

УДК 581.19: 633.37 (575.3)

Б.Б.ДЖУМАЕВ, М.Х.АТОЕВ, Х.М.ХАМРОЕВА*, А.АБДУЛЛАЕВ

**ФОТОСИНТЕЗ И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ МЕТАБОЛИЗМ УГЛЕРОДА
У РАЗНЫХ СОРТОВ БОБОВЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ**

Институт ботаники, физиологии и генетики растений

АН Республики Таджикистан,

**Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибн Сино*

Поступила в редакцию 04.05.2019 г.

Приводятся экспериментальные данные по влиянию почвенной засухи на интенсивность потенциального фотосинтеза (ПДФ) и фотосинтетический метаболизм углерода в листьях разных сортов бобовых растений в фазе цветения. Показано, что у всех изученных объектов содержание интермедиатов гликолатного пути у опытных растений было больше, чем у контрольных растений. Включение углерода ^{14}C в продуктах ФЕП-карбоксилирования, в том числе малат, имеет такую же тенденцию. В целом, выявлено, что изменение изученных параметров ПДФ и фотосинтетического метаболизма углерода в зависимости от воздействия почвенной засухи может быть связано с механизмом физиолого-биохимической адаптации растений к данным стрессовым условиям.

Ключевые слова: бобовые культуры, почвенная засуха, потенциальный фотосинтез, фотосинтетический метаболизм углерода, адаптация.

Факторы окружающей среды, такие как засуха, засоление почвы, недостаток элементов минерального питания, высокие или низкие температуры, ультрафиолетовое излучение, патогены различной природы и другие, влияют на продуктивность сельскохозяйственных культур. В связи с этим, изучение адаптационных возможностей и механизмов устойчивости растений к глобальным изменениям климата является чрезвычайно актуальным [1-3]. Известно, что интенсивность фотосинтеза и характер фотосинтетического метаболизма углерода зависят как от комплекса внешних факторов, так и генотипических особенностей культурных растений [1,4]. Для раскрытия механизмов этих процессов используют различные методы и приёмы. Одним из доступных подходов является воздействие на растения почвенной засухи, так как в этих условиях у растений изменяются многие метаболические процессы [4,5].

Адрес для корреспонденции: Джумаев Бахиулло Бокиевич, Атоев Мухаммадишод Хизбуллоевич. 734017, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Каримова, 27, Институт ботаники, физиологии и генетики растений АН РТ. E-mail: bahshullo@mail.ru, irshod1987@mail.ru

Целью данной работы являлось изучение особенностей интенсивности потенциального фотосинтеза и фотосинтетического метаболизма углерода у разных сортов бобовых растений в условиях почвенной засухи.

Материалы и методы исследований

Объектами исследования служили сорта разных видов бобовых культур: конский боб – (*Vicia faba* L.), фасоль «пёстрая» (*Phaseolus coccineus* L.), маш «фасоль золотистая» (*Phaseolus aureus* Roxb.), фасоль «красная» (*Phaseolus coccineus* L.), фасоль обыкновенная «чёрный глаз» (*Phaseolus vulgaris* L.).

Полевые опыты проводились на опытном участке Института ботаники, физиологии и генетики растений АН Республики Таджикистан (г. Душанбе), расположенном в восточной части Гиссарской долины на высоте 834 м над ур. м. Растения выращивались в вегетационных сосудах (22 кг почвы). Посевы были произведены в весенние сроки. Равномерные всходы были получены через 10-12 дней. Для изучения действия засухи, начиная с фазы появления настоящих листьев до фазы созревания, определяли влажность почвы. Для этого через каждые 5-10 см глубины в алюминиевые бюксы отбирались образцы почвы из трёх повторностей. Сосуды с растениями были разделены на две группы: первая – растения выращивались в условиях нормального полива, влажность почвы 70-80% от ППВ (предельная полевая влагоёмкость), вариант «контроль», вторая – на фоне почвенной засухи - 50-55% от ППВ, вариант «опыт».

Фотосинтетическую фиксацию $^{14}\text{CO}_2$ при коротких экспозициях проводили по ранее описанному методу [6]. Источником $^{14}\text{CO}_2$ служил карбонат натрия ($\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$). Экспозиция в камере с $^{14}\text{CO}_2$ продолжалась 60 сек. ПИФ определяли радиометрическим методом [7]. Разделение продуктов водно-спиртовой фракции проводили методом двумерной тонкослойной хроматографии на порошке целлюлозы [8]. Идентификацию веществ проводили с использованием метчиков.

