

СТАТЬИ

УДК 633.16:581.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫМИ ДИАГНОСТИЧЕСКИМИ
МЕТОДАМИ НЕСКОЛЬКИХ ГЕНОТИПОВ ЯЧМЕНЯ
(*HORDEUM L.*) НА СТРЕССОВЫЕ ФАКТОРЫ**

Абдуллаева Л.С., Меджидова Г.С., Рагимова О.Г., Расулова Л.Г.

*Институт генетических ресурсов Министерства науки и образования Азербайджана,
Баку, e-mail: abdullayevalala76mail.ru*

Известно, что при воздействии стрессовых факторов на растения происходит ряд физиологических изменений. С помощью различных диагностических методов эти процессы могут быть изучены, что позволяет предоставить предварительные данные о степени устойчивости растений к засухе и засолению. Изучены были устойчивость к соли и засухе у 10 генотипов ячменя из генофонда Института генетических ресурсов: 10 генотипов ячменя (*Hordeum L.*) № 68.1 *Pallidum Ser* (развитый короткий колос); № 162. 6/21.3 *Nutans*; Экспедиция 2018 г. № 31–32. 5с.1. 5с.2; Экспедиция 2018 г. № 50–51. 9е.1. 9е.2; № 236. 9/18 *H. vulgare* subsp. *Spontaneum* (k.Koch) Thell; № 68.2 *Pallidum Ser* (неразвитый короткий колос); № 66.1 *Nutans Schubl* (жесткой ости); № 223. 9/9 *H. vulgare* subsp. *Spontaneum* (k.Koch) Thell; № 66.2 *Medicum Körn* (гладкий ости); № 264. 19/3.2а *H. vulgare* subsp. *Spontaneum* (k.Koch) Thell., входящих в генофонд Института генетических ресурсов. Один из диагностических показателей, связанный с устойчивостью, – это водоудерживающая способность листьев, которая в данном исследовании колеблется в пределах 40–60%. Также в лабораторных условиях изучали влияние стрессов на содержание хлорофилла (а+б) и оценивали уровни устойчивости образцов к засухе и засолению. Исследования показали, что образцы реагируют на стрессы по-разному: в некоторых случаях количество хлорофилла (а+б) уменьшалось по сравнению с контролем, а в других – увеличивалось. В результате воздействия стрессовых факторов также наблюдалось изменение содержания каротиноидов. Установлено, что в листьях неустойчивых форм, подвергшихся стрессу, количество каротиноидов было выше, чем в контрольном варианте.

Ключевые слова: ячмень, стресс, засоление, засуха, каротиноиды

**STUDY OF SEVERAL GENOTYPES OF BARLEY (*HORDEUM L.*)
ON STRESS FACTORS BY DIFFERENT DIAGNOSTIC METHODS**

Abdullaeva L.S., Medzhidova G.S., Rakhimova O.G., Rasulova L.G.

*Ministry of Science and Education, Genetic Resources Institute, Baku,
e-mail: abdullayevalala76mail.ru*

It is known that a number of physiological processes occur when a plant organism is exposed to stress factors. Various diagnostic methods can be used to study these processes and provide preliminary information about plant resistance to salinity and drought. The salt and drought tolerance of 10 barley (*Hordeum L.*) № 68.1 *Pallidum Ser* (developed short spike); № 162. 6/21.3 *Nutans*; Expedition 2018 year № 31-32. 5c.1. 5c.2; Expedition 2018 year № 50-51. 9e.1. 9e.2; № 236. 9/18 *H. vulgare* subsp. *Spontaneum* (k.Koch) Thell; № 68.2 *Pallidum Ser*. (undeveloped short spike); № 66.1 *Nutans Schubl* (hard awn); № 223. 9/9 *H. vulgare* subsp. *Spontaneum* (k.Koch) Thell; № 66.2 *Medicum Körn* (soft awn); № 264. 19/3.2a *H. vulgare* subsp. *Spontaneum* (k.Koch) Thell. genotypes, included in the gene pool of the Institute of Genetic Resources, was studied using these methods. One of the diagnostic indicators characterizing resistance is the water-holding capacity of leaves. In our study, this index ranges from 40–60%. Also, the influence of stress factors on the content of chlorophyll (a + b) was studied in laboratory conditions and the levels of resistance of samples to drought and salinity were assessed. The study showed that the samples studied demonstrate different degrees of reaction on stress. In some samples, the amount of chlorophyll (a + b) was lower than in the control, and in some cases this amount has increased. As a result of exposure to stress factors, the number of carotenoids has also changed. It was found that the number of carotenoids in the leaves of unstable forms that were exposed to stress was higher than in the control variant.

