

ИНТРОДУКЦИЯ РАСТЕНИЙ И БОТАНИЧЕСКОЕ РЕСУРСОВЕДЕНИЕ

УДК 581.525:58.084.1

О СВЯЗИ ТВЕРДОСЕМЯННОСТИ С ОКРАСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ СЕМЯН У СОЛОДКИ УРАЛЬСКОЙ (FABACEAE)

А. Г. Быструшкин¹, Н. А. Кругликов^{2,3,4}, А. Ю. Беляев⁵

¹*Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук
Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а
E-mail: tanpriuriner@rambler.ru*

²*Институт физики металлов Уральского отделения
Российской академии наук
Россия, 620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18
E-mail: nick@itp.uran.ru*

³*Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19*

⁴*Уральский государственный экономический университет
Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62*

⁵*Институт экологии растений и животных Уральского отделения
Российской академии наук
Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202
E-mail: belyaev@ipae.uran.ru*

Поступила в редакцию 07.10.2019 г.

После доработки 18.10.2019 г.

Принята к публикации 29.10.2019 г.

При исследовании популяционного образца семян солодки уральской установлена четкая связь уровня твердосемянности со спектральными характеристиками поверхности семян. Семена, характеризующиеся различной окраской наружной поверхности семенной кожуры (и разделенные по этому признаку)

наку на две группы – «оливковые» и «светлокорицевые»), различаются как параметрами спектра отражения света в диапазоне 450 – 950 нм, так и динамикой набухания при проращивании и процентным содержанием фракции твердых семян. При стандартном режиме проращивания в группе «оливковых» семян выявлена очень высокая доля (91.8%) твердых семян. Большая часть «светлокорицевых» семян набухает на протяжении трех дней, фракция твердых семян в этой группе не превышает 11.1%. Выявленная у солодки уральской дифференциация семян по окраске семенной кожуры (и, соответственно, по параметрам спектра отражения света) может быть использована для целенаправленного разделения семян на фракции с различным содержанием твердых семян. Это важно для разработки приемов их предпосевной подготовки, выделения фракции семян с высокой жизнеспособностью.

Ключевые слова: твердосемянность, семена солодки, спектр отражения поверхности, окраска семян, *Glycyrrhiza uralensis*.

DOI: 10.18500/1682-1637-2019-4-185-198

Солодка уральская (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.) широко известна во всем мире как особо ценное лекарственное, пищевое и техническое растение (используются корневища и корни), а также как кормовая и мелиоративная культура для засушливых регионов. Вследствие длительной эксплуатации природных зарослей фармакопейных видов солодки (к которым относится и солодка уральская) запасы солодкового корня в основных районах его добычи значительно сократились. Это обуславливает актуальность воспроизводства солодки уральской в культуре и семеноводства этого вида (Худайбергенов, 1979; Гранкина, Надежина, 1991; Толстикова и др., 2007). В ряде регионов Российской Федерации это растение встречается достаточно редко, что в значительной мере связано с распашкой степей и нарушением природных местообитаний вида. Поэтому солодка уральская находится под охраной и включена в Красные книги некоторых областей РФ. Это также вызывает необходимость сохранения солодки в культуре и в виде коллекций семян в ботанических садах.

К настоящему времени проведено довольно много исследований по введению солодки уральской (и других близкородственных видов) в культуру, получены положительные результаты (Худайбергенов, 1979; Гранкина, Надежина, 1991; Шилова и др., 2009; Васфилова, Беляев, 2012). При этом широко использовалось семенное размножение данного растения. Для расширения таких работ необходимы достаточ-

О СВЯЗИ ТВЕРДОСЕМЯННОСТИ С ОКРАСКОЙ СЕМЯН

но полные сведения о биологии семян солодки, основных показателях качества семян.

