УДК 581.1:577. 355.3 (635.65)

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЙСТВИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА БОБОВЫЕ РАСТЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЙ ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХИ

Н.А. Маниязова, А. Абдуллаев
Институт ботаники, физиологии и генетики растений Национальной академии наук Таджикистана

В данной статье рассматривается динамика роста, развития и продуктивности различных видов бобовых культур из коллекции ВИР в условиях почвенной засухи, а также под влиянием гиббереллина и фолиевой кислоты. Установлено, что продолжительный дефицит влаги негативно влияет на структурные элементы урожая, приводя к их снижению. Обработка гиббереллином и фолиевой кислотой способствует снижению стрессового воздействия засухи, что выражается в увеличении биомассы, площади листового аппарата и чистой продуктивности фотосинтеза. Также выявлено положительное влияние на формирование основных элементов структуры урожая, что в конечном итоге способствует повышению продуктивности. Полученные данные подтверждают эффективность применения данных препаратов для повышения адаптивности бобовых культур к засушливым условиям.

Ключевые слова: бобовые культуры, фолиевая кислота, гиббереллин, продуктивность.

PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF THE EFFECT OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES ON LEGUMES UNDER CONDITIONS OF LONG-TERM SOIL DROUGHT

N.A. Maniyazova, A. Abdullaev
Institute of Botany, Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Tajikistan

This article discusses the dynamics of growth, development and productivity of various legumes from the VIR collection under soil drought conditions, as well as under the influence of gibberellin and folic acid. It has been established that prolonged moisture deficit negatively affects the structural elements of the crop, leading to their decrease. Treatment with gibberellin and folic acid helps to reduce the stress effects of drought, which is expressed in an increase in biomass, leaf area and net productivity of photosynthesis. A positive effect on the formation of the main elements of the crop structure was also revealed, which ultimately contributes to increased productivity. The data obtained confirm the effectiveness of using these preparations to improve the adaptability of legumes to dry conditions.

Key words: legumes, folic acid, gibberellin, productivity.

Введение

В последние десятилетия проблема изменения климата привлекает повышенное внимание, поскольку она приводит к увеличению частоты и интенсивности засух в различных регионах мира. Длительный дефицит влаги оказывает отрицательное влияние на рост и развитие растений, приводя к снижению биомассы, фотосинтетической активности и урожайности [1-3]. В условиях этого глобального стресса особую роль приобретают биологически активные вещества, такие как гиббереллины и фолиевая кислота, которые участвуют в регуляции ключевых биологических процессов, обеспечивая адаптацию растений к неблагоприятным условиям [4-6].

Фолиевая кислота является водорастворимым витамином, активно участвующим в метаболизме углеводов, нуклеиновых кислот и аминокислот. Она играет важную роль в поддержании нормального функционирования фотосинтетических механизмов и повышает устойчивость растений к абиотическим стрессам, включая засуху [7]. Показано, что фолиевая кислота является эффективным средством для улучшения роста растения, увеличения количества вторичных побегов, соцветий и индекса площади листьев по сравнению с растениями, подвергавшимися засухе без обработки. Кроме того, она способствует улучшению физиологических и газообменных параметров, что приводит к повышению экономической урожайности, накоплению сырой и сухой биомассы, а также увеличению индекса урожайности растений [8]. Показано, что обработка гиббереллином повышает устойчивость растений к условиям водного стресса за счет стимуляции вегетативного роста, активизации клеточного деления и, как следствие, увеличения урожайности и продуктивности в условиях засухи [9]. Данные препараты играют важную роль в адаптации растений к засухе и могут быть эффективно использованы в агрономической практике для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. В комплексе они могут способствовать повышению устойчивости растений к абиотическим стрессам в условиях глобального изменения климата. Для эффективного использования этих соединений необходимо детальное изучение механизмов их действия и оптимальных концентраций для различных видов культур. Влияние этих соединений на физиологические параметры бобовых культур при длительной почвенной засухе остается недостаточно изученным, что и определило цель настоящего исследования.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовались следующие виды бобовых культур: *Phaseolus acutifolius* A. Gray из Украины, *Vigna unguiculate* из Мадагаскара и 2 вида из США - *Phaseolus acutifolius* A. Gray и *Phaseolus Jackson Wonder*. Полевые эксперименты проводились на опытном участке Института ботаники, физиологии и генетики растений Национальной академии наук Таджикистана (г. Душанбе). Участок расположен в восточной части Гиссарской долины на высоте 834 м над уровнем моря. Растения выращивались в вегетационных сосудах и разделялись на три экспериментальных варианта: 1. Почвенная засуха: влажность почвы поддерживалась на уровне 45–50% от предельной полевой влагоемкости (ППВ). 2.Почвенная засуха + гиббереллин: влажность почвы 45–50% от ППВ с дополнительным опрыскиванием растений гиббереллином. 3.Контроль: растения выращивались в оптимальных условиях при влажности почвы 75–80% от ППВ. Оценку элементов структуры урожая проводили согласно методике В.А. Кумакова [10]. Статистическая обработка данных осуществлялась по методике В.А. Доспехова [11]. Удельную поверхностную плотность листа (УПП) и чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) определяли по методикам Ю. К. Росса [12] и А.А. Ничипоровича [13].

