

11. Методические рекомендации по проведению анатомической разделке тушек и органолептической оценки качества мяса и яиц сельскохозяйственной птицы, и морфологии яиц. - Сергиев Посад, 2004. - 26с.
12. Лебедев П.Т., Усович А.Т. Методы исследования кормов, органов и тканей животных. - М.: Россельхозиздат, 1976.- 389с.



УДК 633.11:581.116.1

DOI 10.24411/2409-3203-2020-12402

ВЛИЯНИЕ ЭКЗО- И ЭНДОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТРАНСПИРАЦИИ ЛИСТЬЕВ У РАСТЕНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Амелин Александр Васильевич

д.с.-х.н., руководитель центра коллективного пользования
«Генетические ресурсы растений и их использование»

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина»
Россия, г. Орел

Чекалин Евгений Иванович

к.с.-х.н., старший научный сотрудник центра коллективного пользования
«Генетические ресурсы растений и их использование»

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина»
Россия, г. Орел

Заикин Валерий Васильевич

к.с.-х.н., младший научный сотрудник центра коллективного пользования
«Генетические ресурсы растений и их использование»

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина»
Россия, г. Орел

Мазалов Виктор Иванович

д.с.-х.н., руководитель центра коллективного пользования
«Генетические ресурсы растений и их использование»

ФГБНУ ФНЦ зернобобовых и крупяных культур

Россия, г. Орел

Икусов Роман Александрович

аспирант кафедры растениеводства, селекции и семеноводства

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина»
Россия, г. Орел

Аннотация: Исследования показали, что в зависимости от погодных условий года вегетации интенсивность транспирации листьев растений в среднем за вегетационный период варьирует в диапазоне от 5,79 до 9,32 mmol H₂O/m²s. Наиболее активно она проявляется в благоприятных условиях вегетации (2017 год), а при их ухудшении (2018 и 2019гг) ее значение снижается в среднем на 28%. Замечено и статистически подтверждено, чем меньше обеспеченность растений влагой и выше температура воздуха, особенно когда она превышает 25С⁰, тем меньше активность транспирации листьев растений. В тоже время, усиление инсоляции листьев стимулирует их транспирационную активность. При росте интенсивности освещения с 300 до 700 μmol /m²s активность транспирации листьев у растений озимой пшеницы увеличивается в среднем на 35%, достигая своего

максимального значения, но при дальнейшем усилении освещенности листьев ее величина начинает заметно снижаться, достигая 12% и более.

Наиболее интенсивно испаряют молекулы воды флаговые листья растений – с интенсивностью 5,40 mmol H₂O/m²s, что на 12 % больше чем у предфлаговых листьев и на 30 % – у нижних листьев. В онтогенезе наблюдается два пика транспирационной активности: первый и наиболее выраженный в период «кущение-трубкование», а второй более слабый в фазу массового налива зерновок. Тогда как ее спад отмечается в период «колошение-цветение» и в фазу молочно-восковой спелости зерновок. Снижение интенсивности транспирации флагового листа составляло в фазу колошения 41,3%, а в фазу молочно-восковой спелости зерновок - 55,3%, по отношению к фазе кущения. В течении дня пик активности транспирации листьев растений наблюдается в обеденное время (в 13 часов).

Ключевые слова: селекция, физиология, растения озимой пшеницы, интенсивность транспирации листьев.

