

Г.И. Гаджиева¹, О.В. Подковенко¹, О.В. Молчан²

¹ РУП «Институт защиты растений», аг. Прилуки, Минский р-н

² ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси», г. Минск

ВЛИЯНИЕ ЦЕРКОСПОРОЗА НА ФИЗИОЛОГО- БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАСТЕНИЙ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Рецензент: канд. с.-х. наук Кивачицкая М.М..

Аннотация. К одной из наиболее распространенных и вредоносных болезней сахарной свеклы относится церкоспороз (возб. *Cercospora beticola* Sacc.). При сильном поражении значительно снижаются урожайность и сахаристость корнеплодов, нарушаются физиологические процессы. Установлено, что с увеличением интенсивности поражения снижается содержание хлорофилла *a*, хлорофилла *b*, суммы хлорофиллов и суммы каротиноидов. Отмечено также снижение интенсивности фотосинтеза по мере увеличения интенсивности поражения листьев болезнью. выявлена значительная модуляция антиоксидантной системы, проявившаяся в изменении уровней содержания низкомолекулярных антиоксидантов – фенольных соединений – и антирадикальной активности в ткани листа.

Ключевые слова: сахарная свекла, церкоспороз, физиолого-биохимические параметры листьев.

Введение. К одной из наиболее распространенных и опасных болезней сахарной свеклы относится церкоспороз (возб. *Cercospora beticola* Sacc.). Его проявление зависит от устойчивости сорта, момента проявления первых симптомов болезни и погодных условий, сложившихся во второй половине вегетации. Оптимальными для развития болезни являются температура воздуха ночью выше +15 °С и днем +20-25 °С, а также относительная влажность выше 70 %. В случае более низкой среднесуточной температуры (+9-10 °С) при высокой влажности или более низкой влажности (до 60 %) при благоприятной температуре развитие гриба замедляется. Кроме того, образуется меньше спор и они меньшего размера. Наиболее сильно церкоспорозом свекла поражается в районах с температурой самого теплого месяца +22-25 °С и обильными осадками (более 200 мм). Продолжительность инкубационного периода в летние месяцы составляет 1-2 недели, а осенью, с наступлением похолодания, затягивается до 30-40 дней и более [7].

По литературным данным, при слабом или позднем поражении растений недобор сахара колеблется от 5 до 10 %, при среднем – от 15 до 20, при сильном и раннем – от 30 до 70 % [7]. В Беларуси при сильном

поражении церкоспорозом урожайность корнеплодов может снижаться на 46 %, ботвы – на 68 %, значительно снижается и сахаристость [4]. Согласно нашим ранее проведенным исследованиям, при поражении церкоспорозом по 1-3 баллам сахаристость корнеплодов снижается на 0,3-0,5 %, по 4 баллу – на 1,2 % [2; 3].

Кроме того, поражение церкоспорозом нарушает все физиологические процессы в растении: у пораженных листьев в 3-4 раза увеличивается интенсивность транспирации, ассимиляция углекислоты снижается в 10 раз и более, нарушается азотистый обмен. В результате, у пораженных растений азота в листьях содержится меньше, а в корнеплодах больше, чем в здоровых. Вследствие накопления в растении азотистых веществ в корнеплоде повышается содержание α -аминного азота, который во время переработки приводит к увеличению выхода патоки и уменьшению выхода сахара. В связи с этим, доброкачественность очищенного сока ухудшается [7].

Проведение комплексного физиолого-биохимического анализа листьев растений, пораженных церкоспорозом, позволит выявить основные закономерности воздействия патогена на физиологические и биохимические процессы, важнейшими из которых являются процессы фотосинтеза и состояние антиоксидантных систем. Полученные данные могут являться основой при разработке комплекса мероприятий по снижению вредоносности болезни.

Место и методика проведения исследований. Отбор образцов листьев сахарной свеклы для анализа проводился на опытном поле РУП «Институт защиты растений» трехкратно с интервалом времени 7 суток (19, 26 сентября и 03 октября 2016 г.). Отбирали по 10-15 листьев растений с различной интенсивностью поражения церкоспорозом: 10, 25, 50, 75 и 100 %; контролем служили не пораженные листья. Чтобы избежать варьирования фотосинтетических параметров в зависимости от фотопериода, образцы отбирали в одинаковое время суток (9.30-10.00 утра). Все измерения проводили в ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси» через 1 час после отбора образцов.

Количественное определение фотосинтетических пигментов проводили методом абсорбционной спектрофотометрии с использованием СФ 2000, экстрагируя пигменты из листовых дисков 100 % ацетоном. Содержание суммы хлорофиллов, хлорофиллов а и b, каротиноидов в общей смеси пигментов рассчитывали по соответствующим формулам [12]. Измерения для каждого варианта проводили не менее, чем в 5-кратной повторности.

Определение флуоресценции хлорофилла проводили с помощью флуориметра Solar CM 2203 (Беларусь). Регистрировали спектры излучения флуоресценции сегментов листьев в диапазоне длин волн

600-780 нм при длине волны возбуждения 450 нм. Коэффициенты флуоресценции ω и Rfd рассчитывали по формулам 1 и 2:

$$\omega = F_{740}/F_{685} \quad (1)$$

где F_{740} и F_{685} – значения интенсивности флуоресценции хлорофилла длиной волны 740 нм и 685 нм, соответственно;

$$Rfd = (F_m - F_0)/F_0 \quad (2)$$

где F_m и F_0 – максимальный и фоновый уровни флуоресценции, соответственно [5, 6].