Результаты и обсуждение

Для оценки эффективности применения биологически активных веществ необходимо исследовать их влияние на ключевые фотосинтетические показатели бобовых культур, в частности, на площадь листовой поверхности. Площадь листа является важным индикатором фотосинтетической активности растений и их способности адаптироваться к стрессовым условиям. Анализ динамики формирования листового аппарата у различных видов бобовых культур в разных условиях выращивания выявил значительные различия, обусловленные экспериментальными вариантами, фазами развития растений и видовой принадлежностью. В ходе исследования изучалось влияние обработки гиббереллином и фолиевой кислотой на рост листового аппарата в условиях почвенной засухи (табл. 1,2).

Обработка фолиевой кислотой способствует незначительному увеличению площади листьев, тогда как применение гиббереллина оказывает более выраженный эффект. В условиях почвенной засухи растения, обработанные гиббереллином, сохраняют большую листовую поверхность, что способствует повышению фотосинтетической активности и интенсивности роста. Наибольший эффект фолиевой кислоты отмечается у вида *Vigna unguiculate* из Мадагаскара, площадь листа которого

Таблица 1.- Динамика изменения площади листьев у бобовых растений под влиянием фолиевой кислоты в условиях почвенной засухи (см^2 на растение)

Объект	Варианты	Фазы развития				
		Стеблевание	Бутонизация	Цветение	Плодообразование	Налив семян
Phaseolus acutifolius A. Gray (Украина)	Контроль	68.7±0.1	106.5±0.5	129.9±0.7	152.6±0.7	174.9±0.5
	ПЗ+ФК	66.2±0.2	119.3±0.4	182.0±0.3	222.3±0.4	251.0±0.5
Vigna unguiculate (Мадагаскар)	Контроль	102.4±0.2	220.5±0.3	365.6±0.3	457.2±0.2	550.2±0.3
	ПЗ+ФК	99.5±0.2	306.1±0.4	520.2±0.4	615.5±0.5	734.8±0.3
Phaseolus acutifolius A. Gray (США)	Контроль	87.3±0.4	92.6±0.7	114.7±0.9	131.5±0.7	172.9±0.6
	ПЗ+ФК	79.9±0.4	110.7±0.4	125.2±0.8	142.6±0.7	183.2±0.9
Phaseolus Jackson Wonder (США)	Контроль	98.3±0.9	186.4±0.4	263.1±0.4	277.5±0.8	308.0±0.9
	ПЗ+ФК	96.1±0.7	214.8±0.5	339.2±0.5	433.4±0.6	445.8±0.9

Примечание: ПЗ+ФК – почвенная засуха+фолиевая кислота

Таблица 2. – Динамика изменения площади листьев у бобовых растений под влиянием гиббереллина в условиях почвенной засухи (см^2 на растение)

Объект	Варианты	Фазы развития				
		Стеблевание	Бутонизация	Цветение	Плодообразование	Налив семян
Vigna unguiculate (Мадагаскар)	Контроль	123,05±2,7	240,91±5,7	382,99±6,8	477.44±2,0	581.21±3,9
	ПЗ	42.87±1,7	129,29±3,8	205.81±4,1	274,10±2,8	298,71±2,7
	ПЗ+Г	109.06±3,8	291,08±6,8	378,55±3,3	556,46±1,7	628.51±5,2
Phaseolus acutifolius A. Gray (Украина)	Контроль	103.90±4,2	136.09±2,3	218.0±2,2	374,99±3,2	437,18±3,3
	ПЗ	78,14±3,6	97,77±2,8	148.84±2,7	224.86±2,9	244.59±1,7
	ПЗ+Г	129.30±2,4	205.05±3,3	265.65±1,9	437.58±1,8	541.21±2,0
	Контроль	119.04±3,6	151.71±2,9	320.77±4,3	518.26±2,4	747,27±3,6

