

**ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КУКУРУЗЫ
(*ZEA MAYS L.*)**

С.А.Абдулбагиева, доктор философии по биологии, доцент; С.М.Мамедова, доктор философии по биологии, доцент; С.А.Дунямалиев, доктор философии по аграрной науке; А.А.Заманов, доктор философии по биологии, доцент; Аббасов Р.Б., диссертант

Азербайджанская Республика МСХ Научно-Исследовательский Институт
Земледелия, пос.Пиршаги, совхоз №2, Баку АЗ1098, Азербайджан,

Аннотация. В статье, на основе литературных данных и результатов, полученных в Закатальской ЗОС по программе Селекции Кукурузы, с целью изучения физиологических показателей кукурузы (*Zea Mais L.*) являющейся C_4 растением проанализированы параметры газообмена, содержание хлорофилла листьев, структурные элементы и продуктивность. С этой целью изучена взаимосвязь исследуемых показателей с процессами роста.

Ключевые слова: Разновидность, *Zea Mais L.*, фотосинтез, содержание хлорофилла, продуктивность

Фотосинтез- уникальный процесс, составляющий основу жизни на Земле, основной источник первичного синтеза органических веществ и главный фактор биогеохимических циклов в биосфере. Ежегодно в результате фотосинтеза на Земле образуется около 140-160 млрд. т органического вещества, что соответствует поглощению 250-300 млрд. т CO_2 и выделению 180-200 млрд. т O_2 . В продуктах фотосинтеза ежегодно аккумулируется солнечная энергия, равная $6 \cdot 10^{17}$ ккал. Запасённая в продуктах фотосинтеза энергия (в виде различного вида топлива) - основной источник энергии для человечества. Кислородная атмосфера Земли и озоновый экран, необходимые для существования биосферы, также созданы фотосинтетической деятельностью зелёных растений (2,6). У C_4 растений (кукуруза, сахарный тростник, сорго и др.) CO_2 сначала включается в четырехуглеродные органические кислоты (яблочную, аспарагиновую), а затем передаётся в цикл Кальвина. В то же время, растения с C_4 -типом фотосинтеза, обладают особым механизмом ассимиляции CO_2 , который обеспечивает намного более эффективное поглощение и превращение CO_2 в процессе фотосинтеза. Например, кукуруза, сахарный тростник и некоторые другие виды C_4 -растений способны ассимилировать от 80 до 100 мг CO_2 $дм^2/час$ в расчете на единицу времени и на единицу площади листа, тогда как C_3 -растения (шпинат, овес,

пшеница, сахарная свекла и др.)- не более 30-50 мг CO_2 $\text{дм}^2/\text{час}$, т.е. в 2–3 раза меньше по сравнению с листьями C_4 -растений.

В настоящее время большое внимание уделяется исследованию C_4 -растений, продуктивность которых составляет 23% от продуктивности биосферы (13). Кроме того, C_4 -виды характеризуются высокой скоростью накопления биомассы и большей эффективностью использования воды по сравнению с C_3 -растениями (8). Преимущества C_4 -растений в засушливых условиях в значительной степени обусловлены особенностями механизма фиксации CO_2 при фотосинтезе. Даже в условиях засухи при низкой проводимости листа по $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ -газообмену в результате работы C_4 -цикла значительно повышаются концентрации CO_2 в клетках обкладки, где осуществляется фотосинтетическое связывание CO_2 . Это обеспечивает высокую скорость ассимиляции углерода в условиях засухи, когда при закрытии устьиц снижается поступление CO_2 в лист. Дефицит влаги по-разному влияет на конечную продуктивность кукурузы на разных стадиях развития. Известно, что кукуруза наиболее чувствительна к засухе на стадии колошения (8,11,12,13). У генотипов кукурузы, различающихся по устойчивости к засухе, разная реакция на водный стресс проявлялась уже на стадии вегетативного роста (9).