Фоновый уровень флуоресценции получали из исходных спектров флуоресценции сегментов листьев растений. Для получения максимального уровня флуоресценции сегменты листьев инкубировали в 0,01 % растворе диурона (дихлорофенил-диметил-мочевины) в течение 50 мин, затем повторно регистрировали спектры флуоресценции. Измерения для каждого варианта проводили не менее, чем в 10-кратной повторности.

Определение скорости дыхания (по поглощению O_2 тканью листа в темноте), скорости фотосинтеза (по выделению O_2 тканью листа на свету) и коэффициента эффективности фотосинтеза KphA проводили при помощи прибора и специальных программ PlantVital®5030 фирмы INNO-Concept GmbH (Германия), данные представлены в $mg\ O_2/dm^2 \cdot ch$ [11]. Из полученных данных по скоростям фотосинтеза и дыхания программой рассчитывали коэффициент Виталитета Kph (коэффициент фотосинтетической эффективности) по формуле:

$$Kph = S/R \quad (3)$$

где S – скорость фотосинтеза; R – скорость дыхания.

Измерения проводили в 6-кратной повторности, не менее чем на 4-х растениях, вычисляли среднее арифметическое значение и стандартную ошибку.

Содержание суммы фенольных соединений определяли по стандартной методике с реактивом Фолина-Дениса [13]. Антирадикальную активность оценивали по реакции с DPPH (дифенил-2-пикрил-гидразил) с помощью спектрофотометра Varian Cary 50. Процент ингибирования P (%) активности DPPH рассчитывали по формуле 4:

$$P = (A-B)/A \times 100 \quad (4)$$

где A – оптическая плотность контроля; B – оптическая плотность образца [10].

Измерения для каждого варианта проводили не менее, чем в 10-кратной повторности. Для статистического анализа полученных результатов применяли стандартные методы вариационной статистики [8]. Данные на гистограммах и в таблицах представлены как среднее арифметическое и ошибка средней величины.

Результаты исследований. Одним из наиболее важных показателей, определяющих способность фотосинтетического аппарата растения (ФСА) осуществлять поглощение света, является содержание в листьях фотосинтетических пигментов, главнейшим из них является хлорофилл. Содержание этих пигментов в листьях различно. В старых пожелтевших листьях содержатся только каротиноиды. Такие листья не могут осуществлять фотосинтез. Для нормального течения процесса фотосинтеза необходимо наличие хлорофилла. Хлорофилл – вещество, которое не только поглощает энергию света, но и направляет ее на осуществление процесса фотосинтеза [9].

Согласно полученным данным, с увеличением интенсивности поражения листовой пластинки церкоспорозом (соответственно, увеличением площади некротизированной ткани) содержание хлорофилла а (хл а), хлорофилла b (хл b), суммы хлорофиллов хл (а + b), и суммы каротиноидов снижалось. При этом соотношение хл а / хл b, возрастало, а соотношение общего содержания хлорофиллов к содержанию каротиноидов снижалось при 50, 75 и 100 %-ном поражении патогеном (таблица 1). Такие изменения в общем содержании фотосинтетических пигментов могут быть связаны не только с влиянием патогена, но и со снижением биосинтетической активности листьев в конце вегетации культуры.

Таблица 1 – Содержание и соотношение фотосинтетических пигментов в листьях сахарной свеклы при различной интенсивности поражения церкоспорозом (РУП «Институт защиты растений»), 2016 г.)

Интенсивность поражения, %	Хлорофилл а, мг/г сухой массы	Хлорофилл b, мг/г сухой массы	Хлорофилл а + b, мг/г сухой массы	Каротиноиды, мг/г сухой массы	Хлорофилл а / хлорофилл b	Хлорофилл (а + b) / каротиноиды
Контроль (не пораженные листья)	6,736	1,795	8,531	2,842	3,810	3,005
10	4,294	1,102	5,396	2,019	4,783	2,619
25	4,158	1,114	5,272	2,039	4,281	2,547
50	3,354	0,753	4,106	1,750	4,993	2,354
75	2,486	0,625	3,112	1,393	5,185	2,200
100	1,585	0,333	1,918	0,953	5,202	2,012

Флуоресценция хлорофилла. При активном фотосинтезе в условиях слабого освещения почти вся поглощенная энергия света используется в процессе фотосинтеза. Поэтому интенсивность флуоресценции хлорофилла в клетке очень низка, но и при таких условиях небольшая часть энергии переходит в энергию флуоресценции в виде так называемой фоновой флуоресценции F_0 . Если при каких-либо воздействиях нарушается состояние фотосинтетических мембран, флуоресценция

хлорофилла возрастает. В наших исследованиях величина параметра F_0 , коррелирующая с содержанием хлорофилла, и $F_m - F_0$, характеризующая эффективность начальных этапов фотосинтеза, с увеличением интенсивности поражения церкоспорозом в первой серии эксперимента существенно снижались. Причем с увеличением интенсивности поражения листовой пластинки снижение было более выраженным. Во второй и третьей сериях параметры F_0 и $F_m - F_0$ всех исследованных вариантов поражения листьев были существенно ниже, чем в первой; при этом значительного снижения этих параметров не наблюдалось (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели флуоресценции хлорофилла листьев сахарной свеклы при различной степени поражения церкоспорозом