Phaseolus acutifolius A. Gray (США)	ПЗ	35.73±2,8	70.87±3,2	173.17±2,5	260.70±3,3	286,71±2,1
	ПЗ+Г	117.63±2,9	217.86±2,5	391.08±2,6	556,20±4,2	763,02±2,5
Phaseolus Jackson Wonder (США)	Контроль	112.53±1,6	218,44±1,9	378.25±3,1	563,12±4,0	632,41±3,3
	ПЗ	95.63±3,2	197,40±1,7	248,50±1,3	305,52±2,9	349.32±2,2
	ПЗ+Г	140.56±2,7	261.64±3,2	420.21±2,6	597,39±3,1	689,47±3,1

Примечание: ПЗ-почвенная засуха, ПЗ+Г – почвенная засуха+гиббереллин

превышает контрольные значения с фазы цветения до налива семян на 33,5%. У растений вида *Phaseolus Jackson Wonder* из США также наблюдается увеличение площади листьев за этот период на 28,9-44,7%. У видов *Phaseolus acutifolius* из Украины и США наблюдается менее выраженное увеличение этого показателя, но оно сохраняется на протяжении всех фаз развития.

В отличие от фолиевой кислоты, применение гиббереллина приводит к более выраженному восстановлению площади листьев после воздействия почвенной засухи, достигая, а в некоторых случаях даже превышая контрольные значения. Например, у *Vigna unguiculata* из Мадагаскара при опрыскивании гиббереллином площадь листьев в фазах цветения и плодообразования составила 98,8% и 116,5% от контрольных значений соответственно. У *Phaseolus acutifolius* из Украины наблюдается также увеличение площади листьев, особенно на поздних стадиях, при этом значения этого показателя даже превышают контроль (541,21 см² против 437,18 см² на фазе налива семян). У *Phaseolus Jackson Wonder* из США гиббереллин также показал высокую эффективность, восстанавливая площадь листьев на 105,3% от контроля в фазе налива семян.

Таким образом, оба препарата оказались эффективными для компенсации негативного влияния засухи. Однако при использовании гиббереллина площадь листьев достигает или превышает контрольные значения, в то время как фолиевая кислота обеспечивает лишь умеренное увеличение площади листьев. Гиббереллин более эффективно восстанавливает площадь листьев после засухи, чем фолиевая кислота. Особенно выраженный эффект наблюдается у видов *Vigna unguiculata* (Мадагаскар) и *Phaseolus Jackson Wonder* (США), что, вероятно, связано с их генетическими особенностями роста и различной чувствительностью к этим соединениям.

Важным показателем физиологического состояния растений, отражающий накопление сухого вещества на единицу площади листовой поверхности является удельная поверхностная плотность листа (УППЛ). Данный параметр изменяется в зависимости от фазы развития растений и условий окружающей среды, в частности, под воздействием почвенной засухи. Анализ полученных данных (табл.3,4) показывает, что у всех изученных видов в условиях почвенной засухи наблюдается повышение удельной поверхностной плотности листа, что является характерной реакцией растений на стресс. В условиях контроля у *Vigna unguiculata* из Мадагаскара и *Phaseolus Jackson Wonder* из США наблюдается постепенное увеличение УППЛ от стеблевания до цветения, с последующим снижением в фазе плодообразования, что связано с перераспределением ресурсов на развитие семян. У *Phaseolus acutifolius* A. Gray из Украины и США динамика аналогична, однако абсолютные значения плотности листа у *Phaseolus acutifolius* A. Gray (США) ниже, что может свидетельствовать о повышенной устойчивости к водному стрессу.

При почвенной засухе у всех видов наблюдается увеличение УППЛ, что может быть связано с утолщением листьев в ответ на стрессовые условия. Добавление гиббереллина частично ослабляет этот эффект: значения УППЛ остаются выше контроля, но ниже, чем при засухе без обработки. Наиболее выраженная реакция на гиббереллин наблюдается у *Vigna unguiculata* из Мадагаскара и *Phaseolus Jackson Wonder* из США, что указывает на высокую чувствительность этих видов к водному дефициту и способность гиббереллина частично компенсировать его негативное влияние. У *Phaseolus acutifolius* A. Gray из США действие гиббереллина выражено слабее, что подтверждает более высокую устойчивость этого вида к засухе.

Данные по воздействию фолиевой кислоты в условиях засухи также демонстрируют более высокие значения УППЛ по сравнению с контролем. Наибольший эффект от опрыскивания отмечается в фазах плодообразования и налива семян. Среди исследуемых видов наибольшая удельная поверхностная плотность листа отмечается у растений *Phaseolus acutifolius* A. Gray из Украины и *Phaseolus Jackson Wonder* США в контрольном варианте, соответственно – 0.94 и 0.94 г/дм^2 на растение, и с опрыскиванием фолиевой кислотой –соответственно – 1.41 и 1.10 г/дм^2 на растение. У остальных видов почти на схожем уровне.

