



63УДК:632.3:632.75

ФИТОПЛАЗМОЗ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ (*CANDIDATUS PHYTOPLASMA SOLANI*): СИМПТОМЫ, РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ, ПЕРЕНОСЧИКИ

Е.С. Герр, О.И. Стогниенко*

Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Мазлумова, п. ВНИИСС, Рамонский район, Воронежская область, Российская Федерация

*Эл. почта: e.stognienko@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 24.0.2022; принята к печати 02.12.2022

В результате фитопатологического мониторинга сахарной свеклы выявлены новые виды желтух. Анализ выявил наличие фитоплазмы столбур (*Candidatus Phytoplasma solani*). Переносчиком болезни являются цикадовые, наиболее массовые виды: *Pentastiridius leporinus*, *Empoasca affinis*, *Psammotettix striatus*. Установлена сезонная динамика численности цикадовых и корреляционная зависимость от метеорологических условий.

Ключевые слова: сахарная свёкла, *Candidatus Phytoplasma solani*, цикадовые.

SUGAR BEET PHYTOPLASMOSIS (*CANDIDATUS PHYTOPLASMA SOLANI*): SYMPTOMS, PREVALENCE, AND THE DISEASE CARRIERS

E.S. Gerr*, O.I. Stognienko

A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar, Voronezh Region, Russia

*E-mail: e.stognienko@yandex.ru

Phytopathological monitoring of sugar beet revealed new species of aster yellows. The presence of big bud phytoplasma (*Candidatus Phytoplasma solani*) was found. The disease vectors are leafhoppers, the most abundant species being *Pentastiridius leporinus*, *Empoasca affinis*, and *Psammotettix striatus*. The leafhoppers' seasonal dynamics and correlation between their numbers and weather conditions have been determined.

Keywords: sugar beet, *Candidatus Phytoplasma solani*, leafhoppers.

Изменения в климатических условиях приводит к инвазиям новых болезней, вредителей, изменению в патогенном комплексе стратегически значимых сельскохозяйственных культур. За последние 30 лет в центральном черноземном регионе (ЦЧР) температура воздуха повысилась на 2,7°C, климат стал более засушливым в летний период, что привело к изменению в патогенном комплексе: полностью исчезли такие болезни как пероноспороз и ржавчина сахарной свеклы; были выявлены новые вирусные болезни сахарной свеклы. В последние десятилетие в летних засушливых условиях в ЦЧР при обследовании полей сахарной свеклы стали массово выявлять в посевах сахарной свеклы растения с симптомами нетипичной желтухи [4]. При сравнении симптомов с симптомами вирусной желтухи сахарной свеклы установлены значимые различия (табл. 1).

Табл. 1.

Симптомы вирусной и фитоплазменной желтухи (столбур) сахарной свеклы.

	Вирусная желтуха (BYV)	Фитоплазменная желтуха (столбур) (<i>Candidatus Phytoplasma solani</i>)
Цвет листьев	Оранжево-желтый	Бледно-желтый
Жилки	Зеленые	Желтые
Плотность листьев	Лист плотный, восковидный, хрупкий, вертикально-стоящий. Поражается 1-2 листа на растении	Лист тонкий. Листья поникают. Поражается ярус листьев
Сохранность листа	Симптомы появляются в июле и сохраняются до осени	Симптомы появляются в августе, в жару нижний ярус быстро отмирает
Верхний ярус листьев	Нормально развит	Листья мелкие, не растут, черешки тонкие
Корнеплод	Нормальный	Часто наблюдается увядание

Анализ литературы показал, что вероятным возбудителем нетипичной желтухи сахарной свеклы могут быть фитоплазмы. В литературе встречаются упоминания о наличии фитоплазменных болезней сахарной свеклы. Описаны симптомы «Little Leaf Disease» мелколистности сахарной свеклы [7] в Египте, которым присущи «ананасообразная» крона, ланцетные листья, низкорослость, хлоротичность и некрозы листьев и черешков, причем

