УДК 633. 11: 631. 524. 85: 632. 111. 5 DOI:10.25695/AGRPH.2020.04.05

УСКОРЕННАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГЕНОТИПОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) К ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ТЕМПЕРАТУРАМ

Н. Н. Желев, А. П. Даскалюк, Д. Д. Желев

Институт генетики, физиологии и защиты растений
MD-2002, Республика Молдова, Кишинёв, ул. Пэдурий, 20
E-mail: jelevnn@yahoo.com

Поступила в редакцию 19 октября 2020 г., принята к печати 25 ноября 2020 г.

Изучены особенности реакции семян сортов озимой пшеницы на воздействие низких температур, вызвавших *шок отрицательных температур* (*ШОТ*), и эффективность мобилизации запасных веществ в эндосперме в процессе формирования и прорастания проростков с целью разработки метода ускоренной оценки устойчивости генотипов к морозу. В качестве *граничного шока отрицательных температур* ($ШОТ_{гр.}$) рассматривалось значение температуры, при котором происходило снижение всхожести семян сорта со средней морозостойкостью до 50%. Исходя из особенностей воздействия $ШОТ_{гр.}$ на семена растений пшеницы до посева в опытных вариантах определено его влияние на всхожесть и аккумуляцию биомассы проростков исследуемых сортов. Установлено, что чем ниже процент всхожести семян в опытных вариантах, тем меньшая доля биомассы эндосперма зерна использовалась при их прорастании и развитии проростка. Распределение сортов пшеницы, основанное на рациональном использовании потребленной части эндосперма, было одинаковым в контрольном и опытных вариантах. Однако численные значения различий между *«экономными»* и *«менее экономными»* сортами были выше в вариантах опыта с воздействием $ШОТ_{гр.}$, что дает возможность рекомендовать данный метод для использования при проведении сравнительной оценки морозостойкости различных генотипов озимой пшеницы.

Ключевые слова: гексаплоидная пшеница, запасные вещества эндосперма, шок отрицательных температур, устойчивость генотипов к морозу, экспресс-метод.

ACCELERATED ASSESSMENT OF WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) GENOTYPES RESISTANCE TO NEGATIVE TEMPERATURES

N. N. Jelev, A. P. Dascaliuc, D. D. Jelev

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, Moldova

The features of the reaction of winter wheat seeds of different varieties to the impact of a frost shock (*FSh*) were studied. As a boundary temperature for *FSh*, named FSh_b, the *FSh* that caused up to 50% decrease in seeds (with an average resistance to frost) germination was considered. Based on the impact of FSh_b on the seeds of various wheat varieties the effect of FSh_b on the germination and growth of seedlings of the studied wheat varieties was determined. It was shown that the lower was the percentage of seed germination after exposure to FSh_b, the lower was the proportion of seed endosperm used for germination and growth. Besides, the distribution of the wheat varieties based on the part of endosperm consumed for germination and growth was the same in control and experimental treatments. Thus, the seeds of winter wheat varieties that sparingly use reserve substances for germination and growth retained this ability after exposure to FSh_b. The numerical values of the differences between the «*economical*» and «*less economical*» varieties were higher in FSh_b treatments and for this reason the method can be recommended for a comparative assessment of frost resistance of different winter wheat genotypes.

Keywords: hexaploid wheat seeds, endosperm nutrients, negative temperature shock, frost resistance, express-method.