Фолиевая кислота и гиббереллин оказывают положительное влияние на физиологическое состояние растений в условиях почвенной засухи, однако механизмы их действия различны. Гиббереллин в основном способствует смягчению стрессовой реакции за счет регуляции роста и перераспределения ресурсов, снижая чрезмерное повышение УППЛ при засухе. В то же время, фолиевая кислота стимулирует фотосинтетическую активность, что выражается в более значительном увеличении УППЛ, особенно в фазах плодообразования и налива семян. Наибольшая чувствительность к опрыскиванию гиббереллином и фолиевой кислотой отмечена у *Vigna unguiculata* (Мадагаскар) и *Phaseolus Jackson Wonder* (США), в то время как *Phaseolus acutifolius* A. Gray (США) демонстрирует более стабильные показатели УППЛ, что свидетельствует о его повышенной устойчивости к засухе.

Таблица 3.- Влияние фолиевой кислоты на удельную поверхностную плотность листа у различных видов бобовых растений из коллекции ВИР (г/дм^2 на растение)

Объект	Варианты	Фазы развития				
		Стеблевание	Бутонизация	Цветение	Плодообразование	Налив семян
Phaseolus acutifolius A. Gray (Украина)	Контроль	0.35±0,01	0.47±0,02	0.59±0,02	0.70±0,01	0.94±0,03
	ПЗ+ФК	0.31±0,01	0.59±0,01	0.67±0,02	0.79±0,01	1.41±0,02
	Контроль	0.39±0,01	0.43±0,03	0.51±0,02	0.62±0,01	0.79±0,02

Vigna unguiculate (Мадагаскар)	ПЗ+ФК	0.33±0,02	0.52±0,01	0.63±0,01	0.71±0,01	0.83±0,01
Phaseolus acutifolius A. Gray (США)	Контроль	0.35±0,01	0.47±0,01	0.59±0,02	0.66±0,01	0.77±0,03
	ПЗ+ФК	0.33±0,02	0.53±0,02	0.65±0,02	0.71±0,03	0.82±0,02
Phaseolus Jackson Wonder (США)	Контроль	0.43±0,02	0.55±0,03	0.62±0,02	0.70±0,02	0.94±0,03
	ПЗ+ФК	0.39±0,01	0.59±0,01	0.69±0,01	0.83±0,02	1.10±0,04

Примечание: ПЗ+ФК – почвенная засуха+фолиевая кислота

Таблица 4. - Влияние гиббереллина на удельную поверхностную плотность листа у различных видов бобовых растений из коллекции ВИР (г/дм^2 на растение)

Объект	Варианты	Фазы развития			
		Стеблевание	Бутонизация	Цветение	Плодообразование
Phaseolus acutifolius A. Gray (Украина)	Контроль	0,39±0,01	0,61±0,01	0,72±0,02	0,69±0,03
	ПЗ	0,51±0,02	0,71±0,01	0,86±0,02	0,71±0,01
	ПЗ+Г	0,47±0,01	0,65±0,02	0,79±0,02	0,73±0,01
Vigna unguiculate (Мадагаскар)	Контроль	0.47±0,02	0.65±0,03	0.82±0,03	0.72±0,04
	ПЗ	0,61±0,01	0,75±0,02	0,98±0,04	0,77±0,01
	ПЗ+Г	0,56±0,02	0,68±0,02	0,86±0,03	0,72±0,02
Phaseolus acutifolius A. Gray (США)	Контроль	0,53±0,01	0,59±0,01	0,67±0,04	0,60±0,02
	ПЗ	0,67±0,01	0,71±0,02	0,84±0,03	0,67±0,01
	ПЗ+Г	0,63±0,01	0,65±0,03	0,69±0,03	0,65±0,01
Phaseolus Jackson Wonder (США)	Контроль	0,42±0,02	0,67±0,02	0,94±0,04	0,73±0,03
	ПЗ	0,59±0,01	0,86±0,03	0,98±0,03	0,79±0,01
	ПЗ+Г	0,55±0,02	0,77±0,01	0,97±0,02	0,73±0,02

