иксорозид, шанжисид, 6''-О-транс-ферулоилгенипин гентиобиозид, 6'-О-транс-п-кумароилгенипозид, 10-О-сукциноилгенипозид, 6'-О-ацетилгенипозид, 10-О-(4''-О-метилсукциноил)генипозид Genipin, geniposide, jasmigeniposide A, jasmigeniposide B, genipin 1-O-β-D-isomaltoside, deacetyl-asperuloside acid methyl ester, ixoroside, shanzhiside, 6''-O-trans-feruloyl-genipin genentiobioside, 6'-O-trans-p-coumaroylgeniposide, 10-O-succinoyl geniposide, 6'-O-acetylgeniposide, 10-O-(4''-O-methylsuccinoyl) geniposide	[13, 15, 17–26, 28]
Каротиноиды Carotenoids	Кроцины-1-4, кроцетин, неокроцины А-Ж, 13-цис-кроцетин-8'-О-β-D-гентиобиозид Crocins-1-4, crocetin, neocrocins A-J, 13-cis-crocetin-8'-O-β-D-gentiobioside	[2, 4, 16, 23]

Группа БАВ BAS group	Основные компоненты Main substances	Литература References
Монотерпеноиды Monoterpenoids	Жасминодиол, жасминозид Н, 6'-О-синапоилжасминозид А, 6'-О-синапоилжасминозид С, жасминозид I Jasminodiol, jasminoside H, 6'-O-sinapoyljasminoside A, 6'-O-sinapoyljasminoside C, jasminoside I	[15, 19, 20, 23, 24]
Сесквитерпеноиды Sesquiterpenoids	(1R,7R,8S,10R)-7,8,11-тригидрокси-4-гуайен-3-он-8-О-β-D-гликопиранозид, (1R,7R,10S)-11-О-β-D-гликопиранозил-4-гуайен-3-он, (1R,7R,10S)-7-гидрокси-11-О-β-D-гликопиранозил-4-гуайен-3-он (1R,7R,8S,10R)-7,8,11-trihydroxyguai-4-en-3-one-8-O-β-D-glucopyranoside, (1R,7R,10S)-11-O-β-D-glucopyranosyl-4-guai-en-3-one, and (1R,7R,10S)-7-hydroxy-11-O-β-D-glucopyranosyl-4-guai-en-3-one	[26]
Тритерпеноиды Triterpenoids	Урсоловая кислота, олеаноловая кислота, секаубритриол, 27-О-р-(Е)-кумароилоксиурсоловая кислота, гарденизид А, гарденизид В, гарденизид С, 3-О-β-D-глюкуронопиранозид-6'-О-метилловый эфир, олеаноловой кислоты 3-О-β-D-глюкуропиранозид, герагенин-3-О-β-D-глюкуронопиранозид-6'-О-метилловый эфир, чикусекусaponин IVa метилловый эфир, чикусекусaponин, чикусекусaponин IVa бутиловый эфир, сиарезиноловая кислота, 28-О-β-D-глюкопиранозиловый эфир, β-ситостерин, чикусекусaponин IVa, 3β,23-дигидроксиурс-12-ен-28-оевая кислота, 3β,19α-дигидроксиурс-12-ен-28-оевая кислота, 3β,19α,23-тригидроксиурс-12-ен-28-оевая кислота Ursolic acid, oleanolic acid, secaubritriol, 27-O-p-(E)-coumaroyloxyursolic acid, gardininside A, gardininside B, gardininside C, 3-O-β-D-glucuronopyranoside-6'-O-methyl ester, oleanolic acid 3-O-β-D-glucuronopyranoside, geragenin-3-O-β-D-glucuronopyranoside-6'-O-methyl ester, chicusecusaponin IVa methyl ester, chicusecusaponin, chicusecusaponin, chicusecusaponin IVa butyl ester, siarresinolic acid, 28-O-β-D-glucopyranosyl ester, β-sitosterol, chikusecusaponin IVa, 3β,23-dihydroxyurs-12-en-28-oic acid, 3β,19α-dihydroxyurs-12-en-28-oic acid, 3β,19α,23-trihydroxyurs-12-en-28-oic acid, 3β,19α,23-trihydroxyurs-12-en-28-oic acid	[15, 36]
Фенольные кислоты и их производные Phenolic acids and their derivatives	4-О-β-D-(6'-синапоил)глюкопиранозид, метил 5-О-каффеоил-3-О-синапоилквинат, этил 5-О-каффеоил-3-О-синапоилквинат, метил 5-О-каффеоил-4-О-синапоилквинат, этил 5-О-каффеоил-4-О-синапоилквинат, метил 3,5-ди-О-каффеоил-4-О-(3-гидрокси-3-метил)глутароилквинат, 3,5-дикаффеоилхиновая кислота, 4,5-дикаффеоилхиновая кислота, кофейная кислота, этил 5-О-каффеоилхинат, 3,4-дигидроксибензойная кислота, 3,4-дикаффеоилхиновая кислота, 3,5-Д-О-каффеоил-4-О-(3-гидрокси-3-метил)-глутароилхинная кислота, 5-О-каффеоил-4-О-синапоилхинная кислота, (+)-лионирезинол-3а-О-β-глюкопиранозид, 3-каффеоил-4-синапоилхиновая кислота, 3,4-дикаффеоил-5-(3-гидрокси-3-метилглутароил)хинная кислота, кафеоил-синапоилхинная кислота, шикимовая кислота, 3,4-диметокси-бензойная кислота, дибутилфталат, галловая кислота 4-O-β-D-(6'-sinapoyl)glucopyranoside, methyl 5-O-caffeoyl-3-O-sinapoylquininate, ethyl 5-O-caffeoyl-3-O-sinapoylquininate, methyl 5-O-caffeoyl-4-O-sinapoylquininate, ethyl 5-O-caffeoyl-4-O-sinapoylquininate, methyl 3,5-di-O-caffeoyl-4-O-(3-hydroxy-3-methyl)glutaroylquininate, 3,5-dicaffeoylquinic acid, 4,5-dicaffeoylquinic acid, caffeic acid, ethyl 5-O-caffeoylquininate, 3,4-dihydroxybenzoic acid, 3,4-dicaffeoylquinic acid, 3,5-D-O-caffeoyl-4-O-(3-hydroxy-3-methyl)-glutaroylquinic acid, 5-O-caffeoyl-4-O-sinapoylquinic acid, (+)-lioniresinol-3a-O-β-glucopyranoside, 3-caffeoyl-4-sinapoylquinic acid, 3,4-dicaffeoyl-5-(3-hydroxy-3-methylglutaroyl) cinnamic acid, caffeoyl-sinapoylquinic acid, shikimic acid, 3,4-dimethoxy-benzoic acid, dibutyl phthalate, gallic acid	[13–16, 27, 30, 31]