Интенсивность поражения, %	F0 680 нм, отн. ед.	F0 740 нм, отн. ед.	Fm-F0 680 нм, отн. ед.	Fm-F0 740 нм, отн. ед.
19 сентября				
Контроль (не пораженные листья)	64,726	128,432	74,723	122,001
10	56,177	97,042	81,326	103,260
25	76,791	99,980	68,338	60,241
50	67,222	113,594	74,163	86,877
75	53,475	67,505	54,612	51,239
100	43,902	41,580	28,894	19,304
26 сентября				
Контроль (не пораженные листья)	22,748	24,428	62,880	42,729
10	22,133	21,063	53,024	37,172
25	20,326	20,183	75,430	48,567
50	18,521	17,620	61,634	34,934
75	21,804	18,417	81,941	50,487
100	21,833	20,491	67,131	41,035
03 октября				
Контроль (не пораженные листья)	21,313	24,096	58,969	44,328
10	22,083	21,066	70,676	52,027
25	24,998	22,750	62,814	44,805
50	34,906	29,058	51,607	33,521
75	29,439	25,341	55,023	36,902
100	35,906	32,043	59,526	43,883

Известно, что транспорт электрона по электрон-транспортной цепи (ЭТЦ) фотосинтеза осуществляется между двумя фотосистемами (ФС), различающимися по составу белков, пигментов и оптическим свойствам.

При этом светособирающая антенна ФС I в основном содержит пигменты, поглощающие свет с длиной волны $\lambda < 700 \div 730$ нм, а ФС II – $680 \div 700$ нм. Спектры флуоресценции листьев растений при комнатной температуре обычно имеют два максимума – в диапазоне длин волн 682–686 нм (F685), и 730–742 нм (F740). Полагают, что в более коротковолновой области флуоресцирует хлорофилл ФС II, в длинноволновой – хлорофилл ФС I, а соотношение коротковолновых и длинноволновых максимумов определяется степенью агрегированности форм хлорофилла и реабсорбцией излучения. Для количественной характеристики флуоресценции хлорофилла был введен параметр ω . Следует отметить, что коэффициент флуоресценции ω , равный 1 и выше отн. ед., свидетельствуют о хорошем физиологическом состоянии растений, при действии стрессовых факторов коэффициент снижается. Как у молодых, так и у умирающих тканей (независимо от причин гибели), интенсивность длинноволновой флуоресценции бывает низкой, а значение ω – минимальным, т.е. онтогенез фотосинтезирующего листа связан с возрастанием и последующим спадом длинноволновой флуоресценции.

Нами установлено значительное снижение параметра ω при воздействии возбудителя церкоспороза в первой серии экспериментов (в середине сентября). В двух последующих сериях (конец сентября, начало октября) значение ω снижалось для всех вариантов, включая контроль; дополнительное снижение под влиянием патогена было менее выраженным (рисунок 1). Максимальное значение параметра ω во всех трех сериях эксперимента отмечено в контроле (не пораженные листья), из чего можно предположить, что поражение листовой поверхности церкоспорозом приводит к изменению соотношения в фотосинтетическом аппарате (ФСА) листа длинноволновых и коротковолновых форм пигментов и, таким образом, ухудшает способность ФСА осуществлять первичные процессы фотосинтеза, связанные с поглощением света светособирающими антеннами и миграцией энергии к реакционным центрам (РЦ) фотосистем.

При дефиците азота, когда скорость роста и потребность в продуктах фотосинтеза и световой энергии снижены, адаптивные реакции приводят к уменьшению фотосинтетической активности РЦ и, соответственно, снижению коэффициента Rfd. Это одна из наиболее ранних регуляторных реакций фотосинтетического аппарата в ответ на дефицит минерального питания. Она направлена на предотвращение использования избыточного количества электронов и электронного возбуждения в цепи переносчиков для генерации активных форм кислорода. Таким образом, функционирование РЦ фотосинтеза направленно изменяется под действием внешних факторов, и это непосредственно отражается на фотосинтетической продуктивности растений.

