

УДК 631: 635.646

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (биологические науки, сельскохозяйственные науки)

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВЛАГООТДАЧИ У СПЕЛОГО ЗЕРНА КУКУРУЗЫ С ПОМОЩЬЮ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПОЛЕВЫХ МЕТОДОВ

Исакова Светлана Викторовна
Аспирант, кафедра генетики, селекции и семеноводства
svetlanaisakova238@gmail.com

Цаценко Людмила Владимировна
д-р. биол. наук, профессор, кафедра генетики, селекции и семеноводства
SPIN-код: 2120-6510, AuthorID: 94468
<https://orcid.org/0000-0003-1022-1942>
Scopus Author ID: 55952841000
lvt-lemna@yandex.ru
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар 350044, Калининна 13

В работе представлены данные о сорбционных свойствах спелого зерна кукурузы и их связь с влагоотдачей в предуборочный период. Изучены морфологические особенности зерна и початка исследуемых линий. Установлено, что соотношение мучнистого и роговидного эндосперма, толщина стержня початка и особенности листьев обертки оказывают влияние на уборочную влажность зерна. Результаты проведенных исследований позволили прийти к следующим выводам: сорбционные свойства зерна кукурузы зависят от соотношения мучнистого и роговидного эндосперма в зерновке; наиболее гигроскопичным является зерно, в котором преобладает мучнистый эндосперм; на влажность зерна кукурузы в предуборочный период, помимо физиологических особенностей самой зерновки, оказывает влияние толщина стержня и листья обертки; зерно, стержень початка и листья обертки образуют единую систему с окружающей средой, где происходит динамичный обмен влагой

Ключевые слова: РАВНОВЕСНОЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ, УБОРОЧНАЯ ВЛАЖНОСТЬ, ИЗОТЕРМА СОРБЦИИ, МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, ЛИНИИ КУКУРУЗЫ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-189-021>

UDC 631: 635.646

4.1.2. Plant breeding, seed production and biotechnology (biological sciences, agricultural sciences)

STUDYING THE PROCESS OF MOISTURE RECOVERY IN RIPE CORN GRAIN WITH THE HELP OF LABORATORY AND FIELD METHODS

Isakova Svetlana Viktorovna
postgraduate student, chair of genetic, plant breeding and seeds
svetlanaisakova238@gmail.com

Tsatsenko Luidmila Vladimirovna
Dr.Sci.Biol., professor,
Chair of genetic, plant breeding and seeds
RSCI SPIN-code: 2120-6510, AuthorID: 94468
<https://orcid.org/0000-0003-1022-1942>
Scopus Author ID: 55952841000
lvt-lemna@yandex.ru
"Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Krasnodar 350044, Kalinina 13, Russia

The article presents data on the sorption properties of ripe corn grain and their relationship with moisture loss in the pre-harvest period. The morphological features of the grain and cob of the studied lines were studied. It is shown that the ratio of farinaceous and horn-like endosperm, the thickness of the cob stem and the characteristics of the wrapper leaves affect the harvesting moisture content of the grain. The results of the conducted studies allowed us to come to the following conclusions: the sorption properties of corn grain depend on the ratio of farinaceous and horn-like endosperm in the caryopsis; the most hygroscopic is the grain, in which floury endosperm predominates; the moisture content of corn grain in the pre-harvest period, in addition to the physiological characteristics of the grain itself, is influenced by the thickness of the rod and the leaves of the wrapper; grain, cob core and wrapper leaves form a single system with the environment, where there is a dynamic exchange of moisture