Химические компоненты *G. jasminoides* в культурах *in vitro*

Полифенольные соединения

В каллусных культурах были обнаружены коричневая, розмариновая, *n*-гидроксibenзойная, протокатеховая, галловая, кофейная, сиреневая, *n*-кумаровая, ванилиновая, синаповая и феруловая кислоты и катехин [31, 32].

В суспензионных культурах было идентифицировано семь производных хлорогеновой кислоты: 3-кофеилхинная, 4-кофеилхинная, 5-кофеилхинная, 3,5-дикофеилхинная, 4,5-дикофеилхинная, 3,5-дикофеил-4-О-(3-гидрокси-3-метил)-глутароилхинная и малонил-4,5-О-дикофеилхинная [6, 33]. Культура генетически трансформированных корней (hairy roots) накапливает хлорогеновую, феруловую и кофейную кислоты в количествах, в 100 раз превышающих таковое в корнях интактного растения. Показано также, что накопление хлорогеновой кислоты в каллусных культурах и культурах побегов гардении значительно увеличивается при действии белого света [12].

Клетки *G. jasminoides* в каллусной культуре подвергали обработке салициловой кислотой и метилжасмонатом для увеличения выхода хлорогеновой кислоты и ее производных [15]. Данные соединения значительно увеличивали выход хлорогеновой кислоты и ее производных, причем метилжасмонат был более эффективен. Клетки, культивируемые при добавлении 200 μ M метилжасмоната, показали наибольшее общее содержание и выход хлорогеновой кислоты и ее производных – $20,98 \pm 1,1$ мг/г и $232,32 \pm 9,1$ мг/л соответственно, что превышает показатели контрольной группы в 19,51 и 14,14 раза [15]. Кроме того, сумма производных хлорогеновой кислоты, выделенная из клеток под воздействием 200 μ M метилжасмоната, обладала значительно более высокой антиоксидантной активностью по сравнению с интактными плодами *G. jasminoides*. Проведенное исследование подтвердило, что культура клеток данного растения в сочетании с обработкой метилжасмонатом обладает перспективным потенциалом для производства натуральных хлорогеновой кислоты и ее производных [15].

