УДК: 633.16

Изменения морфофизиологических и биохимических характеристик продовольственного ячменя под воздействием засушливого стресса

Э.Э. Гафарова
Азербайджанский медицинский университет Научно Исследовательский Центр, г.Баку

Адрес электронной почты автора: ismailovyusif@mail.ru

Açar sözlər: Hordeum vulgare L., arpa, xlorofil a, xlorofil b, xloroplastlar, fotosistemlər
Ключевые слова: Hordeum vulgare L, ячмень, хлорофилл a, хлорофилл b, хлоропласт, фотосистема.
Keywords: Hordeum vulgare L., barley, chlorophyll a, chlorophyll b, chloroplasts, photosystems

Засуха является одним из основных абиотических стрессов, вызывающих серьезные потери продуктивности по всему миру [9]. Данные о толерантности к засухе в полевых условиях были сравнены с параметрами, полученными в лабораторных экспериментах, для разработки лабораторных маркеров восприимчивости к засухе. Засуха также ограничивает клеточное деление, уменьшает размер листовой обертки, замедляет удлинение почек и значительно снижает проницаемость стромы, даже ограничивая поглощение и транспорт воды, ионов и газообмен [6]. Засуха в целом ингибирует рост растений, уменьшая поглощение воды и усвоение питательных веществ. Изучение различных характеристик растений, таких как анатомия листа, оказалось полезным для улучшения устойчивости к засухе. Как известно, недостаток воды в растении при засухе также приводит к снижению содержания хлорофилла, что ослабляет процесс фотосинтеза [4]. Абиотические факторы стресса, такие как засуха, соленость, затопление и экстремально низкие температуры, вызывают нарушение фотосинтеза. Количество фотосинтетических пигментов (хлорофилла и каротиноидов) в листьях растения играет ключевую роль в активности фотосинтетического аппарата и его продуктивности, и существует сложная взаимосвязь между продуктивностью и количеством хлорофилловых пигментов.

Ячмень (Hordeum vulgare L.) является одной из основных продовольственных культур среди злаков [2]. Ячмень обычно выращивается в районах с низким уровнем осадков, которые не подходят для выращивания пшеницы. Генетические и археологические данные показали, что культивируемый ячмень произошел от разных популяций. В настоящее время ячмень занимает четвертое место среди злаков по продуктивности и производству (http://faostat.fao.org). Около 75% мирового производства используется для кормления животных, а 25% перерабатывается в солод или используется в пищу человеком [3]. Таким образом, ячмень является важным источником пищи в развивающихся странах [7]. Он обеспечивает продуктивность в маргинальных и сложных условиях для сельскохозяйственного производства. Одна из основных целей текущей научной работы - разработать новые сорта засухоустойчивого культивируемого ячменя (Hordeum vulgare L. ssp. vulgare), уточнив сложные механизмы. Влияние водного стресса на растение ячменя исследуется с помощью различных регуляторов [13]. Поэтому это является серьезной и сложной проблемой. Существует evidence о вариативности различных растений в условиях водного стресса [5]. Выделение этой вариативности можно осуществить несколькими способами, самым простым из которых является размещение нескольких сортов как в оптимальных, так и в условиях водного стресса [7].

Материалы и методы исследования. Основной целью представленной работы было сравнительное изучение морфофизиологических характеристик и состава фотосинтетических пигментов хлоропластов в листьях ячменя (Hordeum vulgare), выращенного в условиях засухи и при нормальном орошении. Стресс, вызванный засухой, привёл к резкому снижению площади листовой поверхности и длины корней. Вероятной причиной этого является уменьшение роста клеток [7] и замедление расширения листьев. Количество фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) в листьях растений играет ключевую роль в активности фотосинтетического аппарата и его продуктивности. Между продуктивностью и содержанием хлорофилловых пигментов существует сложная взаимосвязь.

Для эксперимента стерилизованные семена ячменя были посеяны по отдельности в пластиковые горшки объёмом ≈0,5 дм³ с почвой и комплексным удобрением. Ростки выращивали при фотопериоде

16/8 часов (день/ночь) и средней температуре 26/25°C (интенсивность освещения – 600 мкмоль·м$^{-2}$·с$^{-1}$). Исследование проводилось путём воздействия засушливого стресса на 12-дневные растения в течение 10 дней.Активность фотосистем определялась по поглощению и выделению кислорода с помощью полярографического метода в амперометрическом приборе с использованием замкнутого платинового электрода типа Кларка.