ВВЕДЕНИЕ

В ходе эволюции растения выработали специфические механизмы первичной и индуцированной устойчивости для выживания в зимний период, которые включают анатомо-морфологические (Potters et al., 2009), физиологические, биохимические (Sanghera, 2011), генетические и эпигенетические (Mirouze, Paszkowski, 2014) компоненты адаптации. В комплексе они определяют выживание и продуктивность растений в различных условиях окружающей среды (Иванисов, 2019; Atkinson, Urwin, 2012; Wheeler, Ellis, Prasad, 2000; Wheeler, Ellis, Morison, 1996). Эволюционный отбор основывается на гармонизации соотношения между ресурсами, затрачиваемыми на выживание материнского растения и получение потомства в реальных условиях (Jan et al., 2009). Избыточное выделение ресурсов или их недостаток могут привести к гибели материнского растения, снижению численности потомства или его полному отсутствию (Porter, Gawith, 1999; Levitt, 1980). Таким образом, «*стоимость»* ресурсов устойчивости является важным параметром, который необходимо учитывать при выборе генотипов растений для их культивирования в конкретных условиях (Purrington, 2000). Рациональный выбор генотипов растений для культивирования должен осуществляться с учетом «*стоимости»* ресурсов устойчивости, продуктивности

и рыночной цены урожая. Процесс прорастания семян, эффективность метаболических процессов и мобилизации резервов для развития проростков на начальном этапе онтогенеза влияют на продуктивность озимой пшеницы (Awatif, 2017; Rao, Sinha, 1993; Hasan et. al., 2004). Доля запасных веществ семян, используемая для указанных целей, может изменяться в зависимости от генотипа и условий произрастания, в том числе от температурного режима (Sikder, Hasan, Hossain, 2009; Sikder, Paul, 2010).

В статье приведены результаты сравнительной оценки количества ресурсов, затраченного различными сортами озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) на выживание прорастающих семян после воздействия на них отрицательных температур, вызвавших *ШОТ*. Метод оценки основан на определении количества сформировавшейся биомассы проростка и его частей (корневой системы и побега) с последующим расчетом их доли от биомассы запасных веществ эндосперма, израсходованной в процессе прорастания и роста проростка в течение первых 120 часов при воздействии на семена перед посевом $ШОТ_{гр.}$. Разработанный метод может использоваться для ускоренной оценки первичной устойчивости генотипов озимой пшеницы к морозу.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования были выбраны сорта озимой пшеницы Молдова 614, Молдова 77, Молдова 5, Молдова 79, Молдова 11 и Молдова 66, созданные селекционерами Института генетики, физиологии и защиты растений (ИГФЗР, Кишинёв, Молдова), и сорт Куяльник с показателями морозо- и зимостойкости выше средних: 7 баллов из 9 (Каталог сортов, Одесский селекционно-генетический институт; НААН Украины). В эксперименте использовались семена урожая 2019 г., собранного с опытного поля ИГФЗР.

Исследования были разделены на два этапа, и, соответственно, разработанная методика состояла из двух частей. Первая ее часть предназначена для определения значения $ШОТ_{гр.}$, а вторая – для изучения его воздействия на семена исследуемых сортов. Перед началом эксперимента все семена дезинфицировались путем кратковременного погружения в 0,01%-й раствор перманганата калия с последующей тщательной промывкой водой. После 36 часов замачивания в дистиллированной воде при температуре +4°С набухшие семена разделялись на 4 варианта: один контрольный и три опытных, каждый в 3-кратной повторности: (80×3) и (80×3×3) семян соответственно. В контрольном варианте семена высеивались в контейнеры на влажных хлопковых дисках и инкубировались в термостате в течение 120 часов в темноте при постоянной температуре +25°С и относительной влажности воздуха 70–80%. В опытных вариантах семена инкубировались при 0°С в течение 8 часов, после чего подвергались воздействию *ШОТ* путем инкубации в течение 16 часов в климатической камере RUMED-3401 (Германия). Каждому опытному варианту из 240 семян соответствовало собственное значение *ШОТ* (–5°С, –6°С и –7°С). Далее семена также высеивались в контейнеры на влажных хлопковых дисках и размещались в термостате при тех же условиях, что и в контрольном варианте. Процент всхожести семян рассчитывался по формуле (1). По полученным данным определялось значение $ШОТ_{гр.}$, при котором происходило снижение всхожести семян сорта Молдова 5 со средней морозостойкостью до 50%.