Показано, что культуры побегов накапливают хлорогеновую кислоту, кверцетин, кемпферол и рутин в значительно больших количествах по сравнению с листьями интактного растения. Культуры побегов также накапливали протокатеховую и *n*-кумаровую кислоты. Рутин накапливается в больших количествах в дифференцированных, чем в недифференцированных культурах корней гардении *in vitro*.

Наибольшее содержание флавоноидов было обнаружено в побегах, выращенных *in vitro* на среде WPM (woody plant medium) с добавлением бензиладенина в концентрации 2,0 мг/л. Однако применение среды Gamborg B5 с 2,0 мг/л бензиладенина приводило

к снижению общего уровня флавоноидов. Что касается полифенольных соединений, то их общее максимальное количество зафиксировано в побегах, полученных на среде Мурасиге – Скуга (МС) с бензиладенином в концентрации 0,5 мг/л [12].

Выявлено влияние зеатина и тидиазулона на накопление фенольных соединений и флавоноидов в каллусных культурах гардении. Каллус, выращенный на среде с 4 мг/л зеатина, содержал максимальное количество общего фенола и общих флавоноидов. При этом каллус, выращенный с добавлением 4 мг/л тидиазулона, продемонстрировал более высокую антиоксидантную активность. ВЭЖХ-анализ фенольных кислот показал, что хлорогеновая, розмариновая и коричневая кислоты достигали наибольшей концентрации в каллусе, выращенном на 4 мг/л тидиазулона. Каллус, выращенный с 4 мг/л тидиазулона, продемонстрировал также высокое содержание рутина и кемпферола. Однако наибольшее накопление апигенин-7-глюкозида было обнаружено в каллусной культуре с 4 мг/л зеатина [35].

Кроме того, сообщается, что среда WPM, содержащая 2,5 мг/л салициловой кислоты и 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты или 1-нафтилуксусную кислоту, демонстрировала более высокие показатели содержания фенольных соединений, флавоноидов и, как следствие, антиоксидантной активности [36].

Показано, что применение 2 мг/л фенилаланина положительно повлияло на содержание флавоноидов, при этом применение 3 мг/л фенилаланина увеличило содержание рутина [34].

Иридоидные гликозиды

В каллусных культурах гардении отмечено значительное накопление иридоидов генипозиды (до 4,59 %) и генипина (до 44,82 %) (таблица 2) [11].

Каротиноиды

Полиеновая дикарбоновая кислота кроцетин и ее дигентиобиозидовый эфир кроцин – это каротиноиды, применяемые в качестве натуральных красителей в пищевых продуктах благодаря их водорастворимости, разнообразию оттенков и стабильности при изменении pH. В условиях растущего спроса на натуральные пищевые красители метод клеточных культур используется для производства ценных метаболитов в различных растениях. Традиционными источниками кроцина являются дорогая пряность шафран и зрелые плоды гардении. Экономические факторы и сезонная доступность ограничивают эти источники, поэтому культура *in vitro* *G. jasminoides* Ellis рассматривается как перспективный альтернативный источник кроцина и его производных.

Показано, что каллусные культуры накапливают желтый пигмент кроцин в количествах, сопоставимых с таковым в плодах гардении жасминовидной [11, 31]. При этом высокая концентрация (9 %) сахарозы

в среде оказывает значительное влияние на выработку желтого пигмента, хотя и несколько подавляет рост каллуса [31].

Также положительное влияние на накопление красителя оказывала модифицированная питательная среда МС пониженным содержанием нитратов и фосфатов, дополненная индол-3-масляной кислотой (1 мг/л) и кинетином (1 мг/л) [33].

В экспериментах *in vitro* было изучено применение промоторов для повышения синтеза кроцина, а также проведен отбор клеточных линий с его высоким уровнем производства. Выявлено, что каталаза (120 и 240 ЕД/л) и аскорбиновая кислота (75 мг/л) способствуют накоплению этого вещества. Кроме того, предварительные результаты, полученные на клетках, отобранных по яркому желтому или оранжевому оттенку, продемонстрировали многократное

увеличение кроцина. Интенсивность светового воздействия оказалась значимым фактором, влияющим как на рост каллуса, так и на выход кроцина. Несмотря на установление оптимальных условий среды для индукции каллуса, клеточного роста и образования кроцина, его конечный выход все же оказался ниже, чем в спелых плодах в представленных исследованиях [33].