Keywords: EQUILIBRIUM MOISTURE CONTENT, HARVESTING HUMIDITY, SORPTION ISOTHERM, MORPHOLOGICAL FEATURES, CORN LINES

Введение. До наступления фазы полной спелости содержание влаги в зерне определяется генотипом, и процесс потери влаги зерном носит физиологический характер. Далее, когда сформирована черная точка на основании зерновки, листья обертки и большая часть стебля сухие, процесс влагоотдачи носит физический характер [5]. После наступления этой фазы, влажность зерна кукурузы составляет 22-30 %. Взаимодействие зерна и окружающей среды происходит благодаря его способности к сорбции и десорбции паров воды из атмосферного воздуха и межзернового пространства. Интенсивность влагообмена зависит от относительной влажности воздуха и влажности зерна. Если давление паров воды в воздухе больше, чем над поверхностью зерновки, имеет место явление сорбции (зерно увлажняется), если парциальное давление у поверхности зерна больше, чем в окружающем воздухе, в силу вступает явление десорбции (происходит подсушивание зерна). Парообразная влага перемещается по микрокапиллярам и порам, пронизывающих плодовые оболочки зерна. Зерно способно поглощать пары воды до тех пор, пока не достигнет равновесной влажности. Сорбционная равновесная влажность находится в прямой зависимости от температуры окружающей среды: чем она выше, тем меньше значение равновесной влажности [3]. Согласно классификации, описанной Рудобашта С. (1980), зерно различных культур, в том числе и кукурузы, относится к коллоидным капиллярно-пористым материалам [4]. Его сорбционные свойства зависят от соотношения гидрофильных и гидрофобных веществ в его составе. Основная составляющая эндосперма зерна кукурузы, это крахмал. На его долю приходится 60-65 % от массы зерновки. Известно, что крахмал способен поглотить 70 % воды от своего веса. Как описывал Угрозов В. и др. (2008), крахмал кукурузы менее гидрофильный, чем крахмал картофеля, но более гидрофильный, чем крахмал пшеницы [4]. Эндосперм зерновки является

плотным коллоидным телом и не имеет пор и капилляров, но в их качестве выступает межмолекулярные промежутки.

Ряд полевых опытов показывает, что при понижении температуры окружающей среды и повышении относительной влажности воздуха в предуборочный период, зерно некоторых линий кукурузы может подвергаться вторичному увлажнению. В исследовательскую задачу входило установить механизм влагоотдачи у спелого зерна линий кукурузы с помощью лабораторных и полевых методов.

Материалы и методы. В данной работе приведены результаты исследования равновесного влагосодержания зерна кукурузы среднеспелых линий Кл7427, Кл7407, 79/8 и 79/6. Линии кукурузы Кл7427 и Кл7407 являются исходным материалом для линий 79/8 и 79/6. Статистическим методом определяли способность семян кукурузы притягивать и отдавать влагу (изотермы сорбции и десорбции). Для этого исследуемые образцы зерна кукурузы помещали в контейнер, затем ставили в эксикатор, с помощью которых поддерживалась определенная влажность воздуха при заданной температуре 20°C. Эксикатор помещался в воздушный термостат, в котором поддерживалась заданная температура. Образцы периодически взвешивали, чтобы определить момент, когда масса бюкса с зерном перестанет меняться. Когда масса бюкса переставала нарастать, отмечался момент достижения образцами равновесной влажности. Для получения изотермы сорбции эксперимент проводился на подсушенном зерне кукурузы. Подсушивание целого зерна до постоянного веса проводилось в сушильном шкафу при температуре 105°C в течение 15 мин. Для получения изотермы десорбции, проводилось оволаживание зерна исследуемых линий кукурузы. Для расчета необходимого количества воды мы пользовались формулой:

$$V_B = [(W_3 - W_{исх}) / (100 - W_3)] * m_{зерна}, \text{ мл},$$

где W_3 –влажность зерна установленная требованиями, %, $W_{исх}$ – влажность зерна исходная, %, $m_{зерна}$ – масса зерна увлажненного, г [1].

Перед началом проведения эксперимента влажность зерна определялась весовым методом по ГОСТ 13586.3-2015. Равновесное влагосодержание зерна определяли по формуле:

$$u_p = (m_1 - m_2) / (m_2 - m_6) * 100, \%$$

где m_1 – масса образцов зерен с бюксой до полного высушивания, г, m_2 – масса образцов зерен с бюксой после полного высушивания, г, m_6 – масса бюксы, г [3].