На следующем этапе исследовалось влияние $ШОТ_{гр.}$ на семена семи сортов озимой пшеницы, изучаемых в эксперименте. По указанной выше схеме подготавливалась новая партия семян каждого сорта с разницей лишь в том, что после набухания семена разделялись на две части: контроль и один опытный вариант (воздействие перед посевом $ШОТ_{гр.}$ только с одним значением) в 3-кратной повторности каждый. Всего было высеяно 3 360 семян семи сортов (по 480 семян каждого сорта), т. е. по (3×80) семян как в контроле, так и в опытном варианте.

Процент прорастания семян s_g определялся по формуле:

$$s_g = \frac{N_g}{N} 100\%, \quad (1)$$

где N_g и N – количество проросших и общее количество высеянных семян соответственно.

Биомасса запасных веществ эндосперма зерна озимой пшеницы m_{rs}, которая была израсходована при его прорастании и росте проростка, вычислялась по формуле:

$$m_{rs} = m_0 - m_i, \quad (2)$$

где m_0 – первоначальная сухая биомасса зерна до начала эксперимента; m_i – остаточная сухая биомасса зерна спустя 120 часов с момента посева.

Отношения количества сформировавшейся биомассы проростка r, корневой системы r_r и побега r_{sh} к биомассе запасных веществ эндосперма зерна, израсходованной в процессе его прорастания и роста проростка в течение 120 часов с момента посева, вычислялись по следующим формулам:

$$r = \frac{m_r + m_{sh}}{m_{rs}}; \quad (3)$$

$$r = \frac{m_r}{m_{rs}}; \quad (4)$$

$$r_{sh} = \frac{m_{sh}}{m_{rs}}; \quad (5)$$

где m_r – сухая биомасса корневой системы; m_{sh} – сухая биомасса побега; m_{rs} – биомасса израсходованных запасных веществ эндосперма зерна (см. формулу (2)).

Предложенные формулы (3)–(5) позволяют проводить оценку генотипов не только по проростку в целом, но также отдельно по побегу и корневой системе. Формулы позволяют определить количество сформировавшейся биомассы проростка, побега и корня на единицу израсходованных запасных веществ эндосперма зерна. Чем выше значения коэффициентов, тем устойчивее генотип и тем рациональнее он расходует запасные вещества из эндосперма.

Статистическая обработка результатов проводилась с определением среднего значения, стандартного отклонения среднего значения и

достоверности разницы между средними величинами (Clewer, Scarisbrick, 2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 приведены результаты определения всхожести (в %) семян озимой пшеницы сорта Молдова 5 в контрольном и опытных вариантах.

В отличие от контроля, в опытных вариантах семена перед посевом подвергались воздействию *ШОТ* в течение 16 часов в темноте при температуре –5°С, –6°С и –7°С. Из рисунка видно, что после шока, вызванного инкубацией при температуре –6°С, прорастание семян снизилось почти до 50%. Указанное значение температуры было выбрано для сравнительной оценки реакции семян различных сортов пшеницы на воздействие отрицательных температур. Таким образом были определены параметры $ШОТ_{ср.}$.

На рис. 2 представлено отношение биомассы эндосперма, израсходованной при прорастании семян и росте проростков пшеницы сорта Молдова 5, в опытных вариантах, к соответствующей величине в контрольном варианте.

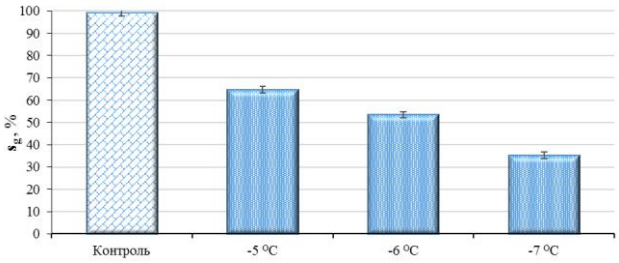

Рис. 1. Процент всхожести s_g семян пшеницы сорта Молдова 5 в контрольном и опытных вариантах после их инкубации в течение 120 часов в темноте при температуре +25°С

