

## ОЦЕНКА СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ ГЕНОТИПОВ СИНТЕТИЧЕСКОЙ ПШЕНИЦЫ ЯПОНСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Мамедова С.А., Бабаева М.А.

*Институт Генетических Ресурсов НАН Азербайджана, Баку, e-mail: smamedova2002@mail.ru*

Целью исследования являлась оценка устойчивости образцов синтетической пшеницы японского происхождения к искусственному ускоренному старению. Проводился сравнительный анализ жизнеспособности семян, поражаемости семян болезнями при прорастании и содержания белка в контрольных и опытных семенах. К исследованию привлечено 13 образцов гексаплоидной синтетической пшеницы японского происхождения, полученных из СИММУТ и интродуцированных на Опытной Станции (Джалилабад). В качестве стандартного сорта был выбран сорт мягкой пшеницы – Безостая-1. Сравнительный анализ жизнеспособности проводился по тесту лабораторной всхожести семян. Оценка степени поражения семян при прорастании проводилась по общепринятой методике. Содержание белка в семенах определялось классическим химическим методом Кьельдаля. Оценка устойчивости семян генотипов синтетической пшеницы к стрессу ускоренного старения показала, что по показателям всхожести образец № 66 – 2105 проявил большую устойчивость. Из всех привлеченных к исследованию образцов наименее устойчивыми по показателям всхожести проявили себя образцы № 64 – 2098 и № 67 – 2159. Наиболее подверженным болезням при ускоренном старении оказался также образец № 64 – 2098, наиболее устойчивым же образец № 66 – 2105. Для этого образца отмечено наименьшее увеличение процента пораженных семян относительно контрольного варианта. В процентном соотношении наибольшим общим содержанием белка в семени выделился образец № 59 – 929. При ускоренном старении семян этого образца содержание белка понизилось на 5,68%. Для образца № 70 – 2078 было характерно понижение содержания белка в семенах всего на 0,1%. У семян образца № 66 – 2105, оказавшегося по показателям всхожести и подверженности инфицированию наиболее устойчивым к действию стресса, содержание белка понизилось почти в 2 раза, что может быть объяснено генетическими особенностями образца.

**Ключевые слова:** синтетическая пшеница, искусственное старение, устойчивость, всхожесть, семена, белок

## ASSESSMENT OF STRESS RESISTANCE OF JAPANESE ORIGIN GENOTYPES OF SYNTHETIC WHEAT

Mamedova S.A., Babayeva M.A.

*Institute of Genetic Resources of ANAS, Baku, e-mail: smamedova2002@mail.ru*

The aim of the study was to assess the resistance of samples of synthetic wheat of Japanese origin to artificial accelerated aging. A comparative analysis of the seeds viability, the infectability of seeds with diseases during germination and the protein content in control and experimental seeds was carried out. 13 samples of hexaploid synthetic wheat of Japanese origin obtained from CIMMYT and introduced at the Experimental Station (Jalilabad) were involved in the research. The soft wheat variety – Bezostaya-1 was chosen as the standard variety. A comparative analysis of viability was carried out according to the test of laboratory germination of seeds. Assessment of the degree of seed lesion during germination was carried out according to a generally accepted method. The protein content in the seeds was determined by the classical Kjeldahl chemical method. Evaluation of the resistance of seeds of synthetic wheat genotypes to the stress of accelerated aging showed that in terms of germination, sample №66 – 2105 showed greater resistance. Among the samples involved in the study, samples №64 – 2098 and №67 – 2159 were the least stable in terms of germination. Sample №64 – 2098 was also the most susceptible to diseases, while sample №66 – 2105 was the most resistant. For this sample, the smallest increase in the percentage of affected seeds relative to the control variant was noted. As a percentage, the highest total protein content in the seed was sample №59 – 929. With accelerated aging of the seeds of this sample, the protein content decreased by 5.68%. Sample № 70-2078 was characterized by a decrease in the protein content in the seeds by only 0.1%. In the seeds of sample No. 66 – 2105, which turned out to be the most resistant to stress in terms of germination and susceptibility to infection, the protein content decreased by almost 2 times, which can be explained by the genetic particularities of the sample.