С целью повышения продукции основных классов биологически активных веществ – иридоидных гликозидов, полифенольных соединений и каротиноидов – в каллусных, суспензионных и побеговых культурах гардении жасминовидной был проведен ряд исследований по введению в питательные среды специфических добавок. Данные о добавках, позволивших достичь значительной индукции биосинтеза БАВ, представлены в таблице 3.

Таблица 2. Наименования и структурные формулы наиболее значимых компонентов культур *G. jasminoides*

Table 2. Names and structural formulas of the most significant components of *G. jasminoides* *in vitro* cultures

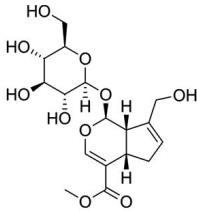
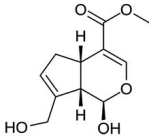
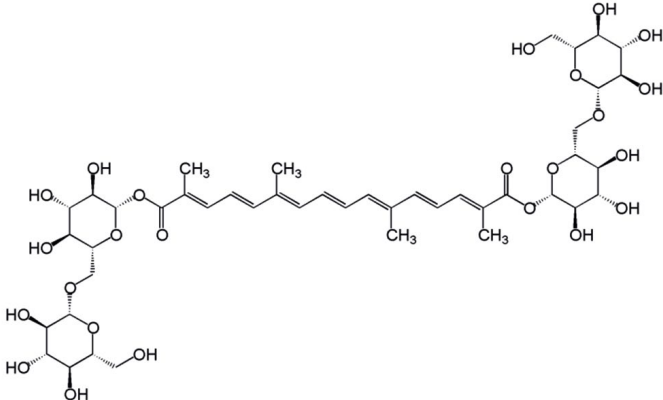
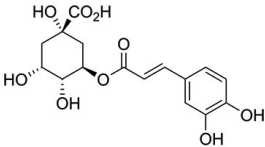
Соединение Compound	Формула Chemical structure	Литература References
Генипозид Geniposide		[11, 28, 29]
Генипин Genipin		[11, 28, 29]
Кроцин Crocin		[28, 29, 31]
Хлорогеновая кислота Chlorogenic acid		[6, 28]

Таблица 3. Влияние компонентов питательной среды на накопление БАВ в культурах *G. jasminoides*

Table 3. Effect of medium components on the accumulation of biologically active substances in *G. jasminoides* cultures

БАВ BAS	Тип культуры Culture type	Добавка Supplement	Концентрация Concentration	Литература References
Генипозид Geniposide	Каллус callus	Гидролизат казеина Casein hydrolysate	100 мг/л 100 mg/l	[11]
Сумма иридоидных гликозидов Sum of iridoid glycosides	Каллус Callus	Сахароза Sucrose	5–8 %	[13]
		Нитрат аммония Ammonium nitrate	60 ммоль/л 60 mM/l	
Кроцин и кроцетины Crocine and crocetin	Каллус Callus	Индол-3-масляная кислота Indole-3-butyric acid	1 мг/л 1 mg/l	[25, 26, 31]
		Кинетин Kinetin	1 мг/л 1 mg/l	
Кроцин Crocine	Каллус Callus	Гидролизат казеина Casein hydrolysate	100 мг/л 100 mg/l	[11]
		Сахароза Sucrose	9 %	[31]
		Аскорбиновая кислота Ascorbic acid	75 мг/л 75 mg/l	[28, 29]
		Каталаза Catalase	120 ед./л 120 units/l	
Сумма полифенольных соединений Total polyphenolic compounds	Культура побегов Shoot culture	6-(γ,γ-диметил-аллил-амино)пурин 6-(γ,γ-dimethyl allyl amino)purine	1 мг/л 1 mg/l	[14]
Рутин, апигенин-7-глюкозид, кемпферол Rutin, apigenin-7-glucoside, kaempferol	Каллус Callus	Зеатин Zeatine	4 мг/л 4 mg/l	[35]
Рутин, сумма полифенольных соединений Rutin, sum of polyphenolic compounds	Каллус Callus	Фенилаланин Phenylalanine	5 мг/л 5 mg/l	[34]
Феруловая, кофеиновая, синаповая кислоты Ferulic, caffeic, sinapic acids	Каллус Callus	Путресцин Putrescine	0,5 мг/л 0.5 mg/l	[32]
Сумма флавоноидов Total flavonoids	Каллус Callus	Метилжасмонат Methyl jasmonate	0,22 мг/л 0.22 mg/l	[38]
	Суспензия Suspension	Порошок дрожжей Yeast powder	7,5 %	[41, 42]
Сумма флавоноидов и сумма поли- фенольных соединений Total flavonoids and total polyphenolic compounds	Каллус Callus	Салициловая кислота Salicylic acid	2,5 мг/л 2.5 mg/l	[39]
		Зеатин Zeatin	4 мг/л 4 mg/l	[38]
		Тидиазурон Thidiazuron	4 мг/л 4 mg/l	
	Культура побегов Shoot culture	6-Бензиладенин 6-Benzyladenine	2 мг/л 2 mg/l	[32]
Хлорогеновая кислота и ее производные Chlorogenic acid and its derivatives	Суспензия Suspension	Метилжасмонат Methyl jasmonate	200 ммоль 200 mmol	[6, 36]
	Суспензия Suspension	Салициловая кислота Salicylic acid	200 ммоль 200 mmol	