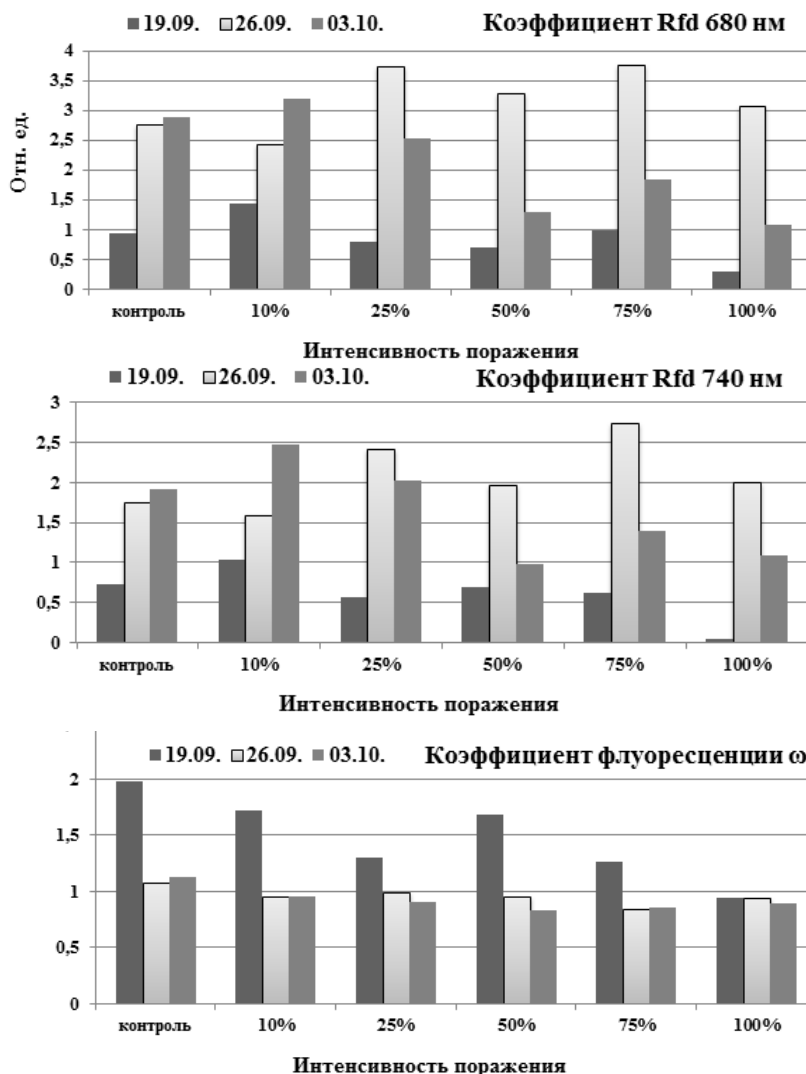


Рисунок 1 – Параметры флуоресценции листьев сахарной свеклы при различной степени поражения церкоспорозом

Как следует из полученных нами данных, поражение листьев церкоспорозом с интенсивностью до 75 % не значительно влияло на величину Rfd, определяющую фотосинтетическую продуктивность листьев в первой серии эксперимента и только при 100 %-ном поражении

снижение было существенным (до 0,046 отн. ед.). В то же время, в экспериментах, проведенных позднее, отмечено увеличение данного показателя по сравнению с контролем, т.е., фотосинтетическая продуктивность непораженной листовой поверхности у пораженных растений может быть выше в сравнении с контролем. В конце вегетационного периода при значительном поражении церкоспорозом (свыше 50 %) наблюдалось существенное снижение коэффициента Rfd. Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что изменения физиолого-биохимических процессов, возникающие в результате поражения церкоспорозом, затрагивают универсальные механизмы стресс-реакции и стресс-адаптации растения. Не исключена также взаимосвязь с интенсивным накоплением сахаров (конечных продуктов фотосинтеза) в корнеплодах в конце вегетационного периода. Возможно также, что у пораженных растений происходит компенсация потери ассимилирующей площади за счет усиления эффективности фотосинтеза здоровыми тканями листа.

По литературным данным, под действием неблагоприятных факторов среды обитания у растений часто происходит сдвиг в соотношении процессов дыхания и фотосинтеза в сторону увеличения процессов потребления O_2 и уменьшения его синтеза [1]. Нами также отмечено закономерное снижение интенсивности фотосинтеза по мере увеличения степени поражения листьев (рисунок 2). Так, в первой серии эксперимента максимальная скорость фотосинтеза наблюдалась у контрольных растений и составила $1,1117 \pm 0,05880 \text{ мг}O_2/\text{дм}^2\cdot\text{ч}$. На пораженных церкоспорозом участках листьев интенсивность фотосинтеза значительно снижалась – на 31 % относительно контроля при степени поражения 10 % и до 79 % при интенсивности поражения 100 %. При этом на не пораженных участках листьев интенсивность фотосинтеза снижалась не так существенно. Во второй серии измерений скорость фотосинтеза контрольных растений снижалась и составляла $0,9522 \pm 0,06465 \text{ мг}O_2/\text{дм}^2\cdot\text{ч}$. На пораженных церкоспорозом участках листьев интенсивность фотосинтеза также снижалась – на 11 % относительно контроля при 10 %-ном поражении, на 21-23 % – при 25-50 %-ном и 61 % – при 100 %-ном поражении. На не пораженных участках интенсивность фотосинтеза была на уровне контрольной. В третьей серии измерений скорость фотосинтеза контрольных растений составляла $0,6653 \pm 0,03872 \text{ мг}O_2/\text{дм}^2\cdot\text{ч}$. На пораженных участках листьев с интенсивностью поражения 10, 75 и 100 % скорость фотосинтеза была ниже контрольной на 8, 15 и 32 %, соответственно. На не пораженных участках интенсивность фотосинтеза во всех вариантах превышала контрольную, причем по мере увеличения степени поражения возрастала и скорость выделения O_2 (рисунок 3).

