

# САЛИЦИЛОВАЯ И ЖАСМОНОВАЯ КИСЛОТЫ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ С ПАТОГЕННЫМИ И ЭНДОФИТНЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ

А.В. Сорокань, Г.Ф. Бурханова, И.В. Максимов

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Институт биохимии и генетики Уфимского научного центра РАН, Уфа, Россия, [fourtyanns@googlemail.com](mailto:fourtyanns@googlemail.com)

**Аннотация.** Показано, что обработка растений эндофитными микроорганизмами *Bacillus subtilis* 26Д увеличивала устойчивость растений картофеля к фитофторозу, стимулируя локальный окислительный взрыв и накопление лигнина в местах внедрения патогена. Предварительная обработка растений жасмоновой кислотой значительно снижала содержание живых бактерий во внутренних тканях растений и нарушала формирование устойчивости, что было связано с отсутствием транскрипции патоген-индуцируемых белков растений.

**Ключевые слова:** салициловая кислота, жасмоновая кислота, *Phytophthora infestans*, *Bacillus*

**DOI:** 10.31255/978-5-94797-319-8-720-724

В последние десятилетия в мире растет интерес к биологическим средствам защиты растений, которые, в отличие от химических средств, экологичны и безопасны при применении. К ним следует отнести соединения природного происхождения или химически синтезированные их аналоги, а также живые культуры микроорганизмов, способные стимулировать иммунный потенциал растений в отношении патогенов [Barruio et al., 2008]. Устойчивость растений к патогенам обычно проявляется в виде системной индуцированной устойчивости или системной приобретенной устойчивости, в которую в качестве посредников вовлечены жасмоновая (ЖК) и салициловая (СК) кислоты соответственно [Pieterse et al., 2014]. Исследованиями последних лет доказано, что многие организмы, в том числе и сельскохозяйственные культуры, содержат в своих тканях эндофитные микроорганизмы (бактерии, грибы). Среди эндофитных микроорганизмов значительный интерес вызывают бактерии рода *Bacillus*, на основе которых создают препараты против патогенов [Сорокань и др., 2015].

Ряд штаммов бактерий *B. subtilis* продуцируют антибиотические липопептиды, подавляющие жизнедеятельность патогенных микроорганизмов. Так, штамм *B. subtilis* 26Д продуцирует липопептид сурфактин, эффективный против ряда патогенов сельскохозяйственных растений [Agaño et al., 2007]. Однако, фундаментальные основы физиолого-биохимических механизмов формирования устойчивости растений к патогенам под влиянием *B. subtilis* 26Д остаются еще практически не исследованными.

Цель работы – определение влияния воздействия салициловой или жасмоновой кислот и штамма эндофитной бактерии *B. subtilis* 26Д на формирование у них устойчивости к возбудителю фитофтороза *P. infestans*.

Как видно из рис. 1, инфицирование растений картофеля приводит к лигнификации клеток, прилегающих к месту внедрения патогена и развития СВЧ. Нахождение клеток эндофитных бактерий штамма *B. subtilis* 26Д способствует как более выраженной автофлуоресценции клеточных стенок в норме, так и интенсификации образования лигнина вокруг пораженных зон, что может объясняться увеличением пероксидазной активности в клеточных стенках как неинфицированных, так и инфицированных растений картофеля, обработанных *B. subtilis* 26Д (рис. 1).

Таким образом, помимо антибиотического воздействия метаболитов, *B. subtilis* 26Д стимулирует локальный иммунный ответ растений на внедрение патогена.