Статистический анализ полученных результатов проводили по В.А.Доспехову [9] с использованием программы *Microsoft Excel*.

• Результаты исследований и их обсуждение

Результаты анализа некоторых фотосинтетических параметров у разных сортов бобовых растений в условиях засухи представлены в табл. 1 и 2.

Исследование фотосинтетических параметров листа – удельная поверхностная плотность листа (УППЛ) и ПИФ показало, что у разных сортов бобовых растений в зависимости от влажности почвы эти показатели изменяются по-разному (табл. 1). У всех опытных растений значение УППЛ выше показателей контрольных образцов, за исключением фасоли «Пёстрая». Растения контрольного варианта по данному показателю незначительно превосходят растения опытного варианта.

Максимальные величины УППЛ обнаружены у растений маша опытного варианта, а самая минимальная – у растений фасоли «Красная» контрольного варианта, которая составляет 0.513 и 0.358 г/дм² соответственно.

При изучении ПИФ выявлено, что у большинства растений при обоих способах расчёта: как на мг¹⁴СО₂/г-сухого вещества·ч, так и на мг¹⁴СО₂/дм²·ч растения контрольного варианта превышают растения опытного варианта, за исключением растений фасоли сорта Конский боб, у которых наблюдается обратная зависимость, то есть ПИФ растений опытного варианта превышает контрольные растения при названных способах расчёта.

Таблица 1

Интенсивность потенциального фотосинтеза и удельная поверхностная плотность листа в фазе цветения у сортов бобовых растений

Объекты	Условия эксперимента	ПИФ		УППЛ
		мг ¹⁴ СО ₂ /г-сухого вещества·ч	мг ¹⁴ СО ₂ /дм ² ·ч	г/дм ²
Конский боб	контроль	26	70	0.369
	опыт	32	75	0.399
Фасоль «Пёстрая»	контроль	47	113	0.418
	опыт	25	61	0.413
Маш «Фасоль золотистая»	контроль	61	153	0.399
	опыт	19	39	0.513
Фасоль «Красная»	контроль	27	75	0.358
	опыт	21	55	0.381
Фасоль «Чёрный глаз»	контроль	25	65	0.390
	опыт	7	18	0.414

Таблица 2

Влияние почвенной засухи на фотосинтетический метаболизм углерода (в % от водно-спиртовой фракции) у разных сортов бобовых растений. Фаза цветения

Объекты	Варианты опыта	Старт	ФГК	ФЭС	Сахароза	Глицерин	Аланин	Глицераг	Гликолаг	Малаг	Моносахариды	Линия фронта
Конский боб	контроль	16.5	9.9	8.7	8.7	11.6	7.1	11.1	Сл.	Сл.	11.4	15.0
	опыт	11.8	8.2	11.0	14.2	13.2	7.8	5.9	6.9	7.2	8.2	5.6
Фасоль «Пёстрая»	контроль	12.3	10.5	9.4	14.4	11.8	11.1	12.4	Сл.	Сл.	12.2	5.9
	опыт	11.3	9.1	8.4	11.1	14.6	9.0	8.5	6.1	6.1	7.9	7.9
Маш «Фасоль золотистая»	контроль	16.8	16.8	13.1	16.9	9.7	8.1	7.4	6.5	Сл.	Сл.	4.8
	опыт	15.4	13.0	10.3	14.6	12.0	6.8	7.6	5.3	9.3	Сл.	5.7
Фасоль «Красная»	контроль	13.1	11.5	15.1	11.0	19.7	9.5	10.8	Сл.	Сл.	Сл.	9.3
	опыт	9.2	14.9	8.4	13.5	11.7	11.9	5.1	7.4	11.6	Сл.	6.3
Фасоль «Чёрный глаз»	контроль	5.8	6.2	11.9	19.2	11.8	11.3	9.6	7.0	Сл.	10.7	6.5
	опыт	13.4	9.1	7.6	14.6	11.7	7.3	9.8	7.3	5.8	6.6	6.8

Примечание: Сл. – следы; ФГК - фосфоглицериновая кислота; ФЭС - фосфорные эфиры сахаров.

