

ISSN 1817-7204 (Print)

ISSN 1817-7239 (Online)

УДК 633.31:631.531.011.2

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-4-315-325>

Поступила в редакцию 09.04.2025

Received 09.04.2025

В. Н. Золотарев, Т. В. Козлова

*Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса,
Лобня, Российская Федерация*

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОСЕВНЫХ КАЧЕСТВ И ДИНАМИКИ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН ЛЮЦЕРНЫ

Аннотация. Посевные качества семян определяют потенциал стартового развития растений на начальных этапах их онтогенеза. В настоящее время основными нормируемыми показателями при сертификации партий посевного материала, определяющими его хозяйственную годность, являются энергия прорастания и всхожесть. Однако они не позволяют достоверно прогнозировать полевую всхожесть. Цель исследований – изучить влияние продолжительности хранения на посевные качества семян сортов люцерны по комплексу показателей, включающих определение всхожести, энергии, дружности и скорости прорастания, ее индекса, а также динамического процесса герминации семян. Анализ кинетики прорастания семенного материала при двух температурных режимах – +10 и +20 °C – позволил выявить общую закономерность: у всех сортов максимальное количество семян прорастало после 1 года хранения. В условиях более высокого температурного фона скорость прорастания семян после их хранения на протяжении от 1 года до 12 лет уменьшалась на 35–62 %. Корреляционный анализ взаимосвязи энергии и дружности прорастания семян после их хранения на протяжении от 1 года до 6 лет при режиме проращивания +20 °C выявил тесную зависимость этих показателей ($r = 0,882$). Взаимосвязь этих параметров на фоне проращивания семян при +10 °C также была высокой ($r = 0,838$). В соответствии с требованиями ГОСТ Р 52325-2005 сохранение стандартных показателей всхожести у семян сорта Вела наблюдалось на протяжении 6,5–7,5 года, у сорта Воронежская 6 – до 7,5 года и Павловской 7 – до 8,5 года.

Ключевые слова: люцерна, сорта, посевные качества семян, длительность хранения

Для цитирования: Золотарев, В. Н. Методы исследования посевных качеств и динамики прорастания семян люцерны / В. Н. Золотарев, Т. В. Козлова // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 4. – С. 315–325. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-4-315-325>

Vladimir N. Zolotarev, Tatiana V. Kozlova

Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Lobnya, Russian Federation

METHODS OF STUDYING SOWING QUALITIES AND GERMINATION DYNAMICS OF ALFALFA SEEDS

Abstract. Sowing qualities of seeds determine the potential of the initial development of plants at the initial stages of their ontogenesis. Currently, the main standardized indicators in the certification of batches of seed material, determining its economic suitability, are germination energy and germination. However, they do not allow to reliably predict field germination. The purpose of the research is to study the effect of storage duration on the sowing qualities of seeds of alfalfa varieties by a set of indicators, including the determination of germination, energy, uniformity and rate of germination, its index, as well as the dynamic process of seed germination. Analysis of the kinetics of seed germination at two temperature regimes – +10 and +20 °C – revealed a general pattern: in all varieties, the maximum number of seeds germinated after one year of their storage. At a higher temperature background, the rate of seed germination after their storage for 1 to 12 years decreased by 35–62 %. Correlation analysis of the relationship between the energy and uniformity of seed germination after their storage for 1 to 6 years under the germination regime of +20 °C revealed a close dependence of these indicators ($r = 0.882$). The relationship of these parameter indicators against the background of seed germination at +10 °C was also high ($r = 0.838$). In accordance with the requirements of GOST R 52325-2005, the preservation of standard germination indicators in the seeds of the Vela variety was observed for 6.5–7.5 years, in the Voronezhskaya 6 variety – up to 7.5 years, and in the Pavlovskaya 7 variety – up to 8.5 years.

Keywords: alfalfa, varieties, sowing qualities of seeds, storage duration

For citation: Zolotarev V. N., Kozlova T. V. Methods of studying sowing qualities and germination dynamics of alfalfa seeds. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 4, pp. 315–325 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-4-315-325>

Введение. Урожайность сельскохозяйственных культур отражает их адаптивные возможности в определенных экологических и агротехнических условиях, а растения, выросшие в данных условиях, дают семена, отличающиеся специфичными генетическими, физическими свойствами и посевными качествами, в связи с чем их анализу следует уделять пристальное внимание [1, 2]. У сортов различных видов семена являются носителями генетических наследственных улучшений, достигнутых современной селекцией растений, и оценка их посевных качеств осуществляется в соответствии с принятыми системами сертификации [3]. В настоящее время при сертификации партий посевного материала многолетних бобовых трав в системе семенного контроля энергия прорастания и лабораторная всхожесть являются наиболее значимыми показателями оценки хозяйственной пригодности семян. Параметры их значений дают возможность быстро, информативно, а главное, воспроизводимо охарактеризовать партии семян различных культур [4].

Однако критерии только этих показателей дают ограниченные объективные сведения о степени жизнеспособности семян, не прогнозируют перспективу формирования развитых проростков и возможность получения из них сильных всходов в полевых условиях. Необходимы дополнительные содержательные показатели определения биологической полноценности семян, отражающие их способность во время прорастания формировать высококонкурентные всходы. Поэтому, наряду с традиционно используемыми показателями качества семян – всхожестью и энергией прорастания, для оценки критериев их хозяйственных свойств целесообразно также определять скорость и дружность прорастания, так как эти показатели более тесно связаны с полевой всхожестью и оказывают влияние на развитие всходов и ювенильных растений на ранних этапах онтогенеза [5–7]. Кроме того, в научно-исследовательской работе по изучению показателей энергии прорастания и всхожести, которые предоставляют информацию только о числе проросших семян на определенную дату после постановки на проращивание, этого часто бывает недостаточно. В таких случаях процесс проращивания целесообразно изучать в динамике, осуществляя учет числа проросших семян многократно через определенные промежутки времени [4]. Обычно первыми дают всходы семена с потенциально наибольшей силой роста. Чем раньше появятся проростки, тем быстрее они перейдут к автотрофному питанию и развитию в полевых условиях [5].