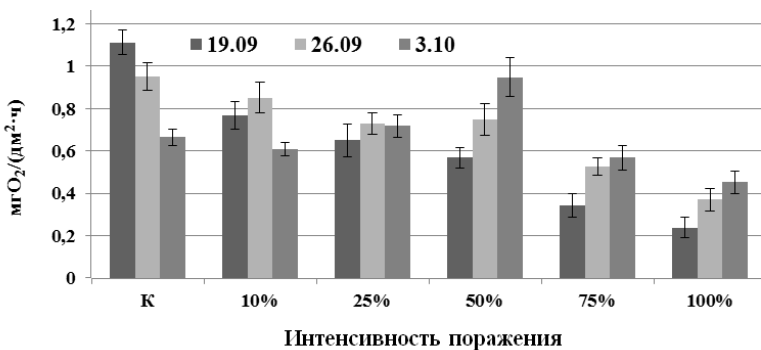


Рисунок 2 – Скорость фотосинтеза листьев сахарной свеклы при различной интенсивности поражения церкоспорозом

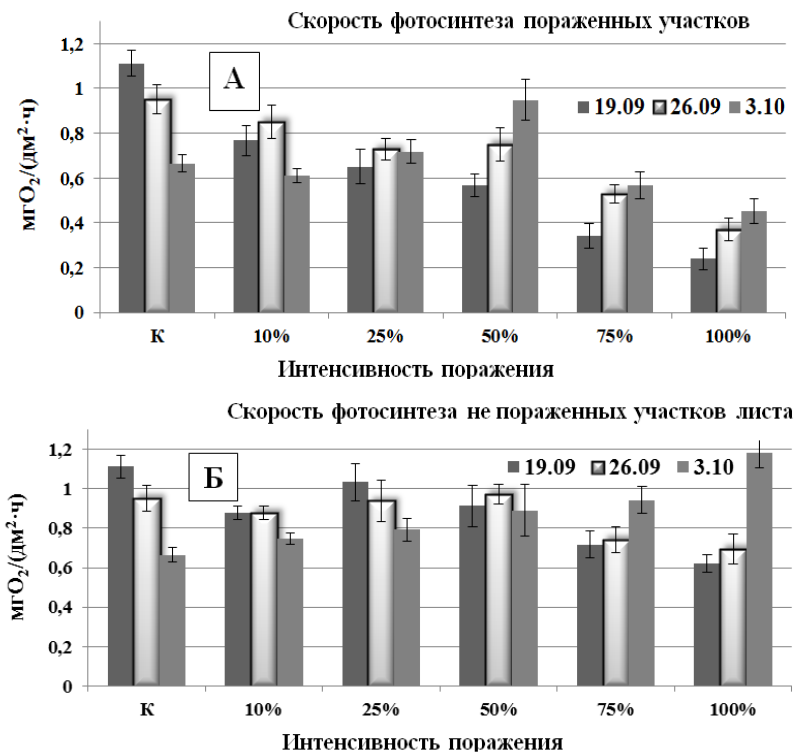


Рисунок 3 – Динамика скорости фотосинтеза пораженных (А) и непораженных (Б) участков листьев сахарной свеклы при поражении церкоспорозом

Скорость дыхания контрольных листьев в первой серии эксперимента составила $0,5610 \pm 0,03175$ мгО₂/дм²·ч. На пораженных церкоспорозом участках листа при степени поражения от 10 до 50 % скорость поглощения О₂ отличалась от контрольной незначительно, однако при развитии болезни 75 % скорость дыхания снижалась на 25 %, при степени поражения 100 % скорость дыхания возросла и составляла 89 % относительно контроля. Во второй серии измерений скорость дыхания контрольных листьев составила $0,4683 \pm 0,02594$ мгО₂/дм²·ч. На пораженных участках листа скорость поглощения О₂ была выше контрольной во всех вариантах – на 15-18 % при степени поражения 10 и 50 %, на 27-29 % – при степени поражения 25 и 75 % и на 30 % – при развитии болезни 100 %. На не пораженных участках листа также наблюдалось повышение скоростей поглощения О₂. Максимальная скорость дыхания отмечена при степени поражения 25 % – на 20 % относительно контроля, в остальных вариантах превышение составило от 8 до 14 %. Скорость дыхания контрольных листьев в третьей серии измерений составила $0,4365 \pm 0,02712$ мгО₂/дм²·ч. На пораженных церкоспорозом участках листа скорость поглощения О₂ превышала контрольную во всех вариантах. Максимальная скорость дыхания наблюдалась при степени поражения 50 % – на 52 % выше контроля. На не пораженных участках наблюдалось закономерное повышение скоростей поглощения О₂ по мере увеличения степени поражения – на 12 % при степени поражения 10 % и до 78 % при развитии болезни 100 % (рисунки 4, 5).