Полученные данные по изучению фотосинтетического метаболизма углерода (табл. 2) показывают, что в зависимости от условий водообеспечения у разных сортов растений скорость и включение меченого углерода в продукты фотосинтеза заметно из-

меняются. Выявлено, что в растениях опытного варианта у всех изученных сортов фасоли включение меченого углерода в продукты ФЕП-карбоксилирования выше, чем у контрольных растений. По включению углерода ^{14}C в гликолат, как продукт гликолатного цикла, наблюдалась такая же тенденция. У растений Конского боба, фасоли «Пёстрая» и «Чёрный глаз» меченый углерод в большом количестве включается в моносахариды у растений контрольного варианта по сравнению с растениями опытного варианта. По включению ^{14}C в фосфоглицериновую кислоту, как первичный продукт фотосинтеза у C_3 -растений, контрольные растения Конского боба, фасоли «Пёстрая» и маша, в отличие от сортов фасоли «Красная» и «Черный глаз», превосходят растения опытного варианта.

Анализ результатов по влиянию почвенной засухи на сумму продуктов фотосинтетического метаболизма углерода показал, что соотношение включения углерода ^{14}C в составе разных продуктов фотосинтеза в зависимости от условий водообеспечения существенно изменяется. Самое максимальное содержание ИВПЦ наблюдается у растений контрольного варианта Маша, а самое минимальное – у фасоли «Чёрный глаз», которое составляет 29.9 и 16.7% соответственно. Содержание ИВПЦ у растений контрольного варианта преобладает над растениями опытного, кроме Конского боба, у которого наблюдается обратная картина, то есть растения опытного варианта превосходят над растениями контрольного варианта. Такая же закономерность у данного сорта наблюдается по включению ^{14}C в сумму сахаров, ИПП и ФЕП-продуктов. По изменению суммы сахаров в зависимости от влияния засухи у большинства сортов скорость включения ^{14}C у растений контрольного варианта преобладает над опытным, за исключением Конского боба и фасоли «Чёрный глаз». По изменению суммы ИПП обнаружена обратная закономерность, то есть у растений опытного варианта скорость биосинтеза данных продуктов существенно преобладает над растениями контрольного варианта, за исключением сортов фасоли «Красная» и «Чёрный глаз». По скорости биосинтеза суммы ФЕП-продуктов установлено, что все изученные сорта опытного варианта заметно превышают растений контрольного варианта. По-видимому, здесь активность ФЕП-карбоксилазы, как ключевого фермента метаболизма C_4 -пути фотосинтеза, существенно повышается у растений опытного варианта, как ответная реакция в условиях засухи, то есть как признак физиолого-биохимической адаптации растения к изменяющимся условиям среды произрастания.

Таким образом, на основе полученных результатов можно сделать заключение, что изменение изученных фотосинтетических параметров в зависимости от условий водообеспечения, по-видимому, связано с анатомическим и физиолого-биохимическим механизмом адаптации растений к изменяющимся условиям выращивания. По результатам изучения скорости включения меченого углерода в продукты фотосинтеза можно заключить, что по типу фотосинтетического метаболизма углерода все изученные сорта бобовых растений, несмотря на уровень изменения водообеспечения, относятся к C_3 -растениям, а изменение скорости и количественного включения меченого углерода в сумму отдельных продуктов фотосинтеза у разных сортов бобовых растений в зависимо-