Неоднородность (разнокачественность) семян у различных видов бобовых растений проявляется в отношении многих признаков и свойств, в том числе и в отношении явления твердосемянности (Биология..., 1976). Твердосемянность – это форма физического покоя семян, обусловленная полной водонепроницаемостью семенной кожуры. Семена, обладающие таким свойством, называют твердыми. При проверке на всхожесть они не набухают и не прорастают в течение установленного (нормального) для данного вида растения срока прорастивания. Твердые семена учитываются как вполне жизнеспособные. После проведения скарификации (нарушения целостности семенной кожуры) такие семена в большинстве своем нормально прорастают (Международные..., 1984). Сохранение жизнеспособности семян в состоянии покоя на протяжении многих лет хранения у бобовых растений в значительной мере определяется сохранением свойства твердосемянности (Биология..., 1976; Николаева и др., 1985). В различных образцах семян солодки уральской доля твердых семян может существенно варьировать (от 48 до 94%), это может быть обусловлено многими факторами (Гранкина, Надежина, 1991; Шилова и др., 2009; Беляев, Мелингинович, 2012). В данных работах приводятся некоторые сведения о связи твердосемянности у солодки со сроками хранения семян, варьированием доли твердых семян по годам сбора образцов. Имеются и некоторые данные о связи неоднородности семян солодки уральской по размерам и окраске с твердосемянностью (Гранкина, Надежина, 1991), но обстоятельный анализ по этому вопросу не проводился.

Окраска семян (семенной кожуры) у бобовых растений является биологически важным признаком. Различия в окраске семян могут быть связаны с генетическими факторами и с экологическими условиями в период их формирования, а также могут характеризовать степень их зрелости (Голубев, 1931; Биология..., 1976; Мухина и др., 1993). Соответственно, можно предположить, что у солодки окраска семян может коррелировать со свойством твердосемянности.

Объективная оценка различий в окраске семян может быть получена при помощи метода оптической спектроскопии в видимом диапазоне. Кроме того, методика должна предполагать изучение особенностей окраски семенной кожуры для статистически значимого количества семян

без их разрушения. Такая методика может быть реализована при помощи гиперспектральной камеры. Гиперспектральная фотометрия широко используется для дистанционного изучения особенностей отражательной способности различных поверхностей, например, для оценки состояния посевов и содержания различных веществ в растениях, сканирования поверхности Земли (Campbell, 1996; Sahoo et. all, 2015).

Цель нашего исследования состояла в проведении сравнительной оценки в отношении свойства твердосемянности двух групп семян солодки уральской, различающихся по окраске.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены с использованием семян, собранных в 2012 году в одной ценопопуляции *Glycyrrhiza uralensis* (предположительно образованной одним клоном) в Карагандинской области Республики Казахстан. Образец семян, с которым проводились лабораторные исследования, получен при ручной обработке зрелых бобов солодки, собранных со многих побегов в ценопопуляции. В исследовании были включены заполненные неповрежденные семена.

Предварительный этап лабораторного эксперимента состоял в выявлении фракции быстро набухающих семян. Для этого проводился посев семян в 13 чашек Петри на влажную фильтровальную бумагу (по 50 шт. на чашку). Чашки с семенами находились при температуре 25°C и естественном освещении. Учитывали долю набухших семян в течение 3, 6, 24, 27, 30 и 33 часов. Однородность образца в отношении способности семян к набуханию оценивали по распределению в исследуемой выборке доли семян, не набухших на протяжении 24 часов. Распределение сравнивали с нормальным по критерию Колмогорова-Смирнова (Лемешко, Постовалов, 1999).

Не проявившие признаков набухания семена визуально хорошо различались по окраске поверхности семенной кожуры, они были разделены на две цветовые группы («оливковые» – 76% и «светлокоричневые» – 24%). Далее были исследованы семена каждой группы отдельно.

Параметры спектров отражения поверхности семян изучали в экспериментальной установке с применением гиперспектральной камеры SpecimIQ, установленной в специальном зачерненном и светоизолированном боксе. В качестве осветителей использовали две лампы накаливания номиналом 95 Вт. Экспозицию подбирали таким образом,

О СВЯЗИ ТВЕРДОСЕМЯННОСТИ С ОКРАСКОЙ СЕМЯН

чтобы максимально использовать динамический диапазон сенсора. Усреднение сигнала проводили по площади не менее 10^{-3} м^2 . Для нормировки значений использовали спектр отражения эталона белого цвета из комплекта камеры. Съёмку спектра эталона проводили одновременно со съёмкой спектра семян. Камеру фиксировали в одном положении относительно образца и источников света таким образом, что расстояния между ними оставались неизменными.