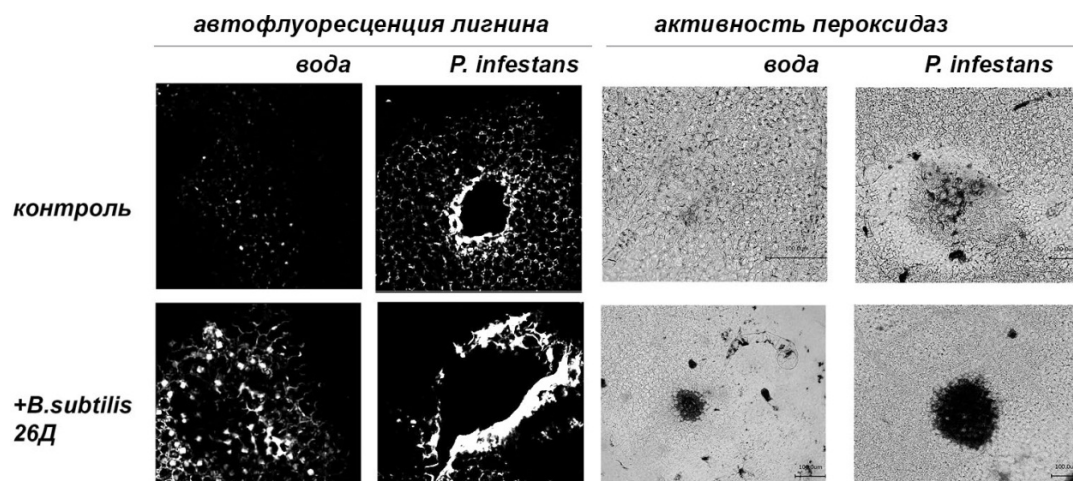


Рис. 1. Накопление лигнина и активность пероксидаз в клеточных стенках растений картофеля под действием эндофитных бактерий *B. subtilis* 26Д и инфицирования возбудителем фитофтороза.

Как было показано ранее, обработка растений *B. subtilis* 26Д существенно снижает проявление симптомов фитофтороза на листьях растений. Воздействие ЖК на растения картофеля подавляет защитный эффект *B. subtilis* 26Д, причем, чем ниже доза ЖК, тем меньше проявляется эффект. При этом в сочетании с 1М СК устойчивость растений повышалась относительно обработок *B. subtilis* 26Д в отдельности, и при снижении концентрации СК количество симптомов возрастало (рис. 1).

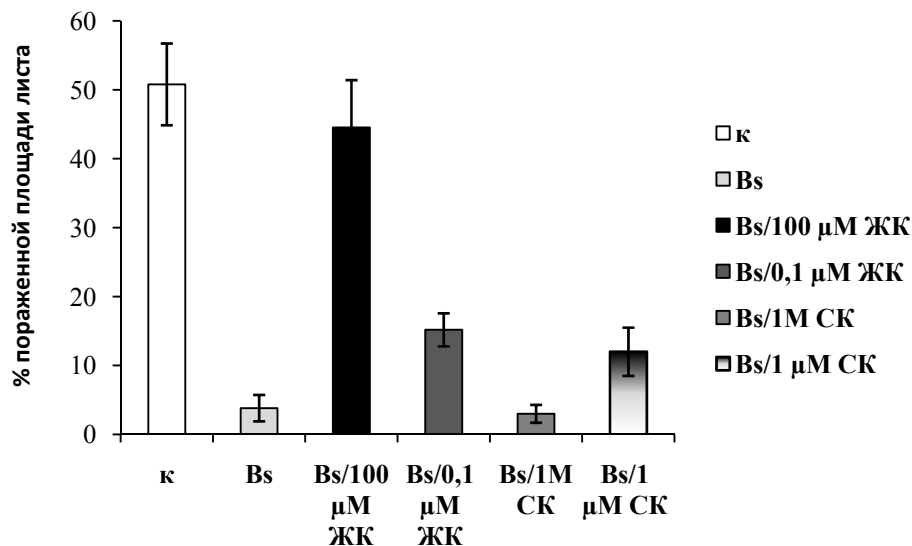


Рис. 2. Влияние СК и ЖК на иммуностимулирующие свойства *B. subtilis* 26Д.

Было выявлено, что обработка растений низкой концентрацией ЖК снижает содержание КОЕ бактерий во внутренних тканях растений почти вдвое, а высокой – практически на порядок. Предварительная обработка растений салициловой кислотой как в высокой, так и в низкой концентрациях так же снижали этот показатель, но зависимости от концентрации фитогормона не наблюдалось.

Таблица 1.