Keywords: barley, stress, salinity, drought, carotenoids

Одной из основных проблем растениеводства, привлекающей внимание многих ученых и сельского хозяйства, является устойчивость растений к соли и засухе. Засоление и засуха оказывают негативное воздействие, вызывая нарушение осмотического баланса клеток, что отрицательно сказывается на водном балансе растений. В результате этого наблюдается замедление роста и снижение урожайности растений. В настоящее время внешние факторы считаются главным следствием изменения климата на планете. Засуха часто сопровождается экстремальными температурами,

засолением почвы, ее обеднением и накоплением токсичных веществ, что еще больше обостряет жизненные условия растений.

По оценкам специалистов, на долю засоленных земель приходится более 6% поверхности суши, но возделываемые площади характеризуются гораздо большей степенью засоления, которая может достигать 25% и более. Для Азербайджана эта проблема также является крайне актуальной, так как большинство сельскохозяйственных культур выращиваются в регионах, относящихся к зонам риска, и подвергаются постоянному негативному воздействию стресс-

факторов, приводящих к значительным потерям урожая. В этом аспекте выявление сортов и форм, устойчивых к неблагоприятным факторам окружающей среды, является актуальной проблемой сегодняшнего дня. Учитывая все это, в последнее время возрастает интерес к изучению физиолого-биохимических процессов, происходящих в растениях в условиях стресса, определяющих их устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды (засухе и засолению). Для этого используются различные методы диагностики.

Цель исследования заключалась в изучении соле- и засухоустойчивости у 10 генотипов ячменя, входящих в генофонд Института генетических ресурсов.

Материалы и методы исследования

В качестве материала исследования использовались образцы 10 генотипов ячменя, (*Hordeum* L.) № 68.1 *Pallidum* Ser (развитый короткий колос); № 162. 6/21.3 *Nutans*; Экспедиция 2018 г. № 31–32. 5с.1. 5с.2; Экспедиция 2018 г. № 50–51. 9е.1. 9е.2; № 236. 9/18 *H. vulgare* subsp. *Spontaneum* (k.Koch) Thell; № 68.2 *Pallidum* Ser. (неразвитый короткий колос); № 66.1 *Nutans* *Schubl* (жесткая ость); № 223. 9/9 *H. vulgare* subsp. *Spontaneum* (k.Koch) Thell; № 66.2 *Medicum* Körn (гладкая ость); № 264. 19/3.2a *H. vulgare* subsp. *Spontaneum* (k.Koch) Thell.

Для определения устойчивых генотипов к неблагоприятным факторам окружающей среды в исследовании было использовано несколько диагностических методов. Один из таких показателей, характеризующих устойчивость, это способность листьев удерживать воду. Это означает, что количество воды, которое они теряют за определенный период времени (4 ч), рассчитывается на основе начального веса листьев и веса воды, потерянной за этот период. Генотип, утрачивающий меньше воды, считается устойчивым.

Под воздействием стрессовых факторов, анализируя изменения, происходящие в пигментной системе растений, можно составить диагностическое заключение об их устойчивости. Устойчивость этих образцов к засухе и засолению изучали по физиологическим показателям (стресс-индукции пигментного комплекса, в растворе-осмотике 20 атм сахарозы, 14 атм NaCl на стадии полного формирования листьев). Для этого часть вырезки листьев на сутки помещали: в пробирку с раствором-осмотиком сахарозы и NaCl, вторую часть, которая служила контролем, в пробирку с водой. Затем, для экстракции пигментов материал переносили в пробирки с 10 мл раствора 96%-ного этанола до полного высвобождения хлорофилла. С помощью спектрофо-

тометра при воздействии двух показателей длины волны – 665 нм и 649 нм в 96%-ном растворе этанола устанавливали величину оптической плотности хлорофилла «а» и «b». А оптическая плотность каротиноидов определялась по длине волны 450 нм. На основании полученных данных было рассчитано процентное отношение концентрации пигментов в растворе-осмотике к концентрации их в воде (контроль). Это отношение является мерой для определения относительной засухоустойчивости и солеустойчивости. Чем выше устойчивость растений, тем выше этот показатель [1].