**Keywords:** synthetic wheat, artificial aging, resistance, germination, seeds, protein

Синтетические пшеницы с привлечением генетического потенциала *Aegilops L.* широко используются в селекционных программах ведущих центров мира, что способствует существенному расширению генотипического разнообразия исходного материала и получению новых урожайных с высоким качеством зерна форм пшеницы [1; 2]. В настоящее время повышение потенциала продуктивности достигается в основном

за счет создания сортов, способных производить максимальное число полноценных зерен на единицу площади [3]. Обогащением и совершенствованием генов культурной пшеницы за счет гибридизации между дикими сородичами – *Aegilops squarrossa* ( $2n = 14 DD$ ), *T. dicoccum* ( $2n = 28, AABB$ ) или *T. durum* ( $2n = 28, AABB$ ) – создается устойчивая к неблагоприятным условиям окружающей среды синтетическая гекса-

плоидная пшеница ( $2n = 42$ , AABBDD). В настоящее время считается установленным, что донором генома D является *Ae. squarrosa* L. Благодаря геному D, имеющему большое эволюционное значение для пшеницы, гексаплоидные виды формируют доброкачественную клейковину и высокую зимостойкость, что повышает их производственное значение, способствует широкому распространению [4].

Потребность в устойчивых и адаптированных сортах растений предопределила необходимость изучения ответных реакций растений на воздействие неблагоприятных условий среды, последствий старения семян разных видов и сортов растений [5]. Известно, что семена, которые лучше переносят неблагоприятные условия ускоренного искусственного старения, более устойчивы к абиотическим стрессорам при прорастании [6].

Семена подвергаются процессам старения, что ограничивает их жизнеспособность и в итоге вызывает потерю способности прорасти. Хранение семян – важный научный вопрос, связанный с устойчивостью семян к множеству факторов, как внутренних (генетических, структурных, физиологических), так и внешних (микробиота, температура и влажность). Использование метода ускоренного старения, представляющего собой содержание семян в условиях повышенной влажности и температуры воздуха, позволяет моделировать условия неблагоприятного хранения посевного материала [5] и производить быструю и эффективную оценку силы роста зерновых культур в лабораторных условиях. У семян процесс старения заключается в физиолого-биохимических изменениях, происходящих при неблагоприятных условиях хранения, в накоплении ингибиторов роста и токсичных продуктов метаболизма [7; 8]. При ускоренном старении в условиях высокой влажности и температуры воздуха действие свободных радикалов и перекисное окисление липидов приводит к деградации структуры мембран и целостности ДНК, а также сопровождается снижением активности большинства ферментов в клетке [5; 9]. При старении воздушно-сухих семян в процессе длительного хранения происходят в основном неферментативные реакции, не требующие присутствия большого количества воды [9]. По мере старения активность антиоксидантов семян значительно снижается, тогда как электрическая проводимость семян значительно увеличивается [10].

Цель исследования заключалась в сравнительной оценке устойчивости образцов синтетической пшеницы японского происхождения к искусственному ускоренному старению по показателям всхожести семян, поражаемости семян болезнями и содержанию белка в семенах.

#### Материал и методы исследования

13 образцов гексаплоидной синтетической пшеницы японского происхождения, полученные из CIMMYT, были интродуцированы на Опытной Станции (Джалилабад) Института Земледелия МСХ Азербайджана: № 59 LANGDON/AE.sq–929, № 60 LANGDON/IG – 48042, № 61 LANGDON/IG – 126387, № 62 LANGDON/KU – 2092, № 64 LANGDON/KU – 2098, № 65 LANGDON/KU – 2100, № 66 LANGDON/KU – 2105, № 67 LANGDON/KU – 2159, № 68 LANGDON/KU – 2829A, № 69 LANGDON/KU – 20-10, № 70 LANGDON/KU – 2078, № 71 LANGDON/KU – 2079, № 72 LANGDON/PI – 499262 и стандартный сорт Безостая-1 (№ 73). По 200 семян каждого из 13 образцов были состарены, 100 из которых были посажены в чашки Петри по 50 семян в двух повторах, а 100 семян были перемолоты для анализа содержания белка. Также проводился анализ содержания белка в контрольных семенах.