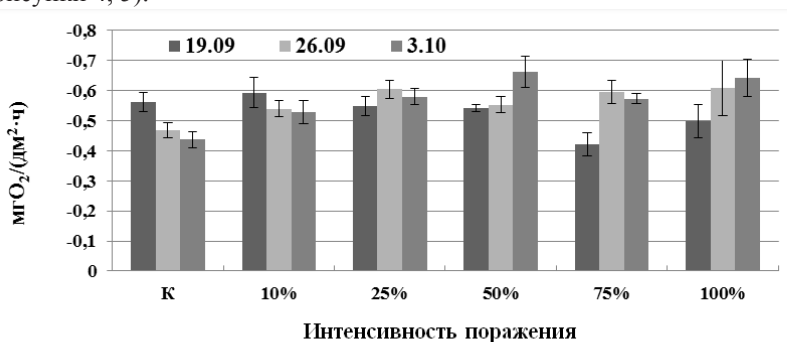


Рисунок 4 – Скорость дыхания листьев сахарной свеклы при различной интенсивности поражения церкоспорозом

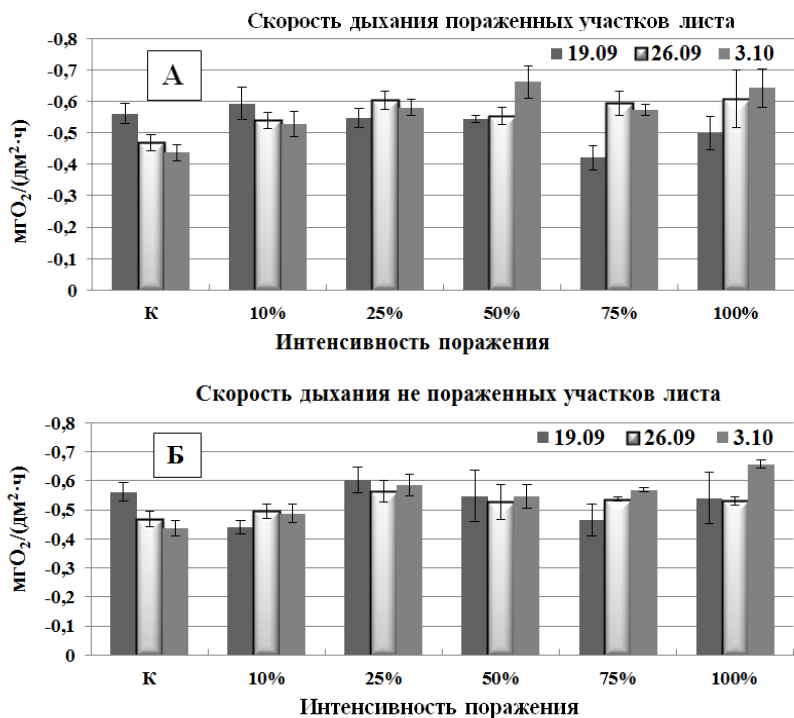


Рисунок 5 – Динамика скорости дыхания пораженных (А) и непораженных (Б) участков листьев сахарной свеклы при поражении церкоспорозом

Максимальный коэффициент фотосинтетической эффективности в первой серии эксперимента был в листьях контрольных растений и составил $2,0177 \pm 0,02593$ отн. ед. (рисунок 6). На пораженных некротическими пятнами участках листа Крп резко снижался и составлял от 65 % относительно контрольной величины при степени поражения 10 % до 23 % при интенсивности поражения 100 %. На не пораженных участках листа при развитии болезни 10 % коэффициент был идентичен контрольному, при большей степени поражения снижался на 15-45 %. Во второй серии измерений коэффициент фотосинтетической эффективности в листьях контрольных растений составил $2,0465 \pm 0,11747$ отн. ед.; на пораженных участках листа Крп снижался на 13-70 %, на не пораженных – от 20 до 36 %. В третьей серии измерений Крп составил $1,5434 \pm 0,07691$ отн. ед.; на пораженных участках листа максимальное снижение (54 %) коэффициента Крп наблюдалось при степени поражения 100 %, на не пораженных участках листа коэффициент фотосинтетической снижался незначительно (рисунок 7).

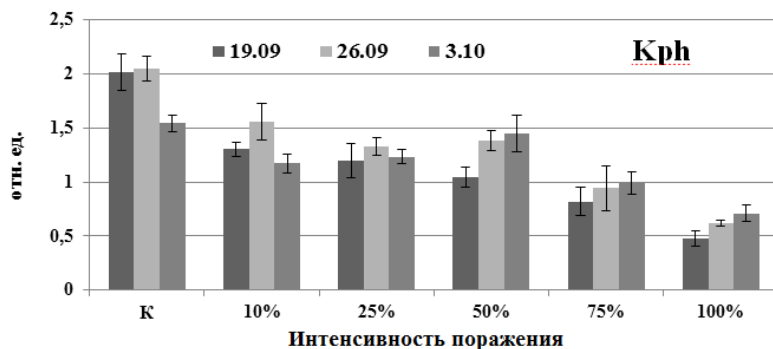


Рисунок 6 – Динамика коэффициента эффективности фотосинтеза (KphA) по O_2 листьев сахарной свеклы при различной поражении церкоспорозом