Семена люцерны способны прорастать в широком диапазоне температур, от +5 до +40 °C, наиболее интенсивно – в интервале 11,7–21,1 °C [8]. Параметры динамики прорастания семян при разных температурных режимах представляют практический интерес для разработки методов предпосевной подготовки посевного материала [9], а также позволяют прогнозировать полевую всхожесть в зависимости от степени прогрева почвы и, в соответствии с этим, корректировать нормы высеива.

В современном семеноведении посевные качества семян рассматриваются как совокупность их биологических и хозяйственных свойств, отражающих пригодность к посеву и способность к формированию полноценных всходов [10]. Посевные качества семян являются интегрированным показателем, суммирующим проявление особенностей сложных физиологико-биохимических процессов, протекающих в семенах при их развитии и отражающих условия формирования урожая в зависимости от флуктуаций комплекса экзогенных и эндогенных императивных факторов, складывающихся в определенных экологических условиях [11]. У люцерны семена, как фактор урожайности, имеют свои биологические особенности, которые в разные годы могут существенно изменяться [12–14]. Одним из характерных генетически обусловленных свойств люцерны является твердосемянность, на проявление которой в количественном отношении (от 8 до 99 %) влияют погодные условия вегетационных сезонов и реакция на них отдельных генотипов, продолжительность хранения семян, применяемые для обработки препараты и другие факторы воздействия [15–17]. При этом хранение семян при положительной температуре не обязательно снижает содержание твердых семян даже в течение нескольких лет [18].

Для практического семеноводства, в том числе при формировании страховых фондов, большой научный интерес имеет изучение биологической долговечности и продолжительности сохранения хозяйственной годности посевного материала при его хранении [19, 20]. Старение семян – это необратимый и естественный процесс, при котором их всхожесть снижается или теряется полностью [21]. Имеющиеся сведения о долговечности семян указывают, что у люцерны изменчивой при начальной исходной высокой всхожести после незначительного ее снижения (на 10 %) в 1-й год жизнеспособность семян может сохраняться на одном уровне в течение первых 5,5–6,0 года хранения, с дальнейшим уменьшением до 68–43 % в последующие 4 года [17, 20].

В зарубежных исследованиях для расширенной характеристики посевных качеств семян также определяется среднее время их прорастания [22]. Однако сравнительный анализ формулы для расчета этого показателя выявил ее идентичность с методикой расчета показателя скорости прорастания [2]. Представленные параметры характеризуют средневзвешенное количество суток, за которое прорастает одно семя.

Методологические подходы и методы оценки посевных качеств репродуктивных диаспор сельскохозяйственных культур в настоящее время продолжают расширяться и представляют большой научно-практический интерес для фундаментального развития семеноведения кормовых трав. Отдельные аспекты, специфичные для семян люцерны (обусловлены биологическими особенностями этой культуры), требуют проведения исследований с охватом более широкого пулла показателей, комплексно отражающих признаки и свойства посевного материала.

Цель исследований – изучить влияние продолжительности хранения на посевные качества семян сортов люцерны по комплексу показателей, включающих определение всхожести, энергии, дружности, скорости прорастания и ее индекса, а также динамического процесса герминации семенного материала при разных температурных режимах.

Материалы и методика проведения. Исследования проводили в Федеральном научном центре кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса (ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса») в 2010–2022 гг. с посевным материалом люцерны изменчивой (*Medicago sativa L. notho subs. varia* (Martyn) Arcang.) сортов: Вела – пестрогибридного сортотипа и Воронежская 6 – синегибридного сортотипа; люцерны желтой (*Medicago sativa L. falcata* (L.) Arcang.) – Павловская 7. Исследуемые семена сортов люцерны урожаев 2010–2015 гг. были получены из питомников коллекций Воронежской опытной станции по многолетним травам. Семена хранились в складском отапливаемом помещении при умеренных плюсовых температурах и неконтролируемой естественной влажности воздуха в мешочках из хлопковой ткани. Влажность семян после 1 года хранения составляла 9,0–9,3 %, в последующий период – 8,2–7,1 %.

Лабораторные опыты по определению значений энергии прорастания, лабораторной всхожести и ее динамики закладывали согласно ГОСТ 12038-84 («Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести») в продезинфицированных спиртом чашках Петри в четырехкратной повторности по 100 шт. семян. Проращивание производилось на фильтровальной бумаге (два слоя) в термостате ТСО-1/80 СПУ в темноте при постоянной температуре +20 °C (стандартный режим) и при +10 °C. В качестве увлажнителя использовали дистиллированную воду (первоначально 5–7 мл), которую затем по мере необходимости добавляли через 1–2 дня в объеме до 1 мл. Энергию прорастания люцерны изменчивой подсчитывали на 3-й день, у желтой – на 4-й день, лабораторную всхожесть определяли на 7-й день как количество фактически проросших семян. При этом день закладки семян на проращивание и день подсчета считали за одни сутки. Количество проросших семян в динамике фиксировали ежедневно на протяжении 8 сут в одно и то же время. К твердым относили семена, которые к моменту конечного определения всхожести не набухли и не изменили внешнего вида. Общее количество жизнеспособных семян считали суммарно с учетом твердых и проросших.

Для установления скорости (среднего времени) прорастания, при разных термических режимах проводили подсчеты каждые сутки и рассчитывали время, за которое проросло определенное количество семян. Скорость прорастания (СП) определяли на 7-й день по формуле

$$СП = \frac{(A_1 \cdot 1) + (A_2 \cdot 2) + \dots + (A_7 \cdot 7)}{\Sigma A_n},$$

где A_n – количество семян, проросших в 1, 2, ..., 7-е – сутки прорастания; ΣA_n – суммарное количество проросших семян за 7 сут.

Индекс скорости прорастания семян (ИСПС) рассчитывался по следующей формуле [23]:

$$ИСПС = [(A_1/1) + (A_2/2) + (A_n/n)],$$

где A – количество проросших семян в соответствующий день наблюдения; 1, 2, ..., n – сутки, на которые выполняется наблюдение.

Дружность прорастания (Δ) определяли как количество семян (в %), проросших за одни сутки. Этот показатель (% семян/сут) рассчитывали по формуле

$$\Delta = \frac{A}{N},$$

где A – среднее количество проросших семян (%) из 100 шт. за весь стандартный для культуры период; N – фактическое количество суток, в которые эти семена прорастали.

Статистическую обработку экспериментальных данных методом дисперсионного анализа проводили с использованием группы пакета приложений Microsoft Office Word 2007 с помощью Excel 2000, программы Statistica 5.5.