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что одним из способов, определяющих устойчивость, является способность листьев удерживать воду. В результате исследований общее количество воды и водоудерживающая способность листьев изменялись в зависимости от генотипа растения. Общее содержание воды варьировало от 89 до 66 % в зависимости от образца. Водоудерживающая способность представляет собой потерю воды листьями за определенный период времени (4 ч) и рассчитывается на основе начального веса листьев и веса воды, потерянной за 4 ч. Генотип, который теряет меньше воды, считается устойчивым. Исследования показали, что этот показатель колеблется в пределах 40–60%. Образцы – Экспедиция 2018 г. № 31–32. 5с.1. 5с.2. (41%), Экспедиция 2018 г. № 50–51. 9е.1. 9е.2 (41%), теряли меньше воды.

Также в лабораторных условиях было проанализировано воздействие стрессовых факторов на содержание хлорофилла. Посредством этого метода были определены концентрации хлорофилла «а», хлорофилла «b» и их суммарного содержания (a+b), а также оценены уровни устойчивости образцов к засухе и засолению. Засоление и стресс засухи, являющиеся неблагоприятными факторами внешней среды, помимо их воздействия на физиологическое состояние растений, значительно влияют на нормальный ход фотосинтеза. Снижение содержания хлорофилла из-за засоления и стресса засухи приводит к снижению интенсивности фотосинтеза. В результате солевого стресса также происходит разрушение зеленых пластидов, что естественным образом уменьшает количество хлорофилла. Изменения в пигментной системе происходят в основном за счет лабильного хлорофилла «а». Хлорофилл «b» относительно более стабилен по сравнению с хлорофиллом «а», что объясняется более прочными связями с молекулами воды.

Изменение параметров водного режима и содержание x1 (a+b) после 24 ч засухи и солевого стресса в листьях у 10 генотипов ячменя в фазу цветения

№	Номер посева	Название образцов	Общее количество воды, %-м	Водоудерживающая способность %-ом	X1 (a+b) в мкг на единицу площади листа			Депрессия %-ом	
					Контроль	Засуха	Засоление	Засуха	Засоление
1	76	№ 68.1 <i>Pallidum Ser</i> (развитый короткий колос)	80	60	6,14	6,85	6,50	111	105
2	82	№ 162. 6/21.3 <i>Nutans</i>	76	52	3,50	4,11	4,17	117	119
3	97	Экспедиция 2018 г. № 31–32. 5с.1. 5с.2	83	41	4,58	4,65	5,17	101	112
4	95	Экспедиция 2018 г. № 50–51. 9е.1. 9е.2	75	41	5,75	5,51	5,24	95	90
5	128	№ 236. 9/18 <i>H. vulgare</i> subsp. <i>Spontaneum</i> (к.Коч) Thell	87	50	4,57	4,43	4,44	96	96
6	77	№ 68.2 <i>Pallidum Ser.</i> (неразвитый короткий колос)	81	54	3,70	3,45	4,04	93	105
7	73	№ 66.1 <i>Nutans Schubl</i> (жесткая ость)	88	66	5,02	4,63	5,39	90	105
8	131	№ 223. 9/9 <i>H. vulgare</i> subsp. <i>Spontaneum</i> (к.Коч) Thell	77	55	4,56	3,96	4,14	86	90
9	74	№ 66.2 <i>Medicum Körn</i> (гладкая ость)	83	50	6,35	5,33	5,64	83	88
10	134	№ 264. 19/3.2a <i>H. vulgare</i> subsp. <i>Spontaneum</i> (к.Коч) Thell	76	61	7,65	5,69	7,02	74	91