Проверку на твердосемянность проводили в чашках Петри в трёхкратной повторности для каждой выделенной цветовой группы семян. В каждую из трёх чашек одновременно высевали семена обеих цветковых групп, соотношение семян при этом составило соответственно «оливковые» – 24, 24 и 25 шт., «светлокоричневые» – 9, 9 и 9 шт. Исследовали динамику набухания семян в климатической камере Binder при температуре 30°C в темноте. Согласно рекомендациям (ГОСТ Р55330-2012), долю набухших и проросших семян учитывали через 1, 3 и 10 суток после посева, долю твердых семян – через 10 суток.

Для оценки статистической значимости различий между выделенными цветовыми группами по признаку твердосемянности применяли анализ частот по методу χ^2 (хи-квадрат Пирсона) с поправкой Йейтса на непрерывность распределения (Larntz, 1978). Уровень статистической значимости принят $p \leq 0.05$. При вычислении статистик применяли компьютерную программу Statistica 8.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлен график набухания семян солодки уральской при проведении предварительного этапа лабораторного эксперимента. Набухание семян началось спустя 6 часов после посева и в первые сутки достигло 19%. Спустя 30 часов доля набухших семян достигла максимума (25.3%) и не менялась на протяжении следующих 3 часов. Не набухшие за этот срок семена потенциально могут содержать значительную долю твердых семян.

Диаграмма распределения доли семян в образце, не проявивших способности к быстрому набуханию (по 13 экспериментальным повторностям), представлена на рис. 2. Критерий Колмогорова-Смирнова $d = 0.17782$ не показал статистически значимого отличия ($p > 0.2$) распределения семян от нормального по признаку отсутствия набухания, что свидетельствует об однородности исследуемого образца по составу.

ву семян с различной реакцией на режим предварительного испытания.

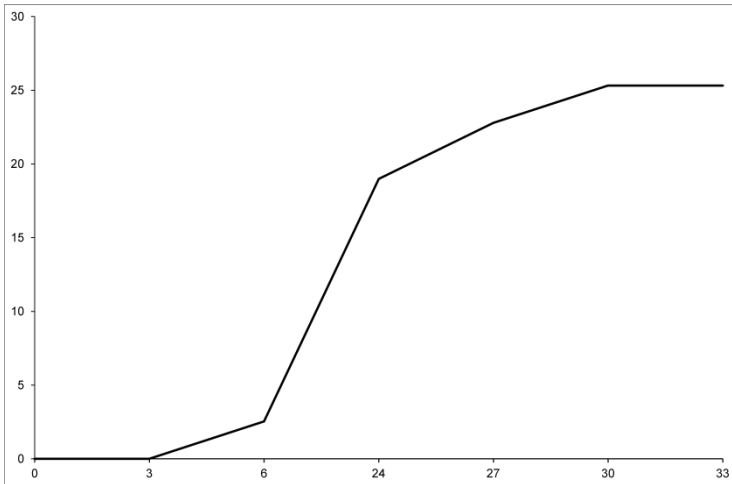


Рис. 1. Динамика набухания семян солодки уральской. По оси абсцисс время в часах, прошедшее после посева. По оси ординат доля набухших семян в процентах.

Fig. 1. Dynamics of Ural licorice seeds swelling. On the abscissa axis – the time, in hours, after sowing. On the ordinate axis – the percentage of swollen seeds.