Результаты и их обсуждение. Анализ показателей посевных качеств семян люцерны после периода их хранения от 1 года до 6 лет при стандартном температурном режиме проращивания ($+20^{\circ}\text{C}$) выявил существенные различия как среди сортов, так и в зависимости от года сбора урожая (табл. 1). Наиболее высокие значения энергии прорастания и лабораторной всхожести у всех представленных сортов были отмечены после 1 года хранения в диапазоне 67–91 % и 73–97 % соответственно (см. табл. 1). Величина значения энергии прорастания, отражающая способность семян к быстрому прорастанию, с течением времени понижается. Изучение динамики этого процесса показало, что при увеличении сроков хранения семенного материала более 1 года (до 4–6 лет) разных лет урожая у сортов Вела и Воронежская 6 после двухгодичного периода энергия прорастания снизилась соответственно на 7 и 29 % по отношению к одногодичному сроку и оставалась на этом уровне в последующий 3–5-летний период. У люцерны желтой сорта Павловская 7 уменьшение энергии прорастания через 5 и 6 лет хранения было наиболее выраженным (в 2,7–3,2 раза). Аналогичная закономерность наблюдалась и по изменению показателей всхожести (количество фактически проросших семян).

Величина показателей энергии прорастания и всхожести вариабельны и, наряду с запасом пластических веществ в семени и степени дифференциации зародыша на момент диссеминации, также определяется количеством твердых семян. Так, у сорта Павловская 6 при содержании твердых семян 51 % в урожае 2014 г. показатель энергии прорастания составлял всего 36 %, а при 6 % твердокаменности из сбора 2015 г. – 90 % (см. табл. 1). Аналогичная закономерность отмечается и у сорта Воронежская 6: значения энергии прорастания составляли от 61 до 91 % при соответствующем количестве твердых семян от 18 до 3 % в урожае разных лет (см. табл. 1).

При посеве в весенний период не всегда складываются благоприятные гидротермические условия для получения дружных всходов. В связи с этим целесообразно изучение динамики, скорости и дружности прорастания семян различных генотипов люцерны в условиях более низкого температурного фона, при котором ростовые процессы могут протекать с менее выраженной интенсивностью.

Установлено, что при использовании урожая разных лет при постоянной температуре $+10^{\circ}\text{C}$ в 1-е сут прорастали единичные семена (1–2 %) только у сорта Вела всех сроков хранения (табл. 2). В последующие 2 дня отмечено массовое появление проростков, суммарно от 54 до 61 %, примерно с одинаковым распределением количества проросших по этим суткам. На 4-й день произошло резкое падение кривой темпа – с 25–29 до 8 % с дальнейшим снижением до 1 % на 7-е сут. В отличие от сорта Вела у люцерны Воронежская 6 и Павловская 7 при пониженном относительно стандартного температурном режиме ($+10^{\circ}\text{C}$) массовое прорастание наблюдалось на 3–4-е сут с аналогично выраженной динамикой падения показателей кинетики прорастания семян (см. табл. 2). При этом у сорта Воронежская 6 на 3-и сут фиксировались пиковые значения – проросло основное количество семян из партий всех 4 лет сроков хранения (41–61 %).

Сравнительная оценка темпов прорастания семян при разных термических фонах отражает их биологическую полноценность и адаптивные возможности реализации потенциалов генотипов в спонтанно складывающихся естественных полевых условиях. Анализ динамики прорастания семян при стандартном температурном режиме ($+20^{\circ}\text{C}$) показал, что у люцерны изменчивой сорта Воронежская 6 основное количество семян – от 52 до 76 %, в зависимости от срока хранения, –

проросло уже на 2-е сут (см. табл. 1). Аналогичная закономерность отмечена и у сорта Вела (40–45 %), однако уже с большей долей проросших семян на 3-й день (до 12–17 %). В отличие от люцерны изменчивой у люцерны желтой сорта Павловская 7 прорастание подавляющей части всех семян суммарно распределилось практически равными частями на 2-е и 3-и сут.

Изучение кинетики при двух контрастных температурных режимах позволило выявить общую закономерность – у всех сортов максимальное количество семян прорастало после 1 года их хранения. Затем, после снижения всхожести, в зависимости от температурного режима, на 7–32 %, в последующие 2–3 года этот показатель сохранялся на одном уровне. Количество жизнеспособных семян у всех трех сортов через год после уборки составляло 98–100 %, а через 3 года (урожай 2013 г.) уже от 73 % у Воронежской 6 до 87 % у сорта Вела.

Сравнительная оценка количества жизнеспособных семян, суммарно отражающих реакцию семенного материала на термические условия проращивания, показала, что в условиях пониженного температурного фона, в зависимости от срока хранения (до 6 лет), в целом по годам этот показатель снижался незначительно: у сорта Вела – всего на 1–3 %, у сорта Воронежская 6 – на 5–14 % и у Павловской 7 – на 1–7 % (см. табл. 1, 2). Наиболее выраженное негативное влияние пониженного температурного режима оказало на энергию прорастания. Отмечалось более существенное снижение этого показателя: у сорта Вела – на 4–8 %, у семян сорта Воронежская 6 после одногодичного срока хранения урожая 2015 г. – на 24 %, у Павловской 7 различных сроков хранения – на 6–31 %.

При увеличении продолжительности хранения семенного материала люцерны до 6–12 лет изменения посевных качеств у сортов по годам урожая было различным. Исследования показали, что изначально высокие посевные качества семян не гарантируют их сохранение на этом уровне в последующие годы. Так, у семян сорта Воронежская 6 урожая 2015 г. после 6,5 года хранения по сравнению с одногодичным сроком было отмечено наиболее сильное снижение показателей: энергии прорастания – на 51 %, всхожести – на 56 %, в целом жизнеспособных – на 58 % (см. табл. 1, 3). Вместе с тем у семян этого же сорта 2012–2014 гг. урожая после 7,5–9,5 года хранения посевные качества остались практически без изменений. При этом аналогичные закономерности отмечены у сортов Вела и Павловская 7. Однако, в отличие от сорта Воронежская 6, у этих сортов содержание жизнеспособных семян в урожае 2015 г. снизилось гораздо меньше – только на 13 и 18 % соответственно (см. табл. 1, 3).