Биологическая активность

Антиоксидантная активность

Клеточные культуры *G. jasminoides* демонстрируют высокую антиоксидантную активность благодаря наличию феруловой, хлорогеновой кислоты, рутина и других фенольных соединений. Эти вещества эффективно нейтрализуют свободные радикалы, защищая клетки от окислительного стресса. Сообщается, что экстракты каллуса *G. jasminoides* (около 30 ЕД/мл) демонстрируют значительно более высокую супероксиддисмутазную активность по сравнению с экстрактами листьев растения, выращенных *in vivo* (примерно 10 ЕД/мл) [34, 41–49].

Антимикробная активность

Экстракты листьев *G. jasminoides*, полученные *in vivo*, не проявляют антибактериальной активности по отношению к четырем типам бактерий: *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa*. В то же время экстракты каллусных культур, выращенных на средах MS и WPM с добавлением α-нафталинуксусной кислоты, продемонстрировали ингибирующее действие против *Escherichia coli* и *Bacillus cereus*, но не оказывали аналогичного эффекта на *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa* [34, 42, 45, 49].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный обзор литературных данных позволяет заключить, что культуры *in vitro* *G. jasminoides* Ellis представляют собой перспективную альтернативу традиционным методам получения биологически активных веществ. Использование клеточных, суспензионных и побеговых культур позволяет не только обеспечить стабильное и контролируемое производство вторичных метаболитов, таких как иридоидные гликозиды, полифенольные соединения и каротиноиды, но и значительно повысить их накопление по сравнению с интактными растениями. Оптимизация состава питательных сред и применение специфических добавок (например, метилжасмоната, салициловой кислоты, фенилаланина и т.д.) способствуют существенному стимулированию синтеза целевых веществ, что открывает широкие возможности для промышленного производства натуральных препаратов с антиоксидантной и антимикробной активностью. Результаты исследования подтверждают потенциал клеточных технологий в обеспечении устойчивого производства биоактивных компонентов, востребованных в фармацевтической, пищевой и косметической промышленности. Дальнейшие исследования, направленные на совершенствование методов культивирования и масштабирование процесса, а также изучение молекулярных