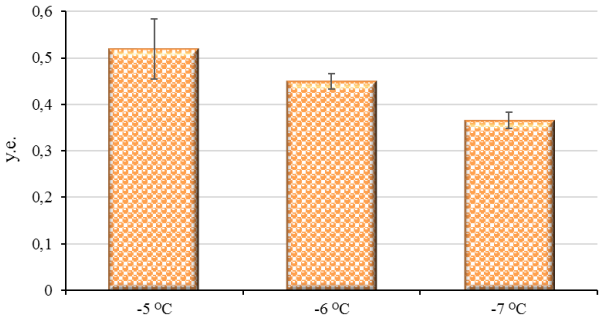

Рис. 2. Отношение израсходованной биомассы запасных веществ эндосперма семян озимой пшеницы сорта Молдова 5 в опытных вариантах к соответствующей величине в контроле при их проращивании в течение 120 часов в темноте при температуре +25°С

Из рисунка видно, что после воздействия на семена отрицательных температур –5°С, –6°С и –7°С указанные соотношения составляли 0,51, 0,45 и 0,37 соответственно. Из этого следует, что с уменьшением температуры, вызывающим *ШОТ*, доля израсходованной биомассы запасных веществ эндосперма прогрессивно снижается.

Исследования показали, что с уменьшением значений *ШОТ* величины коэффициентов r, r_r и r_{sh} снижались (рис. 3). Так, например, разница между величинами r проростков озимой пшеницы сорта Молдова 5 при значениях *ШОТ* –5°С и –7°С составила 0,8. Это означает, что при более низких значениях *ШОТ* на единицу биомассы запасных веществ эндосперма зерна формируется меньшее количество биомассы побега и корня. Из рис. 3 также видно, что во всех вариантах значения коэффициентов r_{sh} выше значений r_r, т. е. запасные вещества эндосперма зерна в большей степени затрачиваются на рост побега.

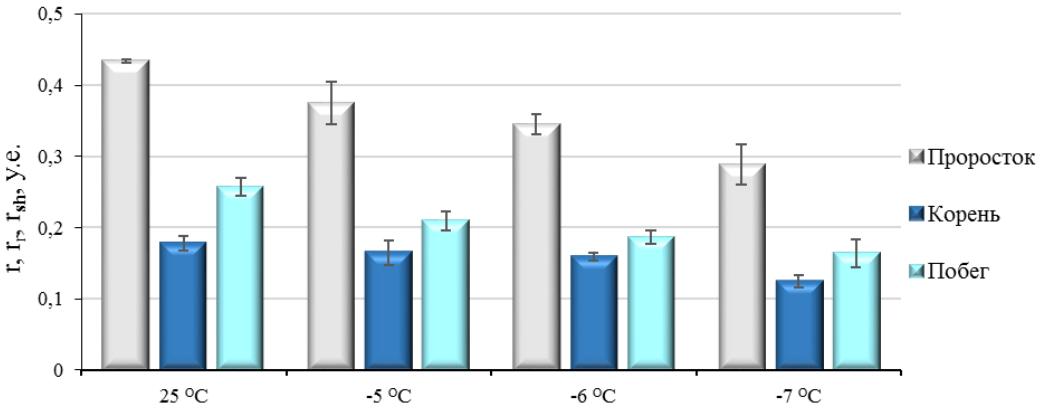

Рис. 3. Отношение количества сформировавшейся биомассы проростка r, его корневой системы r_r и побега r_{sh} к количеству израсходованной биомассы запасных веществ эндосперма зерна озимой пшеницы сорта Молдова 5 после инкубации семян в течение 120 часов в темноте при +25°С (контроль), –5°С, –6°С и –7°С (опытные варианты)

Данные о реакции семян различных сортов пшеницы на воздействие *ШОТ*$_{гр.}$, приведённые на рис. 4, позволяют ранжировать генотипы по увеличению процента всхожести. По сравнению с сортом Куяльник (52%), морозостойкость которого выше средней, сорта Молдова 79 (55%), Молдова 11 (58%) и Молдова 66 (62%) имели более высокий процент всхожести семян, что позволяет определить их как устойчивые к морозу сорта. Остальные три сорта Молдова 614 (26%), Молдова 77 (32%) и Молдова 5 (48%) продемонстрировали меньшую устойчивость к *ШОТ*$_{гр.}$.