Результаты исследований. Для того, чтобы изучить зависимость равновесной влажности зерна исследуемых линий кукурузы от относительной влажности воздуха, необходимо испытать зерно изучаемых линий в контролируемых условиях. В таблице 1 представлены данные о равновесной влажности зерна кукурузы при сорбции влаги в заданных условиях. Перед началом проведения эксперимента, зерно исследуемых линий было подсушено до 8,0 %.

Таблица 1 – Равновесная влажность зерна кукурузы при сорбции влаги зерном линий кукурузы при $t=20^{\circ}\text{C}$.

Неорганическая соль	K_2CO_3	NaCl	K_2SO_4
Относительная влажность воздуха, $\varphi, \%$	44,0	75,5	97,6
Равновесная влажность зерна, $u_p, \%$	Кл7427	10,5	19,8
	Кл7407	10,7	14,3
	79/8	10,1	14,7
	79/6	9,6	13,9

Из данных таблицы мы видим, что равновесная влажность зерна в заданных условиях возрастает. В условиях, когда относительная влажность воздуха составляет 44,0 %, зерно линий Кл7427, Кл7407 и 79/8 имеет практически одинаковую равновесную влажность, кроме линии 79/6, у которой этот показатель наименьший и составляет 9,6 %. Когда относительная влажность воздуха составляет 75,5 % и 97,6 % резко

отличается равновесная влажность зерна линии Кл7427, она выше, чем у остальных и составляет 19,8 % и 23,6 % соответственно.

Для получения изотермы десорбции, зерно исследуемых линий кукурузы увлажнили до влажности 15,0 %. В таблице 2 представлены данные о равновесной влажности зерна при десорбции влаги в заданных условиях.

Таблица 2 – Равновесная влажность зерна кукурузы при десорбции влаги зерном линий кукурузы при $t=20^{\circ}\text{C}$.

Неорганическая соль	K_2CO_3	NaCl	K_2SO_4
Относительная влажность воздуха, ф, %	44,0	75,5	97,6
Равновесная влажность зерна, цр, %	Кл7427	14,2	23,1
	Кл7407	13,5	17,0
	79/8	13,9	17,1
	79/6	13,5	17,4
			29,4
			26,8
			30,9
			28,3

По данным таблицы 2 мы видим, что уменьшение равновесной влажности зерна кукурузы происходит только при относительной влажности воздуха 44,0 %. На данном этапе не видно существенных различий во влажности изучаемых линий. Далее, при увеличении влажности воздуха до 75,5 % и 97,6 %, влажность зерна снова возрастает. У линий Кл7407, 79/8 и 79/6 при относительной влажности воздуха 75,5% равновесная влажность практически одинакова, у линии Кл7427 этот показатель резко отличается, и составляет 23,1 %. При относительной влажности воздуха 97,6%, показатель равновесной влажности наивысший у линий Кл7427 и 79/8, и составляет 29,4% и 30,9 % соответственно.

По данным таблиц 1 и 2 были построены графики опытных изотерм сорбции подсушенного и десорбции увлажненного зерна кукурузы исследуемых линий, они показаны на рисунках 1 и 2.