сти от изменения условий выращивания, вероятно, связано с физиолого-биохимическими адаптационными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев А., Абдурахманова З.Н., Джумаев Б.Б. Фотосинтетический метаболизм углерода у хлопчатника. – Душанбе: Дониш, 2001, 94 с.
2. Атоев М.Х. Влияние хлоридного засоления почвы на фотосинтетическую деятельность генотипов пшеницы. – Известия Ошского технологического университета Республики Кыргызстан, 2017, № 3, с. 172-177.
3. Атоев М.Х., Эргашев А.Э., Джумаев Б.Б., Абдуллаев А.А. Потенциальная интенсивность фотосинтеза и фотосинтетический метаболизм углерода у флаговых листьев сортов пшеницы в условиях хлоридного засоления почвы. – Изв. АН РТ. Отд. биол. и мед. н., 2014, № 3 (187), с. 39-46.
4. Атоев М.Х. Физиолого-биохимические показатели у различных генотипов пшеницы в условиях хлоридного засоления: Автореф. дисс. ... к.б.н. – Душанбе, 2018, 22 с.
5. Дроздова И.С., Пустовойтова Т.Н., Джибладзе Т.Г., Барабанщикова Н.С., Жданова Н.Е., Маевская С.Н., Бухов Н.Г. Эндогенная регуляция фотосинтетической активности листьев огурца в условиях прогрессирующей почвенной засухи. – Физиология растений, 2004, т. 51, № 5, с. 742-750.
6. Эргашев А., Абдурахманова З.Н., Кичитов В.К., Насыров Ю.С. Влияние естественной высокогорной УФ-радиации на фотосинтетическую ассимиляцию углерода. - В сб. Фотосинтез и использование солнечной радиации. – Л.: Наука, 1971, с. 226-231.
7. Заленский О.В., Семихатова О.А., Вознесенский В.А. Методы применения радиоактивного углерода ^{14}C для изучения фотосинтеза – М.: Изд-во АН СССР, 1955, 90 с.
8. Белан Н.Ф., Абдурахманова З.Н. Разделение продуктов фотосинтеза методом хроматографии на тонких слоях. – Доклады АН ТаджССР, 1969, т. 12, № 2, с. 61-63.
9. Доспехов В.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979, 415 с.

**Б.Б.ЧУМЪАЕВ, М.Х.АТОЕВ, Х.М.ХАМРОЕВА*, А.АБДУЛЛОЕВ
ФОТОСИНТЕЗ ВА МУБОДИЛАИ ФОТОСИНТЕТИКИИ КАРБОН ДАР
НАВЪҲОИ ГУНОГУНИ РАСТАНИҲОИ ЛҶБИЁГӢ ДАР ШАРОИТИ
ХУШКӢ**

Институти ботаника, физиология ва генетикаи растениш

Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон,

**Донишгоҳи давлатии тиббии Тоҷикистон ба номи Абӯалӣ ибни Сино*

Дар мақола маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба таъсири хушкӣ ҳок ба шиддатнокии фотосинтези иқтидорӣ (ШФИ) ва мубодилаи фотосинтегикии карбон дар баргҳои навъҳои гуногуни растаниҳои лӯбиёгӣ дар марҳилаи гулкунӣ оварда шудааст. Нишон дода шудааст, ки дар ҳамаи объектҳои омӯхташуда миқдори интермедиатҳои роҳи гликолат (ИРГ) дар растаниҳои таҷрибавӣ нисбат ба растаниҳои назоратӣ бештар ба назар мерасад. Воридшавии карбон ^{14}C ба маҳсулоти ФЕП-карбоксилонӣ, аз ҷумла малат низ дорои чунин тамоюл мебошад. Дар умум ошкор карда шуд, ки тағйироти нишондиҳандаҳои омӯхташудаи ШФИ ва

мубодилаи фотосинтези карбон вобаста ба таъсири хушкии хок эҳтимол бо механизми мутобиқшавии физиологӣю биохимиявӣ растаниҳо ба шароити стрессии мазкур алоқаманд бошад.

Калимаҳои калидӣ: растаниҳои лӯбиғӣ, хушкии хок, фотосинтези иктидорӣ, мубодилаи фотосинтези карбон, мутобиқшавӣ.

B.B.JUMAEV, M.H.ATOEV, Kh.M.HAMROEVA*, A.ABDULLAEV
PHOTOSYNTHESIS AND PHOTOSYNTHETIC METABOLISM OF CARBON
IN DIFFERENT VARIETY OF LEGUMINOUS PLANTS
UNDER CONDITIONS OF DROUGHT

*Institute of Botany, Physiology and Genetics of Plants,
Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan,
Avicenna Tajik State Medical University

In this article experimental data on the influence of soil drought on the intensity of potential photosynthesis (IPPh) and photosynthetic metabolism of carbon in the leaves of different varieties of leguminous plants in the flowering phase are presents. It was shown that in all explored objects the content of the glycolate pathway intermediates (GPI) in the experimental plants was higher than in the control plants. The inclusion of carbon ¹⁴C in PHEP-carboxylation products, including malate, also has this tendency. In general, it was found that the change in the studied parameters of intensity of potential photosynthesis and the photosynthetic metabolism of carbon depending on the effects of soil drought may be due to the mechanism of physiological and biochemical adaptation of plants to these stressful conditions.

Key words: leguminous plants, soil drought, potential photosynthesis, photosynthetic carbon metabolism, adaptation.