INFLUENCE OF EXO- AND ENDOGENIC FACTORS ON THE RATE OF TRANSPIRATION OF LEAVES OF WINTER WHEAT PLANTS

Amelin Alexander Vasilievich

Ph.D, Head of the Center for Collective Use

«Plant genetic resources and their use»

Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina
Russia, Orel

Chekalin Evgeny Ivanovich

Ph.D, Senior Researcher, Shared Use Center

«Plant genetic resources and their use»

Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina
Russia, Orel

Zaikin Valery Vasilievich

Ph.D, Junior Researcher, Center for Collective Use

«Plant genetic resources and their use»

Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina
Russia, Orel

Mazalov Viktor Ivanovich

Ph.D, Head of the Center for Collective Use

«Plant genetic resources and their use»

Federal scientific center for legumes and cereals
Russia, Orel

Ikusov Roman Alexandrovich

Postgraduate student of the Department of Plant Production, Breeding and Seed Production

Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina
Russia, Orel

Abstract: Studies have shown that, depending on the weather conditions of the growing season, the rate of plant leaf transpiration on average during the growing season varies in the range from 5.79 to 9.32 mmol H₂O/m²s. It manifests itself most actively in favorable growing conditions (2017), and with their deterioration (2018 and 2019), its value decreases on average by 28%. It has been noticed and statistically confirmed that the lower the moisture supply to plants and the higher the air temperature, especially when it exceeds 25°C, the lower the transpiration activity of plant leaves. At the same time, increased insolation of leaves stimulates their transpiration activity. With an increase in the illumination intensity from 300 to 700 μmol/m²s, the leaf transpiration activity in winter wheat plants increases on average by 35%, reaching its maximum value, but with a

further increase in the illumination of the leaves, its value begins to noticeably decrease, reaching 12% or more.

Water molecules evaporate most intensively in flag leaves of plants - with an intensity of 5.40 mmol H₂O/m²s, which is 12% more than in pre-flag leaves and 30% more than in lower leaves. In ontogeny, there are two peaks of transpiration activity: the first and the most pronounced in the period of "tillering-booting", and the second weaker in the phase of mass filling of kernels. While its decline is noted in the period of "earling-flowering" and in the phase of milky-wax ripeness of caryopses. The decrease in the rate of transpiration of the flag leaf was 41.3% in the earling phase, and 55.3% in the milky-wax ripeness of the caryopses, in relation to the tillering phase. During the day, the peak of plant leaf transpiration activity is observed at lunchtime (at 13:00).

Keywords: breeding, physiology, variety, winter wheat, rate of transpiration.

Физиологическое состояние растений неразрывно связано с активностью транспирации [1,2]. Эффективность данного процесса существенно обусловлена деятельностью устьичного аппарата листьев, через который осуществляется не только ассимиляция CO₂, но и испарение молекул воды [3]. Транспирация в данном случае обеспечивает передвижение поглощённых корнями минеральных веществ из почвы вверх по растению и защищает надземные органы от перегрева и обезвоживания в сухую и жаркую погоду [4,5].

Поэтому, от эффективности данного процесса существенно зависит интенсивность роста растений и формирование конечного урожая [6].

Исходя из этого, представляется весьма актуальным изучение у растений сельскохозяйственных культур видовых особенностей протекания транспирации для разработки научно-методических подходов ее регулирования приемами агротехники и селекции в целях получения высокого и стабильного урожая зерна. У озимой пшеницы данные вопросы проработаны в малой степени.

Исследования проводились в рамках тематического плана-задания Минсельхоза России в 2017-2020 годах в центре коллективного пользования научным оборудованием «Генетические ресурсы растений и их использование» ФГБОУ ВО Орловского ГАУ по совместной программе с Шатиловской СХОС, входящей в состав ФГБНУ ФНЦ зернобобовых и крупяных культур.

Объектами исследований являлись растения современных сортов озимой пшеницы, которые выращивались в экологическом сортоиспытании Шатиловской СХОС на делянках площадью 25 м² в 3-х кратной повторности, размещение – рендомизированное.