Определение относительного содержания воды (RWC):

Для измерения относительного содержания воды использовались образцы листьев ячменя. Через 12 дней после полного развития листьев растения подвергались засушливому стрессу в течение 10 дней. Листья разрезались на мелкие части и немедленно взвешивались (свежая масса, FW). Затем образцы помещались в дистиллированную воду и хранились в холодильнике 24 часа, после чего промакивались фильтровальной бумагой и снова взвешивались (масса при тургоре, TW). Далее листья сушили в термостате при 80°C в течение 24 часов до постоянной массы (сухая масса, DW). Относительное содержание воды рассчитывалось по формулам:

$WC = (FW - DW)/FW \times 100$

$RWC = (FW - DW)/(TW - DW) \times 100$

Площадь листа:

Площадь листа рассчитывалась по формуле Карлтона и Фута (1965):

Площадь листа (см²) = максимальная длина листа × максимальная ширина × 0,75

Фитотоксичность корней и листьев:

Фитотоксический эффект засухи на рост корней и листьев растений определялся по следующей формуле:

Фитотоксичность (%) = [(Lc − Ls) / Lc] × 100 где:

Lc – длина корня/листа контрольного растения

Ls – длина корня/листа растения, подвергшегося стрессу

Индекс устойчивости корней и листьев:

Фишер и Маурер (1978) предложили Индекс чувствительности к засухе (DSI). Фишер и Вуд (1979) обнаружили высокую положительную корреляцию между DSI и потенциальной урожайностью пшеницы, что указывает на то, что отбор при оптимальных условиях может увеличить чувствительность к засухе. Фишер и др. (1984) пришли к аналогичному выводу для кукурузы. Однако такая зависимость не была выявлена у подсолнечника [8], что свидетельствует о возможности селекции засухоустойчивых генотипов подсолнечника в оптимальных условиях, хотя это работает не всегда.

Для расчета DSI у ячменя использовалась формула Фишера и Маурера (1978):

$DSI = [1 - (Yd / Yp)] / D$, где:

Yd – урожайность растения под воздействием засухи,

Yp – урожайность растения при нормальном орошении,

D – интенсивность засухи.

Количественное определение фотосинтетических пигментов:

Хлорофиллы a и b определялись по методу Порра. Для анализа 5 мкл 80% ацетона добавляли в образцы, и оптическая плотность измерялась при длинах волн 663 нм и 645 нм с использованием спектрофотометра Thermo Scientific, Fisher Evolution 201 UV-Vis (США).

Результаты и обсуждение. В ходе эксперимента, через 12 дней после полного развития второго листа, растения подвергались засушливому стрессу в течение 10 дней. Были измерены общая длина растения, длина корней и длина листьев. Исследование выявило различия в развитии корневой системы и общей длине растения под влиянием стрессовых условий засухи. Засуха вызвала резкое уменьшение площади листовой поверхности и длины корней [13]. Вероятной причиной этого было замедление клеточного роста [11] и ограничение расширения листьев.

Длина корней: –8%, в контроле растения = 8,41±0,18, в растении, подвергшемся засухе = 7,69±0,13 см;

Длина листьев: –11,4%, контроль = 17,70±0,12, засуха = 15,62±0,12 см;

Масса корней: –10,4%, контроль = 0,77±0,06, засуха = 0,69±0,05 г.

Метод Порры [9]был использован для определения содержания хлорофилла a и b. Содержание хлорофилла a в хлоропластах листьев сорта Джалилобад 19 составило 4,01 мг/г, в то время как в растении, подвергшемся засухе, - 3,67 мг/г. Содержание хлорофилла b в сорте Джалилобад 19 составило 1,98 мг/г, в растении, подвергшемся засухе, - 1,93 мг/г. Зафиксировано значительное различие в соотношении хлорофилла a/b в хлоропластах исследуемых сортов.