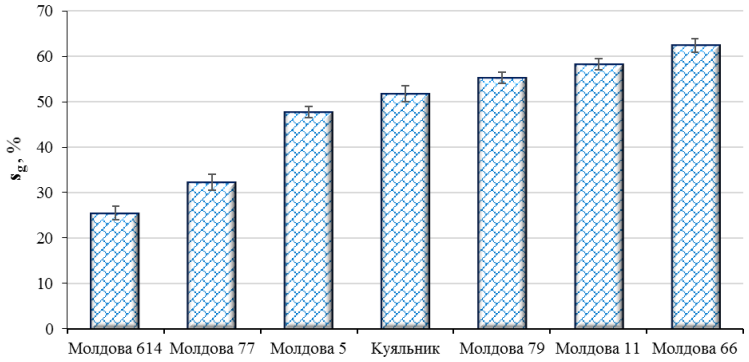

Рис. 4. Процент всхожести семян озимой пшеницы в опытных вариантах после их инкубирования в течение 120 часов в темноте при температуре +25°С. Семена перед посевом подвергались воздействию *ШОТ*$_{гр.}$ (- 6°С) в темноте в течение 16 часов

На рис. 5 приведены данные по различным сортам пшеницы, характеризующие отношение количества биомассы проростка *r*, а также его корневой системы r_r и побега r_{sh}, к биомассе эндосперма зерна, которая была израсходована при его прорастании в течение 120 часов. На рис. 5а и 5б представлены диаграммы с указанными значениями в контрольном и опытных вариантах соответственно. Из рис. 5а видно, что в контрольных вариантах данные значения варьируются от 0,46 (сорт Молдова 614) до 0,58 (сорт Молдова 66). Как правило, с увеличением биомассы проростка закономерно повышалась биомасса корней и побегов. После воздействия на семена температуры, значения которой соответствовали *ШОТ*$_{гр.}$ (рис. 5б), распределение сортов по увеличению доли биомассы эндосперма, затраченной на формирование биомассы проростка (биомассы корня и побега), не отличалось от их распределения в контрольном варианте. При этом указанная доля в опытных вариантах увеличивалась от 0,17 (сорт Молдова 614) до 0,55 (сорт Молдова 66).