Оптимальная температура для фотосинтеза у C_3 -растений 20-25°C, тогда как у растений C_4 30-45°C. Характерным признаком растений C_4 -пути является, то, что образование продуктов цикла Кальвина происходит в хлоропластах, расположенных непосредственно около проводящих пучков. Это благоприятствует оттоку ассимилятов и повышению интенсивности фотосинтеза. Высокая потенциальная продуктивность C_4 -растений наиболее полно реализуется при полном солнечном освещении и высокой температуре. Важной физиологической особенностью C_4 -растений является их высокая засухо- и термоустойчивость. Зависимость между фотосинтезом посевов и урожаем разработана в теории фотосинтетической продуктивности растений (4), предусматривающей пути увеличения коэффициента использования ФАР от 0,3-1,0% в современной земледелии до теоретически возможных 4-6%. Обеспечение растений водой, минеральным питанием, концентрация CO_2 , селекция сортов сельскохозяйственных культур с высокой эффективностью фотосинтеза и др. пути используются для реализации значительных резервов фотосинтетической продуктивности растений.

Одной из причин высокой эффективности ассимиляции CO_2 C_4 -растениями является отсутствие видимого фотодыхания, т.е. выделения CO_2 после предварительного освещения растений, которое характерно только для листьев C_3 -растений и не регистрируется или регистрируется очень слабо и в очень редких случаях у листьев C_4 -растений (6, 7, 9).

Для C_3 - и C_4 -растений также характерна фотосинтетическая активность других органов (колос, ости колоса, обертки листа, стебель, стручок у зернобобовых, зеленые развивающиеся семена, метелка, обертки початка),

вносящих достаточно большой вклад в общую продуктивность как C_3 -, так и C_4 -растений (1, 5, 6, 10).

Методы и объекты исследования

Полевые опыты проводились в Парзиванской опытной базе Закаталинского ЗОС в 2013-2015 годах. Фенологические наблюдения были проведены по методу Купермана (3). Для измерения параметров газообмена (интенсивность фотосинтеза, устьичная проводимость, концентрация CO_2 межклеточных пространствах и интенсивность транспирации) была применена современная модель (LI-6400 XT) портативной системы фотосинтеза (LI-COR Biosciences, США), количество хлорофилла у листьев (продолжительность оставания зеленым) было измерено с использованием прибора CCM 200 plus (Opti Sciencen, Inc.Hudson, США). Урожайность вычисляли по выходу зерна с початка. Объектом исследования выбраны 10 генотипов C_4 -растений (*Zea mays* L.) относящиеся к разновидностям *Indendata Flavoruba*, *Indurata Vulqata* и *Indendata Leykodon*.

Целью исследования являлась изучение физиологических показателей растений кукурузы.

Результаты и обсуждения

В проведенных исследованиях в фазе образования метелки измерили параметры газообмена (интенсивность фотосинтеза, устьичная проводимость, концентрация CO_2 межклеточных пространствах и интенсивность транспирации) Закатала 68, Закатала 380, Закатала 420, Закатала 514, Закатальская Местная Улучшенная, Мирвари, Гурур, Умуд, Фахри и Популяция 2008 Н. Выявлено что, максимальная величина интенсивности фотосинтеза ($\mu mol CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) обнаружено у сортов Фахри ($27,9 \mu mol CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) и Умуд ($26,8 \mu mol CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) (таб. 1). У других изученных сортов этот показатель изменяется в интервале $23,2-26,0 \mu mol CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, а у сорта Фахри по сравнению с другими сортами этот показатель выше на 3,95-16,8%.

C_4 -растения отличаются более экономным расходом воды, если C_3 -растения расходуют на образование 1 г сухого вещества 700-1000 г воды, этот показатель у C_4 -растений составляет 300-400 гр. Главной причиной пониженного расхода воды C_4 -растениями является то, что их устьица оказывают высокое сопротивление диффузии газов. При увядании листьев и закрытии устьиц это сопротивление многократно возрастает для паров воды и в меньшей степени для CO_2 . Низкая величина сопротивления диффузии клеток мезофилла для CO_2 у C_4 -растений при более высоком сопротивлении устьиц для H_2O благоприятствует повышению интенсивности фотосинтеза при пониженной транспирации. С этой точки зрения C_4 -растения имеют преимущество перед C_3 -растениями в засушливых местах обитания благодаря высокой интенсивности фотосинтеза даже при закрытых устьицах. Кроме того, им практически не угрожает опасность перегрева листьев, что связано с высокой термоустойчивостью.