Примечание: ПЗ-почвенная засуха, ПЗ+Г – почвенная засуха+гиббереллин

Для оценки эффективности фотосинтетической активности листового аппарата используется показатель чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ). В таблице 5 представлены данные по влиянию фолиевой кислоты, а в таблице 6 – данные о влиянии гиббереллина на чистую продуктивность фотосинтеза у изучаемых видов бобовых растений из коллекции ВИР. Как видно из таблиц, ЧПФ у данных объектов изменялась в зависимости от фазы развития. На начальном этапе вегетации, в фазе стеблевания-бутонизации растения имеют относительно низкие показатели. С развитием растений и увеличением площади листьев, ЧПФ возрастает, достигая максимальных значений в период цветения - плодообразования. В этот период интенсивность фотосинтеза

Таблица 5.- Влияние фолиевой кислоты на чистую продуктивность фотосинтеза изученных видов бобовых растений (г/м^2 за сутки)

Объект	Варианты	Фазы развития			
		Стеблевание - Бутонизация	Бутонизация - Цветение	Цветение - Плодообразова-ние	Плодообразова-ние - Созревание
Phaseolus acutifolius A. Gray (Украина)	Контроль	3.8±0,11	4.7±0,2	7.8±0,15	7.0±0,18
	ПЗ+ФК	4.1±0,14	5.5±0,17	8.4±0,18	7.7±0,2
Vigna unguiculate (Мадагаскар)	Контроль	3.7±0,12	5.0±0,16	6.8±0,2	5.1±0,3
	ПЗ+ФК	4.3±0,10	6.3±0,22	7.7±0,15	6.5±0,15
Phaseolus acutifolius A. Gray (США)	Контроль	4.0±0,13	5.6±0,23	8.9±0,3	6.2±0,3
	ПЗ+ФК	4.7±0,13	6.2±0,14	9.7±0,18	7.6±0,19
Phaseolus Jackson Wonder (США)	Контроль	4.3±0,08	3.6±0,11	8.1±0,10	7.5±0,10
	ПЗ+ФК	4.9±0,10	4.4±0,07	9.3±0,17	8.6±0,14

Примечание: ПЗ+ФК – почвенная засуха+фолиевая кислота

Таблица 6. –Влияние гиббереллина на чистую продуктивность фотосинтеза изученных видов бобовых растений (г/м^2 за сутки)

Объект	Варианты	Фазы развития			
		Стеблевание - Бутонизация	Бутонизация - Цветение	Цветение - Плодообразование	Плодообразование -Созревание
Phaseolus acutifolius A. Gray (Украина)	Контроль	5,75±0,18	6,12±0,20	9,14±0,18	7,17±0,08
	ПЗ	4,89±0,37	5,19±0,47	6,96±0,30	6,76±0,20
	ПЗ+Г	5,28±0,14	5,74±0,09	9,50±0,06	7,31±0,17
Vigna unguiculate (Мадагаскар)	Контроль	6,70±0,14	7,05±0,16	7,46±0,07	6,09±0,27
	ПЗ	4,99±0,40	5,77±0,34	6,85±0,45	5,93±0,02
	ПЗ+Г	6,92±0,36	7,17±0,09	7,54±0,33	6,30±0,33
Phaseolus acutifolius A. Gray (США)	Контроль	4,73±0,11	5,93±0,14	11,34±0,08	10,95±0,15
	ПЗ	3,38±0,43	5,82±0,40	10,14±0,12	7,29±0,39
	ПЗ+Г	4,77±0,15	6,14±0,20	13,62±0,08	9,55±0,11
Jackson Wonder (США)	Контроль	5,14±0,05	6,27±0,10	12,19±0,15	11,53±0,09
	ПЗ	3,62±0,11	5,11±0,23	7,87±0,40	5,56±0,30
	ПЗ+Г	5,10±0,15	5,87±0,02	12,69±0,14	11,74±0,10

Примечание: ПЗ-почвенная засуха, ПЗ+Г – почвенная засуха+гиббереллин наибольшая, так как растения активно обеспечивают рост новых органов, включая цветы и плоды. На стадии налива семян и созревания плодов происходит постепенное снижение ЧПФ. Листья начинают стареть, а интенсивность фотосинтеза уменьшается. Растение перенаправляет накопленные ресурсы для развития семян и плодов.

Почвенная засуха приводит к значительному снижению продуктивности на всех фазах развития, так как она ограничивает доступ растений к воде, необходимой для фотосинтеза. Особенно это проявляется на поздних этапах, что ведет к снижению урожайности, особенно в период активного роста и цветения.