листья повторного прироста бывают небольшими и деформированными. Фитоплазма передается от больных к здоровым растениям сахарной свеклы посредством повилики (*Cuscuta campestris*). Болезнь приводит к изменению химического состава инфицированных листьев и корнеплодов сахарной свеклы – увеличению содержания аминного азота, белка, натрия, калия и общих свободных аминокислот, снижению общего содержания сахаров, в том числе сахарозы. В Чили были выявлены растения сахарной свеклы с симптомами увядания и желтухи листьев [9]. Анализ полиморфизма длины виртуального рестрикционного фрагмента, клонирование и секвенирование выявили наличие фитоплазмы, принадлежащей к рибосомной подгруппе 16SrIII-J. Эта же фитоплазма была обнаружена в сорняках *Galega officinalis* L. (козлятник лекарственный) и в культурных растениях (швейцарский мангольд и салат-латук). Синдром «basses richesses» (SBR) у сахарной свеклы во Франции связан с двумя флорозо-ограниченными некультивируемыми бактериями: фитоплазмой столбура и γ -3-протеобактериями, переносчиками которых являются цикадки *Pentastiridius leporinus* (*Hemiptera cixiidae*). Болезнь приводит к уменьшению биомассы растения и снижению сахаристости [6]. В ЦЧР [2] выявлен фитоплазмоз сахарной свеклы невыясненной этиологии, возбудители которого принадлежали к рибосомальным группам 16SrI и 16Sr12-A. Первая рибосомальная группа является возбудителями желтухи астр, вторая – столбура. Нами было сделано предположение, что фитоплазменная желтуха сахарной свеклы вызывается фитоплазмой столбура (*Candidatus Phytoplasma solani*), как наиболее распространенным возбудителем фитоплазмозов в ЦЧР [2].

Предварительные исследования, проведенные совместно с ВНИИКР, выявили наличие фитоплазмы в желтушных растениях, а в дальнейшем было уточнено, что это фитоплазма столбура картофеля (*Candidatus Phytoplasma solani*) [4].

Учет всех видов желтухи в посевах сахарной свеклы выявил их распространенность в засушливые годы от 10% до 15%. Мониторингом наличия фитоплазмы столбура картофеля (*Candidatus Phytoplasma solani*) выявлено в 62 % проб сахарной свёклы признаки желтухи, у 59 % проб показатели значительно превышают положительный контроль. Эти образцы были отобраны в поле селекционного севооборота и стационарного 8-ми-польного севооборота ВНИИСС (табл. 2).

Табл. 2.

Результаты ПЦР-тестирования образцов свеклы на наличие фитоплазмы столбура (*Candidatus Phytoplasma solani*), 2021 г.

Воронежская область					Липецкая область				
Лунка	Канал.	Содержание	Cq	Среднее Cq	Лунка	Канал.	Содержание	Cq	Среднее Cq
A10	FAM	Свекла. РАБ 1.	35,05	35,05	A01	FAM	Ag 4.1	32,19	32,19
A11	FAM	Свекла. РАБ 2.	31,50	31,50	A02	FAM	Ag 4.2	29,71	29,71
A12	FAM	Свекла. РАС 1.	34,27	34,27	A03	FAM	Dur 11.1	Н/О	0,00
B01	FAM	Свекла. РАС 2.	Н/О	0,00	A04	FAM	Dur 11.2	27,82	27,82
B02	FAM	Свекла. РАС 3.	Н/О	0,00	A05	FAM	Otr 5.	33,06	33,06
B03	FAM	Свекла. РАБ 3.	39,31	39,31	A06	FAM	Otr 5	Н/О	0,00
B04	FAM	Свекла. РАС 4.	29,01	29,01	A07	FAM	ZAR 51.1	31,80	31,80
B05	FAM	Свекла. РАС 5.	Н/О	0,00	A08	FAM	ZAR 51.2	32,28	32,28
C05	FAM	-K1 (вода)	Н/О	0,00	A09	FAM	ZAR 51.3	29,84	29,84
C06	FAM	-K2 (вода)	Н/О	0,00	C07	FAM	Положительный контроль	29,11	29,11
C07	FAM	Положительный контроль	29,11	29,11	C08	FAM	Отрицательный контроль	Н/О	0,00
C08	FAM	Отрицательный контроль	Н/О	0,00					

