П. С. Прудников, снс, к. б. н.
З. Е. Ожерельева, внс, к. с.-х. н.
Д. А. Кривушина, мнс, аспирант
М. И. Зубкова, нс
ФГБНУ ВНИИСПК,
Россия, г. Орел
prudnicov@inbox.ru

УДК: 634.7:581.132:581.14

DOI 10.31676/2073-4948-2019-58-233-239

ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС СОРТОВ *FRAGÁRIA* X *ANANÁSSA* В УСЛОВИЯХ ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ*

Реферат. Цель исследования — изучение особенностей основных компонентов продукционного процесса сортов *Fragária* x *ananássa* разного эколого-географического происхождения в условиях Орловского региона. Показано, что сорта Alba, Sonata, Соловушка и Царица по сравнению с Korona, Sara, Marmolada и Кокинской ранней проявили более результативную фотосинтетическую деятельность, высокие темпы аккумуляции сухого вещества, эффективный отток и накопление ассимилянтов в созревающие плоды, что в конечном итоге сказалось на их высокой урожайности.

Ключевые слова: пигменты, фотохимическая активность хлоропластов, чистая продуктивность фотосинтеза, урожайность, земляника садовая

Summary. The purpose of the study was to study the characteristics of the main components of the production process of *Fragária* x *ananássa* varieties of different ecological and geographical origin in the conditions of the Oryol region. It has been shown that the varieties “Alba”, “Sonata”, “Solovushka” and “Tzaritsa”, in comparison with Korona, Sara, Marmolada and Kokinskaya rannaya, demonstrated more efficient photosynthetic activity, high rates of dry matter accumulation, effective outflow, and accumulation of assimilates into ripening fruits, which ultimately affected their high yields.

Keywords: pigments, photochemical activity of chloroplasts, net productivity of photosynthesis, yield, strawberry

Введение

Продуктивность — это один из основных показателей, характеризующих ценность сорта [1]. Поэтому одной из задач как растениеводства, так и селекции растений является изучение продуктивности сельскохозяйственных культур. Важнейшими составляющими продукционного процесса выступают фотосинтез, донорно-акцепторные отношения, дыхание, фитогормональные и адаптационные системы. Вместе с тем напряженность продукционного процесса, а, следовательно, и урожайность земляничной плантации во многом зависит и от генотипических возможностей сорта. Согласно

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-016-00041-а

Д. Б. Шокаевой [2] потенциал сортов земляники в различных регионах отличается, и его проявление в виде фенотипических признаков зависит от факторов внешней среды. Так, зарубежные сорта часто превосходят отечественные по урожайности. Однако при интродукции этих сортов из более южных географических широт в северные возникает проблема снижения урожайности в результате низкой устойчивости к неблагоприятным факторам среды [3]. Поэтому возникает необходимость более детального исследования генотипических возможностей как отечественных, так и интродуцируемых сортов на основе компонентов продукционного процесса.

В связи с этим цель исследования состояла в изучении особенностей основных компонентов продукционного процесса сортов *Fragária* × *ananássa* разного эколого-географического происхождения в условиях Орловского региона.

Материалы и методы исследований

Объектом исследования в период цветения-плодоношения 2017-2018 гг. служили посадки земляники садовой сортов Alba, Marmolada (Италия), Sara (Швеция), Korona, Sonata (Голландия), Царица, Соловушка и Кокинская ранняя (Россия). Схема посадки 0,25 × 0,7 м.

Содержание хлорофилла и каротиноидов определяли на спектрофотометре (BioRad SmartSpek Plus) после экстракции 80 %-ным ацетоном и рассчитывали по формулам Арнона и Веттштейна. Содержание пигментов выражали в мг/г сырой массы [4].

Фотохимическую активность изолированных хлоропластов (ФХА хлоропластов) находили потенциометрическим методом по скорости фотовосстановления ферроцианида калия [5]. Хлоропласты выделяли из листьев путём двукратного центрифугирования в среде, содержащей 25 мМ трис-НСI буфер (рН 7,8) и 0,35М NaCl. Реакционная смесь объемом 5 мл содержала 4 мл суспензии хлоропластов и 1 мл 0,002 М раствора $K_3[Fe(CN)_6]$. ФХА хлоропластов выражали в мкМоль $K_3[Fe(CN)_6]$ / (мг хл.ч).

Чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) определяли по методу А. А. Ничипоровича [6]. ЧПФ рассчитывали по формуле:

$$\frac{2(B_2 - B_1)}{(L_1 + L_2) n}$$

где B_1 и B_2 — сухая масса растения в начале и в конце промежутка времени; n — количество суток; L_1 и L_2 — площадь листьев в начале и в конце промежутка времени. ЧПФ выражали в г сухой массы / (м² сутки).

Ростовую активность (относительную скорость роста) органов растения рассчитывали по их сухой массе, используя формулу:

$$R_{акт} = \frac{a_2 - a_1}{t a_1} 100 \%$$

где a_1 — величина ростового показателя при первом измерении, a_2 — при втором измерении, t — время в сутках [6]. Статистическая обработка результатов проводилась на основе общепринятых методик с использованием MS Excel. Повторность опытов — 15-кратная.