Таблица 1
Морфофизиологические параметры ячменных растений, подвергшихся стрессовому воздействию

Параметры растений	Контрольное растение (C), см	Растение, подвергшееся стрессу от засухи (D), см
Площадь листа	9.54±0.17	7.87±0.15
Сухая масса листа	0.918	0.3979
Сухая масса корня	0.80±0.03	0.65±0.06 g
Сухая масса листа	0.1561	0.1500
Сухая масса корня	0.039	0.0268

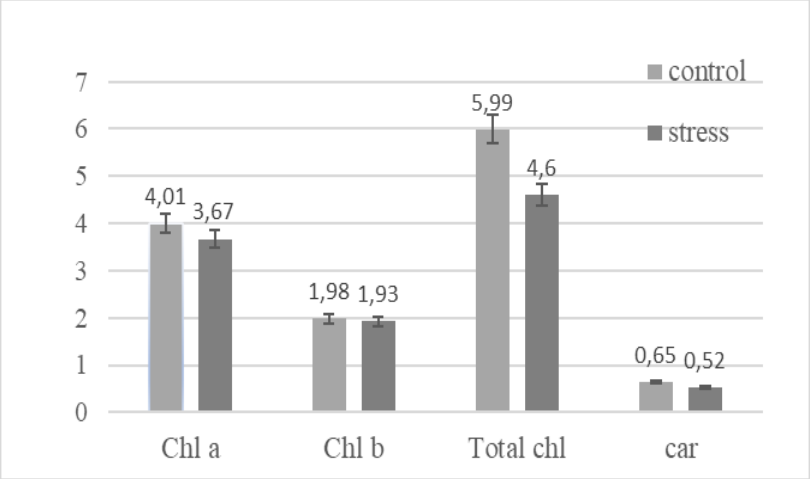


Рис. 1. Фотосинтетические параметры растений ячменя, подвергшихся стрессу от засухи

Эти параметры широко применяются в исследованиях, проводимых в условиях засухи. Полученные в данном исследовании результаты подтверждаются данными других экспериментов. В связи с этим проводятся масштабные исследования устойчивости к засухе, с использованием других признаков, тесно связанных с этим фактором, включая морфологические характеристики (корни и листья), свежий и сухой вес листьев и почек, а также относительное содержание воды в тканях. Параметры, такие как фотосинтетическая активность (SPAD, Fv/m, gs, An и другие), осморегуляция (накопление осмолитов, аминокислот, сахаров, полиолов и др.), ферментативная активность, уровень активных форм кислорода (ROS), а также содержание малонового диальдегида (MDA) [9], широко используются в экспериментах, связанных с засухой.

Хлорофилл является важнейшим компонентом фотосинтетического аппарата растения, и его содержание в тканях положительно коррелирует с интенсивностью фотосинтеза. Несмотря на наличие обсуждений относительно влияния высокого содержания хлорофилла (так называемой способности "оставаться зелёным") на продуктивность при засухе [1], ряд исследований показал, что высокое содержание хлорофилла связано с увеличением продуктивности и эффективности транспирации.

Результаты нашего исследования подтвердили наличие морфологических изменений у растений, подвергшихся стрессу от засухи, что было дополнительно подтверждено различиями в биохимических параметрах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Blum, L. (1998). Complexity and real computation. Springer Science & Business Media. Referenced https://www.researchgate.net/profile/Lenore Blum/publication/2795593_Complexity and Real Computation_A Manifesto/links/ 00463531f2e3867b3c000000/Complexity-and-Real-Computation-A-Manifesto.pdf

2. Baik B.K., Ullrich S.E. Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest // Journal of cereal science, 2008, 48(2), 233-242.

3. Blake C., Kazin E. A., Beutler F. et al. The WiggleZ Dark Energy Survey: mapping the distance–redshift relation with baryon acoustic oscillations // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2011, 418(3), 1707-1724.

4. Chen S.L., Yu H., Luo H. et al. Conservation and sustainable use of medicinal plants: problems, progress, and prospects // Chinese medicine, 2016, 11, 1-10.

5. Elakhdar A., Solanki S., Kubo T. et al. Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives // Environmental and Experimental Botany, 2022, Jun 20,104965.

6. Farooq M., Wahid A., Kobayashi N.S.M.A. et al. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Sustainable agriculture, 2009, p.153

7. Grando S., Macpherson H.G. Food barley: importance, uses and local knowledge // ICARDA, Aleppo, Syria, 2005

8. Gimenez C., Fereres E. Genetic variability in sunflower cultivars under drought. II. Growth and water relations // Australian journal of agricultural research, 10876, 37(6), 583-597.

10. Porra RJ, Thompson WA, Kriedemann PE. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy // Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics. 1989, 975(3), p. 384-94.