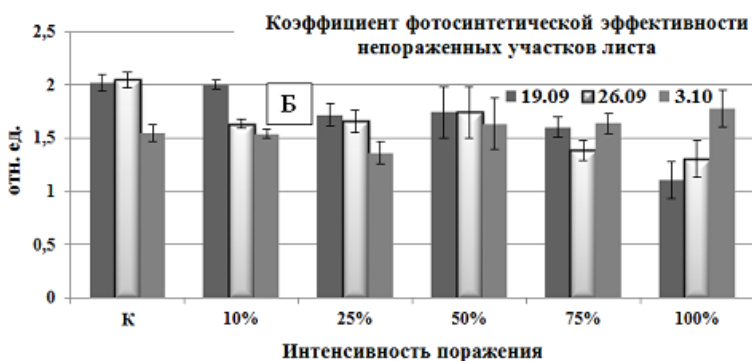
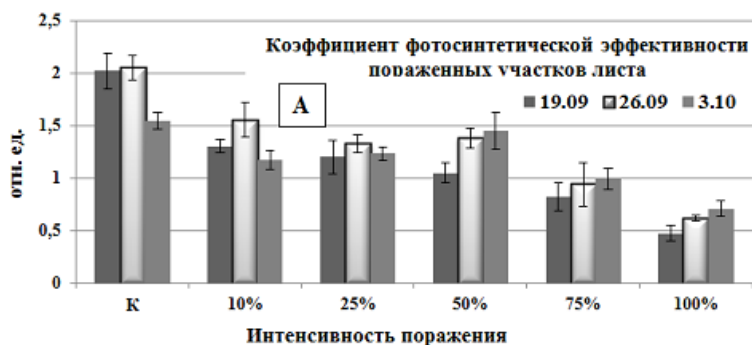


Рисунок 7 – Динамика коэффициента фотосинтетической эффективности пораженных (А) и непораженных (Б) участков листьев сахарной свеклы при поражении церкоспорозом

К концу вегетации интенсивность фотосинтеза контрольных (здоровых) растений снижалась на 40 %, скорость дыхания на 22 %, коэффициент фотосинтетической эффективности – на 24 %, что может быть связано с завершением синтеза и накопления сахаров в корнеплодах. В то же время, в конце вегетации наблюдалось повышение интенсивности фотосинтеза и дыхания больных растений на не пораженных участках листьев, а при 50 %-ном развития болезни – и на пораженных участках относительно контроля. Максимальная стимуляция фотосинтетических процессов происходила в конце вегетации в зеленых участках листьев растений с развитием болезни 100 %. Вероятно, у пораженных растений происходит компенсация потери ассимилирующей площади за счет усиления эффективности фотосинтеза здоровыми тканями листа.

Обнаружена также значительная модуляция антиоксидантной системы листьев сахарной свеклы при их поражении церкоспорозом, проявившаяся в изменении уровней содержания низкомолекулярных антиоксидантов – фенольных соединений – и антирадикальной активности в ткани листа. Так, содержание фенольных соединений в листьях контрольного варианта в среднем составляло 10-11 мг/г сух вещества и оставалось неизменным на протяжении трех измерений (в течении трех недель). В первой серии измерений (пробы от 19.09.) при слабом и среднем поражении (10, 25 и 50 %) содержание фенольных соединений незначительно отличалось от контрольных (непораженных) растений, в то время как при высокой степени поражения (75 и 100 %) снижалось (таблица 3).

По нашему мнению, различия могут быть обусловлены как снижением биосинтетической активности растений под влиянием инфекции, так и увеличением доли некротической ткани листа.

Таблица 3 – Содержание фенольных соединений в листьях сахарной свеклы с различной степенью поражения церкоспорозом

Содержание фенольных соединений, мг/г сухой массы		19.09.2016	26.09.2016	03.10.2016
Контроль (не пораженные листья)		11,529±0,3363	10,705±0,2345	11,780±0,2442
Степень поражения, %	10	10,166±0,0486	15,571±0,0988	14,634±0,5741
	25	11,797±0,3303	16,633±0,839	9,385±0,2026
	50	11,127±0,3303	16,542±0,1860	5,123±0,4296
	75	9,7515±0,0682	12,998±0,2526	5,454±0,2578
	100	5,189±0,0887	9,359±0,1074	4,644±0,2722

Во второй серии измерений (пробы от 26.09.) для всех вариантов, кроме 100 %-ного поражения, было отмечено значительное увеличение содержания фенольных соединений. При этом, как и в предыдущем случае, варианты с 10-50 %-ным поражением между собой не отличались, при 75 %-ном содержании веществ фенольной природы снижалось на 22 %, а при 100 %-ном – на 46 % по отношению к вариантам с 10-50 %-ным поражением.

В третьей серии измерений (пробы от 3.10.) количество фенольных соединений в листьях пораженных растений снижалось (за исключение варианта со степенью 10 %). Вероятнее всего, обнаруженная тенденция отражает снижение способности поддерживать уровень фенольных соединений при заражении в течение длительного времени.

Антирадикальная активность в листьях контрольного варианта возрастала на протяжении трех измерений (в течение трех недель) и составляла 10-19 %. Изменения антирадикальной активности, в основном, соответствовали уровню содержания фенольных соединений (таблица 4). Обнаруженные изменения свидетельствуют о значительном изменении редокс-статуса клеток листа растений сахарной свеклы при различной степени поражения возбудителем церкоспороза.