Результаты исследований

Эффективность фотосинтетической деятельности растений находится в некоторой зависимости от развития пигментной системы. Проведенные исследования показали, что сорта Alba, Marmolada (Италия), Korona (Голландия) и Кокинская ранняя (Россия) по содержанию хлорофилла в листовом аппарате достоверно не отличались друг от друга. При этом количество зеленого пигмента в них было существенно ниже, чем у сортов Sara (Швеция), Sonata (Голландия), Соловушка и Царица (Россия) (табл. 1). Более высокий уровень хлорофилла у последних сортов, вероятно, связан с повышенным содержанием в фотосинтетическом аппарате других пигментов — каротиноидов. Коэффициент корреляции между хлорофиллом и каротиноидами составил 0,92. Как правило, каротиноиды выполняют не только светособирающую функцию, но и предохраняют хлорофилл от фотоокисления [7].

Таблица 1.

Показатели фотосинтетической деятельности растений земляники садовой (2017-2018 гг.)

Сорт	Пигменты, мг/г		ФХА, мкМоль $K_3[Fe(CN)_6]$ / (мг хл·ч)	ЧПФ, г/(м ² сут.)
	хлорофилл	каротиноиды		
Alba	1,98 ± 0,02	0,16 ± 0,006	6,30 ± 0,58	9,37 ± 0,44
Marmolada	2,02 ± 0,04	0,16 ± 0,006	7,77 ± 0,26	2,03 ± 0,24
Sara	2,52 ± 0,02	0,20 ± 0,006	2,48 ± 0,26	3,65 ± 0,32
Korona	2,10 ± 0,10	0,18 ± 0,006	14,27 ± 0,66	0,77 ± 0,09
Sonata	2,32 ± 0,01	0,20 ± 0,006	12,60 ± 0,66	7,97 ± 0,35
Соловушка	2,33 ± 0,02	0,19 ± 0,01	11,19 ± 0,42	10,25 ± 0,57
Царица	2,36 ± 0,03	0,20 ± 0,01	12,71 ± 0,70	8,53 ± 0,35
Кокинская ранняя	2,10 ± 0,15	0,18 ± 0,006	16,16 ± 0,45	1,38 ± 0,06
НСР _{0,05}	0,19	0,02	1,63	0,90

Для определения потенциальных возможностей фотосинтетического аппарата использовали характеристику функциональной активности хлоропластов на уровне световых реакций [5]. В результате показано, что наибольшей

скоростью реакции Хилла обладали сорта Korona, Sonata, Соловушка, Царица и Кокинская ранняя (табл. 1). Причем следует отметить, что корреляция между количеством зеленого пигмента и скоростью переноса энергии в фотосистемах достаточно низкая и имеет отрицательное значение -0,23. Так, у сорта Sara, несмотря на высокие показатели хлорофилла в светособирающем комплексе листа, скорость переноса энергии в фотосистемах была низкая. Данный факт, возможно, связан со степенью прочности связи хлорофилла с липопротеидами [8, 9].

Исследования Н. Е. Закарян и др. [10] показали, что фотохимическая активность изолированных хлоропластов *Solanum tuberosum*, *Chrysanthemum indicum*, *Trifolium pratense*, *Pelargonium*, *Hibiscus rosa-sinensis* резко в 5,4...13,0 раз понижается на фоне отсутствия лабильной формы хлорофилла по сравнению с контрольными растениями, где присутствуют обе формы зеленого пигмента.

При определении чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) (в качестве интегрального показателя фотосинтетической деятельности растений), показано, что только сорта Alba, Sonata, Соловушка и Царица характеризовались эффективным накоплением пластических эквивалентов (табл. 1). При этом на фоне повышенного содержания хлорофилла и высокой скорости переноса электронов в световой фазе фотосинтеза сорта Korona и Кокинская ранняя имели достаточно низкую ЧПФ. Напротив, итальянский сорт Alba при низкой скорости реакции Хилла, характеризовался интенсивной ассимиляцией углекислоты, находясь на уровне показателей Sonata, Соловушки и Царицы, имеющих повышенное содержание хлорофилла и обладающих высокой эффективностью ФХА хлоропластов на уровне световых реакций.

Кроме исследования особенностей фотосинтетической деятельности было важно установить эффективность распределения ассимилянтов, а именно рассмотреть донорно-акцепторные отношения между созревающими плодами и листовым аппаратом. Косвенно судить об оттоке ассимилянтов позволяет исследование соотношения сухой массы формирующихся ягод к листьям в динамике [6, 11]. Анализ данного соотношения показал, что у Alba, Sonata, Соловушки и Царицы этот показатель в отличие от других сортов возрастал наиболее интенсивней в сторону формирующихся ягод, что свидетельствует о более активном оттоке пластических веществ в созревающие ягоды (рис. 1а). Кроме того, анализ ростовой активности, о которой судили по скорости накопления сырой массы растения, показал, что сорта Alba, Sonata, Соловушка и Царица существенно отличались по данному показателю. Активность накопления сырой массы в данных сортах варьировала от 8,68 до 11,4 % (против остальных — от 2,41 до 5,43 %) (рис. 1б).