механизмов регуляции синтеза вторичных метаболитов, позволят еще более эффективно использовать возможности культур *in vitro* для получения высокоэффективных биопродуктов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Al-Juboory K. H., Skirvin R. M., Williams D. J. Callus induction and adventitious shoot regeneration of gardenia (*Gardenia jasminoides* Ellis) leaf explants. *Scientia Horticulturae*. 1998;72(3–4):171–178. DOI: 10.1016/S0304-4238(97)00060-5.
2. Lee J.-H., Lee D.-U., Jeong C.-S. *Gardenia jasminoides* Ellis ethanol extract and its constituents reduce the risks of gastritis and reverse gastric lesions in rats. *Food and Chemical Toxicology*. 2009;47(6):1127–1131. DOI: 10.1016/j.fct.2009.01.037.
3. Lelono R. A. A., Tachibana S., Itoh K. Isolation of antifungal compounds from *Gardenia jasminoides*. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2009;12(13):949–956. DOI: 10.3923/pjbs.2009.949.956.
4. Hwang S. M., Lee Y. J., Yoon J. J., Lee S. M., Kang D. G., Lee H. S. *Gardenia jasminoides* inhibits tumor necrosis factor-α-induced vascular inflammation in endothelial cells. *Phytotherapy Research*. 2010;24(S2):214–219. DOI: 10.1002/ptr.3099.
5. Manickam B., Sreedharan R., Elumalai M. 'Genipin' – the natural water soluble cross-linking agent and its importance in the modified drug delivery systems: An overview. *Current Drug Delivery*. 2014;11(1):139–145. DOI: 10.2174/15672018113106660059.
6. Liu Z.-B., Chen J.-G., Yin Z.-P., Shangguan X.-C., Peng D.-Y., Lu T., Lin P. Methyl jasmonate and salicylic acid elicitation increase content and yield of chlorogenic acid and its derivatives in *Gardenia jasminoides* cell suspension cultures. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2018;134:79–93. DOI: 10.1007/s11240-018-1401-1.
7. Popova E. V., Nosov A. V., Titova M. V., Kochkin D. V., Fomenkov A. A., Kulichenko I. E., Nosov A. M. Advanced biotechnologies: Collections of plant cell cultures as a basis for development and production of medicinal preparations. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2021;68(3):385–400. DOI: 10.1134/S102144372103016X.
8. Povydysh M. N., Titova M. V., Ivanov I. M., Klushin A. G., Kochkin D. V., Galishev B. A., Popova E. V., Ivkin D. Y., Luzhanin V. G., Krasnova M. V., Demakova N. V., Nosov A. M. Effect of phytopreparations based on bioreactor-grown cell biomass of *Dioscorea deltoidea*, *Tribulus terrestris* and *Panax japonicus* on carbohydrate and lipid metabolism in type 2 diabetes mellitus. *Nutrients*. 2021;13(11):3811. DOI: 10.3390/nu13113811.
9. Povydysh M. N., Titova M. V., Ivkin D. Y., Krasnova M. V., Vasilevskaya E. R., Fedulova L. V., Ivanov I. M., Klushin A. G., Popova E. V., Nosov A. M. The hypoglycemic and hypocholesterolemic activity of *Dioscorea deltoidea*, *Tribulus terrestris* and *Panax japonicus* cell culture biomass in rats with high-fat diet-induced obesity. *Nutrients*. 2023;15(3):656. DOI: 10.3390/nu15030656.
10. Lagunin A., Povydysh M., Ivkin D., Luzhanin V., Krasnova M., Okovityi S., Nosov A., Titova M., Tomilova S., Filimonov D., Poroikov V. Antihypoxic action of *Panax japo-*