Учеты и измерения показателей транспирационной активности проводились на интактных растениях в течение дня (через каждые 2 часа) в основные фазы роста (I – кущение, II – трубкование, III – колошение, IV – цветение, V – налив, VI – молочно-восковая спелость) на листьях разных ярусов (флаговый, предфлаговый и нижерасположенный) с использованием современного переносного газоанализатора GFS-3000 FL немецкой фирмы WALZ. Интенсивность освещения в измерительной камере регулировалась в диапазоне от 300 до 2000 мкмоль/м²с. Для измерения отбирали 5-7 типичных растений для генотипа, произрастающих в середине делянки, у которых листья не имели повреждений вредителями и поражений болезнями. Математическая обработка экспериментальных данных осуществлялась с использованием современных компьютерных программ и учетом «Методика полевого опыта» [7].

Результаты проведенных исследований подтвердили, что транспирация листьев растений является одним из механизмов их адаптации к меняющимся условиям среды [8].

В зависимости от погодных условий года вегетации (2017-2019) интервал варьирования интенсивности транспирации листьев растений озимой пшеницы в среднем за вегетационный период находился в диапазоне от 5,79 до 9,32 mmol H₂O/m²s. Наиболее активно осуществлялось испарение воды листьями в 2017 году, когда стояла относительно

благоприятная погода для роста и развития. В этот год относительно засушливые условия отмечались только в апреле месяце: температура воздуха была на 1,5 °C выше, а количество осадков на 80% меньше среднемноголетней. Но при дальнейшем развитии растений погодные условия были на уровне среднемноголетних показателей, как по температуре, так и количеству осадков.

В условиях же вегетации 2018 и 2019 годов значения интенсивности транспирации были в среднем на 28% меньше. В эти годы наблюдалась жаркая и сухая погода: в 2018 году в среднем за весенне-летнюю вегетацию температура воздуха была на 2,2 °C, а в 2019 году на 3,0 °C выше среднемноголетнего значения при недостатке увлажнения в 2018 году и неравномерном распределении осадков в 2019 году (рис. 1).

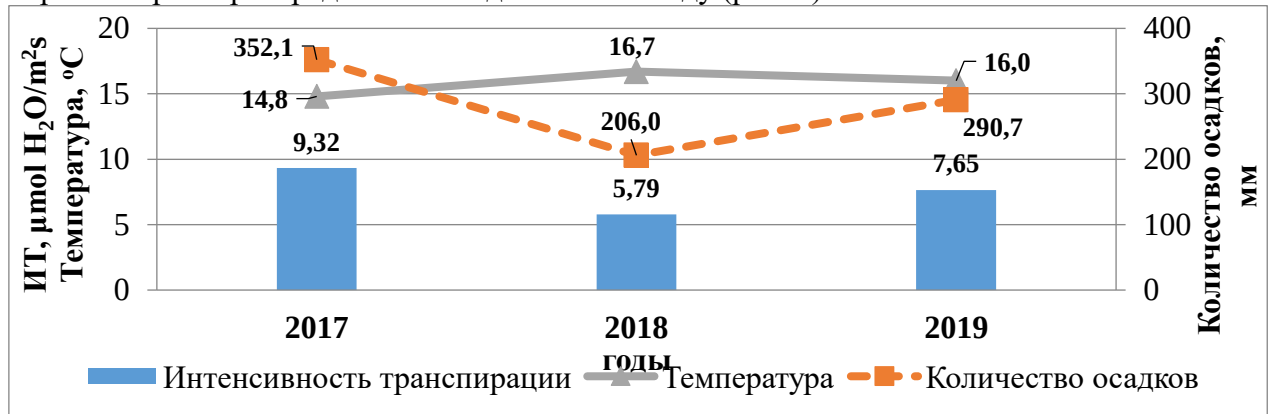


Рисунок 1 – Интенсивность транспирации (ИТ) растений озимой пшеницы, количество осадков и средняя температура в разные годы исследований, в среднем за вегетацию

Отмечено, чем выше обеспеченность растений влагой в период своего развития, тем интенсивнее транспирация, в тоже время повышение температуры воздуха, особенно выше 25°C⁰, приводит к резкому падению ее активности. Следовательно, можно заключить, что высокая активность транспирации в 2017 году, очевидно, была связана с обеспечением высокой активности фотосинтеза, а ее снижение в 2018-2019 годах – с необходимостью экономного расходования воды в засушливых условиях. В эти годы отмечалась наибольшая эффективность использования воды растениями на фотосинтез (ЭИВ), что, по-видимому, и сыграло заметную роль в формировании высокой урожайности зерна в таких условиях. Коэффициент корреляции между урожайностью и ЭИВ в годы исследований был положительным и составлял в среднем 0,38.