Рис. 1. Соотношение сухой масса ягод/листья (а) и активность накопления сырой массы растения (б) (2017-2018 гг.): 1 — Alba, 2 — Marmolada, 3 — Sara, 4 — Korona, 5 — Sonata, 6 — Соловушка, 7 — Царица, 8 — Кокинская ранняя

В дальнейшем было интересно установить, как могут отразиться выявленные фотосинтетические особенности исследуемых сортов на продукционный процесс. Иногда может отмечаться либо отсутствие прямой связи между интенсивностью фотосинтеза и продуктивностью, либо наблюдаться отрицательная корреляция между этими показателями [12].

Рис. 2. Урожайность растений земляники садовой (2017-2018 гг.): 1 — Alba, 2 — Marmolada, 3 — Sara, 4 — Korona, 5 — Sonata, 6 — Соловушка, 7 — Царица, 8 — Кокинская ранняя

О результате продукционного процесса судят по урожаю или доле полезного продукта в общей массе растения. Показано, что на фоне более эффективной фотосинтетической деятельности и усиленном оттоке ассимилятов Alba, Sonata, Соловушка и Царица имели наибольшие показатели урожая ягод (рис. 2). Коэффициент корреляции между чистой продуктивностью фотосинтеза и урожайностью составил 0,94. Особенно высокую урожайность проявили сорта отечественной селекции Царица и Соловушка.

Выводы

Проведенные исследования показали, что сорта Alba (Италия), Sonata (Голландия), Соловушка и Царица (Россия) в условиях средней полосы России проявили достаточно эффективную работу фотосинтетического аппарата, усиленный отток и накопление ассимилянтов в созревающие плоды, что в конечном итоге сказалось на их высокой урожайности. Таким образом, данные сорта можно советовать не только к интенсивному возделыванию в ЦЧР России, но и рекомендовать к использованию в селекции растений в качестве источников хозяйственно ценных признаков.

Список использованной литературы

1. Лукъянчук И. В. Селекционно-генетическая оценка исходных форм и гибридных сеянцев земляники по хозяйственно-биологическим признакам: автореф. дис. ... к.с.-х. наук. — Мичуринск, 2007. — 23 с.
2. Шокаева Д. Б. Биологические основы и закономерности плодоношения земляники. — Орел: Картуш, 2006. — 183 с.
3. Зубкова М. И. Биологическая продуктивность и фактическая урожайность интродуцированных сортов земляники // Вестник российской сельскохозяйственной науки, 2018. — № 4. — С. 27-31.
4. Гавриленко В. А., Ладыгина М. Е., Хандобина Л. М. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание / Под ред. Б. А. Рубина. — М.: Высшая школа, 1975. — 392 с.
5. Зеленский М. И. Потенциометрический метод исследования фотохимической активности хлоропластов // Методы комплексного изучения фотосинтеза / Под ред. Быкова О. Д. — Л.: ВИР, 1969. — С. 127-141.
6. Прудников П. С. Влияние селена на физиолого-биохимические процессы при адаптации растений картофеля к гипотермии: автореф. дис. ... к.б. наук — М.: МСХА, 2007. — 28 с.
7. Карнаухов В. Н. Биологические функции каротиноидов. — М.: Наука, 1988. — 240 с.
8. Судьина Е. Г. Фотосинтез: основа жизни. — Киев, 1962. — 65 с.
9. Судьина Е. Г., Лазовая Г. И. Значение молекулярной организации пигментсодержащих комплексов для проведения функциональной активности // Применению электронной микроскопии в ботанических исследованиях: матер. II Всес. симп. — Киев, 1967. — С. 11-114.

10. Закарян Н. Е., Цовян Ж. В., Вирабян А. Р. О значении различных форм хлорофилла в процессе фотосинтеза // Ученые записки Ереванского государственного университета. Естественные науки. Биология, 1987. — Т. 2. — С. 137-142.
11. Бободжанова М. Д. Фотосинтез, донорно-акцепторные отношения и продуктивность средневолокнистого хлопчатника (*Gossypium hirsutum* L.): автореф. дис. ... д. б. н. — Душанбе, 2007. — 233 с.
12. Абдулаев Х. А., Гиясидинов Б. Б., Солиева Б. А., Миракилов Х. М. Парадокс: фотосинтез хлопчатника за сто лет селекции новых сортов как консервативный признак существенно не изменился // Растения в условиях глобальных и локальных природно-климатических и антропогенных воздействий: матер. Всерос. науч. конф. с междунар. уч. — Петрозаводск, 2015. — С. 19.

P. S. Prudnikov, Z. E. Ozhereleva, D. A. Krivushina, M. I. Zubkova
Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Orel, Russia

THE PRODUCTION PROCESS OF *FRAGÁRIA* X *ANANÁSSA* VARIETIES IN THE CONDITIONS OF THE ORYOL REGION