Примечание: использован набор для ПЦР диагностики фитоплазмы фирмы Синтол. Жирным шрифтом выделены пробы, в которых выявлены фитоплазмы

Обследования производственных посевов сахарной свеклы в 2021 г. после периода летней засухи показали наличие растений с симптомами желтухи. Визуально диагностировались желтухи как типичная вирусная (BYV), так и нетипичная в виде хлорозов, желтухи с симптомами увядания, желтухи с окрашиванием тканей в красноватые оттенки. Распространенность желтух в посевах сахарной свеклы невысокое, в основном с края поля. В лаборатории вирусологии ВНИИКР было подтверждено комплексное поражение сахарной свеклы вирусами и фитоплазмами. Растения с признаками желтухи поражены фитоплазмой столбура на полях Ag 4, Otr 5, Zar 51, Dur 11.

Переносчик

Переносчиком *Candidatus Phytoplasma solani* являются цикадки: в основном - вьюнковая цикадка (*Hyalesthes obsoletus* Signoret), а также другие виды семейства Cixiidae: *Reptalus quinquecostatus* (Dufour), *R. panzeri* (Low) и *Pentastiridius leporinus* (L.) [8]. Этот безответственный агент может вызвать ощутимые потери урожая картофеля и других культур семейства пасленовых, а также винограда, клубники, кукурузы и лаванды.

Так, в результате исследований цикадовых, проведенных в виноградных агроценозах Италии, было установлено, что 25% изученных экземпляров *Euscelis lineolatus* Brulle (Cicadellidae) виофорны фитоплазмой желтухи астр и фитоплазмой столбура, 19,3% экземпляров *Hyalesthes obsoletus* Signoret (Cixiidae) заражены фитоплазмой столбура (16SrXII-A), а 15% экземпляров *Neoliturus fenestratus* (Herrich-Schaffer) (Cicadellidae) и 7 % экземпляров *Psammotettix striatus* (L. Dahlbom) (Cicadellidae) инфицированы возбудителем фитоплазмы желтухи астр (16SrI)[10].

Во Франции *Pentastiridius leporinus* является экономически важным вектором столбура на сахарной свёкле благодаря его высокой численности и значительной степени виофорности. В свою очередь, *Hyalesthes obsoletus*, развивающийся на вьюнке и крапиве, заражаются двумя RFLP-дифференцируемыми типами столбура, но только тип столбура с вьюнка передавался и был патогенным для сахарной свёклы [6].

В середине XX в. на территории Украины на сахарной свёкле было выявлено более 20 видов цикадовых из родов *Psammotettix*, *Euscellis*, *Macrosteles*, *Empoasca*, *Eurpteryx*, *Pentastiridius* и *Laodelphax*, относящихся к семействам Cicadellidae, Cixidae и Delphacidae соответственно [3]. Несмотря на то, что представители этих видов – полифаги, часто они приурочены к определенным группам растений, с которыми связано их развитие. Наиболее вредоносными в отношении переноса фитоплазменной инфекции являются виды цикадовых, питающиеся на многолетних сорняках (вьюнок) или дикорастущих растениях лесополос и обочин (цикорий, барвинок) – эти виды растений являются резерватами фитоплазменной инфекции, в том числе и фитоплазмы столбура картофеля.