Устьицы играют важную роль в жизни растения. Множество устьиц в листьях (100-200 миллионов в одном растении) обеспечивают благоприятное условие для газообмена. Устьичная проводимость у исследуемых сортов кукурузы Фахри и Умуд (соответственно, 0,251 и 0,239 molH₂O m⁻² s⁻¹) более высокая по сравнению с другими сортами.

Концентрация CO₂ в межклеточных пространствах у исследуемых сортов Закатала 420 и Закатала 68, у которых интенсивность фотосинтеза более высокое - (24,4 и 23,6 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹), составила, соответственно 232 и 222 μmolCO₂mol⁻¹.

Для C₄-растений характерно более экономное использование воды. Соответственно, интенсивность транспирации, у исследуемых сортов, изменяется в интервале 2,278-3,321 molH₂O m⁻² s⁻¹ и этот показатель у сортов Закатальская Местная Улучшенная (3,321 molH₂O m⁻² s⁻¹), Умуд (2,896 molH₂O m⁻² s⁻¹) и Закатала 420 (2,819 molH₂O m⁻² s⁻¹) более высокая.

Накопление хлорофилла в листьях является генетической особенностью растения и зависит от некоторых факторов: архитектоники листьев, положения яруса и др. В годы исследования было измерено количество хлорофилла у листьев (продолжительность оставания зеленым) кукурузы. Максимальное значение, по этому показателю, выявлено во второй декаде июля у сортов Умуд, Фахри, Закатала 420 и Закатала 68, соответственно 52,8; 48,9; 47,6 и 43,5 (рис.1).

Таблица 1

Показатели газообмена сортов кукурузы

Название сортов	Интенсивность фотосинтеза, μmolCO ₂ m ⁻² s ⁻¹	Устьичная проводимость, molH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	Концентрация CO ₂ в межклеточных пространствах, μmolCO ₂ mol ⁻¹	Интенсивность транспирации, molH ₂ O m ⁻² s ⁻¹
Закатала 68	24,4	0,198	232	2,278
Закатала 380	23,2	0,179	177	2,415
Закатала 420	23,6	0,194	222	2,819
Закатала 514	25,2	0,219	185	2,613
Закатальская местная улучшенная	24,3	0,236	194	3,321
Мирвари	26,0	0,235	127	2,339
Гурур	25,7	0,224	180	2,352
Умуд	26,8	0,239	176	2,896
Фахри	27,9	0,251	183	2,723
Популяция 2008 Н	25,9	0,228	175	2,349

В период уборки у сортов кукурузы определены продуктивность и структурные элементы, после сушки проведены структурные анализы. По продолжительности вегетационного периода, за исключением сорта Закатальская Местная Улучшенная (120 дней), исследуемые сорта были ранне-