Выявлено, что листья разных ярусов растений озимой пшеницы характеризуются различной транспирационной активностью. Наиболее интенсивно испаряют молекулы воды флаговые листья растений – с интенсивностью 5,40 $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2\text{s}$, что на 12 % больше, чем у предфлаговых листьев и на 30 % – у нижних листьев (рис. 2).

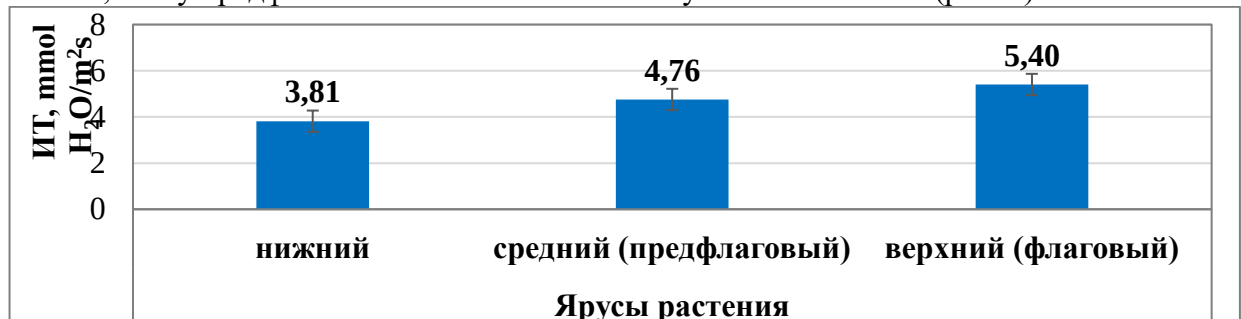


Рисунок 2 – Интенсивность транспирации (ИТ) листьев озимой пшеницы в зависимости от их ярусного расположения на растении, в среднем за 2017-2018, 2020 годы

Такой характер ярусной изменчивости транспирационной активности листьев объясняется возрастными их особенностями [9,10], характером распределения света в посевах [11] и разной плодовой нагрузкой [12,13,14].

В онтогенезе наблюдается два пика активности транспирации: первый и наиболее выраженный в период «кущение-трубкавание», а второй более слабый в фазу массового налива зерновок. Тогда как ее снижение отмечается в период «колошение-цветение» и в фазу молочно-восковой спелости зерновок. Снижение ИТ флагового листа составляло в фазу колошения 41,3%, а в фазу молочно-восковой спелости зерновок 55,3%, по отношению к фазе кущения (рис. 3).