Величина значения энергии прорастания, отражающая способность семян к быстрому прорастанию, с течением времени понижается, изменяются характер и темпы процесса появления проростков. Динамика изменений определяется биологическими особенностями, исходными характеристиками семян, режимом проращивания и др. Так, при стандартном термическом режиме проращивания (+20 °C) показатели энергии прорастания на уровне 60 % и более у люцерны изменчивой сорта Вела сохранялись до 7,5 года, у сорта Воронежская 6 – до 9,5 года (см. табл. 1, 3).

Кинетика герминации определялась температурным режимом, генотипом и сроком хранения семян. При +20 °C после 6,5–12 лет хранения у сортов Вела и Воронежская 6 наиболее массовое прорастание наблюдалось на 2-й день, а при +10 °C – на 3-й (см. табл. 3, 4). Следует отметить, что при температуре +20 °C у этих сортов практически все всхожие семена полностью проросли за 2–4-й дни (94–97 % от количества всхожих). В отличие от сортов люцерны изменчивой у люцерны желтой Павловская 7 при пониженном температурном режиме (+10 °C) основное количество семян проросло в течение 3–5-х сут. При этом в 1–2-й дни семена не прорастали (см. табл. 4).

Одной из важных характеристик посевного материала люцерны является содержание твердокаменных семян, входящих в общее число жизнеспособных. Исследования выявили существенные различия этого показателя среди изучаемых сортов. Так, у сорта Вела в целом ежегодно в урожае стабильно отмечался примерно один уровень твердосемянности, 24–25 % (см. табл. 1). При хранении за 2 года этот показатель снизился до 19 %, а за 8,5 года – до 12–16 % (см. табл. 1–4). У сорта Павловская 6 из урожая пяти лет в двух случаях отмечалось высокое содержание твердых семян при проращивании при разных термических режимах, 27–28 % и 47–51 % (см. табл. 1, 2). При хранении урожая 2014 г. содержание твердых семян после 7,5 года снизилось с 47–51 до 35–44 %, а в урожае 2013 г. после 8,5 года – осталось на прежнем уровне (27–28 % против 25–28 %) (см. табл. 1–4). У сорта Воронежская 6 в урожае только одного года из четырех отмечалось низкое

Таблица 1. Динамика прорастания семян сортов люцерны при температуре +20 °C, по состоянию на сентябрь 2016 г.
 Table 1. Dynamics of seed germination of alfalfa varieties at a temperature of +20 °C, as of September 2016

Сорт	Год урожая	Количество проросших семян, %								Энергия прорастания, %	Влажность, %	Содержание твердых семян, %	Содержание жизнеспособных семян, %	Скорость прорастания, сут	Индекс скорости прорастания	Длительность прорастания семян, %/сут
		1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й							
Вела	2013	4	45	15	2	1	0	0	64	68	19	87	2,32	32,4	11,3	
Вела	2014	8	42	12	3	1	0	0	62	67	20	87	2,25	34,1	11,2	
Вела	2015	10	40	17	2	3	0	1	0	67	73	25	98	2,34	36,9	12,2
Воронежская 6	2012	6	62	6	1	1	0	0	74	76	12	88	2,06	39,4	15,2	
Воронежская 6	2013	2	52	7	1	0	0	0	61	62	11	73	2,11	30,6	15,5	
Воронежская 6	2014	5	53	4	2	1	0	0	62	65	18	83	2,09	33,5	13,0	
Воронежская 6	2015	6	76	9	3	2	1	0	91	97	3	100	2,20	48,3	16,2	
Павловская 7	2010	0	16	14	4	1	0	0	34	35	4	39	2,71	13,9	8,8	
Павловская 7	2011	0	13	13	1	1	0	0	27	28	1	29	2,64	12,0	7,0	
Павловская 7	2013	0	28	20	8	1	0	0	56	57	27	84	2,68	22,9	14,2	
Павловская 7	2014	0	19	13	4	1	1	1	36	39	51	90	2,85	13,8	8,5	
Павловская 7	2015	3	44	35	8	1	1	0	90	93	6	99	2,64	39,2	13,3	
НСР ₀₅	—	—	2,8	1,6	—	—	—	—	3,1	2,2	1,4	2,0	—	—	—	

Таблица 2. Динамика прорастания семян сортов люцерны при температуре +10 °C, по состоянию на сентябрь 2016 г.
 Table 2. Dynamics of seed germination of alfalfa varieties at a temperature of +10 °C, as of September 2016

Сорт	Год урожая	Количество проросших семян, %								Энергия прорастания, %	Влажность, %	Содержание твердых семян, %	Содержание жизнеспособных семян, %	Скорость прорастания, сут	Индекс скорости прорастания	Длительность прорастания семян, %/сут
		1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й							
Вела	2013	2	29	25	8	3	0,3	1	0	56	68	16	84	2,78	27,5	9,7
Вела	2014	1	29	27	8	2	1	1	1	57	69	18	86	2,76	27,1	9,9
Вела	2015	2	32	29	8	3	0	1	0	63	75	24	99	2,76	30,4	12,5
Воронежская 6	2012	0	6	48	13	3	0	0,3	1	54	70	12	83	3,25	22,9	14,0
Воронежская 6	2013	0	13	47	11	3	0,7	1	0	60	76	11	88	3,14	25,9	12,7
Воронежская 6	2014	0	5	41	14	5	0,3	1	1	46	66	14	71	3,41	24,4	11,0
Воронежская 6	2015	0	6	61	13	5	0	0,3	0	67	85	3	88	3,20	27,6	17,0
Павловская 7	2010	0	11	14	7	2	1	2	1	25	36	3	39	4,27	9,2	7,2
Павловская 7	2011	0	9	12	7	4	1	2	21	37	1	38	4,48	8,2	7,4	
Павловская 7	2013	0	0	21	7	7	2	1	42	58	28	86	4,17	15,1	11,6	
Павловская 7	2014	0	6	12	8	7	6	2	1	26	41	47	88	4,12	11,7	6,8
Павловская 7	2015	0	11	29	19	19	6	3	1	59	87	4	91	3,92	25,2	14,5
НСР ₀₅	—	—	1,2	1,9	1,3	—	—	—	3,3	2,3	1,3	2,2	—	—	—	—

Таблица 3. Динамика прорастания семян люцерны селекции Воронежской станции при температуре +20 °C, по состоянию на март 2022 г.