Обработка фолиевой кислотой привела к увеличению ЧПФ у опытных растений. Введение фолиевой кислоты способствует повышению фотосинтетической активности за счет улучшения азотного обмена и усиления синтеза белков, необходимых для функционирования фотосинтетического аппарата. На всех стадиях развития ЧПФ у обработанных растений превышает контрольные значения. Максимальный эффект достигается в фазе цветения-плодообразования, когда интенсивность фотосинтеза наиболее высокая. Однако в фазе созревания наблюдается снижение ЧПФ в варианте с фолиевой кислотой, что, вероятно, связано с усиленным ростом листового аппарата и снижением освещенности нижних листьев. Так, у вида *Phaseolus acutifolius* A. Gray из Украины при использовании фолиевой кислоты наблюдается увеличение ЧПФ на всех стадиях, особенно в фазе цветения-плодообразования – 8,4 г/м²·сут, что на 7,7% выше контрольного значения. Наибольший эффект от применения гиббереллина проявляется в фазе цветения-плодообразования – на 4% выше контрольный растений. Гиббереллин оказывает более выраженное стимулирующее действие в фазу активного фотосинтеза, тогда как фолиевая кислота способствует устойчивому повышению продуктивности на протяжении всей вегетации. Аналогичная тенденция наблюдается и у двух видов из США: *Phaseolus acutifolius* A. Gray и *Phaseolus Jackson Wonder*. У вида *Vigna unguiculate* из Мадагаскара фолиевая кислота значительно повышает ЧПФ, особенно в фазу максимального роста, тогда как гиббереллин имеет слабовыраженный эффект.

Таким образом, гиббереллин может быть эффективным средством для смягчения последствий засухи и поддержания высокой фотосинтетической активности, особенно на критических фазах развития растений. Он увеличивает ЧПФ на ранних стадиях, а фолиевая кислота – обеспечивает стабильное повышение продуктивности во всех фазах.

Анализ структуры урожайности изучаемых объектов представлен в таблицах 7,8. Сравнение этих данных позволяет оценить, как применение фолиевой кислоты и гиббереллина влияет на формирование урожая, в частности, на длину и массу стручка, количество и массу семян в стручке, массу 1000 семян. Эти показатели варьируют в зависимости от условий выращивания, а также от типа обработки. Обработка фолиевой кислотой и гиббереллином способствовала увеличению длины стручка у всех изученных видов. Наибольшая длина стручка наблюдалась у *Vigna unguiculate* из Мадагаскара. Фолиевая кислота увеличила этот показатель на 6,9% - с 8,13 см до 8,69 см, а гиббереллин увеличил на 21,6% - с 8,23 см до 10,01 см, что свидетельствует о более выраженном эффекте. У других исследуемых видов этот показатель варьировал от 4.2 см до 5.98 см в контроле и от 6.05 см до 6.12 см при опрыскивании фолиевой кислотой и от 6,27см до 7,37 см при использовании гиббереллина. Максимальный эффект отмечается у *Phaseolus Jackson Wonder* из США. Фолиевая кислота увеличила длину стручка на 44,3% - с 4,2 см до 6,06 см, а гиббереллин – на 33,8% - с 4,8 см до 6,42 см. Это свидетельствует о том, что фолиевая кислота оказала более значительное влияние. Кроме того, у всех исследуемых видов растений наблюдается увеличение массы стручка под воздействием обеих обработок. Наибольший эффект отмечается у *Vigna unguiculate* из Мадагаскара как в контроле, так и при обработке. Масса стручка увеличивается под действием фолиевой кислоты на 14,7% - с 0,75 до 0,86 г, а под влиянием гиббереллина на 28,2% - с 1,03 до 1,32 г. Наименьшие значения этого показателя у вида *Phaseolus acutifolius* A. Gray из Украины.

По количеству и массе семян с 1 стручка наибольший показатель имеет вид *Vigna unguiculate* из Мадагаскара- 4.3 шт. в контроле, при применении фолиевой кислоты - 5.0 шт. (16,3%), а гиббереллина – от 4,74 до 6,52 шт. (37,6%) .Фолиевая кислота увеличила массу семян с 0.67 г до 0.85 г. (26,9%), а гиббереллин – с 0,7 до 1,04 г. (48,6%). По массе 1000 шт. семян выделяется вид *Phaseolus Jackson Wonder* из США, наибольший эффект наблюдается при обработке гиббереллином (на 31,5%), а фолиевая кислота увеличила на 13,9%. Наименьший показатель имеют виды *Phaseolus acutifolius* A. Gray из Украины и США. В целом, опытные растения по всем изученным элементам структуры урожая превосходят контрольные растения.