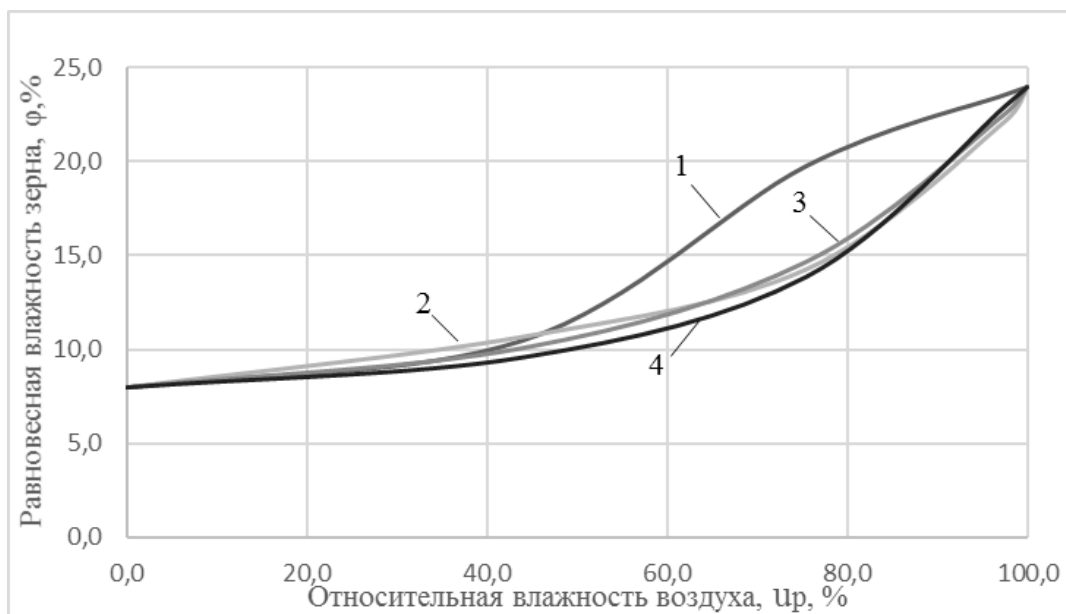


Рисунок 1 – Изотерма сорбции семенами кукурузы (начальная влажность зерна 8,0%) 1 – Кл7427, 2 – Кл7407, 3 – 79/8, 4 – 79/6.

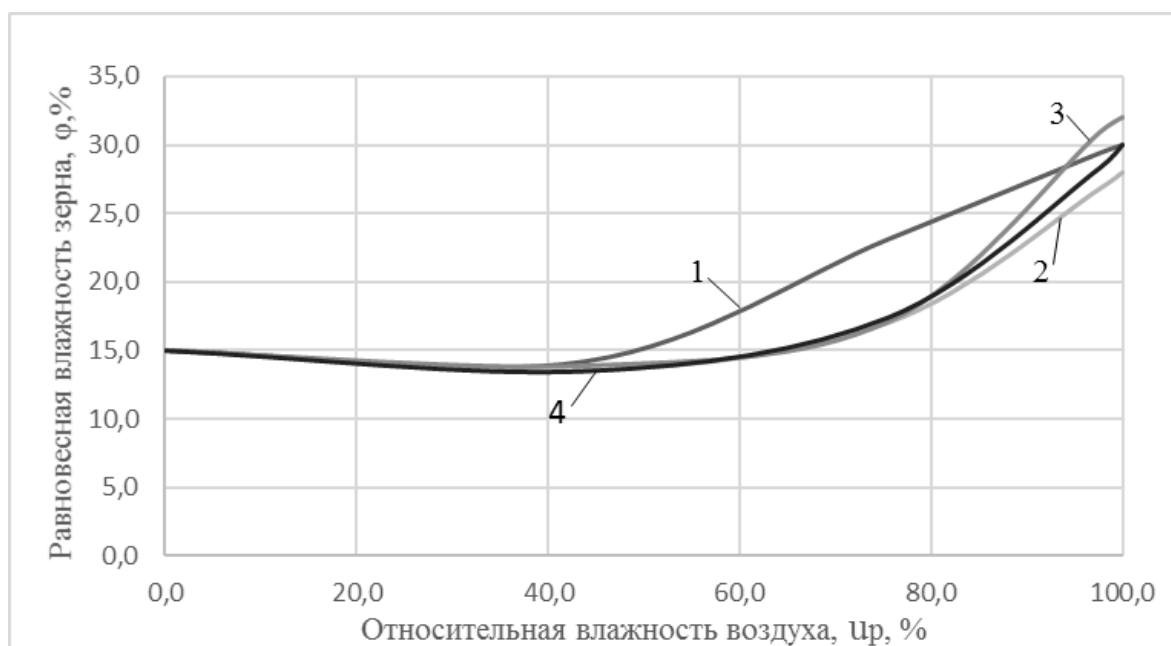


Рисунок 2 – Изотерма десорбции семенами кукурузы (начальная влажность зерна 15,0%) 1 – Кл7427, 2 – Кл7407, 3 – 79/8, 4 – 79/6.