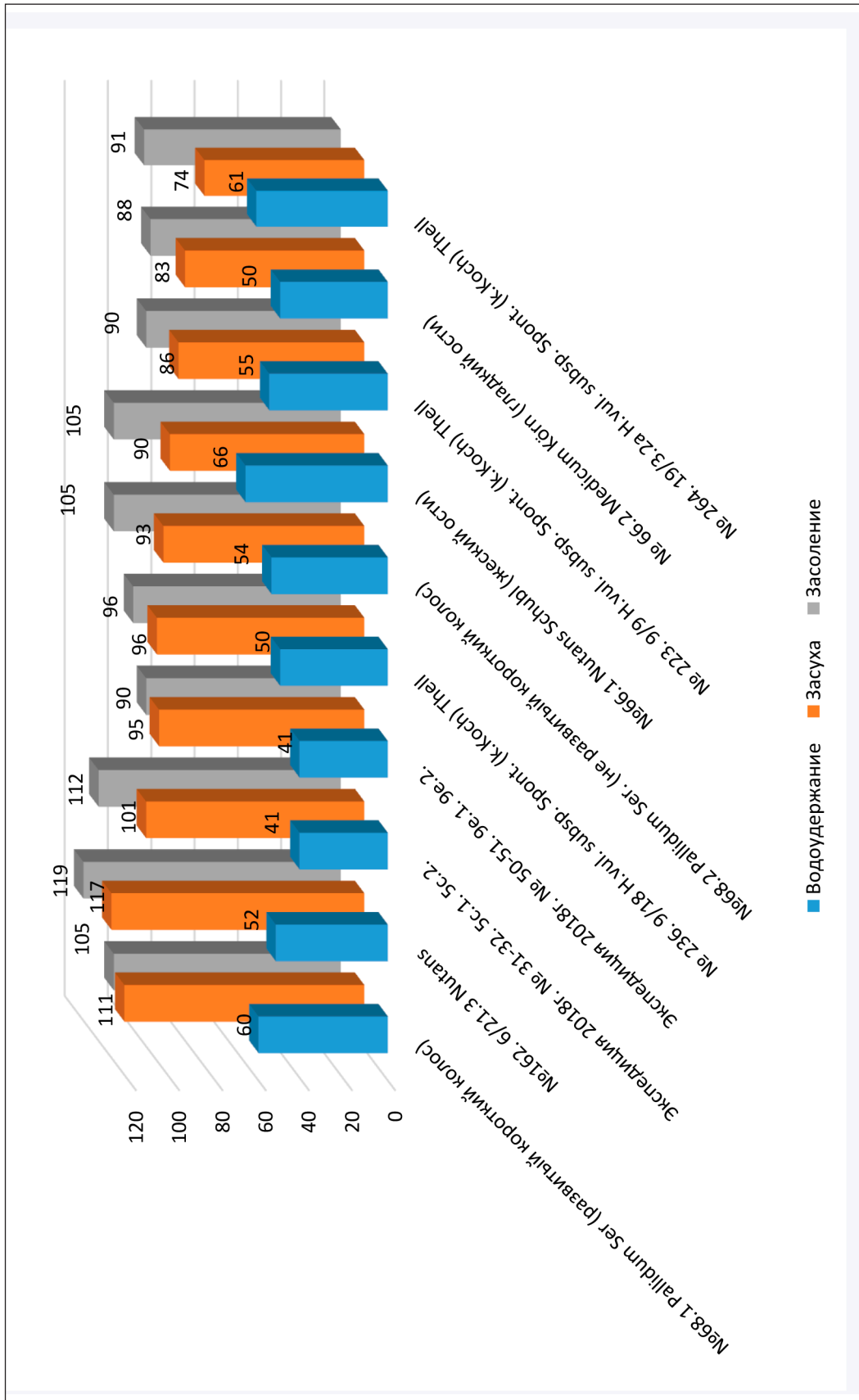


Рис. 1. Показатели степени депрессии хлорофилла (a+b) у 10 генотипов ячменя

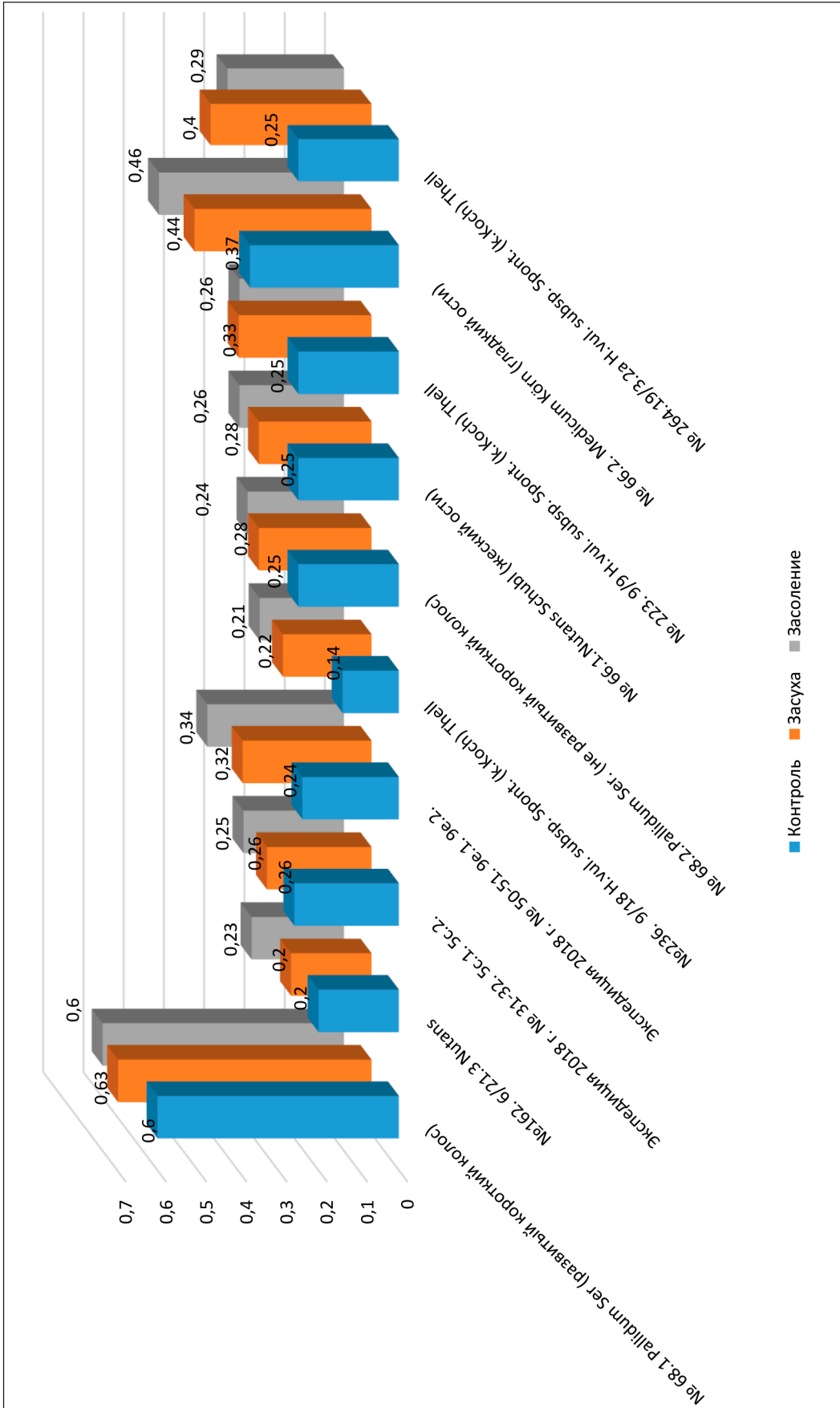


Рис. 2. Изменение содержания каротиноидов в листьях 10 генотипов ячменя (фаза цветения) после 24-часового стресса

Некоторые ученые считают, что увеличение количества хлорофилла в процессе адаптации растений к стрессовым факторам происходит во время интенсивного восстановления структуры клеток, в том числе хлорофилла, при этом количество хлорофилла в стрессовых листьях выше, чем в контрольном варианте. Такое явление встречается только у образцов, обладающих высокой устойчивостью к стрессовым факторам [2, с. 230, 356]. Полученные результаты представлены в таблице. Из данного исследования можно сделать вывод, что изученные образцы ячменя проявили разную степень реакции на стрессовые факторы. В целом по сравнению с засухоустойчивыми количество солеустойчивых образцов было относительно высоким. Высокая солеустойчивость образцов ячменя объясняется активными генами солеустойчивости этого растения.

По полученным результатам (рис. 1), у образца № 68.1 *Pallidum Ser* (развитый короткий колос) с посевным номером 76 под воздействием стрессовых факторов выявлено увеличение содержания хлорофилла ($a+b$) в засухе 11 %, и на 5 % под влиянием соли. А образец № 162. 6/21. 3 *Nutans* с посевным номером 82. этот показатель увеличился при засухе на 17% и под воздействием соли на 19%. По сравнению с контролем увеличение содержание хлорофилла ($a+b$) в двух исследуемых образцах свидетельствует о высокой устойчивости этих образцов к обоим стрессам [3].