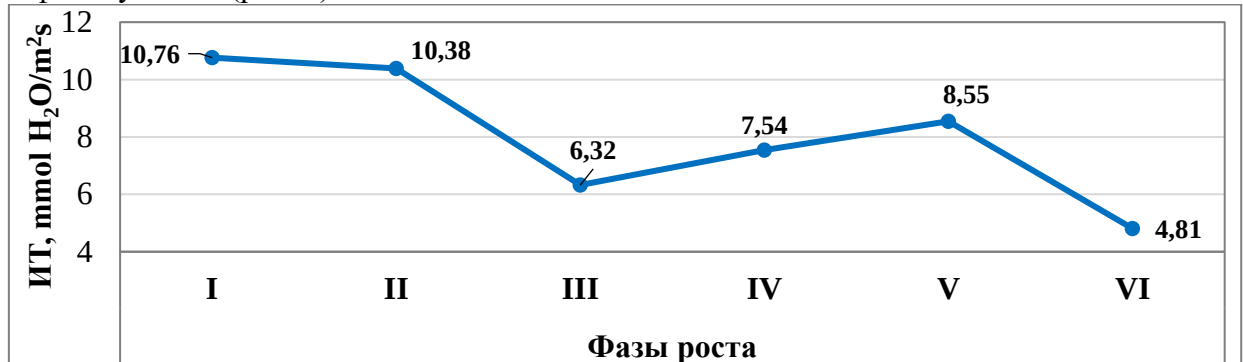


Рисунок 3 – Интенсивность транспирации (ИТ) растений озимой пшеницы по фазам роста, в среднем за годы исследований (I – Кущение, II – Трубкавание, III – Колошение, IV – Цветение, V – Налив, VI – Молочно-восковая спелость)

Проявление высокой интенсивности транспирации листьев озимой пшеницы в начальные фазы роста (кущение и трубкавание), очевидно связано с необходимостью обеспечения водой и элементами минерального питания активно растущие в это время надземные органы растений [15]. Тогда как второй пик активности транспирации (в период налива семян) вероятнее всего обусловлен повышением запроса колоса на фотоассимиляты и их оттоком из листьев [15].

Падение же ее активности в фазу колошения может быть вызвано, с одной стороны, уменьшением активности ростовых процессов, на что затрачивается большое количество воды и ассимилятов, с другой – изменением гормонального статуса растений при переходе к генеративному развитию [16]. Как известно, в регуляции развития генеративных органов растений активное участие принимает абсцизовая кислота [17,18,19] посредством регуляции потери воды и притока CO₂ через изменение размера устьичной щели [20].

В течении дня пик активности транспирации листьев растений культуры наблюдается в обеденное время - 13 -14 часов, когда температура воздуха поднимается в среднем до 22С⁰, (рис. 4).

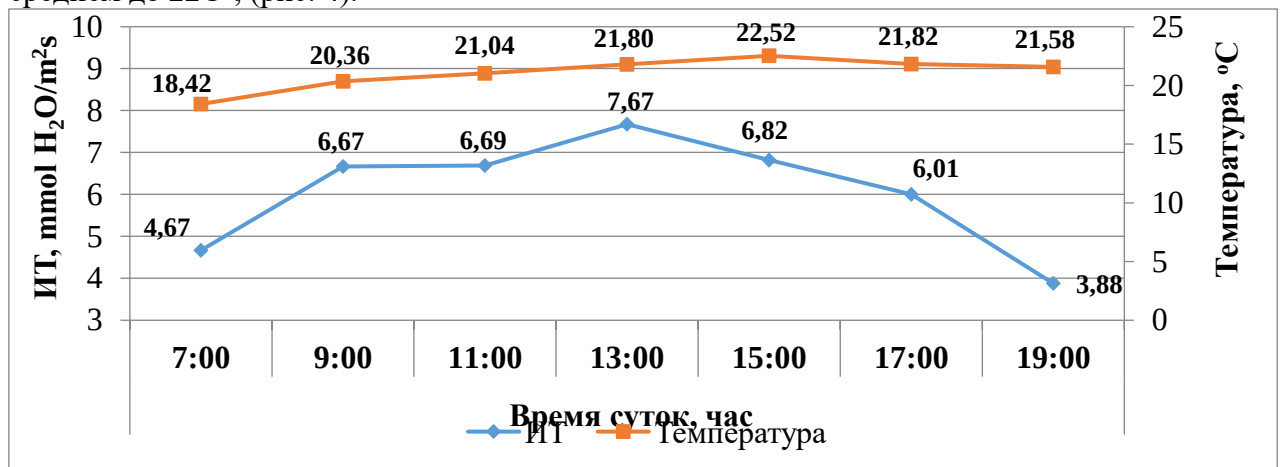


Рисунок 4 – Интенсивность транспирации (ИТ) листьев растений озимой пшеницы и температура воздуха в зависимости от времени суток (местное время по г. Москва)

Резкий спад транспирационной активности в послеобеденное время вероятнее всего связан с высокой температурой воздуха, которая часто превышает 25°C , и высокой инсоляцией, достигающей $1500 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ и более, что в совокупности вызывает обезвоживание и перегрев клеток листа [21].