Из фракции ненабухших семян солодки уральской для проращивания была извлечена выборка обеих групп по окраске семенной кожуры, содержание «оливковых» семян составило 73%, «светлокоричневых» – 27%. Спектры отражения поверхности семян для этих групп представлены на рис. 3. Анализ этих данных показал, что визуальный метод разделения семян по окраске на группы имеет под собой физическую основу. Хорошо заметно, что альбеде «оливковой» и «светлокоричневой» групп существенно отличается для разных диапазонов длин волн. В диапазоне до 625 нм альбеде «светлокоричневой» группы превышает альбеде «оливковой» в то время как для более длинных волн наблюдается обратная тенденция. Пик поглощения при 675 нм может быть связан с активностью пигментов.

О СВЯЗИ ТВЕРДОСЕМЯННОСТИ С ОКРАСКОЙ СЕМЯН

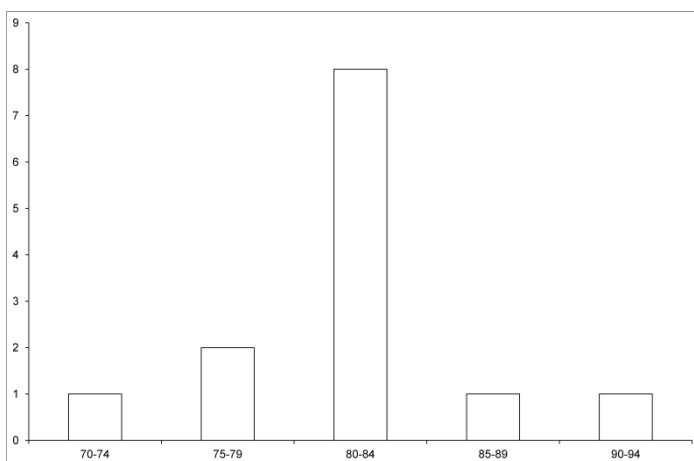


Рис. 2. Диаграмма распределения доли не набухших семян в 13 экспериментальных повторностях образца солодки уральской. По оси абсцисс – диапазон доли не набухших семян в процентах. По оси ординат – количество повторностей с долей не набухших семян в данном диапазоне.

Fig. 2. Distribution chart of the unswollen seeds fraction in 13 experimental replicates of Ural licorice. On the abscissa axis – the percentage of non-swollen seeds in the range. On the ordinate axis – the number of replicates with a fraction of unswollen seeds in a given range.

График набухания для обеих выделенных цветочных групп представлен на рис. 4. Набухание семян солодки уральской происходило в первые трое суток после посева, а затем на протяжении последующих семи суток вновь набухшие семена не появились в обеих исследуемых группах. В итоге 91.8% семян «оливковой» цветочной группы и 11.1% семян «светлокориичневой» группы не набухли и не проросли на протяжении 10 суток после посева – установленного срока для учета прорастания семян солодки уральской (ГОСТ Р55330-2012). То есть, эти семена нужно учитывать как твердые.

Проведённый по методу χ^2 анализ частот набухших через 10 суток семян показал, что различия между семенами «оливковой» и «светлокориичневой» окраски статистически значимы, $\chi^2 = 57.3$ при $p < 0.001$.