Стресс ускоренного старения семян заключался в 3-дневном содержании семян в условиях повышенной относительной влажности (95%) и температуре воздуха (40 °C) [5], что позволяет моделировать воздействие неблагоприятных факторов и прогнозировать их влияние на устойчивость семян различных сортов и образцов растений. Оценка жизнеспособности проводилась по тесту лабораторной всхожести семян, выражаемой в процентах от общего числа посаженных семян ( $n$ ) [11]:

$$G = (A \times 100\%) / n,$$

где  $A$  – число взошедших семян.

Оценка поражаемости семян проводилась по общепринятой методике [1]. Для оценки степени поражения состаренных семян плесневыми грибами в лабораторных условиях в каждом варианте опыта подсчитывали количество пораженных семян. Контролем служили необработанные семена.

Содержание белка в семенах измерялось классическим химическим методом Кьельдаля в соответствии с международными стандартами (к 0,3–0,5 г тонкомолотого образца добавляли 5–7 мл серной кислоты

и 1 г катализатора, поэтапно кипятили, после чего титровали и определяли содержание азота) [12].

### Результаты исследования и их обсуждение

Для оценки функциональных нарушений жизнеспособности семян при ускоренном старении, как и во всех предыдущих опытах, нами использовался такой интегральный показатель, как их всхожесть (рис. 1) [11]. В контрольном варианте опыта всхожесть семян изучаемых образцов варьировала в пределах 84,0–98,0%. Для образца № 68 LANGDON/KU-2829A отмечен самый низкий показатель всхожести семян. Высокие показатели всхожести были характерны для образцов № 71 LANGDON/KU-2079, № 72 LANGDON/PI 499262 и стандартного сорта Безостая-1.

Как известно, старение семян любых видов растений активизируется при повышении влажности и температуры, при которой хранятся семена, при наличии механических повреждений, в зависимости от зрелости семян, при наличии микрофлоры. Губительное действие ускоренного старения на всхожесть семян неоспоримо, однако нас интересовал сравнительный анализ ответной реакции каждого образца синтетической пшеницы на стресс.

Анализ всхожести семян 14 образцов синтетической пшеницы показал, что ускоренное старение подавляло прорастание семян. Причем у различных образцов это ингибирование проявлялось в разной степе-

ни. Так, у образцов № 64 LANGDON/KU-2098 и № 67 LANGDON/KU-2159 отмечено максимальное понижение всхожести семян (на 88,0%), а для образца № 66 LANGDON/KU-2105 потеря всхожести составила 46,0%, что в два раза меньше, чем у более чувствительных образцов. Для остальных изучаемых образцов было характерно падение всхожести в пределах 62,0–76,0%.

Положительная температура хранения семян ускоряет физиолого-биохимические процессы, происходящие в семенах, что способствует развитию грибной инфекции, что в свою очередь приводит к снижению качества семян. Согласно литературным данным, чем меньше семена заражены патогенными грибами, тем выше энергия прорастания и всхожесть семян [13]. Семена всех образцов, привлеченных к опыту, были получены с растений, выращенных в идентичных почвенно-климатических условиях, а также содержались и проращивались в одинаковой среде.

В процессе проращивания семян синтетической пшеницы было отмечено их поражение сапротрофными плесневыми грибами родов *Mucor spp.* и *Penicillium spp.* (рис. 2). Известно, что геном D несет в себе восприимчивость к болезням [1]. В нашем эксперименте в контрольном варианте опыта поражение семян патогенами наблюдалось у всех образцов, но в разной степени. Наиболее восприимчивым оказался образец № 70 LANGDON/KU-2078 (38,0%), устойчивым же себя проявил образец № 72 LANGDON/PI499262 (6,0%).