- nicus, *Tribulus terrestris* and *Dioscorea deltoidea* cell cultures: In silico and animal studies. *Molecular Informatics*. 2020;39(11):2000093. DOI: 10.1002/minf.202000093.
11. Salim S. A., Hamza S. Y., Habeeb M. S. Enhancement of *Gardenia jasminoides* Ellis friable callus growth and its constituents of some bioactive compounds. *Plant Archives*. 2019;19(2):398–402.
 12. Ebrahim H. S., El Ashry A. A., Rabie S. A. A., Ismail I. A., El-Bahr M. K., Gabr A. M. M. Establishment of hairy root cultures by *Agrobacterium rhizogenes* mediated transformation of *Gardenia jasminoides* Variegata for enhancing phenolic and antioxidant accumulation capacity. *Egyptian Pharmaceutical Journal*. 2025;24(1):131–140. DOI: 10.21608/epj.2025.402973.
 13. Chen L., Li M., Yang Z., Tao W., Wang P., Tian X., Li X., Wang W. *Gardenia jasminoides* Ellis: Ethnopharmacology, phytochemistry, and pharmacological and industrial applications of an important traditional Chinese medicine. *Journal of Ethnopharmacology*. 2020;257:112829. DOI: 10.1016/j.jep.2020.112829.
 14. Uddin R., Saha M. R., Subhan N., Hossain H., Jahan I. A., Akter R., Alam A. HPLC-analysis of polyphenolic compounds in *Gardenia jasminoides* and determination of antioxidant activity by using free radical scavenging assays. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*. 2014;4(3):273–281. DOI: 10.5681/apb.2014.040.
 15. Wang L., Liu S., Zhang X., Xing J., Liu Z., Song F. A strategy for identification and structural characterization of compounds from *Gardenia jasminoides* by integrating macroporous resin column chromatography and liquid chromatography-tandem mass spectrometry combined with ion-mobility spectrometry. *Journal of Chromatography A*. 2016;1452:47–57. DOI: 10.1016/j.chroma.2016.05.026.
 16. Luo Y.-J., Zuo Y.-M., Zhang Z.-L., Cai M.-T., Luo G.-M. Study on chemical constituents of *Gardenia jasminoides* (III). *Zhong Yao Cai*. 2014;37:1196–1199.
 17. Oshima T., Sagara K., Yoshida T., Tong Y. Y., Zhang G. D., Chen Y. H. Determination of geniposide, gardenoside, geniposidic acid and genipin-1- β -gentiobioside in *Gardenia jasminoides* by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography*. 1988;455:410–414. DOI: 10.1016/S0021-9673(01)82148-8.
 18. Zhou T., Zhao W., Fan G., Chai Y., Wu Y. Isolation and purification of iridoid glycosides from *Gardenia jasminoides* Ellis by isocratic reversed-phase two-dimensional preparative high-performance liquid chromatography with column switch technology. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*. 2007;858(1–2):296–301. DOI: 10.1016/j.jchromb.2007.08.031.
 19. Akihisa T., Watanabe K., Yamamoto A., Zhang J., Matsumoto M., Fukatsu M. Melanogenesis inhibitory activity of monoterpene glycosides from *Gardenia fructus*. *Chemistry and Biodiversity*. 2012;9(8):1490–1499. DOI: 10.1002/cbdv.201200030.
 20. Peng K., Yang L., Zhao S., Chen L., Zhao F., Qiu F. Chemical constituents from the fruit of *Gardenia jasminoides* and their inhibitory effects on nitric oxide production. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*. 2013;23(4):1127–1131. DOI: 10.1016/j.bmcl.2012.11.099.
 21. Chang W.-L., Wang H.-Y., Shi L.-S., Lai J.-H., Lin H.-C. Immunosuppressive iridoids from the fruits of *Gardenia jasminoides*. *Journal of Natural Products*. 2005;68(11):1683–1685. DOI: 10.1021/np0580816.
 22. Zhou T., Liu H., Wen J., Fan G., Chai Y., Wu Y. Fragmentation study of iridoid glycosides including epimers by liquid chromatography-diode array detection/electrospray ionization mass spectrometry and its application in metabolic fingerprint analysis of *Gardenia jasminoides* Ellis. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 2010;24(17):2520–2528. DOI: 10.1002/rcm.4643.
 23. Chen Q. C., Zhang W. Y., Youn U., Kim H., Lee I., Jung H.-J., Na M., Min B.-S., Bae K. Iridoid glycosides from *Gardenia fructus* for treatment of ankle sprain. *Phytochemistry*. 2009;70(6):779–784. DOI: 10.1016/j.phytochem.2009.03.008.
 24. Yu Y., Xie Z.-L., Gao H., Ma W.-W., Dai Y., Wang Y., Zhong Y., Yao X.-S. Bioactive iridoid glucosides from the fruit of *Gardenia jasminoides*. *Journal of Natural Products*. 2009;72(8):1459–1464. DOI: 10.1021/np900176q.
 25. Zhang H., Feng N., Xu Y.-T., Li T.-X., Gao X.-M., Zhu Y., Song Y. S., Wang Y.-N., Wu H.-H. Chemical constituents from the flowers of wild *Gardenia jasminoides* J. Ellis. *Chemistry and Biodiversity*. 2017;14(5):201600437. DOI: 10.1002/cbdv.201600437.
 26. Yu Y., Feng X.-L., Gao H., Xie Z.-L., Dai Y., Huang X.-J., Kurihara H., Ye W.-C., Zhong Y., Yao X.-S. Chemical constituents from the fruits of *Gardenia jasminoides* Ellis. *Fitoterapia*. 2012;83(3):563–567. DOI: 10.1016/j.fitote.2011.12.027.
 27. Okunji C. V., Caldwell S. A., McPhail L., et al. Phenolic constituents from *Gardenia jasminoides* and their effects on hepatocellular carcinoma. *Journal of Ethnopharmacology*. 2011;136:243–248.
 28. Liu X., Yuan J., Zhang J., et al. Chemical constituents of *Gardenia jasminoides* Ellis and their bioactivity. *Biochemical Systematics and Ecology*. 2022;54:19–0.
 29. Zhang Z., Feng H., Wu X., et al. Chemical and biological activities of *Gardenia jasminoides* fruits. *Journal of Pharmacological Sciences*. 2018;126(2):143–152.
 30. Kim H. J., Kim E. J., Seo S. H., Shin C.-G., Jin C., Lee Y. S. Vanillic acid glycoside and quinic acid derivatives from *Gardenia fructus*. *Journal of Natural Products*. 2006;69(4):600–603. DOI: 10.1021/np050447r.
 31. Farzinebrahimi R., Mat Taha R., Rashid K., Syafawati Yacob J. The effect of various media and hormones via suspension culture on secondary metabolic activities of (Cape Jasmine) *Gardenia jasminoides* Ellis. *The Scientific World Journal*. 2014;2014:407284. DOI: 10.1155/2014/407284.
 32. El-Sayed I. M., El-Ziat R. A., Murad S. A., Tahaa L. S., Mahgoub M. H. Optimization of micropropagation protocol and secondary metabolites of *Gardenia jasminoides* plant. *Plant Archives*. 2020;20(2):9183–9189.
 33. George P. S., Ravishankar G. A. Induction of crocin and crocetin in callus cultures of *Gardenia jasminoides* Ellis. *Food biotechnology*. 1995;9(1–2):29–38.
 34. Bergonzi M. C., Righeschi C., Isacchi B., Bilia A. R. Identification and quantification of constituents of *Gardenia jasminoides* Ellis (Zhizi) by HPLC-DAD-ESI-MS. *Food Chemistry*. 2012;134(2):1199–1204. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.02.157.
 35. Al-Maameri A. A. K., Almyali A. A. H. Effect of putrescine and type of light in callus of *Gardenia jasminoides* L. content from some effective medical compounds. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;871(1):012017.