Содержание КОЕ *B. subtilis* 26Д в тканях растений картофеля, испытывающих воздействие СК и ЖК

Контроль (без обработки)	Содержание КОЕ/г сырой массы*10 <sup>5</sup>			
	СК, $\mu\text{M}$		ЖК, $\mu\text{M}$	
	1000	1	100	0,1
22	2,8	3,5	1	10

Таким образом, ЖК в концентрации, обычно используемой для стимуляции фитоиммунитета, в большей степени подавляла проникновение бактерий в ткани растений.

Ранее нами было показано, что в растениях картофеля при формировании у них защитного ответа к возбудителю фитофтороза с участием пероксидазы жасмонатная сигнальная система оказывается более эффективной, и лучше контролирует устойчивость [Maksimov et al., 2014]. Механизм снижения устойчивости растений при последовательном использовании ЖК и эндофитного микроорганизма в литературе ранее не был описан, поэтому были проведены дальнейшие исследования.

Так, высокая концентрация ЖК в сочетании с обработкой *B. subtilis* 26Д подавляла транскрипционную активность защитных генов как неинфицированных, так и в инфицированных возбудителем фитофтороза растениях (рис. 3, 4), а в низкой практически не изменяла наблюдаемого под действием бактериальной обработки увеличения содержания их транскриптов.

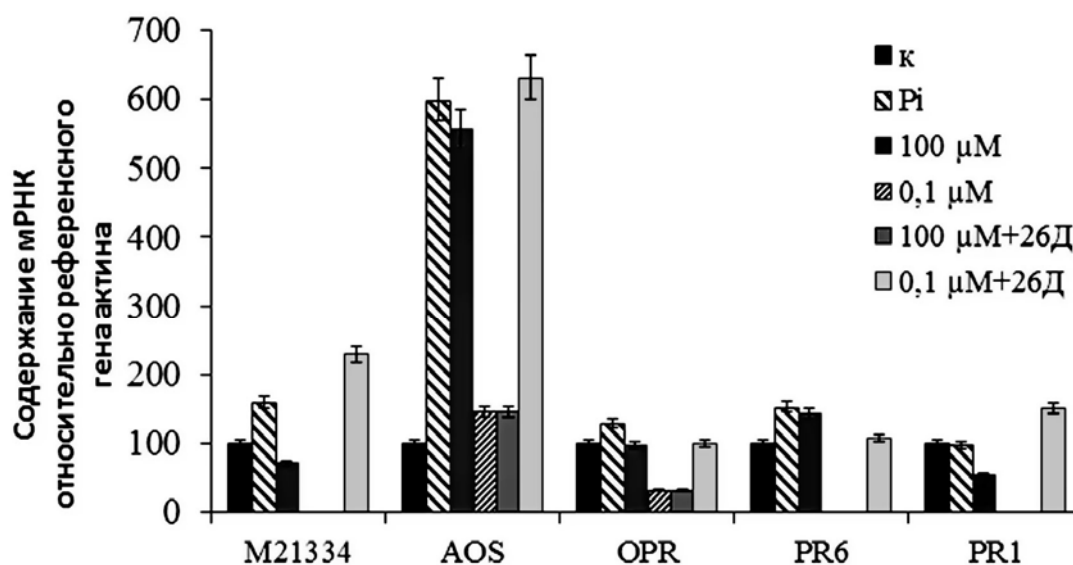


Рис. 3. Содержание транскриптов защитных генов картофеля в растениях картофеля под действием эндофитных бактерий *B. subtilis* 26Д и жасмоновой кислоты.

Таким образом, предварительная обработка растений жасмоновой кислотой значительно снижала содержание живых бактерий во внутренних тканях растений и активность транскрипции патоген-индуцируемых белков растений, что нарушало формирование устойчивости к патогену. Так как содержание жасмоновой кислоты в растениях увеличивается к моменту формирования клубней, то эффективность обработок растений бактериями в течение вегетационного периода снижается.