Table 3. Dynamics of germination of alfalfa seeds selected by the Voronezh station at a temperature of +20 °C, as of March 2022

Сорт	Год урожая	Количество проросших семян, %								Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Содержание твердых семян, %	Содержание жизнеспособных семян, %	Скорость прорастания, сут	Индекс скорости прорастания	Длительность прорастания семян, %/сут
		День	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й							
Вела	2013	2	45	9	1	0	0	0	0	56	57	16	73	2,16	27,8	14,3
Вела	2014	5	49	11	2	1	0	0	0	65	68	21	89	2,19	33,9	13,6
Вела	2015	2	53	14	1	1	0	0	0	69	71	14	85	2,24	33,6	14,2
Воронежская 6	2012	2	59	4	2	0	0	0	0	65	67	14	81	2,09	33,3	16,8
Воронежская 6	2013	1	54	4	1	0	0	0	0	59	60	8	68	2,08	29,6	15,0
Воронежская 6	2014	6	54	4	1	0	0	0	0	64	65	14	79	2,00	34,6	16,2
Воронежская 6	2015	1	32	7	0	1	0	0	0	40	41	1	42	2,22	19,5	10,2
Павловская 7	2010	0	22	12	1	0	0	0	0	35	35	5	40	2,40	15,2	11,7
Павловская 7	2011	0	21	6	1	0	0	0	0	28	28	1	29	2,28	12,8	9,3
Павловская 7	2013	0	26	17	3	1	0	0	0	46	47	28	75	2,55	19,6	11,8
Павловская 7	2014	1	22	14	5	1	0	0	0	42	43	44	87	2,60	18,1	8,6
Павловская 7	2015	0	55	16	4	1	0	0	0	75	76	5	81	2,36	34,0	19,0
НСР ₀₅	—	—	—	2,3	1,6	—	—	—	—	3,8	2,1	0,8	2,3	—	—	—

Таблица 4. Динамика прорастания семян люцерны селекции Воронежской станции при температуре +10 °C, по состоянию на март 2022 г.

Table 4. Dynamics of germination of alfalfa seeds selected by the Voronezh station at a temperature of +10 °C, as of March 2022

Сорт	Год урожая	Количество проросших семян, %								Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Содержание твердых семян, %	Содержание жизнеспособных семян, %	Скорость прорастания, сут	Индекс скорости прорастания	Длительность прорастания семян, %/сут
		День	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й							
Вела	2013	0	7	33	15	3	2	0	0	40	60	12	72	3,33	19,2	12,0
Вела	2014	0	10	40	8	2	1	0	0	50	61	20	81	3,08	20,9	12,2
Вела	2015	0	14	44	15	3	2	0	0	58	78	15	93	3,17	26,4	15,6
Воронежская 6	2012	0	8	43	10	4	2	1	0	51	68	15	83	3,29	22,1	11,3
Воронежская 6	2013	0	3	41	14	4	1	0	1	44	63	9	72	3,42	19,8	10,7
Воронежская 6	2014	0	12	40	7	3	1	1	0	52	64	10	74	3,12	22,0	10,7
Воронежская 6	2015	0	5	32	11	3	2	0	0	37	53	3	56	3,34	16,8	10,6
Павловская 7	2010	0	9	12	13	2	0	0	21	36	6	42	4,22	8,9	9,0	
Павловская 7	2011	0	8	14	3	0	0	0	22	25	0	25	3,80	6,8	8,3	
Павловская 7	2013	0	0	20	10	2	0	0	40	52	25	77	3,88	15,6	13,0	
Павловская 7	2014	0	0	15	16	14	1	0	31	46	35	81	4,02	12,0	9,4	
Павловская 7	2015	0	0	23	33	18	3	1	1	56	78	4	82	4,10	20,2	13,2
НСР ₀₅	—	—	—	1,7	1,1	—	—	—	—	2,4	1,8	0,7	2,0	—	—	—

количество твердых семян, 3 %, а в остальные три – от 11 до 18 % (см. табл. 1). В процессе хранения при 7,5-летней продолжительности у сорта Вела урожая 2014 г. содержание твердых семян не изменилось и составляет соответственно 20 и 21 % (см. табл. 1, 3). Тенденция к снижению этого показателя с 11 до 8 % у этого сорта наблюдалась только после 8,5 года хранения урожая 2013 г. (см. табл. 1, 3).

Определяемые при сертификации энергия прорастания и всхожесть, нормируемые в соответствии с требованиями ГОСТа для разных категорий посевного материала, позволяют получить информацию о количестве проросших семян на определенный день от их замачивания. Однако эти константные показатели не в полной мере характеризуют способность семенного материала сформировать дружные высококонкурентные всходы. Для комплексной оценки полноценности семян, наряду с энергией прорастания и всхожестью, в качестве дополнительных информативных показателей целесообразно определять средневзвешенные показатели скорости (среднего времени) прорастания семян, количественно характеризующие динамический процесс герминации семени в зависимости от изучаемых факторов.

Широкий спектр сравнительных исследований показал, что на температурно-временные реакции видов растений на внешние условия оказывают влияние географическое происхождение и адаптационные характеристики их сортов [24]. Исследования выявили, что после хранения семян люцерны на протяжении от 1 года до 6 лет превышение показателя скорости (среднего времени) прорастания при более высокой температуре, +20 °C, по сравнению с пониженным температурным фоном, +10 °C, у сорта Вела составило 16–23 %, у Воронежской 6 – 45–63 % и у Павловской 7 – 45–70 % (см. табл. 1, 2). После 6,5–12 лет продолжительности хранения семян разница этого показателя при разных термических режимах проращивания увеличилась: у сорта Вела – на 35–42 %, у Воронежской 6 – на 50–64 % и у Павловской 7 – на 52–74 % (см. табл. 3, 4). При этом рамки границ разнонаправленных изменений показателей скорости прорастания семян после их хранения в интервале от 1 года до 12 лет у генотипов были разными: при стандартном режиме проращивания (+20 °C) у сорта Вела колебания находились в пределах 3–7 %, у Воронежской 6 – от 1 до 4 %, у Павловской 7 – в диапазоне 5–14 %. При проращивании же семян в условиях пониженного температурного фона (+10 °C) скорость их прорастания после периода хранения от 1 года до 6 лет по сравнению с периодом 7,5–12 лет у сорта Вела снизилась на 12–20 %, у Воронежской 6 оставалась практически на одном уровне, а у Павловской 7 существенно повысилась у образца урожая 2011 г., на 28 % (см. табл. 2, 4). То есть при увеличении продолжительности хранения показатели скорости (среднего времени) прорастания семян, снижаются при их проращивании в условиях пониженного температурного фона.