36. Liu Z., Mohsin A., Wang Z., Zhu X., Zhuang Y., Cao L., Guo M., Yin Z. Enhanced biosynthesis of chlorogenic acid and its derivatives in methyl-jasmonate-treated *Gardenia jasminoides* cells: A study on metabolic and transcriptional responses of cells. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2021;8:604957. DOI: 10.3389/fbioe.2020.604957.
37. El-Ashry A. A. E.-L., Gabr A. M. M., Arafa N. M., El-Bahr M. K. Rutin accumulation in gardenia calli cultures as a response to phenyl alanine and salicylic acid. *Bulletin of the National Research Centre*. 2019;43:141.
38. Gabr A. M. M., Arafa N. M., El-Ashry A. A. E.-L., El-Bahr M. K. Impact of Zeatin and Thidiazuron on Phenols and Flavonoids Accumulation in Callus Cultures of *Gardenia (Gardenia jasminoides)*. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2017;20(7):328–335. DOI: 10.3923/pjbs.2017.328.335.
39. Reza F. Elicitation study on total phenolic and flavonoid content, and antioxidant activity of *Gardenia jasminoides* cell cultures. [Dissertation.] University of Malaya. 2017.
40. Tian Y., Huang X., Xu L., et al. Antioxidant and anti-inflammatory effects of *Gardenia jasminoides* Ellis fruit extract. *Phytochemistry Reviews*. 2014;13:467–476.
41. Zhu W., Li G., Zhou J. et al. Phytochemical analysis and antioxidant activity of *Gardenia jasminoides* fruits. *Journal of Food Science*. 2020;85(4):944–951.
42. Zhang L., Yang G., Li Z., et al. Bioactive components from *Gardenia jasminoides* and their mechanisms of action for oxidative stress protection. *Journal of Functional Foods*. 2019;56:297–303.
43. Yu L., Liu Y., Gao S., et al. Anti-tumor and antioxidant effects of *Gardenia jasminoides* fruit extract. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*. 2020;374:209–220.
44. Zhao J., Guo J., Zuo Y., et al. Review on the pharmacological effects of *Gardenia jasminoides*. *Phytochemistry Reviews*. 2018;17:361–371.
45. Wang J., Yang Y., Zhang W., et al. Antioxidant and anti-inflammatory effects of *Gardenia jasminoides* Ellis on human health. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2019;112:108677.
46. Zeng W., Li W., Feng H., et al. Investigating the protective effects of *Gardenia jasminoides* on oxidative stress-related diseases. *Journal of Ethnopharmacology*. 2020;249:112451.
47. Yang H., Zhang Y., Li T., et al. Cytotoxicity and anti-inflammatory activity of *Gardenia jasminoides*. *Phytomedicine*. 2019;55:12–19.
48. Wang M., Zhang Q., Li M., et al. Antidiabetic and antioxidant effects of *Gardenia jasminoides* fruits in type 2 diabetes rats. *Journal of Diabetes Research*. 2016;2016:9534741.
49. Zhang L., Yang X., Fu S., et al. Investigating the antimicrobial and antioxidant properties of *Gardenia jasminoides* fruit extract. *Journal of Functional Foods*. 2021;77:104357.