Изотермы сорбции и десорбции влаги зерном кукурузы имеют типичный для семян S-образный вид [2]. Исследование равновесной влажности подсушенного и увлажненного зерна позволили сделать вывод, что при повышении относительной влажности воздуха в опыте влажность зерна всех исследуемых линий увеличивается. По данным, представленных в таблицах 1 и 2 мы видим, что зерно линии Кл7427 более гигроскопично, чем у остальных линий.

Низкая уборочная влажность зерна является ценным признаком для гибридов кукурузы. Поэтому создание родительских линий с этим признаком является важной задачей для селекции. В 2021 г. проводилось изучение уборочной влажности зерна линий кукурузы Кл7427, Кл7407, 79/8 и 79/6 в селекционном питомнике НПО «Семеноводство Кубани», х. Александровском Усть-Лабинского района. Предуборочный период 2021 г. характеризовался обильными осадками и высокой относительной влажностью воздуха. Изменение влажности зерна исследуемых линий и погодные условия в период проведения измерений представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Изменение влажности зерна линий кукурузы и условия предуборочного периода, х. Александровский, 2021 г.

Дней после цветения	Влажность зерна линии Кл7427, %	Влажность зерна линии Кл7407, %	Влажность зерна линии 79/8, %	Влажность зерна линии 79/6, %	Относительная влажность воздуха, %	Среднесуточная температура воздуха, °С	Сумма осадков, мм
50-й день	20,7	26,9	27,3	22,8	72,0	22,0	21,0
55-й день	14,3	15,6	25,7	17,9	65,0	16,5	0,0
60-й день	14,0	13,6	17,0	14,0	66,0	18,0	2,1
Потеря влаги, %/сутки	0,7	1,3	1,0	0,9	-		

В наших исследованиях изучение влажности зерна линий кукурузы начиналось на 50-й день после цветения. В этот период зерно достигает полной спелости и процесс влагоотдачи осуществляется, главным образом, за счет физических процессов. В первую дату проведения измерений линии Кл7407 и 79/8 имели самую высокую среди изучаемых линий влажность зерна (26,9 % и 27,3% соответственно). Далее эти линии теряли влагу с высокой скоростью – 1,3 % и 1,0 % в сутки, и на 60-й день после цветения влажность зерна линии Кл7407 составила 13,6%, линии 79/8 – 17,0%. Линии Кл7427 и 79/6 на 50-й день после цветения имели влажность зерна 20,7% и 22,8% соответственно. Интенсивность потери влаги в сутки составила 0,7% и 0,9%, и на 60-й день после цветения влажность зерна линий Кл7427 и 79/6 составила 14,0%. Относительная влажность воздуха на протяжении всего периода проведения измерений была высокой и колебалась от 65,0% до 72,0 %. Наглядно влажность зерна исследуемых линий и относительная влажность воздуха в предуборочный период в 2021 г изображены на рисунке 3.