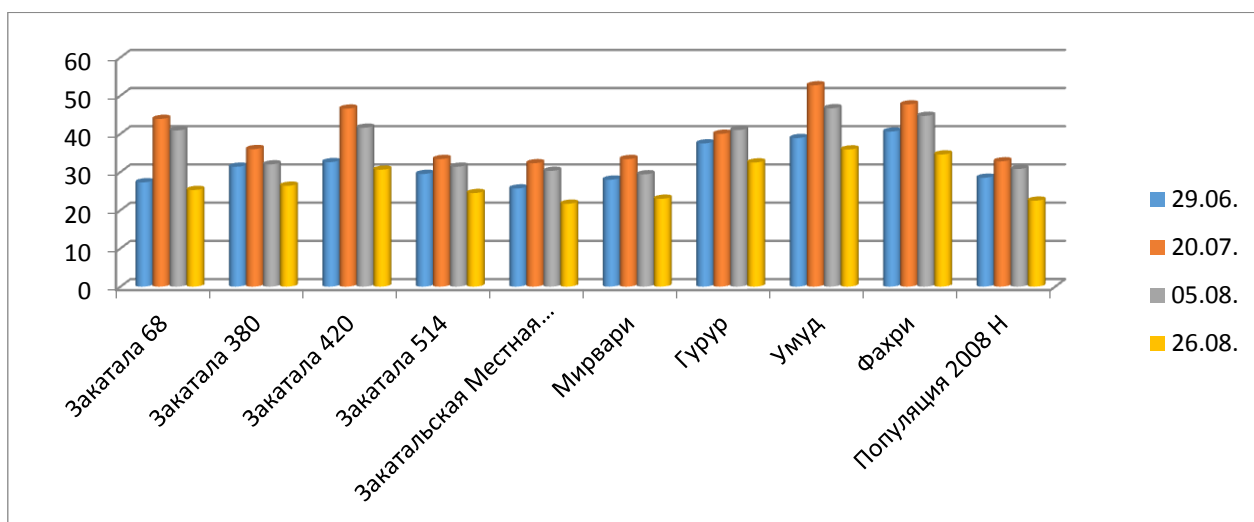


Рис. 1. Количество хлорофилла в листьях кукурузы

среднеспелыми (96-110дней). Изученные показатели менялись в пределах: высота растений 229–311см, высота закладывания початка 75,0–175 см, число листьев в фазе созревания 12,0-16,0 штук.

Биоморфологические показатели, показатели продуктивности и результаты структурных анализов сортов кукурузы даны в таблице 2.

Таблица 2

Биометрические показатели, продуктивность и структурные элементы урожая сортов кукурузы

Название сортов	Вегетационный период, день	Высота растения, см	Высота закладывания початка, см	Число листьев в фазе созревания, штук	Длина початка, см	Число рядков на початке, штук	Число зерен в каждом рядке, штук	Выход зерна, %	Масса 1000 зерен, г	Продуктивность, ц/га
Закатала 68	110	281	113	15,0	23,3	18,0	52,0	82,7	350	53,8
Закатала 380	108	290	84,0	16,0	23,8	18,0	53,0	80,5	331	52,9
Закатала 420	106	239	82,0	14,0	24,0	18,0	48,0	80,8	322	53,2
Закатала 514	110	311	98,0	16,0	22,6	16,0	46,0	82,0	351	51,0
Закатальская местная улучшенная	120	294	150	16,0	24,0	17,0	51,0	78,0	358	51,3

Мирвари	96,0	240	75,0	12,0	25,0	18,0	52,0	83,0	330	49,8
Гурур	105	247	93,0	14,0	23,3	16,0	49,0	81,2	348	50,6
Умуд	105	232	92,0	13,0	22,0	16,0	48,0	83,1	339	53,7
Фахри	105	229	83,0	13,0	22,7	17,0	46,0	83,8	343	56,9
Эмиль	104	260	96,0	13,0	28,0	16,0	50,0	84,0	368	58,5
Популяция 2008 Н	106	239	82,0	14,0	24,0	18,0	45,0	80,8	352	53,2

У образцов после сушки длина початка составила 22,0-28,0 см, число рядков на початке 16,0-18,0 штук, число зерен в каждом рядке 45,0-53,0 штук, выход зерна с початка при обмолоте 78,0-84,0 %. Масса 1000 зерен изменяется в интервале 322-375 г, а продуктивность 49,8 – 58,5 ц/га.

Линейная зависимость между продуктивностью и структурными элементами урожая сортов кукурузы анализированы программой SPSS 16.0 (таблица 3).