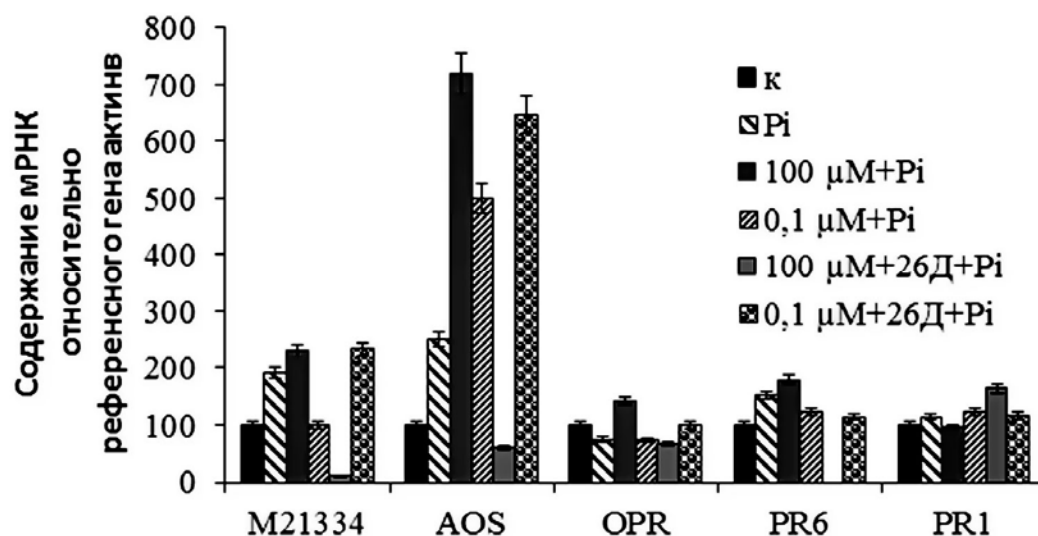


Рис. 4. Содержание транскриптов защитных генов картофеля в инфицированных возбудителем фитофтороза растениях под действием эндофитных бактерий *B. subtilis* 26Д и жасмоновой кислоты.

Работа выполнена в рамках Госзадания № 116020350027-7 (2016-2018) при частичной финансовой поддержке РФФИ 17-29-08014 офи\_м.

#### Литература

Сорокань А.В., Благова Д.К., Веселова С.В. и др. Фунгицидная и инсектицидная активность эндофитных бактерий рода *Bacillus* // Мат. IX Междунар. конф. «Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты». – Минск, 2015. – С. 210.

Araújo É.O. Rizobacteria in the control of pest insects in agriculture // African J. Plant Sci. – 2015. – V. 9, No. 9. – P. 368–373.

Barruiso J., Solano B.R., Lucas J.A., Lobo A.P., GarsiaVillaraco A., Manero F.L.G. // Plant-bacteria Interaction: Strategies and Technigues to Promote Plant Growth (Eds. I. Ahmad, J. Pichtel, S. Hayat). – Weinheim: WilleyVCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008. – P. 1–17.

Maksimov I.V., Abizgildina P.P., Sorokan' A.V., Burkhanova G.F. 2014. Regulation of peroxidase activity under the influence of signaling molecules and *Bacillus subtilis* 26D in potato plants infected with *Phytophthora infestans* // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2014. – V. 50 (2). – P.173–178.

Pieterse C.M., Zamioudis C., Berendsen R.L., Weller D.M., Van Wees S.C., Bakker P.A. 2014. Induced systemic resistance by beneficial microbes // Annu. Rev. Phytopathol. – 2014. – V. 52. – P. 347-75.

# **SALICYLIC AND JASMONIC ACID DURING THE INTERACTION OF POTATO PLANTS WITH PATHOGENIC AND ENDOPHYTIC MICROORGANISMS**

A.V. Sorokan, G.F. Burhanova, V.I. Maksimov

Institute of biochemistry and genetics of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia,  
*fourtyanns@googlemail.com*

**Abstract.** It was shown that treatment of plants with endophytic strain *Bacillus subtilis* 26D increased the resistance of potato plants to the late blight, stimulated local oxidative burst and accumulation of lignin in sites of the pathogen penetration. Pretreatment of plants with jasmonic acid significantly reduced the content of colony-forming bacteria in the internal tissues of plants and disrupted the formation of resistance, which was due to the lack of transcription of pathogenesis-related proteins.

**Keywords:** *salicylic acid, jasmonic acid, Phytophthora infestans, Bacillus*