Анализ кинетики прорастания семенного материала при двух температурных режимах – +10 и +20 °C – позволил выявить общую закономерность: у всех сортов максимальное количество семян прорастало после 1 года их хранения. В условиях более высокого температурного фона скорость прорастания семян после их хранения на протяжении от 1 года до 12 лет уменьшалась на 35–62 %. Установление коэффициента корреляции между энергией и скоростью прорастания семян при сроке их хранения от 1 года до 6 лет при проращивании при +20 °C показало на слабую степень взаимосвязи ($r = -0,444$). Вместе с тем проращивание при +10 °C выявило тесную отрицательную зависимость между энергией и скоростью прорастания семян ($r = -0,822$).

Индекс скорости прорастания семян является показателем, наглядно отражающим динамику прорастания за установленный стандартный период времени. После хранения семян на протяжении от 1 года до 6 лет при режиме проращивания +20 °C индекс скорости на 18–21 % превосходил этот показатель у сорта Вела по сравнению с уровнем +10 °C, у Воронежской 6 – на 18–75 % и на 30–55 % – у Павловской 7 (см. табл. 1, 2). Аналогичная закономерность соотношения индекса у изучаемых сортов при разных термических условиях проращивания семян также наблюдалась и при более длительном периоде их хранения – в интервале 6,5–11,5 года (см. табл. 3, 4).

Для посева в условиях производства одной из наиболее важных характеристик семенного материала является дружность прорастания семян, которая определяет предпосылки для формирования агрофитоценозов с определенными оптимальными параметрами густоты стояния всходов, обеспечивающей максимальную реализацию потенциала продуктивности. При стандартном режиме проращивания (+ 20 °C) наиболее высокие показатели дружности в диапазоне от 14,2 до 16,2 % проросших

семян в сутки были отмечены у сортов Павловская 7 после 3 лет хранения урожая и у Воронежской 6 – от 1 года до 4 лет хранения (см. табл. 1). При увеличении продолжительности складирования на 6 лет самое высокое значение дружности прорастания (19 %) наблюдалось у сорта Павловская 7 урожая 2015 г., а также у сорта Воронежская 6 – в пределах 15,0–16,8 % после 7,5–9,5 года хранения (см. табл. 3). Определение дружности прорастания в условиях пониженного температурного фона (+10 °C) показало, что при сроке хранения 1–4 года самые высокие показатели (14,0–17,0 %) были у сорта Воронежская 6, а при увеличении продолжительности складирования до 6,5 года наиболее дружное прорастание (13,2–15,6 %) наблюдалось у сорта Вела урожая 2015 г. и у Павловской 7 (см. табл. 2, 4).

Корреляционный анализ взаимосвязи энергии и дружности прорастания семян после их хранения на протяжении от 1 года до 6 лет при режиме проращивания +20 °C выявил тесную зависимость этих показателей ($r = 0,882$). Взаимосвязь этих показателей на фоне пониженного температурного фона проращивания семян также была высокой ($r = 0,838$). В целом у сортов люцерны изменчивой Вела и Воронежская 6 уровень значений дружности прорастания со 2-го до 6-го года хранения семян был выше при температурном режиме +20 °C. У люцерны желтой сорта Павловская 7 динамика этого показателя на фоне +20 и +10 °C зависела от продолжительности хранения семян и была разнонаправленной.

В настоящее время при сертификации партий посевного материала многолетних бобовых трав показатель всхожести определяется как суммарное количество проросших и твердых семян, то есть в представленных исследованиях это число жизнеспособных семян. Согласно действующему ГОСТ Р 52325-2005 («Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия») показатели всхожести по категориям семян для люцерны изменчивой составляют 80 % – для оригинальных и элитных семян (ОС и ЭС), 75 % – для репродукционных семян (РС) и для люцерны желтой – 75 % у ОС, ЭС, 70 % – у РС. В соответствии с этими требованиями сохранение стандартных показателей всхожести у семян сорта Вела наблюдалось на протяжении 6,5–7,5 года, у сорта Воронежская 6 – до 7,5 года и Павловской 7 – до 8,5 года (см. табл. 3).

Выводы. Таким образом, общепринятые нормируемые ГОСТами показатели посевных качеств семян люцерны, используемые при сертификации, не дают развернутой объективной картины состояния семенного материала и не полностью отображают его потенциальные возможности по формированию дружных всходов. В научно-исследовательской работе, наряду с энергией прорастания и всхожестью, для комплексной характеристики семян различных генотипов люцерны, их долговечности целесообразно проводить определение дружности, скорости (среднего времени) прорастания семян, и ее индекса. Предложенные дополнительные показатели, а также полученные материалы по динамике прорастания семян в зависимости от продолжительности их хранения при разных термических режимах могут быть использованы в качестве методологической основы для получения расширенной информативной характеристики партий посевного материала не только люцерны, но и других бобовых трав.

Список использованных источников

1. Бабайцева, Т. А. Продуктивность и качество семян сортов озимой тритикале при разных приёмах посева / Т. А. Бабайцева, И. А. Рябова // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 1 (50). – С. 3–11.
2. Сыркина, Л. Ф. Сравнительный анализ лабораторного прорастания семян сортов зернового сорго / Л. Ф. Сыркина, Ю. Ю. Никонорова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Сельскохозяйственные науки. – 2022. – Т. 1, № 1 (1). – С. 55–58. <https://doi.org/10.37313/2782-6562-2022-1-1-55-58>
3. Legume seed production meeting market requirements and economic impacts / B. Boelt, B. Julier, Đ. Karagić, J. Hampton // Critical Reviews in Plant Sciences. – 2015. – Vol. 34, № 1–3. – P. 412–427. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.898477>
4. Бухаров, А. Ф. Кинетика прорастания семян. Методы исследования и параметры / А. Ф. Бухаров, Д. Н. Балеев, А. Р. Бухарова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 2. – С. 5–19.
5. Шихова, И. В. Оценка морфофизиологических показателей и посевных качеств семян клевера лугового на ранних стадиях развития / И. В. Шихова, Е. Г. Арзамасова, Е. В. Попова // Таврический вестник аграрной науки. – 2022. – № 3 (31). – С. 198–210.
6. Марченко, Л. В. Сила роста семян у сортов люцерны изменчивой (*Medicago varia*) / Л. В. Марченко // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – № 4 (227). – С. 76–81.
7. Нелюбина, Ж. С. Влияние ультрафиолетового облучения семян многолетних трав на их посевные качества / Ж. С. Нелюбина, Н. И. Касаткина // Аграрная наука. – 2021. – № 9. – С. 97–100. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-352-9-97-100>