Количество хлорофилла ($a+b$) увеличилось на 1 % при засухе и на 12% при засолении у сортов Экспедиция 2018 г. № 31–32.5с.1, 5с.2 с посевным номером 97. Этот образец также можно считать высокоустойчивым к засолению. Под действием стрессовых факторов количество хлорофилла ($a+b$) снизилось на 10–5 % у образцов Экспедиция 2018 г. № 50–51.9е.1, 9е.2 с посевными номерами 95 и № 236 9/18 *H. vulgare* subsp. *Spontaneum* (k.Koch) с посевным номером 128 по сравнению с контролем. На основании полученных результатов оба образца можно оценить как устойчивые и к засухе, и к засолению [4].

Исходя из данных, можно сделать вывод, что под воздействием стрессовых факторов образцы № 68.2 *Pallidum Ser*. и № 66.1 *Nutans* Schubl проявили высокую устойчивость к засухе и солевому стрессу [5].

Из результатов наблюдалось уменьшение количества хлорофилла ($a+b$) при засухе в образцах с посевными номерами 131 (№ 223. 9/9 *H. vulgare* subsp. *Spontaneum* (k.Koch) Thell) и 74 (№ 66.2 *Medicum Körn* гладкая ости) на 16–17%, под влиянием солевого стресса на 10–12%. Эти образцы являются среднеустойчивыми к обоим стрес-

сам. У образца № 264. 19/3.2a *H. vulgare* subsp. *Spontaneum* (k.Koch) Thell с посевным номером 134 было выявлено снижение содержания хлорофилла ($a+b$) на 26% при засухе по сравнению с контролем. Под действием стресса (соль) уменьшение составило 9%. По полученным результатам можно оценить этот образец неустойчивым к засухе, но устойчивым к засолению.

В результате воздействия стрессовых факторов в изученных образцах также наблюдались изменения в содержании каротиноидов. В некоторых случаях отмечалось увеличение их содержания по сравнению с контролем, а в других случаях – снижение [6]. Это объясняется тем, что каротиноиды выполняют защитную функцию, способствуя восстановлению подвергшихся стрессу хлорофиллов до прежнего состояния, что проявляется в увеличении их содержания. Таким образом, в листьях неустойчивых форм, подвергшихся стрессу, содержание каротиноидов оказалось выше, чем в контрольном варианте (рис. 2) По результатам проведенных исследований сравнительно с засухоустойчивыми формами количество солеустойчивых образцов было выше [7].

Заключение

Проведенная исследовательская работа позволяет оценивать устойчивые генотипы и использовать их в качестве первичного материала в селекционной работе.

Список литературы

1. Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: материалы XI Международного симпозиума. М.: РУДН, 2015. 229 с.
2. Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды: сборник материалов Годичного собрания Общества физиологов растений России, Всероссийской научной конференции с международным участием и школы молодых ученых (Иркутск, 10–15 июля 2018 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. В 2 ч. Ч. I. 880 с.
3. Удовенко Г.В. Исследование физиологии устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Л., 1975. Т. 56. Вып. 1. С. 151–161.
4. Иванищев В.В. Новые направления исследований в повышении солеустойчивости растений // Известия Тульского государственного университета. 2021. Вып. 2. С. 49–50.
5. Ионова Е.В., Газе В.Л., Марченко Д.М., Некрасов Е.И. Показатели водного режима растений озимой мягкой пшеницы при различных условиях вынашивания // Аграрный вестник Урала. 2014. № 10 (128). С. 18–21.
6. Иванов А.А. Совместное действие водного и солевого стрессов на фотосинтетическую активность листьев пшеницы разного возраста // Физиология и биохимия культурных растений. 2013. Т. 45, № 2. С. 155–162.
7. Majidova G.S., Garaybayova N.A., Shafizadeh S.I., Abishova Kh.Sh., Rahimova O.H., Hasanova S.G. Assessment of drought and salinity stresses on concentration of photosynthetic pigments and non enzymic antioxidants of barley (*Hordeum L.*) genotypes // European Journal of Natural History. 2021. № 2. P. 8–11.