В специальных модельных опытах показано, что при росте интенсивности освещения с 300 до $700 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ активность транспирации листьев у растений озимой пшеницы увеличивается в среднем на 35%, достигая своего максимального значения, но при дальнейшем увеличении инсоляции она начинает заметно падать (рис. 5).

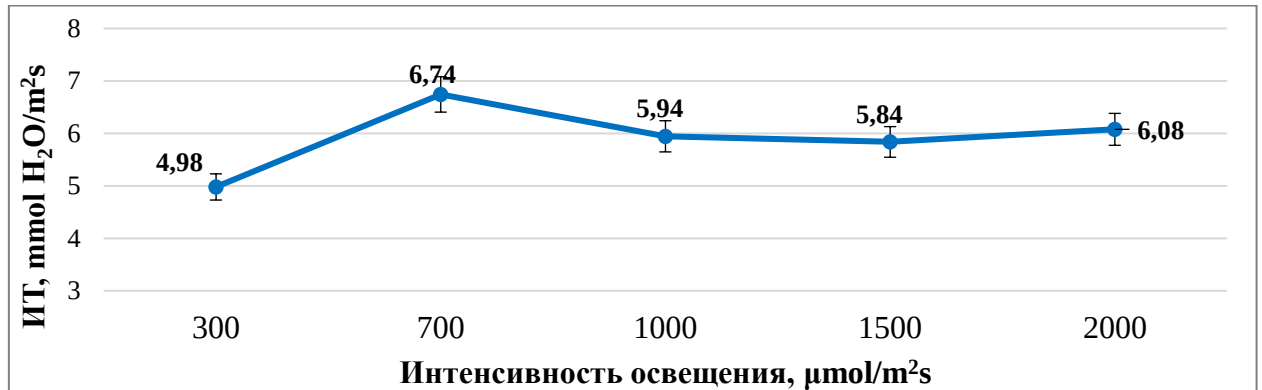


Рисунок 5 – Активность транспирации (ИТ) листьев растений озимой пшеницы в зависимости от интенсивности освещения в среднем за годы исследований

Таким образом, исследования показали, что транспирация листьев растений озимой пшеницы является одним из важных механизмов их приспособления к меняющимся условиям среды. Ее активность во многом зависит от фазы роста, места расположения листьев на растении, время суток, освещенности и погодных условий года вегетации, что необходимо учитывать при проведении целенаправленной селекции культуры на адаптивность.

Список литературы:

1. Sade N. Risk-taking plants: anisohydric behavior as a stress-resistance trait / N. Sade, A. Gebremedhin, M. Moshelion // *Plant Signal Behav.* – 2012. – V. 7. – P. 767–770.
2. Tardieu F., Simonneau T. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours // *J Exp Bot.* – 1998. – V. 49. – P. 419–432.
3. Atkinson C.J. Drought tolerance of clonal *Malus* determined from measurements of stomatal conductance and leaf water potential / C.J. Atkinson, M. Policarpo, A.D. Webster, G. Kingswell // *Tree Physiology.* – 2000. – 20. – P. 557–563.
4. Davies W.J. Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture / W.J. Davies, S. Wilkinson, B. Loveys // *New Phytologist.* – 2002. – № 153. – 449–460.
5. Fischer R.A. Wheat yield progress is associated with higher stomatal conductance, higher photosynthetic rate and cooler canopies / R.A. Fischer, D. Rees, K.D. Sayre, Z. Lu, A.G. Condon, A. Larque-Saavedra // *Crop Science.* – 1998. – V. 38. – P. 1467–1475.
6. Li F. Studies of canopy structure and water use of apple trees on three rootstocks / F. Li, S. Cohen, A. Naor, K. Shaozong, A. Erez // *Agricultural Water Management.* – 2002. – 55. – P. 1–14.
7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