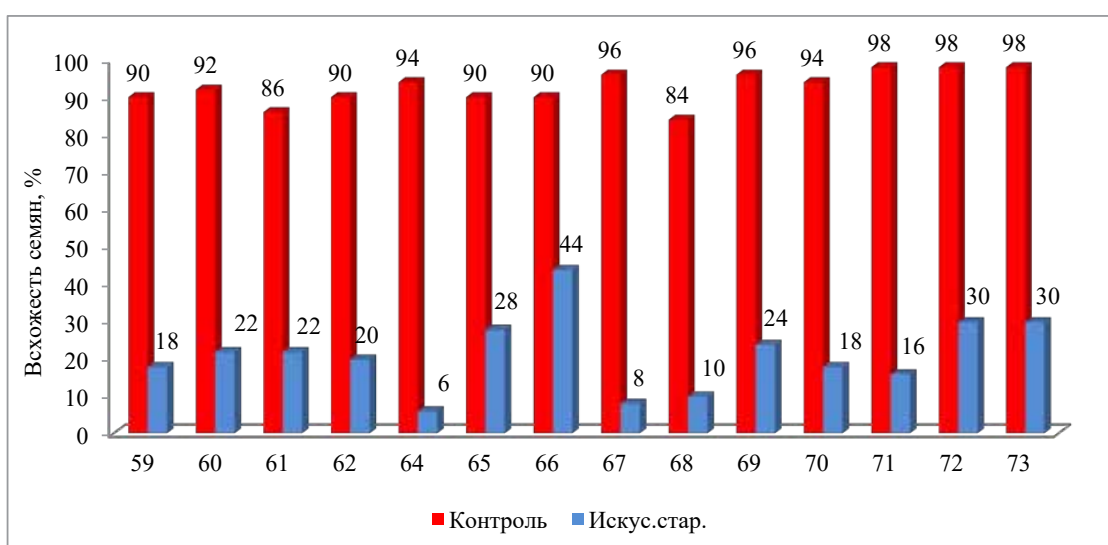


Рис. 1. Всхожесть контрольных и искусственно состаренных семян генотипов синтетической пшеницы японского происхождения и стандартного сорта пшеницы Безостая-1

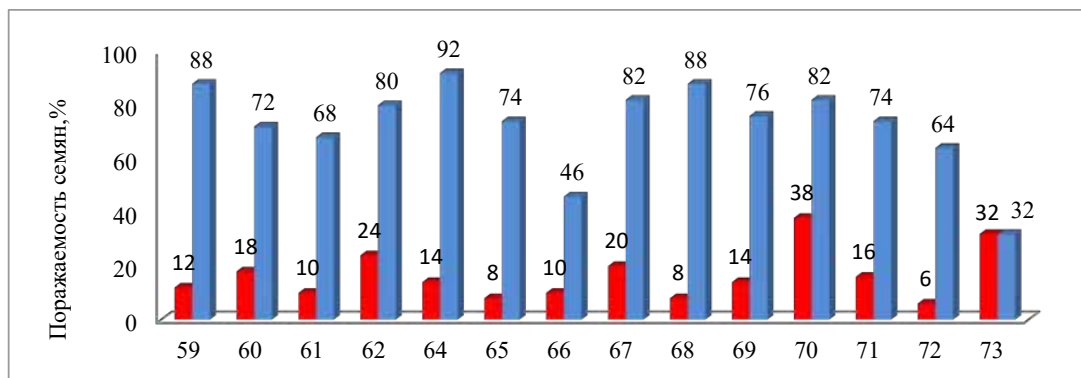


Рис. 2. Поражаемость болезнями контрольных и искусственно состаренных семян генотипов синтетической пшеницы японского происхождения и стандартного сорта пшеницы Безостая-1

Для исследования степени инфицирования состаренных семян исследуемых образцов синтетической пшеницы также была проведена их фитопатологическая оценка. Так, сильно восприимчивым к болезням при ускоренном состаривании оказался образец № 64 LANGDON/KU-2098 (92,0% пораженных семян), наиболее устойчивым же образец № 66 LANGDON/KU-2105 (46,0% пораженных семян), причем для этого образца отмечено наименьшее увеличение процента пораженных семян по сравнению с контрольным вариантом (на 36,0%). Количество пораженных семян у образца № 70 LANGDON/KU-2078 увеличилось на 44,0%, а у образца № 72 LANGDON/PI499262 с 6,0% до 64,0%, на 58,0%.