Анализ структуры урожайности данных объектов показал, что гиббереллин оказывает более выраженное положительное влияние на все параметры структуры урожая, чем фолиевая кислота. Оба препарата способствуют увеличению длины и массы стручков, а также количества и массы семян. Однако гиббереллин более эффективно увеличивает массу 1000 семян, особенно у видов с более крупными семенами, например, у *Phaseolus Jackson Wonder* из США. Наибольший прирост всех параметров урожайности наблюдается у *Vigna unguiculata* из Мадагаскара и *Phaseolus*

Таблица 7. - Структурный анализ семян различных видов бобовых растений из мировой коллекции

Объект	Варианты	Некоторые элементы структуры урожая				
		Длина стручка, см	Масса стручка, г	Кол-во семян с 1 стручка, шт.	Масса семян с 1 стручка, г	Масса 1000 семян, г
Phaseolus acutifolius A. Gray (Украина)	Контроль	5.98±0,11	0.62±0.06	3.8±0.10	0.52±0.05	136.84
	ПЗ+Фолиевая к-та	6.05±0.17	0.68±0.10	4.0±0.12	0.58±0.02	145.00
Vigna unguiculate (Мадагаскар)	Контроль	8.13±0.20	0.75±0.03	4.3±0.10	0.67±0.02	155.81
	ПЗ+Фолиевая к-та	8.69±0.10	0.86±0.01	5.0±0.12	0.85±0.05	170.00
Phaseolus acutifolius A. Gray (США)	Контроль	5.74±0.20	0.50±0.04	3.6±0.17	0.52±0.02	144.44
	ПЗ+Фолиевая к-та	6.12±0.15	0.52±0.02	4.0±0.10	0.60±0.03	150.20
Jackson Wonder (США)	Контроль	4.20±0.10	0.55±0.04	1.3±0.11	0.40±0.05	307.69
	ПЗ+Фолиевая к-та	6.06±0.20	0.97±0.10	1.8±0.13	0.63±0.10	350.40

Примечание: ПЗ+ФК – почвенная засуха+фолиевая кислота

Таблица 8. - Структурный анализ семян различных видов бобовых растений из мировой коллекции

Объект	Варианты	Некоторые элементы структуры урожая				
		Длина стручка, см	Масса стручка, г	Кол-во семян с 1 стручка, шт.	Масса семян с 1 стручка, г	Масса 1000 семян, г
Phaseolus acutifolius A. Gray (Украина)	Контроль	6.16±0.13	0.62±0.04	3.85±0.17	0.49±0.04	127.27
	Поч.засуха	5.76±0.18	0.52±0.06	3.39±0.17	0.40±0.05	117.99
	ПЗ+Г	6.27±0.05	0.67±0.01	4.00±0.09	0.55±0.01	137.50
Vigna unguiculate (Мадагаскар)	Контроль	11.56±0.5	1.70±0.19	8.47±0.9	1.33±0.16	164.11
	Поч.засуха	8.23±0.4	1.03±0.11	4.74±0.5	0.70±0.09	147.68
	ПЗ+Г	10.01±0.2	1.32±0.04	6.52±0.24	1.04±0.04	159.51
Phaseolus acutifolius A. Gray (США)	Контроль	7.07±0.07	0.68±0.02	5.00±0.17	0.59±0.02	118.0
	Поч.засуха	5.83±0.15	0.52±0.0	3.90±0.06	0.40±0.01	102.56
	ПЗ+Г	7.37±0.36	0.77±0.06	5.30±0.19	0.64±0.05	120.75
Jackson Wonder (США)	Контроль	5.45±0.14	0.93±0.08	1.93±0.15	0.59±0.06	305.70
	Поч.засуха	4.80±0.22	0.86±0.06	1.75±0.12	0.49±0.05	280.0
	ПЗ+Г	6.42±0.17	1.20±0.07	2.25±0.13	0.82±0.06	364.44

Примечание: ПЗ-почвенная засуха, ПЗ+Г – почвенная засуха+гиббереллин

Jackson Wonder из США, что свидетельствует о высокой чувствительности этих видов к обработке данными препаратами.

Таким образом, установлено, что исследованные препараты оказывают стимулирующее влияние на продуктивность бобовых культур, однако механизм их действия различается. Гиббереллин в большей степени влияет на ростовые процессы и адаптацию к засухе, тогда как фолиевая кислота способствует увеличению накопления биомассы и урожайности за счёт оптимизации фотосинтетической активности. В условиях почвенной засухи оба препарата оказывают положительный эффект, но гиббереллин более эффективен в повышении устойчивости растений, а фолиевая кислота – в обеспечении прибавки урожайности. Применение гиббереллина и фолиевой кислоты является перспективным методом повышения продуктивности бобовых культур, особенно в условиях засухи.