8. Ahmed, L. Q. Genetic diversity of alfalfa (*Medicago sativa*) in response to temperature during germination / L. Q. Ahmed, J. L. Durand, A. J. Escobar-Gutiérrez // *Seed Science and Technology*. – 2019. – Vol. 47, № 3. – P. 351–356. <https://doi.org/10.15258/sst.2019.47.3.10>
9. Бухаров, А. Ф. Кинетические параметры прорастания семян укропа в условиях градиента температур / А. Ф. Бухаров, Д. Н. Балеев // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2022. – № 3 (209). – С. 17–23. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-209-3-17-23>
10. Кривобочек, В. Г. Оценка посевных качеств семян / В. Г. Кривобочек, А. П. Стаценко, М. С. Рязанцев // *Аграрный научный журнал*. – 2018. – № 7. – С. 10–13. <https://doi.org/10.28983/asj.v0i7.521>
11. Золотарев, В. Н. Агробиологические основы возделывания вики посевной (*Vicia sativa* L.) на семена в гетерогенных агроценозах в условиях Центрального Нечерноземья России / В. Н. Золотарев // *Сельскохозяйственная биология*. – 2016. – Т. 51, № 2. – С. 194–203. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.2.194rus>
12. Дюкова, Н. Н. Определение жизнеспособности и твердокаменности семян люцерны изменчивой в Северном Зауралье / Н. Н. Дюкова, А. С. Харалгин, А. А. Богомолов // *Аграрный вестник Урала*. – 2011. – № 9 (88). – С. 4–5.
13. Влияние предпосевной обработки семян многолетних бобовых культур на их прорастание / Н. И. Касаткина, Ж. С. Нелюбина, Н. П. Кондратьева, В. А. Руденок // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. – 2020. – № 5. – С. 30–33. <https://doi.org/10.30850/vtsn/2020/5/30-33>
14. Епифанова, И. В. Оптимизация приёмов возделывания люцерны изменчивой на семена / И. В. Епифанова, О. А. Тимошкин // *Достижения науки и техники АПК*. – 2018. – Т. 32, № 8. – С. 39–41. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10810>
15. Влияние биоантиоксидантов на посевные качества семян клевера лугового и люцерны изменчивой / М. Г. Перевозкина, Д. И. Еремин, Р. И. Белкина [и др.] // *Аграрный вестник Урала*. – 2016. – № 8 (150). – С. 52–57.
16. Seed dormancy and germination in alfalfa (*Medicago falcata* L.) / S. Wang, F. Shi, R. Shi, Y. Zhang // *Legume Research*. – 2024. – Vol. 47, № 2. – P. 234–241. <https://doi.org/10.18805/LRF-758>
17. Динамика изменения твердосемянности сортов люцерны в зависимости от сроков хранения семян / С. А. Игнатьев, А. А. Регидин, Т. В. Грязева, К. Н. Горюнов // *Зерновое хозяйство России*. – 2019. – № 6 (66). – С. 46–49. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-46-49>
18. Wettability and water uptake improvement in plasma-treated alfalfa seeds / M. Holc, P. Gselman, G. Primc [et al.] // *Agriculture*. – 2022. – Vol. 12, № 1. – Art. 96. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010096>
19. Андрюсова, Д. Н. Влияние сроков хранения на всхожесть и характер прорастания семян некоторых полезных растений Якутии / Д. Н. Андрюсова, Н. С. Данилова, С. З. Борисова // *Растительные ресурсы*. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 353–361. <https://doi.org/10.1134/S003399461903004X>
20. Феоктистова, Н. А. Сроки хранения семян многолетних трав для селекционных питомников / Н. А. Феоктистова // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. – 2023. – Т. 184, № 2. – С. 76–86. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-2-76-86>
21. Non-destructive identification of naturally aged alfalfa seeds via multispectral imaging analysis / X. Wang, H. Zhang, R. Song [et al.] // *Sensors*. – 2021. – Vol. 21, № 17. – Art. 5804. <https://doi.org/10.3390/s21175804>
22. Iannucci, A. Alfalfa (*Medicago sativa* L.) seed yield and quality under different forage management systems and irrigation treatments in a Mediterranean environment / A. Iannucci, N. Di Fonzo, P. Martiniello // *Field Crops Research*. – 2002. – Vol. 78, № 1. – P. 65–74. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00094-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00094-1)
23. Wiese, A. M. Calculating the threshold temperature of development for weeds / A. M. Wiese, L. K. Binning // *Weed Science*. – 1987. – Vol. 35, № 2. – P. 177–179. <https://doi.org/10.1017/S0043174500079017>
24. Thermal time basis for comparing the germination requirements of alfalfa cultivars with different fall dormancy ratings / Y. Wu, H. Zhang, Y. Tian [et al.] // *Agronomy*. – 2023. – Vol. 13, № 12. – Art. 2969. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122969>

References

1. Babaytseva T. A., Ryabova I. A. Yield and seed quality of winter triticale varieties under different seeding methods. *Vestnik Izhevskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* = *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*, 2017, no. 1 (50), pp. 3–11 (in Russian).
2. Syrkina L. F., Nikonorova Yu. Yu. Comparative analysis of laboratory germination of seeds of grain sorghum varieties. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk. Sel'skokhozyaistvennye nauki* = *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Agricultural Sciences*, 2022, vol. 1, no. 1 (1), pp. 55–58 (in Russian). <https://doi.org/10.37313/2782-6562-2022-1-1-55-58>
3. Boelt B., Julier B., Karagić Đ., Hampton J. Legume seed production meeting market requirements and economic impacts. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2015, vol. 34, no. 1–3, pp. 412–427. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.898477>
4. Bukharov A. F., Baleyev D. N., Bukharova A. R. Kinetics of seed germination. Research methods and parameters. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* = *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 2017, no. 2, pp. 5–19 (in Russian).
5. Shikhova I. V., Arzamasova E. G., Popova E. V. Evaluation of morphophysiological indicators and sowing quality of *Trifolium pratense* L. seeds at the early stages of development. *Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki* = *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*, 2022, no. 3 (31), pp. 198–210 (in Russian).
6. Marchenko L. V. Seed vigor in bastard alfalfa varieties (*Medicago varia*). *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2012, no. 4 (227), pp. 76–81 (in Russian).