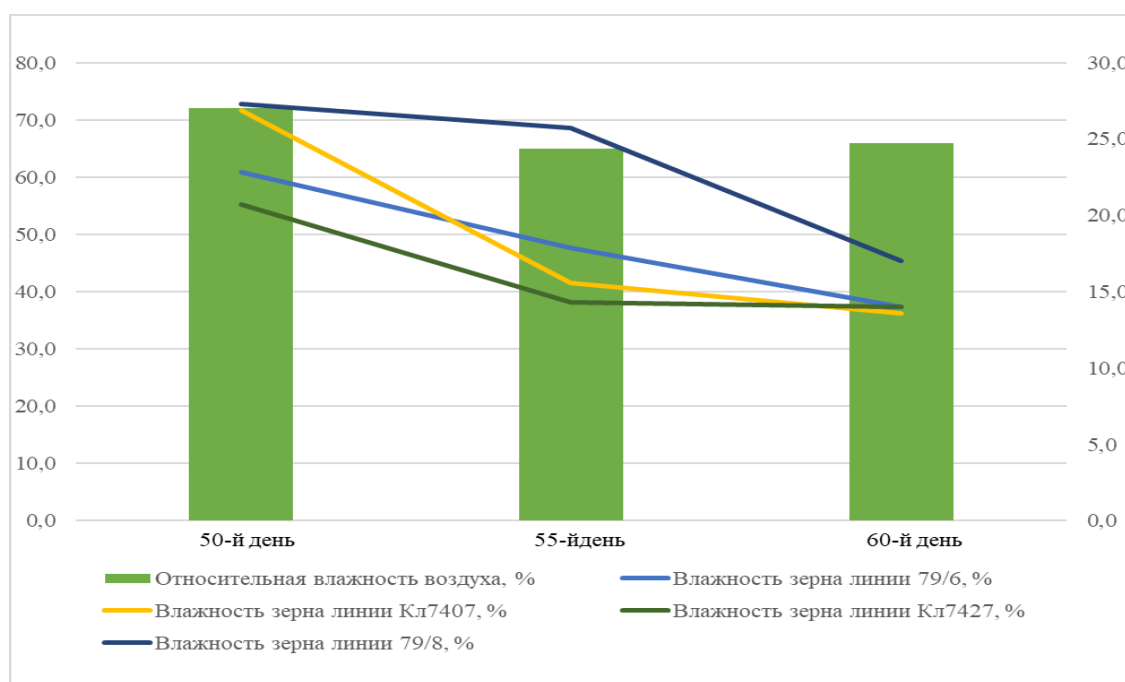


Рисунок 3 – Снижение влажности зерна линий Кл7427, Кл7407, 79/8 и 79/6 в период 50 - 60 дней после цветения и относительная влажность воздуха в этот период, х. Александровский, 2021г.

Влажность зерна в предуборочный период у исследуемых линий закономерно снижается с 50-го по 60-й день после цветения, несмотря на высокую относительную влажность воздуха, выпадение осадков и понижение среднесуточных температур в этот период. Факторами, снижающими действие погодных условий на влагоотдачу зерна кукурузы, являются физиологические особенности зерновки и початка.

Линия Кл7427 относится к зубовидному подтипу, большую часть зерновки заполняет мучнистый эндосперм, благодаря чему влага из зерновки испаряется быстро. Так же преобладающим соотношением мучнистого эндосперма обусловлена высокая гигроскопичность зерна этой линии. Стержень початка тонкий, листья обертки прикрывают весь початок, в том числе и верхнюю его часть, благодаря чему, выпадающие осадки и высокая относительная влажность воздуха не препятствуют снижению влажности зерна линии Кл7427 (рисунок 4 «а»).

Линии Кл7407 относится к зубовидно-кремнистому подтипу, по бокам зерновки выражен роговидный слой, остальная часть эндосперма является мучнистым. При выпадении осадков и повышении относительной влажности воздуха такое зерно в меньшей степени подвергается вторичному увлажнению. Стержень початка тонкий, листья обертки не прикрывают верхнюю часть початка, что позволяет зерну интенсивнее терять влагу (рисунок 4 «б»).

Линия 79/8 относится к зубовидно-кремнистому подтипу, роговидный слой по бокам зерновки выражен, но слабее, чем у Кл7407. Стержень початка толстый, что задерживает влагоотдачу зерна. Листья обертки не прикрывают верхнюю часть початка, влагоотдача происходит интенсивно. Однако, при повышении относительной влажности воздуха и выпадении осадков, такое свойство может привести к вторичному увлажнению зерна (рисунок 4 «в»).