Сопоставление результатов анализа всхожести семян после их искусственного состаривания и степени пораженности позволило выявить образец № 66 LANGDON/KU-2105, устойчивый как к стрессу старения, так и к инфицированию патогенами.

Далее представлял интерес анализ изменения содержания белка в семенах синтетической пшеницы японского происхождения до и после воздействия стресса (таблица). Согласно литературным данным, понижение жизнеспособности семян часто связано с расходом белков и углеводов. При соответствующих условиях хранения содержание этих веществ в семенах изменяется слабо. При сухом хранении жизнеспособность семян может снижаться в результате постепенной коагуляции белков зародышей [14]. При повышенных значениях влажности и температуры хранения коагуляция превращает их в нерастворимую белковую массу. Приво-

дящая к блокированию энзиматической системы денатурация нарушает метаболизм, в результате чего снижается энергия прорастания и всхожесть семян [12]. Считается, что активные формы кислорода инициируют старение семян за счет разрушения клеточной мембраны, фосфолипидов, структурного и функционального ухудшения белков. У пшеницы в ходе естественной эволюции наиболее многочисленными и конкурентоспособными оказались генотипы со средним содержанием белка в семенах. По литературным данным, общее содержание белка в семенах синтетической гексаплоидной пшеницы колеблется в пределах 12,5–24,0% [1, с. 45]. Экстремальное отклонение содержания белка или некоторых аминокислот в семенах за пределы нормы реакции может также существенно влиять на всхожесть семян и жизнеспособность растений [12]. Известно, что чем больше белка содержится в семени, тем большее количество аминокислот будет содержаться в единице его веса. С уменьшением количества аминокислот снижается биологическая ценность белка [6].

На содержание белка в зерне большое влияние оказывает окружающая среда, что усложняет процесс селекции на повышение общего содержания белка в зерне. Как правило, существует отрицательная корреляция между содержанием белка в зерне и урожайностью зерна [3]. В литературе встречаются экспериментальные свидетельства положительной корреляции между содержанием белка в зерне и массой зерен. В наших экспериментах анализ показателей содержания белка и массы 100 семян не выявил какой-либо корреляции.

Содержание белка в контрольных и искусственно состаренных семенах  
синтетической пшеницы японского происхождения

№	Образцы	Вес 100 семян, г	Содержание белка в семенах, %	Содержание белка в состаренных семенах, %
1	59 – 929	43,27	18,08	12,4
2	60 – 48042	40,16	14,8	13,9
3	61 – 126387	49,38	14,5	13,5
4	62 – 2092	44,17	17,3	11,1
5	64 – 2098	50,34	14,25	12,2
6	65 – 2100	48,25	14,5	11,97
7	66 – 2105	43,13	14,7	7,93
8	67 – 2159	47,13	13,2	12,5
9	68 – 2829А	45,31	13,2	7,39
10	69 – 20-10	50,28	12,9	10,6
11	70 – 2078	45,82	14,7	14,6
12	71 – 2079	19,24	13,0	4,86
13	72 – 499262	40,12	12,7	12,2
14	73 Безостая-1	44,35	12,9	12,0

Как видно из таблицы, показатель общего содержания белка в семенах синтетической гексаплоидной пшеницы японского происхождения колебался в пределах от 12,7 до 18,08%. Наиболее высокое содержание белка в семени отмечено у образца № 59 LANGDON/AE.sq.929 (18,08%). Однако при ускоренном состаривании семян этого образца содержание белка понизилось на 5,68% и составило 12,4%. Для образца № 70 LANGDON/ KU-2078 было характерно понижение содержания белка в семенах с 14,7% в контрольных семенах до 14,6% после стрессового воздействия, т.е. всего на 0,1%. Низким содержанием белка в семени отличился образец № 72 LANGDON/PI 499262 (12,7%). Искусственное состаривание привело к понижению содержания белка в семенах этого образца на 0,5%. Что касается семян образца № 66 LANGDON/KU-2105, оказавшегося по показателям всхожести и подверженности инфицированию наиболее устойчивым к действию стресса, содержание белка понизилось почти в 2 раза, что может быть детерминировано генетическими особенностями образца.