Проведенные нами учеты цикадовых в посевах сахарной свеклы в 2020 -2022 гг. позволили установить динамику численности и видовой состав. Отлов производился на желтые клеевые ловушки размером 12×21 см. Первый пик численности наблюдался в июле, второй в августе [1]. При этом в засушливом 2020 г. на ловушке насчитывалось за декаду до 60 шт. (рис. 1). После ливневых осадков численность снижалась и начинала увеличиваться и восстанавливаться в течение 10-14 дн. В годы с выпадением обильных осадков численность цикадовых незначительна и составляет 3-5 шт. на ловушку, при отсутствии осадков в течение 25-20 дн. увеличивается до 15 шт./ловушку.

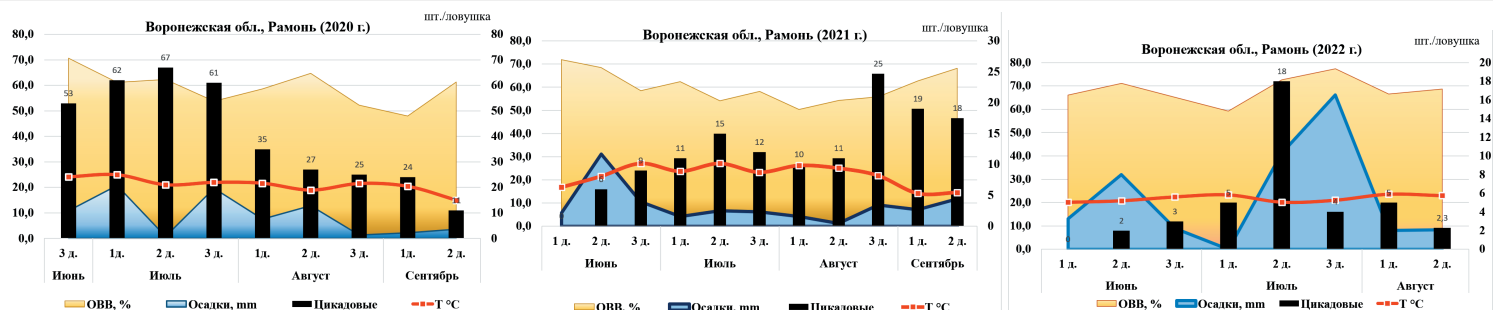


Рис. 1. Динамика численности цикадовых в посевах сахарной свеклы (Воронежская обл., Рамонь)

Видовой состав цикадовых в посевах сахарной свеклы

Определение видов проводилось по внешнеморфологическим признакам, включая гениталии самцов, с использованием фондовой коллекции ЗИН РАН (Санкт-Петербург).

Анализ видового состава показал, что в посевах сахарной свеклы присутствуют виды, относящихся к двум семействам – Cixiidae (*Hyalesthes obsoletus* Signoret., 1865, *Pentastiridius leporinus* (L. 1761)) и Cicadellidae (*Empoasca decipiens* Paoli, 1930, *Eupteryx atropunctata* (Goeze, 1778), *Neoliturus fenestratus* (H.-S., 1834), *Circulifer haematoceps* (M. et R., 1885), *Psammotettix striatus* (L., 1758)). В 2020 и 2021 гг. наиболее массовыми оказались виды *Pentastiridius leporinus* (L.), *Psammotettix striatus* (L.) и *Empoasca affinis* Nast. (табл. 3).

Табл. 3.

Видовой состав цикадовых в посевах сахарной свёклы в 2020–2021 гг. (массовые виды выделены полужирным).

Год	Cixidae:	Cicadellidae
2020	<i>Hyalesthes obsoletus</i> Signoret., 1865 <i>Pentastiridius leporinus</i> (L. 1761)	<i>Empoasca decipiens</i> (Paoli, 1930); <i>Eupteryx atropunctata</i> (Goeze, 1778); <i>Neoliturus fenestratus</i> (H.-S., 1834); <i>Circulifer haematoceps</i> (M. et R., 1885); <i>Psammotettix striatus</i> (L., 1758)
2021	<i>Hyalesthes obsoletus</i> Signoret., 1865 <i>Pentastiridius leporinus</i> (L. 1761)	<i>Empoasca affinis</i> (Nast, 1937) ; <i>Eupteryx atropunctata</i> (Goeze, 1778); <i>Neoliturus fenestratus</i> (H.-S., 1834); <i>Circulifer haematoceps</i> (M. et R., 1885); <i>Psammotettix striatus</i> (L., 1758)
2022	<i>Pentastiridius leporinus</i> (L. 1761)	<i>Empoasca affinis</i> (Nast, 1937); <i>Psammotettix striatus</i> (L., 1758)