Линия 79/6 относится к зубовидно-кремнистому подвиду, роговидный слой по бокам зерновки выражен ярко, как у Кл7427. Стержень тонкий, листья обертки прикрывают весь початок, включая и верхнюю его часть. Благодаря морфологическим свойствам зерновки и листьев обертки, зерно линии 79/6 равномерно отдает влагу при повышении влажности воздуха и выпадении осадков (рисунок 4 «г»).

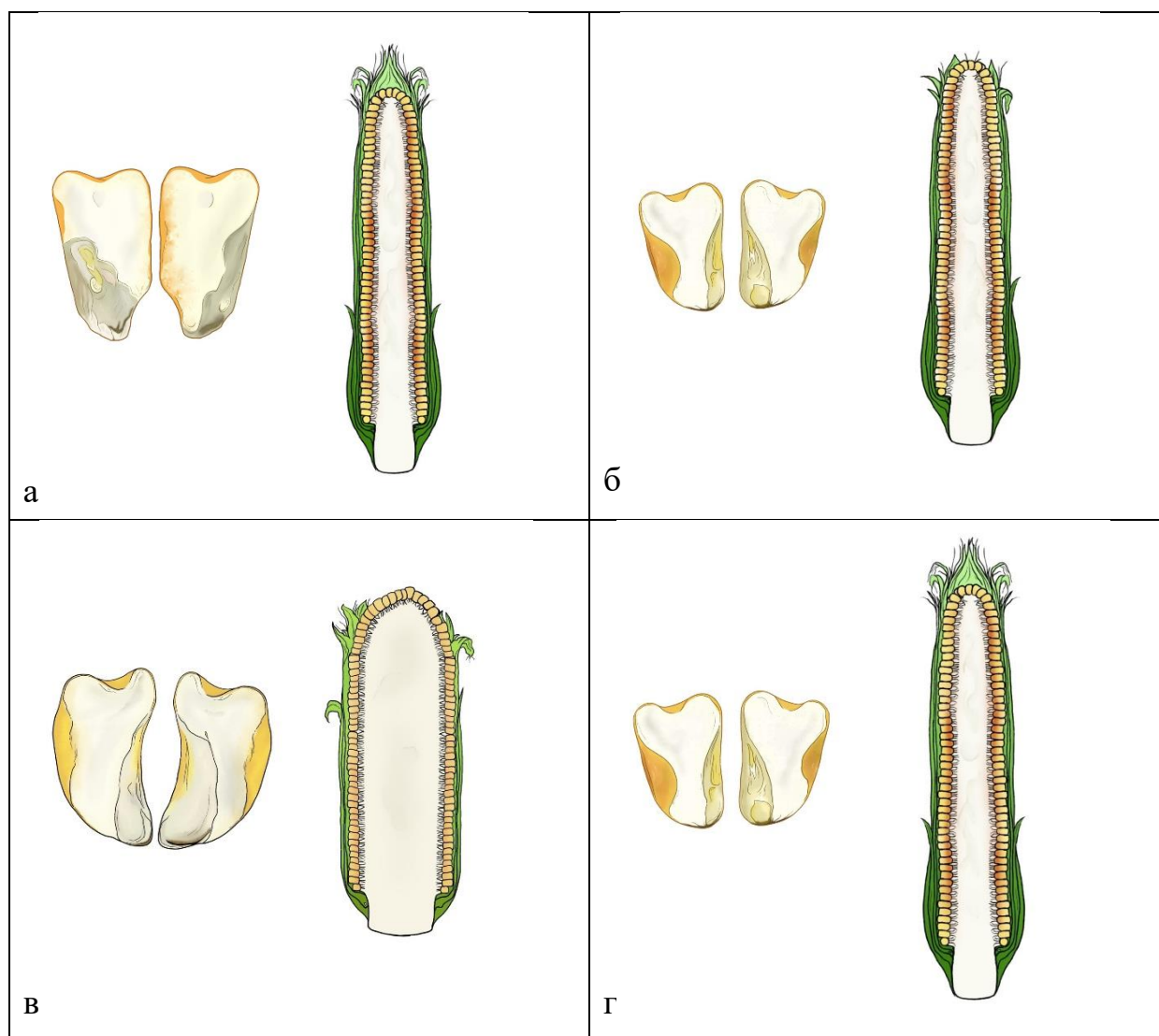


Рисунок 4 – Физиологические особенности зерновки и початка линий Кл7427 (а), Кл7407 (б), 79/8 (в) и 79/6 (г). Рисунок А. Гизатулиной.

Выводы. Результаты проведенных исследований позволили прийти к следующим выводам:

- сорбционные свойства зерна кукурузы зависят от соотношения мучнистого и роговидного эндосперма в зерновке;
- наиболее гигроскопичным является зерно, в котором преобладает мучнистый эндосперм;
- на влажность зерна кукурузы в предуборочный период, помимо физиологических особенностей самой зерновки, оказывает влияние толщина стержня и листья обертки;
- зерно, стержень початка и листья обертки образуют единую систему с окружающей средой, где происходит динамичный обмен влагой.

Список литературы

1. Крикунова Л. Н. Исследование процесса предобработки зерна кукурузы на основе метода гидротермической обработки / Л. Н. Крикунова, Н. М. Кузьменкова, М. В. Гернет // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – №. 4 (23). – С. 43-47.
2. Рудобашта С. П. Гигроскопические свойства семян / С. П. Рудобашта., Г. А. Зуева, Н. А. Зув // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2015. – Т. 58. – №. 1. – С. 68-71.