### Заключение

Сохранение генетической целостности образцов путем хранения семян в семенных банках жизненно важно. Однако потеря семенами жизнеспособности при хранении из-за старения представляет собой серьезную проблему, поскольку приводит

к нехватке материала для воспроизводства и в конечном счете к утере ценнейшего семенного фонда.

Сравнительная оценка устойчивости к старению семян изученных образцов синтетической пшеницы японского происхождения позволила сделать выводы, что по показателям всхожести и степени инфицирования патогенами после ускоренного старения образец № 66 LANGDON/KU-2105 проявил большую устойчивость. Содержание белка в семенах этого образца понизилось почти в 2 раза. Образцы № 64 LANGDON/KU-2098 и № 67 LANGDON/KU-2159 проявили себя как более чувствительные к стрессовому воздействию.

Для выведения новых устойчивых к биотическим и абиотическим стрессовым факторам генотипов пшеницы целесообразно использовать рекомендуемые более устойчивые и высокобелковые образцы.

### Список литературы / Reference

1. Лапочкина И.Ф., А.Аль Лаббан, Макарова И.Ю., Гайнуллин Н.Р., Жемчужина А.И. Оценка и характеристика образцов коллекции синтетической пшеницы (2n=42) как новых источников устойчивости к бурой ржавчине и мучнистой росе в условиях нечерноземной зоны РФ // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2011. Вып. 6. С. 43-45.

Lapochkina I.F., A.Al Labban, Makarova I.Yu., Gainullin N.R., Zhemchuzhina A.I. Assessment and characterization of samples of the collection of synthetic wheat (2n = 42) as new sources of resistance to leaf rust and powdery mildew in the non-chernozem zone of the Russian Federation // Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2011. Is. 6. P. 43-45 (in Russian).