Таблица 4 – Антирадикальная активность листьев сахарной свеклы с различной степенью поражения церкоспорозом

Антирадикальная активность R, %		19.09.2016	26.09.2016	03.10.2016
Контроль (не пораженные листья)		11,073±1,8863	13,153±0,9912	19,980±1,3379
Степень поражения, %	10	13,578±0,8396	32,359±0,8569	23,604±0,9420
	25	16,016±0,5062	22,263±0,2563	10,616±1,4705
	50	16,341±0,3554	29,062±0,8389	7,982±1,5101
	75	17,455±0,6776	22,594±1,1397	8,290±0,7427
	100	12,260±0,5285	11,601±0,8615	6,103±0,8744

Выводы. К одной из наиболее распространенных и вредоносных болезней сахарной свеклы относится церкоспороз (возб. *Cercospora beticola* Sacc.). При сильном поражении значительно снижаются урожайность и сахаристость корнеплодов, нарушаются физиологические процессы. С увеличением интенсивности поражения сахарной свеклы церкоспорозом снижается содержание хлорофилла а, хлорофилла b, суммы хлорофиллов и суммы каротиноидов. Поражение сахарной свеклы церкоспорозом приводит также к изменению соотношения в фотосинтетическом аппарате (ФСА) листа длинноволновых и

коротковолновых форм пигментов и, таким образом, ухудшает способность ФСА осуществлять первичные процессы фотосинтеза.

Поражение растений сахарной свеклы церкоспорозом существенно влияло на интенсивность фотосинтеза. Отмечено закономерное снижение скоростей фотосинтеза по мере увеличения степени поражения листьев. При этом в значительной степени снижение выделения O_2 отмечено на пораженных некротическими пятнами участках листа, и в меньшей степени – на непораженных. К концу вегетации у контрольных растений отмечено закономерное снижение скоростей фотосинтеза, дыхания и коэффициента фотосинтетической эффективности, что связано с завершением синтеза и накопления сахаров в корнеплодах.

Установлена значительная модуляция антиоксидантной системы листьев сахарной свеклы при их поражении церкоспорозом, проявившаяся в изменении уровней содержания низкомолекулярных антиоксидантов – фенольных соединений – и антирадикальной активности в ткани листа.

Список литературы

1. Новые возможности в оценке состояния растений / Н.Г. Акиншина [и др.] // Сибирский экологич. Журнал. – 2008. – № 2. – С. 249–254
2. Гаджиева, Г.И. Эффективность новых фунгицидов в посевах сахарной свеклы / Г.И. Гаджиева, Н.С. Гутковская, И.В. Богомолова // Защита растений: сб. науч. тр. / РУП “Институт защиты растений”. – Минск, 2006. – Вып. 30, Ч. 2. – С. 69–77.
3. Гутковская, Н.С. Эффективность фунгицида Харизма, КЭ в посевах сахарной свеклы / Н.С. Гутковская, Г.И. Гаджиева // Агриматко. – 2006. – №1/11. – С. 22–23.
4. Дорожкин, Н.А. Вредители и болезни сахарной свеклы / Н.А. Дорожкин, В.К. Городец, Т.П. Терехова. – Минск, 1957. – 52 с.
5. Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода / В.С. Лысенко [и др.] / Фундаментальные исследования. Биологические науки. – 2014. – № 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ? . – Дата доступа: ?
6. Метод определения функционального состояния растений по спектрам флуоресценции хлорофилла (техника биомониторинга) / К.Б. Асланиди [и др.]. – Пушкино: НЦБИ АН СССР, 1988. – С. 43.
7. Пятнистость листьев или церкоспороз / Свекловодство; Киев: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы Украинской ССР, 1959. – Издание 2-ое, перераб. и допол. – Т. 3. Часть 2. – С. 413–432.
8. Рокицкий, П.Ф. Биологическая статистика. – М.: Высшая школа, 1978. – 312 с.
9. Фотосинтетический аппарат [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.ngpedia.ru/id81808p1.html>. – Дата доступа: 26.04.2019.
10. Brand-Williams, W. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity / W. Brand-Williams, M.E. Cuvelier, C. Berset // Food Science and Technology. – 1995. – Vol. 28. – P. 25–30.
11. T. Delieu. Polarographic measurement of photosynthetic oxygen evolution by leaf discs / D.A. Delieu, D.A. Walker // The new phytologist. – 1981. – Vol. 89. – P. 165–178.
12. Lichtenthaler, H.K. Chlorophyll and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes / H.K. Lichtenthaler // Methods. Enzimol. – 1987. – V. 148. – P.331–382.

13. Folin, O. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins / O. Folin, V. Ciocalteu
// J. Biol. Chem. – 1927. – Vol. 73, № 2. – P. 627–650.

H.I. Hajyieva¹, J.V. Podkovenko¹, O.V. Molchan²

¹RUE «Institute of Plant Protection», a/c Priluki, Minsk district

²Institute of experimental botany of NAS of Belarus, Minsk

INFLUENCE OF CERCOSPOROSIS ON PHYSIOLOGICAL AND -BIOCHEMICAL PARAMETERS OF SUGAR BEET PLANTS

Annotation. One of the most common and noxious sugar beet diseases is cercosporosis (agent *Cercospora beticola* Sacc.). With a severe damage, root crops yield and sugar content are significantly reduced, physiological processes are disturbed. It is found that with the intensity of severity increase, the chlorophyll a, chlorophyll b content, the sum of chlorophylls and the sum of carotenoids is decreased. A decrease in the intensity of photosynthesis is also noted as the intensity of leaf damage by the disease increase. A significant modulation of the antioxidant system has been revealed, having been manifested itself in a change of low molecular weight antioxidants levels - phenolic compounds - and antiradical activity in leaf tissue.

Key words: sugar beet, cercosporosis, physiological and biochemical parameters of leaves.