3. Рудобашта С. П. Равновесное влагосодержание семян кукурузы / С. П. Рудобашта, Е. А. Муравлева, Г. А. Зуева // Наука в центральной России. – 2017. – №. 6(30). – С. 70-78.
4. Угрозов В.В. Сорбция и десорбция паров воды зернами нативного крахмала некоторых культур / В. В. Угрозов, Н. Н. Шебершнева, А. Н. Филиппов, Ю. И. Сидоренко // Коллоидный журнал. – 2008. – Т. 70, № 3. – С. 402-407.
5. García-Lara S. Development and structure of the corn kernel / S. García-Lara, C. Chuck-Hernandez, S. O. Serna-Saldivar // Corn. – 2019. – С. 147-163.

REFERENCES

1. Krikunova L. N. Issledovanie processa predobrabotki zerna kukuruzy na osnove metoda gidrotermicheskoy obrabotki / L. N. Krikunova, N. M. Kuz'menkova, M. V. Gernet // Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv. – 2011. – №. 4 (23). – S. 43-47.
2. Rudobashta S. P. Gigroskopicheskie svojstva semyan / S. P. Rudobashta., G. A. Zueva, N. A. Zuev // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Himiya i himicheskaya tekhnologiya. – 2015. – T. 58. – №. 1. – S. 68-71.

3. Rudobashta S. P. Ravnovesnoe vlagosoderzhanie semyan kukuruzy / S. P. Rudobashta, E. A. Muravleva, G. A. Zueva // Nauka v central'noj Rossii. – 2017. – № 6(30). – S. 70-78.
4. Rudobashta S.P. Massoperenos v sistemah s tverdoj fazoj. M.: Himiya. 1980. 248 s.
5. Ugrozov V.V. Sorbcija i desorbciya parov vody zernami nativnogo krahmala nekotoryh kul'tur / V. V. Ugrozov, N. N. Shebershneva, A. N. Filippov, YU. I. Sidorenko // Kolloidnyj zhurnal. – 2008. – Т. 70, № 3. – S. 402-407.
6. García-Lara S. Development and structure of the corn kernel / S. García-Lara, C. Chuck-Hernandez, S. O. Serna-Saldivar // Corn. – 2019. – C. 147-163.