2. Мамедова С.А., Бабаева М.А. Оценка генотипов синтетической пшеницы по устойчивости к старению // Роль физиологии и биохимии в интродукции и селекции сельскохозяйственных растений: материалы V международной научно-методологической конференции (Москва, 15-19 апреля 2019 г.). Изд-во РУДН, 2019. С. 72-74.
- Mammadova S.A., Babaeva M.A. Assessment of genotypes of synthetic wheat by resistance to aging // *Rol' fiziologii i biokhimii v introduktsii i selektsii sel'skokhozyaystvennykh rasteniy: materialy V mezhdunarodnoy nauchno-metodologicheskoy konferentsii* (Moskva, 15-19 aprelya 2019 g.). Izd-vo RUDN. 2019. P. 72-74 (in Russian).
3. Крупнова О.К. О взаимосвязи урожайности с содержанием белка в зерне у зерновых и бобовых культур // Сельскохозяйственная биология. 2009. № 3. С. 13-23.
- Krupnova O.K. On the relationship between yield and protein content in grain in cereals and legumes // *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2009. № 3. P. 13-23 (in Russian).
4. Ogbonnaya F.C., Abdalla O., Mujeeb-Kazi A., Kazi A.G., Xu S.X., Gosman N., Lagudah E.S., Bonnett D., Sorrells M.E., Tsujimoto H. Synthetic hexaploids: Harnessing species of the primary gene pool for wheat improvement. *Plant breeding reviews*. 2013. № 37. P. 35-122.
5. Смоликова Г.Н. Применение метода ускоренного старения для оценки устойчивости семян к стрессовым воздействиям // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2014. Сер. 3. Вып. 2. С. 82-93.
- Smolikova G.N. Application of the method of accelerated aging to evaluate the stress tolerance of seeds // *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta*. 2014. Ser. 3. Is. 2. P. 82-93 (in Russian).
6. Мамедова С.А., Бабаева М.А. Изучение устойчивости семян различных генотипов синтетической пшеницы к старению // Технические и естественные науки: инновации и перспективы: материалы Международной научно-практической конференции (г. Белгород, 30 января 2020 г.) Белгород: Изд-во ООО АПНИ, 2020. С. 27-30.
- Mammadova S.A., Babayeva M.A. Study of the resistance of various genotypes synthetic wheat seeds to aging // *Tekhnicheskiye i yestestvennyye nauki: innovatsii i perspektivy: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (g. Belgorod, 30 yanvarya 2020 g.) Belgorod: Izd-vo ООО APNI, 2020. P. 27-30 (in Russian).
7. Веселова Т.В. Изменение состояния семян при их хранении, проращивании и под действием внешних факторов (ионизирующего излучения в малых дозах и других слабых воздействий), определяемое методом замедленной люминесценции: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2008. 48 с.
- Veselova T.V. Changes in the state of seeds during storage, germination and under the influence of external factors (ionizing radiation in small doses and other weak influences), determined by the method of delayed luminescence: avtoref. dis. ... cand. biol. nauk. Moskva, 2008. 48 p. (in Russian).
8. Мамедова С.А., Ахундов А.Ф. Сортовые различия герогенеза семян лука // Роль физиологии и биохимии в интродукции и селекции овощных, плодово-ягодных и лекарственных растений: материалы III Международной конференции (Москва, 15-17 февраля 2017 г.). М.: Изд-во РУДН, 2017. С. 298-300.
- Mammadova S.A., Akhundov A.F. Varietal differences in the gerogenesis of onion seeds // *Rol' fiziologii i biokhimii v introduktsii i selektsii ovoshchnykh, plodovo-yagodnykh i lekarstvennykh rasteniy: materialy III Mezhdunarodnoy konferentsii* (Moskva, 15-17 fevralya 2017 g.). M.: Izd-vo RUDN, 2017. P. 298-300 (in Russian).
9. Швачко Н.А., Хлесткина Е.К. Молекулярно-генетические основы устойчивости семян к окислительному стрессу при хранении // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24. № 5. С. 451-458.
- Shvachko N.A., Khlestkina E.K. Molecular genetic foundations of seed resistance to oxidative stress during storage // *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2020. Vol. 24. № 5. P. 451-458 (in Russian).
10. Navjot Singh Brar, Prashant Kaushik, Bagrawat Singh Dudi Assessment of Natural Ageing Related Physio-Biochemical Changes in Onion Seed. *Agriculture*. 2019. Vol. 9. № 163. [Электронный ресурс]. URL: [www.mdpi.com/journal/agriculture](http://www.mdpi.com/journal/agriculture) (дата обращения: 15.01.2022).
11. Мамедова С.А., Ибрагимова З.Ш., Алиев Р.Т. Оценка устойчивости различных образцов пшеницы к старению, засухе и засолению // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 12. С. 84-87.
- Mammadova S.A., Ibragimova Z.Sh., Aliyev R.T. Estimation of resistance of the different wheat varieties to aging, drought and salinity // *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2018. № 12. P. 84-87 (in Russian).
12. Митрофанова О.П., Хакимова А.Г. Новые генетические ресурсы в селекции пшеницы на увеличение содержания белка в зерне // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. № 20 (4). С. 545-554.
- Mitrofanova O.P., Khakimova A.G. New genetic resources in wheat breeding to increase the protein content in the grain // *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2016. № 20 (4). P. 545-554 (in Russian).
13. Николаева М.А., Варенцова Е.Ю., Сафина Г.Ф. Влияние температурных режимов хранения семян сосны и ели на всхожесть и зараженность патогенными грибами // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. № 182 (1). С. 157-167. DOI: 10.30901/227-8834-2021-1-157-167.
- Nikolaeva M.A., Varentsova E.Yu., Safina G.F. Influence of temperature storage conditions of pine and spruce seeds on germination and infection with pathogenic fungi // *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*. 2021. № 182 (1). P. 157-167. DOI: 10.30901/227-8834-2021-1-157-167 (in Russian).
14. Шабанов Р.Ю., Есоян Е.А., Астафьева В.Е., Еськова О.В., Савченко М.В., Кириленко Н.Г., Савченко А.А. Хранение семян эфиромасличных и лекарственных растений // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 55. С. 287-294.
- Shabanov R.Yu., Yesoyan E.A., Astafyeva V.E., Eskova O.V., Savchenko M.V., Kirilenko N.G., Savchenko A.A. Storage of seeds of essential oil and medicinal plants // *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. № 55. P. 287-294 (in Russian).