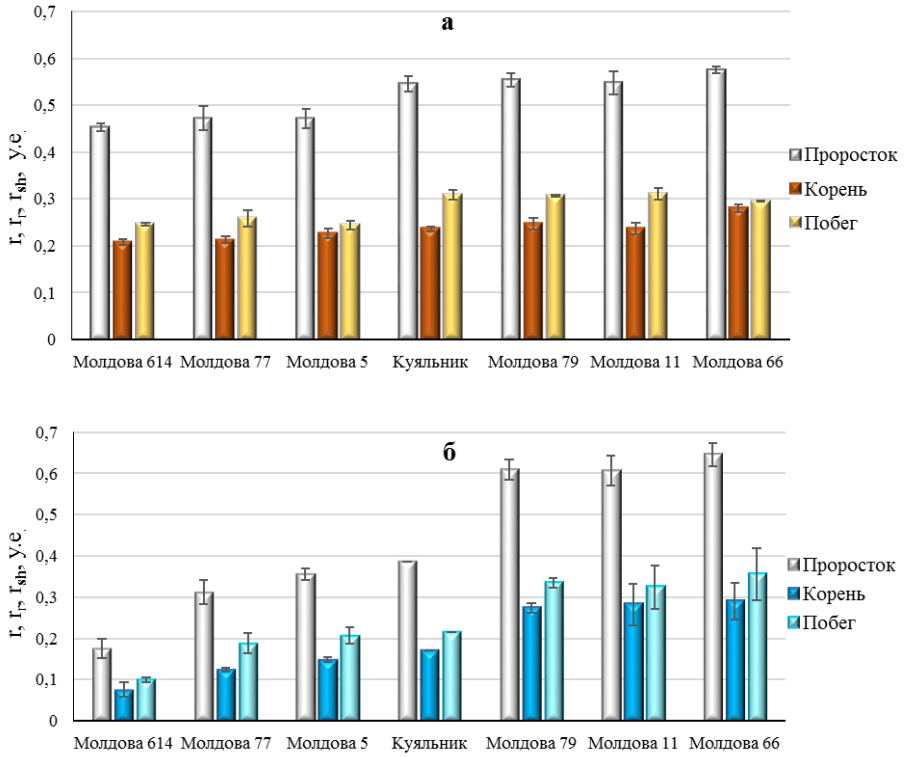

Рис. 5. Отношение биомассы проростка *r*, его корневой системы r_r и побега r_{sh} к израсходованной биомассе запасных веществ эндосперма семян различных сортов озимой пшеницы после их инкубации в течение 120 часов при температуре +25°С (*5а* – контроль, *5б* – опытные варианты).

Следует отметить, что численный интервал различий величин, характерных для границы крайних значений распределения сортов, расширился от 0,12 в контрольном (0,46–0,58) до 0,38 (0,17–0,55) единиц в опытных вариантах, хотя распределение сортов по обоим показателям осталось неизменным. В наибольшей степени от воздействия *ШОТ*$_{гр.}$ пострадали сорта, характеризующиеся более низкими значениями r, r_r и r_{sh}, т.е. сорта, которые менее рационально расходовали питательные вещества эндоспермы на накопление биомассы проростка.

Учитывая достаточно высокую разрешающую способность предлагаемого метода сравнительной оценки морозостойкости генотипов озимой пшеницы на основе определения их ответной реакции на воздействие *ШОТ*$_{гр.}$, авторы статьи считают необходимым в будущем разработать метод оценки устойчивости генотипов пшеницы к жаре, основанный на тех же принципах. Это позволит проводить интегральную оценку устойчивости генотипов пшеницы к экстремальным значениям температуры, повышения которых можно ожидать в будущем в связи с угрозой глобального потепления климата.

ВЫВОДЫ

1. Сравнительная оценка первичной устойчивости сортов озимой пшеницы к морозу может быть проведена при помощи ускоренного метода путем воздействия на семена перед посевом шоком отрицательных температур (ШОТ) с определением отношения количества сформировавшейся биомассы проростка r, а также его корневой системы rr и побега rsh, к биомассе запасных веществ эндосперма зерна, израсходованных при его прорастании и развитии.

2. Чем более высокими значениями r, r_r и r_{sh} характеризуется сорт, тем он устойчивее к воздействию *ШОТ*$_{гр}$, т. е. тем рациональнее он использует резервы семени.

3. Численные различия между r, r_r и r_{sh} у «экономных» и «менее экономных» сортов увеличились с 0,12 у. е. в контроле до 0,38 у. е. в опытных вариантах при воздействии на семена перед посевом *ШОТ*$_{гр}$. (–6°С), что свидетельствует о перспективности использования предлагаемого метода для сравнительной оценки морозоустойчивости озимой пшеницы.

Список литературы

Иванисов М. М. Устойчивость сортов озимой мягкой пшеницы к низким отрицательным температурам и взаимосвязь морозостойкости с био- и абиотическими факторами среды: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Краснодар: ФГБНУ «АНЦ «Донской», 2019. 24 с.

Институт сельского хозяйства степной зоны НААН Украины. http://market.institut-zerna.com/ru/products/winter-wheat/kuyalnik.htm.