ВЫВОДЫ

1. Фолиевая кислота способствует незначительному увеличению площади листьев, тогда как гиббереллин более эффективно восстанавливает площадь листьев после засухи, достигая и даже превышая контрольные значения.
2. Действие фолиевой кислоты и гиббереллина оказали положительное влияние на физиологическое состояние растений в условиях почвенной засухи: гиббереллин в основном способствует смягчению стрессовой реакции за счет регуляции роста, снижая чрезмерное повышение УППЛ при засухе. Фолиевая кислота стимулирует фотосинтетическую активность, что выражается в более значительном увеличении УППЛ, особенно в фазах плодообразования и налива семян.
3. Фолиевая кислота повышает фотосинтетическую активность и ЧПФ на всех стадиях развития, особенно в фазе цветения-плодообразования, за счет улучшения азотного обмена

и усиления синтеза белков, необходимых для функционирования фотосинтетического аппарата. Однако в фазе созревания эффект снижается. Гиббереллин оказывает более выраженное стимулирующее действие в фазу активного фотосинтеза, тогда как фолиевая кислота способствует устойчивому повышению продуктивности на протяжении всей вегетации.

4. У исследованных объектов гиббереллин оказывает более выраженное положительное влияние на все параметры структуры урожая, чем фолиевая кислота. Оба препарата способствуют увеличению длины и массы стручков, а также количества и массы семян. Однако гиббереллин более эффективно увеличивает массу 1000 семян, особенно у видов с более крупными семенами.

5. Обработка гиббереллином в большей степени влияет на ростовые процессы и адаптацию к засухе, тогда как фолиевая кислота способствует увеличению накопления биомассы и урожайности за счёт оптимизации фотосинтетической активности. В условиях почвенной засухи оба препарата произвели положительный эффект, но гиббереллин более эффективен в повышении устойчивости растений, а фолиевая кислота – в обеспечении прибавки урожайности. Их применение перспективно для повышения продуктивности бобовых культур, особенно в условиях засухи.

Список литературы

1. Shah Fahad, Ali A Bajwa, Usman Nazir, Shakeel A Anjum, Ayesha Farooq, Ali Zohaib, Sehrish Sadia, Wajid Nasim, Steve Adkins, Shah Saud, Muhammad and al. Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options. Front. Plant. Sci. 2017 Jun 29:8:1147. doi: 10.3389/fpls.2017.01147.
2. Zlatev, Z., Lidon F.C. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. Emir. J. Food Agric 2012., 24.P .57-72.
3. Aiguo Dai: Increasing drought under global warming in observations and models. Nature Climate Change 2013. 3. P. 52–58.
4. Nurunnaher Akter, M. Rafiqul Islam,M. Abdul Karim,Tofazzal Hossain. Alleviation of drought stress in maize by exogenous application of gibberellic acid and cytokinin //Journal of Crop Science and Biotechnology. 2014. 17(1):41-48.DOI:10.1007/s12892-013-0117-3.
5. Pratima Bagale, Srijana Pandey, Pradip Regmi, Subhekchhya Bhusal. Role of Plant Growth Regulator "Gibberellins" in Vegetable Production: An Overview// International Journal of Horticultural Science and Technology. 2022 9(3). P. 291-299. DOI:10.22059/IJHST.2021.329114.495.
6. Muhammad Tajammal Khan, Shakil Ahmed, Anis Ali Shah. Regulatory role of folic acid in biomass production and physiological activities of Coriandrum sativum L. under irrigation regimes//International Journal of Phytoremediation. 2021.24(10) :P.1025-1038 OI:10.1080/15226514.2021.1993785
7. Bhupinder Singh, Usha Kalidindi. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regulation. 2003; 39(2):137-141.
8. Muhammad Tajammal Khan, Shakil Ahmed, Anis Ali Shah. Regulatory role of folic acid in biomass production and physiological activities of Coriandrum sativum L. under irrigation regimes//International Journal of Phytoremediation. 2021; 24(4). P.1-14. doi: 10.1080/15226514.2021. 1993785.
9. Hagai Shohat, Natanella Illouz Eliaz, David Weiss. Gibberellin in tomato: metabolism, signaling and role in drought responses// Molecular Horticulture. 2021 1(1). P.1-15. DOI:10.1186/s43897-021-00019-4.
10. Kumakov V. A. Physiological justifications for models of wheat varieties. – M.: Agropromizdat, 1985, 270 p.
11.Dospekhov, B.A. (1985) Methodology of Field Experiment. M.: “Agropromizdat”, 352 p.
12.Ross Yu.K. On the mathematical description of plant growth / Yu.K. Ross // - DAN SSSR. - 1966. - V.171. - No.2 - P. 481-483.
13.Nichiporovich A.A., Stroganova L.K., Chmora S.N., Vlasova M.P. Photosynthetic activity of plants in crops. - M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1961, 133 p.