Таблица 3

Корреляция между биометрическими показателями, продуктивностью и структурными элементами урожая сортов кукурузы

	ВП	ВР	ВЗП	ЧЛ	ДП	ЧРП	ЧЗР	ВЗ	М31000	П
ВП	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ВР	0,660*	1	-	-	-	-	-	-	-	-
ВЗП	0,861**	0,544	1	-	-	-	-	-	-	-
ЧЛ	0,822**	0,866**	0,543	1	-	-	-	-	-	-
ДП	-0,236	-0,014	-0,010	0,284	1	-	-	-	-	-
ЧРП	-0,089	-,078	-0,155	0,062	0,021	1	-	-	-	-
ЧЗР	0,046	0,335	0,268	0,152	0,327	0,306	1	-	-	-
ВЗ	-0,693*	-0,415	-0,603*	0,678*	0,162	-0,258	-0,149	1	-	-
М31000	0,413	0,531	0,420	0,326	0,190	-0,600	-0,275	0,049	1	-
П	-0,076	-0,264	-0,152	-0,294	0,392	-0,164	-0,182	0,535	0,168	1

Обнаружена положительная, значимая зависимость между высотой растения и вегетационным периодом, высотой закладывания початка и вегетационным периодом, числом листьев в фазе созревания, вегетационным периодом и высотой растения, выходом зерна и числом листьев в фазе созревания.

Таким образом, в результате исследования выявлено, что интенсивность фотосинтеза у изученных сортов более высокая, несмотря на слабую транспирацию, в результате чего коэффициент использования воды более высокий. Интенсивность фотосинтеза, у исследуемых сортов, изменялась в интервале $23,2-27,9 \mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, между интенсивностью фотосинтеза и интенсивностью транспирации обнаружена прямая, а с устьичной проводимостью обратная связь.

Литература

1. Балаур Н.С., Копыт М.И. Онтогенетическая адаптация энергообмена растений. Кишинев: Штиинца, 1989. 146 с.
2. Клейтон Р. Фотосинтез, пер. с англ., М., 1984.
3. Куперман Ф.М. Морфофизиология растений. Морфофизиологический анализ этапов органогенеза различных жизненных форм покрытосеменных растений. Учеб. пособие для студентов биол. спец. ун-тов, 4-е изд. Перевып, идоп. М., выс. Шк., 1984.
4. Физиология фотосинтеза. Под ред. А. А. Ничипоровича, М., 1982.
5. Физиология пшеницы // Физиология сельскохозяйственных растений. Т.4/ Под ред. Генкеля П.А. Москва: изд-во МГУ, 1969. 555 с.
6. Эдвардс Дж., Уокер Д. Фотосинтез C_3 - и C_4 - растений: механизмы и регуляция. Москва: Мир, 1986. 590 с.
7. Чиков В.Н. Фотодыхание // Сорос. образов. журн. 1996. № 11. С. 2–8.
8. Lopes M.S., Araus J.L., van Heerden P.D.R., Foyer C.H. Enhancing drought tolerance in C_4 crops // J. Exp. Bot. 2011. V. 62. P. 3135–3153.
9. Martinelli T., Whittaker A., Masclaux-Daubresse C., Farrant J.M., Brillì F., Loreto F., Vazzana C. Evidence for the Presence of Photorespiration in Desiccation-Sensitive Leaves of the C_4 “Resurrection”. *Sporobolus Stapfianus* during Dehydration Stress // J. Exp. Bot. 2007. V. 58. P. 3929–3939.
10. Martinez D.E., Luquez V.M., Bartoli C.G., Guamet J.J. Persistence of Photosynthetic Components and Photochemical Efficiency in Ears of Water-Stressed Wheat (*T. aestivum*) // *Physiol. Plant.* 2003. V. 119. P. 519–525.
11. Saccardy K., Cornic G., Brulfert J., Reyss A. Effect of drought stress on net CO_2 uptake by *Zea* leaves // *Planta.* 1996. V. 199. P. 589-595.
12. Sicher R.C., Barnaby J.J. Impact of carbon dioxide enrichment on the responses of maize leaf transcripts and metabolites to water stress // *Physiol. Plant.* 2012. V. 144. P. 238-253.
13. Still C.J., Berry J.A., Collatz G.J., DeFries R.S. Global distribution of C_3 and C_4 vegetation: carbon cycle implications // *Global Biogeochem. Cycles.* 2003. V. 17. № 1. P. 6.1-6.14. doi 10.1029/2001GB001807.