Каталог сортов и гибридов Одесского селекционно-генетического института. http://sgi.od.ua/prodazha/23-katalog-sortov-i-gibridov-selekcionno-geneticheskogo-instituta.html.

Atkinson N.J., Urwin P.E. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field // Journal of Experimental Botany, 2012, v. 63. no. 10, pp. 3523–3544. DOI: 10.1093/jxb/ers100.

Awatif S.A., Alaaeldin A.E. Metabolic processes during seed germination // Advances in Seed Biology, 2017, pp. 141–166. DOI: 10.5772/intechopen.70653.

Clewer A.G., Scarisbrick D.H. Practical statistics and experimental design for plant crop science. John Wiley & Sons, LTD, Chichester, New York, 2001, 332 p.

Hasan M.A., Ahmed J.U., Hossain T., Hossain M.M., Ullah M.A. Germination characters and seed reserve mobilization during germination of different wheat genotypes under variable temperature regimes // J. Natn Sci Found Srilanka, 2004, vol. 32, no. 3–4, pp. 97–107.

Jan N., Mahboob-ul-Hussain, Andrabi K.I. Cold resistance in plants: A mystery unresolved // Electronic Journal of Biotechnology, 2009, v. 12, no. 3, issue of July 15. DOI: 10.2225/vol12-issue3-fulltext-3.

Levitt J. Chilling, freezing and high temperature stresses. Acad. Press, New York, 1980, 510 p.

Mirouze M., Paszkowski J. Epigenetic contribution to stress adaptation in plants // Plant biology, 2011, v. 14, issue 3, pp. 267–274. DOI: 10.1016/j.pbi.2011.03.004.

Porter J.R., Gawith M. Temperature and growth and development of wheat: A review // Europ. J. Agron., 1999, no. 10, pp. 23–36.

Potters G., Pasternak T.P., Guisez Y., Jansen M.A. Different stresses, similar morphogenic responses: integrating a plethora of pathways // Plant, Cell and Environment, 2009, v. 32. no. 2, pp. 158–169. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2008.01908.x.

Purrington C.B. Costs of resistance // Plant Biology, 2000, v. 3, issue 4, pp. 305–308. DOI: 10.1016/S1369-5266(00)00085-6.

Rao D.G., Sinha S.K. Efficiency of mobilization of seed reserves in sorghum hybrids and their parents as influenced by temperature regimes // Seed Research, 1993, v. 2, no. 2, pp. 97–100.
Sanghera G.S., Wani Sh.H., Hussain W., Singh N.B. Engineering cold stress tolerance in crop plants // Current Genomics, 2011, v. 12, no. 1, pp. 30–43.
Sikder S., Hasan M.A., Hossain M.S. Germination Characteristics and Mobilization of Seed Reserves in Maize Varieties as Influenced by Temperature Regimes // J. of Agriculture & Rural Development, 2009, v. 7, no. 1–2, pp. 51–56. DOI: .org/10.3329/jard.v7i1.4421.
Sikder S., Paul N.K. Study of influence of temperature regimes on germination characteristics and seed reserves mobilization in wheat // Afric. J. Plant Sci., 2010, no. 4, pp. 401–408.
Wheeler T.R., Ellis G., Morison B.H. The duration and rate of grain growth, and harvest index of wheat (*Triticum aestivum*) in response to temperature and CO_2 // J. Exp. Bot., 1996, no. 47, pp. 623–630.
Wheeler T.R., Ellis G., Prasad P. Temperature variability and the yield of annual crops // Agric. Ecosyst. Envir., 2000, no. 82, pp. 159–167.