В 2022 г. видовой состав упростился и был представлен тремя видами: *Empoasca affinis*, *Psammotettix striatus*, *Pentastiridius leporinus*, последний доминировал по численности. Наибольшая численность *P. leporinus* была в середине июля, численность прочих была невелика, поэтому особенностей их динамики не удалось установить (рис. 1).

Табл. 4.

Корреляционная зависимость между численностью цикадовых и метеоусловиями (Рамонь, 2020 – 2022 гг.)

Метеоданные	Коэффициент корреляции, r
Температура (сумма), Т °С	0,10
Температура воздуха (среднесуточная), Т °С	0,13
Температура воздуха (максимальная), Т °С	0,13
Температура воздуха (минимальная), Т °С	-0,10
Относительная влажность воздуха (среднесуточная), ОВВ %	-0,24
Осадки (сумма), mm	-0,09
ГТК	-0,12

Корреляционный анализ зависимости численности цикадовых от метеорологических условий показал: положительную зависимость с температурой воздуха среднесуточной и максимальной, суммой эффективных температур; отрицательную с минимальной температурой воздуха, относительной влажностью воздуха, суммой осадков и гидротермическим коэффициентом (ГТК) (Табл. 4). То есть, численность цикадовых возрастает с увеличением среднесуточных и максимальных температур воздуха, суммы эффективных температур, при снижении осадков, ГТК, и относительной влажности воздуха.

Вирофорность цикадовых

Предварительные анализы, проведённые в ФГБУ ВНИИКР показали, что вирофорными по *Candidatus Phytoplasma solani* являются виды: *Hyalesthes obsoletus*, *Pentastiridius leporinus*, *Neoliturus fenestratus*.

Таким образом, можно сделать вывод, что в посевах сахарной свеклы в ЦЧР выявлено новое заболевание – фитоплазмоз (столбур) сахарной свеклы (*Candidatus Phytoplasma solani*), которое проявляется на фоне засушливых погодных условий в конце вегетации. Переносчиками являются цикадовые, численность которых возрастает с увеличением среднесуточных и максимальных температур воздуха, суммы эффективных температур, при снижении осадков, ГТК, и относительной влажности воздуха.

Финансирование. Материалы подготовлены в рамках НИР по государственному заданию 0618-2019-0001 по теме «Изучить иммуногенетические, агроэкологические методы повышения устойчивости и разработать способы управления болезнями сахарной свёклы».

Литература

Список русскоязычной литературы

- Герр ЕС, Стогниенко ОИ. Динамика численности сосущих насекомых – переносчиков вирусных и фитоплазменных болезней в посевах сахарной свеклы. Сахарная свекла. 2021;(10):25-7.