7. Nelyubina Zh. S., Kasatkina N. I. Influence of ultraviolet irradiation of perennial grasses seeds on their sowing quality. *Agrarnaya nauka = Agrarian Science*, 2021, no. 9, pp. 97–100 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-352-9-97-100>
8. Ahmed L. Q., Durand J. L., Escobar-Gutiérrez A. J. Genetic diversity of alfalfa (*Medicago sativa*) in response to temperature during germination. *Seed Science and Technology*, 2019, vol. 47, no. 3, pp. 351–356. <https://doi.org/10.15258/sst.2019.47.3.10>
9. Bukharov A. F., Baleev D. N. Kinetic parameters of dill seed germination under temperature gradient conditions. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2022, no. 3 (209), pp. 17–23 (in Russian). <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-209-3-17-23>
10. Krivobochek V. G., Statsenko A. P., Ryazantsev M. S. Assessment of seed quality. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal = The Agrarian Scientific Journal*, 2018, no. 7, pp. 10–13 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.v0i7.521>
11. Zolotarev V. N. Agrobiological bases of vetch (*Vicia sativa* L.) cultivation for seeds in the Central Russia using heterogeneous agroecosystems. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*, 2016, vol. 51, no. 2, pp. 194–203. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.2.194eng>
12. Dyukova N. N., Haralgin A. S., Bogomolov A. A. Vitality test and hardness of alfalfa seeds in the Northern Trans-Urals area. *Agrarnyi vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2011, no. 9 (88), pp. 4–5 (in Russian).
13. Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S., Kondrat'eva N. P., Rudenok V. A. Influence of pre-sowing seeds treatment of perennial legumes on their germination. *Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki = Vestnik of the Russian Agricultural Science*, 2020, no. 5, pp. 30–33 (in Russian). <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/5/30-33>
14. Epifanova I. V., Timoshkin O. A. Optimization of cultivation of *Medicago varia* for seeds. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*, 2018, vol. 32, no. 8, pp. 39–41 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10810>
15. Perevozkina M. G., Eremin D. I., Belkina R. I., Marchenko L. V., Gubanova V. M., Gubanov M. V. Influence of bioantioxidants on sowing qualities of seeds of red clover and bastard alfalfa. *Agrarnyi vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2016, no. 8 (150), pp. 52–57 (in Russian).
16. Wang S., Shi F., Shi R., Zhang Y. Seed dormancy and germination in alfalfa (*Medicago falcata* L.). *Legume Research*, 2024, vol. 47, no. 2, pp. 234–241. <https://doi.org/10.18805/LRF-758>
17. Ignatiev S. A., Regidin A. A., Gryazeva T. V., Goryunov K. N. Dynamics of alfalfa seed hardness change depending on the seed storage time. *Zernovoe khozyaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*, 2019, no. 6 (66), pp. 46–49 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-46-49>
18. Holc M., Gselman P., Princ G., Vesel A., Mozetič M., Recek N. Wettability and water uptake improvement in plasma-treated alfalfa seeds. *Agriculture*, 2022, vol. 12, no. 1, art. 96. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010096>
19. Androsova D. N., Danilova N. S., Borisova S. Z. Effect of storage duration on germinative capacity and character of seed germination of Yakutian plants. *Rastitelnye Resursy*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 353–361 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S003399461903004X>
20. Feoktistova N. A. Storage life for seeds of perennial grasses for breeding nurseries. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 2023, vol. 184, no. 2, pp. 76–86 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-2-76-86>
21. Wang X., Zhang H., Song R., He X., Mao P., Jia S. Non-destructive identification of naturally aged alfalfa seeds via multispectral imaging analysis. *Sensors*, 2021, vol. 21, no. 17, art. 5804. <https://doi.org/10.3390/s21175804>
22. Iannucci A., Di Fonzo N., Martiniello P. Alfalfa (*Medicago sativa* L.) seed yield and quality under different forage management systems and irrigation treatments in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 2002, vol. 78, no. 1, pp. 65–74. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00094-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00094-1)
23. Wiese A. M., Binning L. K. Calculating the threshold temperature of development for weeds. *Weed Science*, 1987, vol. 35, no. 2, pp. 177–179. <https://doi.org/10.1017/S0043174500079017>
24. Wu Y., Zhang H., Tian Y., Song Y., Li Q. Thermal time basis for comparing the germination requirements of alfalfa cultivars with different fall dormancy ratings. *Agronomy*, 2023, vol. 13, no. 12, art. 2969. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122969>

Информация об авторах

Золотарев Владимир Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса (ул. Научный городок, корп.1, 141055, Лобня, Московская область, Российская Федерация). <http://orcid.org/0000-0001-5926-9387>. E-mail: semvik@vniikormov.ru

Козлова Татьяна Всеволодовна – научный сотрудник, Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса (ул. Научный городок, корп. 1, 141055, Лобня, Московская область, Российская Федерация). <https://orcid.org/0009-0001-9328-2240>. E-mail: labsemva@yandex.ru

Information about the authors

Vladimir N. Zolotarev – Ph. D. (Agriculture), Associate Professor, Leading Researcher, Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology (Building 1, Nauchny Gorodok St., 141055, Lobnya, Moscow Region, Russian Federation). <http://orcid.org/0000-0001-5926-9387>. E-mail: semvik@vniikormov.ru

Tatiana V. Kozlova – Researcher, Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology (Building 1, Nauchny Gorodok St., 141055, Lobnya, Moscow Region, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0001-9328-2240>. E-mail: labsemva@yandex.ru