References

Ivanisov M. M. *Ustoychivost' sortov ozimoy myagkoy pshenitsy k nizkim otritsatel'nym temperaturam i vzaimosvyaz' morozostoykosti s bio- i abioticheskimi faktorami sredy* [Resistance of winter soft wheat varieties to low negative temperatures and the relationship of frost resistance with bio- and abiotic environmental factors]. Avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk. Krasnodar: FGBNU «ANC «Donskoy», 2019, 24 p.
Institut sel'skogo khozyaystva stepnoy zony NAAN Ukrainy [Institute of Agriculture of the Steppe Zone of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine]. http://market.institut-zerna.com/ru/products/winter-wheat/kuyalnik.htm.
Katalog sortov i gibridov Odesskogo selektsionno-geneticheskogo instituta [Catalogue of varieties and hybrids of Odessa Selection and Genetic Institute]. http://sgi.od.ua/prodazha/23-katalog-sortov-i-gibridov-selekcionno-geneticheskogo-instituta.html
Atkinson N.J., Urwin P.E. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field // Journal of Experimental Botany, 2012, v. 63. no. 10, pp. 3523–3544. DOI: 10.1093/jxb/ers100.
Awatif S.A., Alaaeldin A.E. Metabolic processes during seed germination // Advances in Seed Biology, 2017, pp. 141–166. DOI: 10.5772/intechopen.70653.
Clewer A.G., Scarisbrick D.H. Practical statistics and experimental design for plant crop science. John Wiley & Sons, LTD, Chichester, New York, 2001, 332 p.
Hasan M.A., Ahmed J.U., Hossain T., Hossain M.M., Ullah M.A. Germination characters and seed reserve mobilization during germination of different wheat genotypes under variable temperature regimes // J. Natn Sci Found Srilanka, 2004, vol. 32, no. 3–4, pp. 97–107.
Jan N., Mahboob-ul-Hussain, Andrabi K.I. Cold resistance in plants: A mystery unresolved // Electronic Journal of Biotechnology, 2009, v. 12, no. 3, issue of July 15. DOI: 10.2225/vol12-issue3-fulltext-3.
Levitt J. Chilling, freezing and high temperature stresses. Acad. Press, New York, 1980, 510 p.
Mirouze M., Paszkowski J. Epigenetic contribution to stress adaptation in plants // Plant biology, 2011, v. 14, issue 3, pp. 267–274. DOI: 10.1016/j.pbi.2011.03.004.
Porter J.R., Gawith M. Temperature and growth and development of wheat: A review // Europ. J. Agron., 1999, no. 10, pp. 23–36.
Potters G., Pasternak T.P., Guisez Y., Jansen M.A. Different stresses, similar morphogenic responses: integrating a plethora of pathways // Plant, Cell and Environment, 2009, v. 32. no. 2, pp. 158–169. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2008.01908.x.
Purrington C.B. Costs of resistance // Plant Biology, 2000, v. 3, issue 4, pp. 305–308. DOI: 10.1016/S1369-5266(00)00085-6.
Rao D.G., Sinha S.K. Efficiency of mobilization of seed reserves in sorghum hybrids and their parents as influenced by temperature regimes // Seed Research, 1993, v. 2, no. 2, pp. 97–100.
Sanghera G.S., Wani Sh.H., Hussain W., Singh N.B. Engineering cold stress tolerance in crop plants // Current Genomics, 2011, v. 12, no. 1, pp. 30-43.
Sikder S., Hasan M.A., Hossain M.S. Germination Characteristics and Mobilization of Seed Reserves in Maize Varieties as Influenced by Temperature Regimes // J. of Agriculture & Rural Development, 2009, v. 7, no. 1–2, pp. 51–56. DOI.org/10.3329/jard.v7i1.4421.
Sikder S., Paul N.K. Study of influence of temperature regimes on germination characteristics and seed reserves mobilization in wheat // Afric. J. Plant Sci., 2010, no. 4, pp. 401–408.
Wheeler T.R., Ellis G., Morison B.H. The duration and rate of grain growth, and harvest index of wheat (*Triticum aestivum*) in response to temperature and CO_2 // J. Exp. Bot., 1996, no. 47, pp. 623–630.
Wheeler T.R., Ellis G., Prasad P. Temperature variability and the yield of annual crops // Agric. Ecosyst. Envir., 2000, no. 82, pp. 159–167.