8. Sade D. Water Balance, Hormone Homeostasis, and Sugar Signaling Are All Involved in Tomato Resistance to Tomato Yellow Leaf Curl Virus / D. Sade, N. Sade, O. Shriki, et al. // *Plant Physiology*. 2014. – V. 165 (4). – P. 1684–1697. – DOI: 10.1104/pp.114.243402.
9. Заленский В.Р. Материалы к количественной анатомии различных листьев одних и тех же растений // *Известия Киевского политехнического института*. – 1904. – IV. – 1. – С. 1-209.
10. Мокроносов А.Т. Онтогенетический аспект фотосинтеза. – М.: Наука, 1981. – 169 с.
11. Monsi M., Saeki T. On the factor light in plant communities and its importance for matter production // *Annals of Botany*. – 2005. – Vol. 95. – P. 549-567.
12. Кумаков В.А. Листовой аппарат как объект для оценки зерновых культур при селекции в условиях недостаточного увлажнения // *Физиология растений в помощь селекции*. – М., 1974. – С. 213-225.
13. Lopes M.S. Wheat nitrogen metabolism during grain filling: comparative role of glumes and the flag leaf // M.S. Lopes, N. Cortadellas, T. Kichey et al. // *Planta*. – 2006. – V. 225. – I. 1. – P. 165–181. – Doi: 10.1007/s00425-006-0338-5.
14. Sanchez-Bragado R. Photosynthetic contribution of the ear to grain filling in wheat: a comparison of different methodologies for evaluation / R. Sanchez-Bragado, G. Molero, M.P. Reynolds, J.L. Araus // *Journal of Experimental Botany*. – 2016. – Vol. 67. – No. 9. – P. 2787–2798.
15. Singh B., Singh G. Influence of soil water regime on nutrient mobility and uptake by *Dalbergiasissoo* seedlings // *Tropical Ecology*. 2004. – Vol. 45(2). – P. 337-340.
16. Чайлахян М.Х. Регуляция цветения высших растений. М.: Наука, 1988. – 500 с.
17. Кефели В.И. Природный ингибитор роста – абсцизовая кислота / В.И. Кефели, Э.М. Коф, П.В. Власов, Е.Н. Кислин. – Москва: «Наука», 1989. – 183 с.
18. Заякин В.В. Стимуляция абсцизовой кислотой поступления ассимилятов из оболочки семени к развивающемуся зародышу люпина (*Lupinus Luteus* L.) / В.В. Заякин, И.Я. Нам // *Физиология растений*, 1998. – Т. 45. – N 1. – С. 100-107.
19. Нам И.Я. Содержание абсцизовой кислоты в опадающих и неоппадающих цветках и завязях люпина желтого / И.Я. Нам, В.В. Заякин, Г.К. Шутов // *Физиология и биохимия культурных растений*. – 1990. – Т. 22. – N 4. – С. 344-348.
20. Schroeder JI, Allen GJ, Hugouvieux V, Kwak JM, Waner D Guard cell signal transduction. // *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. – 2001. – V. 52. – P. 627-658. Doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.627>
21. Ma C.C. Photosynthesis, transpiration, and water use efficiency of *Caragana microphylla*, *C. intermedia*, and *C. korshinskii* / C.C. Ma, Y.B. Gao, H.Y. Guo, J.L. Wang // *Photosynthetica*. – 2004. – № 42 (1). – P. 65-70.