11. Hsiao TC. Plant responses to water stress // Annual review of plant physiology, 1973, 24(1), 519-570.

12. Oukarroum A., Schansker G., Strasser R.J. Drought stress effects on photosystem I content and photosystem II thermotolerance analyzed using Chl a fluorescence kinetics in barley varieties differing in their drought tolerance // Physiologia Plantarum. 2009, 137(2), p.188-99.

13. Zivcak M, Brestic M, Kalaji HM. Photosynthetic responses of sun-and shade-grown barley leaves to high light: is the lower PSII connectivity in shade leaves associated with protection against excess of light // Photosynthesis Research. 2014, 119(3), p. 339-54.

Xülasə

Quraqlıq stressi altında qida arpasının morfofizioloji və biokimyəvi xüsusiyyətlərində dəyişikliklər

E.E. Qafarova

Qlobal iqlim dəyişiklikləri tropik və subtropik bölgələrdə yetişdirilən strateji əhəmiyyətə malik kənd təsərrüfatı bitkiləri üçün ciddi təhlükə yaradır. Bu dəyişikliklərin ən mühüm nəticələrindən biri də bitki inkişafına və məhsuldarlığına mənfi təsir göstərən quraqlıq stresidir. İqlim dəyişiklikləri və quraqlıq hallarını proqnozlaşdırmaq məqsədilə bir sıra simulyasiya modelləri hazırlanmış olsa da, quraqlıq stresinin təsirini azaltmaq və məhsuldarlığı artırmaq üçün əsas bitkilərin davamlılıq qabiliyyətinin artırılması hələ də aktual və mühüm tədqiqat istiqamətlərindən biridir.

Taxıl bitkiləri, iqtisadi və sosial əhəmiyyəti baxımından dünyanın müxtəlif regionlarında əsas qida və yem mənbəyi kimi geniş istifadə olunur. Lakin bu bitkilərin əksəriyyəti quraqlığa qarşı həssasdır. Quraqlığa davamlı genotiplərin yaradılması isə kompleks genetik və fizioloji mexanizmlərin öyrənilməsini tələb edir. Bu istiqamətdə əldə edilən irəliləyişlər əsasən üç tədqiqat sahəsi üzrə - fiziologiya, seleksiya və genetika üzrə aparılan araşdırmalara əsaslanır. Fizioloji tədqiqatlar quraqlıq stresinə məruz qalan bitkilərdə baş verən fizioloji və biokimyəvi dəyişiklikləri təhlil etməklə bu prosesin mexanizmlərini aydınlaşdırmağa çalışır. Təqdim olunan tədqiqat işində taxıl fəsiləsinə məxsus Jalilabad-19 arpa sortu (Hordeum vulgare L.) istifadə olunmuşdur. Quraqlıq şəraitində bu sortun yarpaq morfologiyası, fotosintetik piqmentlərin (xlorofil a və b) miqdarı, fotosistemlərin fotokimyəvi aktivliyi və tolerantlıq indeksi müəyyən edilmişdir. Əldə edilən nəticələr göstərmişdir ki, quraqlıq stressi Jalilabad-19 arpa sortunun morfofizioloji inkişafına mənfi təsir göstərmiş və fotosintetik parametrlərdə zəifləməyə səbəb olmuşdur.

Summary

Changes in the morphophysiological and biochemical characteristics of food barley under drought stress

E.E. Gafarova

The climate changes worldwide pose a significant threat to important crops grown in tropical and subtropical regions. One of the consequences of these changes is drought stress, which negatively impacts plant growth and productivity. In the past, many simulation models were proposed to predict climate change and drought occurrences, and it is crucial to improve key crops to address the challenges of drought stress, which

limits crop productivity and production. Cereals are among the most common and widely used crops due to their economic and social importance. Many regions of the world rely on these crops for food and feed, yet most are vulnerable to drought stress. Researchers find improving drought tolerance challenging, and further studies are needed to understand this stress better. Progress in understanding drought tolerance has been driven by advances in three main research areas: physiology, breeding, and genetics. Physiological research studies the physiological and biochemical changes that occur in plants during drought stress. In the presented work, the Jalilabad-19 barley variety (Hordeum vulgare L.) belonging to the cereal family was used. The morphological characteristics of barley leaves under drought conditions, the number of photosynthetic pigments, and the tolerance index were determined. The determined number of photosynthetic pigments (chlorophyll a and b), the photochemical activity of photosystems, and the tolerance index indicate weak morphophysiological development of the barley plant due to the effect of drought stress.

Daxil olub: 19.12.2024