2. Кастальева ТБ, Богоудинов ДЗ, Буттнер-Паркер КД и др. О разнообразии фитоплазмозов сельскохозяйственных растений в России: патогены и их переносчики. Сельскохозяйственная биология. 2016;51(3):367-75.
3. Пучков ВГ, Пучкова ЛВ. Цикадовые. В кн.: Свекловодство, Т.3, Киев;1959. С. 278-9.
4. Стогниенко ОИ, Стогниенко ЕС, Приходько ЮН, Живаева ТС. Фитоплазменная желтуха сахарной свеклы. Сахарная свекла. 2020;(2).
5. Baker R, Bragard C, Candresse T et al. Scientific opinion on the pest categorization of Candidatus Phytoplasma solani EFSA J.2014;12(12):3924 EFSA-Q-2014-00254
6. Bressan A, Semetey O, Nusillard B, Boudon-Padieu E. The syndrome "basses richesses" of sugar beet in France is associated with different pathogen types and insect vectors. Bull Insectol. 2007;60(2):395-6.
7. El-Shazly MA, EL-Abagy EM, Aly AME, Youssef SA. Identification and molecular characterization of little leaf disease associated with phytoplasma on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants in Egypt. Middle East J App Scil. 2016;6(4):1054-65.
8. Jović J, Riedle-Bauer M, Chucho J. Vector role of cixiids and other planthopper species. In: Bertaccini A, Weintraub P, Rao G, Mori N. (eds) Phytoplasmas: Plant Pathogenic Bacteria - II. Singapore: Springer. DOI: 10.1007/978-981-13-2832-9_4
9. Rao, GP, AlvarezE, YadavA. Phytoplasma diseases of industrial crops. In: Rao G, Bertaccini A, Fiore N, Liefting L (eds). Phytoplasmas: Plant Pathogenic Bacteria - I. Singapore: Springer; 2018. DOI: 10.1007/978-981-13-0119-3_4
10. Landi L, Isidoro N, Riolo P. Natural Phytoplasma Infection of Four Phloem-Feeding Auchenorrhyncha Across Vineyard Agroecosystems in Central–Eastern Italy. In: Arthropods In Relation To Plant Disease. Entomological Society of America: 2013. P.604-613.

Общий список литературы/List of References

1. Gerr YeS, Stogniyenko OI. [Time course of changes in the abundance of sucking-insect vectors viruses and phytoplasmas in sugar beet plantations] Sakharnaya Sviokla. 2021;(10):25-7. (In Russ.)
2. Kastalyeva TB, Bogoudinov DZ, Buttner-Parker KD. et al. [On diversity of phytoplasma diseases of agricultural plants in Russia: pathogens antheur vectors]. Selskokhoziaystvennaya Biologiya. 2016;51(3):367-75. (In Russ.)
3. Puchkov VG, Puchkova LV. Leafhoppers. In: Svekloводство. T.3. Kiev;1959. P. 278-9. (In Russ.)
4. Stognienko OI, Stognienko ES, Prikhodko YuN, Zhivayeva TS. [Phytoplasma-caused aster yellow of sugar beet]. Sakharnaya Sviokla. 2020;(2). (In Russ.)
5. Baker R, Bragard C, Candresse T et al. Scientific opinion on the pest categorization of Candidatus Phytoplasma solani EFSA J.2014;12(12):3924 EFSA-Q-2014-00254
6. Bressan A, Semetey O, Nusillard B, Boudon-Padieu E. The syndrome "basses richesses" of sugar beet in France is associated with different pathogen types and insect vectors. Bull Insectol. 2007;60(2):395-6.
7. El-Shazly MA, EL-Abagy EM, Aly AME, Youssef SA. Identification and molecular characterization of little leaf disease associated with phytoplasma on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants in Egypt. Middle East J App Scil. 2016;6(4):1054-65.
8. Jović J, Riedle-Bauer M, Chucho J. Vector role of cixiids and other planthopper species. In: Bertaccini A, Weintraub P, Rao G, Mori N. (eds) Phytoplasmas: Plant Pathogenic Bacteria - II. Singapore: Springer. DOI: 10.1007/978-981-13-2832-9_4
9. Rao, GP, AlvarezE, YadavA. Phytoplasma diseases of industrial crops. In: Rao G, Bertaccini A, Fiore N, Liefting L (eds). Phytoplasmas: Plant Pathogenic Bacteria - I. Singapore: Springer; 2018. DOI: 10.1007/978-981-13-0119-3_4
10. Landi L, Isidoro N, Riolo P. Natural Phytoplasma Infection of Four Phloem-Feeding Auchenorrhyncha Across Vineyard Agroecosystems in Central–Eastern Italy. In: Arthropods In Relation To Plant Disease. Entomological Society of America: 2013. P.604-613.

⟷