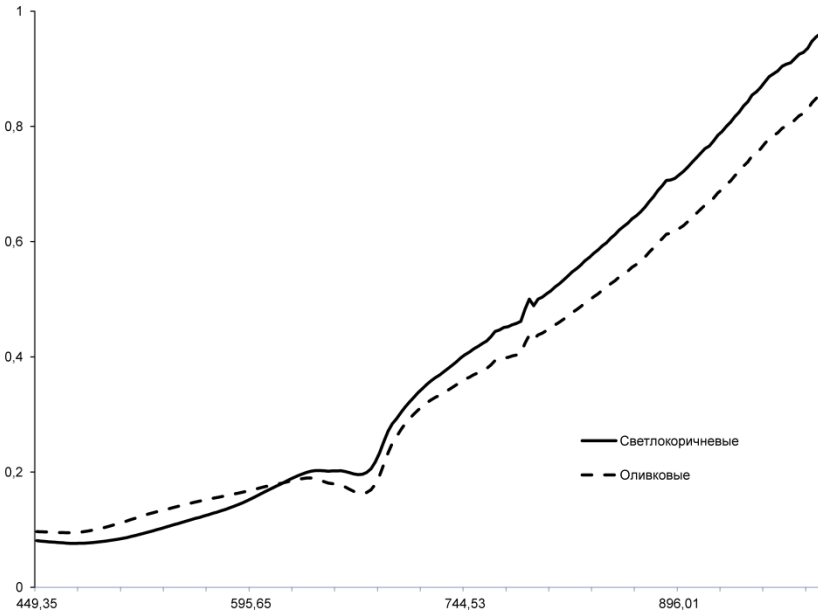


Рис. 3. Спектры отражения поверхности семян разных цветковых групп *Glycyrrhiza uralensis*.

Fig. 3. Seed surface reflection spectra of *Glycyrrhiza uralensis* different color groups.

По истечении 10 суток проращивания семян, среди «светлокоричневых» наблюдалось набухание 24 семян из 27, т.е. большинство «светлокоричневых» семян набухли. Однако прорастание наблюдалось лишь одного семени из 24, остальные 23 семени не проросли и впоследствии сгнили. Среди «оливковых» семян по истечении 10 суток проращивания набухание наблюдалось у 6 семян из 73, таким образом «оливковые» семена показали высокую устойчивость к набуханию, что свидетельствует о высокой степени твердосемянности «оливковых» семян солодки уральской. Прорастание среди набухших «оливковых» семян не наблюдалось совсем, ни одно из 6 набухших семян не проросло, все они впоследствии сгнили. Таким образом, набухшие семена солодки уральской показали крайне низкую жизнеспособность.

О СВЯЗИ ТВЕРДОСЕМЯННОСТИ С ОКРАСКОЙ СЕМЯН

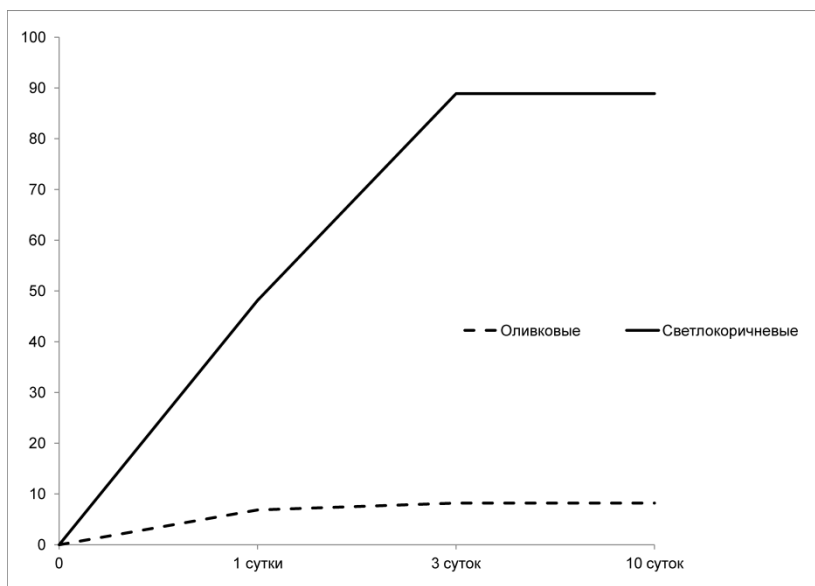


Рис. 4. График набухания семян солодки уральской. По оси абсцисс – время, прошедшее с момента посева, сут. По оси ординат – доля набухших семян, %.

Fig. 4. Schedule of the Ural licorice seeds swelling. The abscissa is the time elapsed since sowing, days. The ordinate axis is the percentage of swollen seeds, %.

Поскольку твердые семена в основной своей массе являются жизнеспособными, то вполне очевидно, что группа семян «оливковой» окраски характеризуется очень высокой жизнеспособностью. Группа семян «светлокоричневой» окраски, по-видимому, состоит в основном из недостаточно созревших семян, которые утратили жизнеспособность. Это вполне согласуется с оценкой качества семян у клевера лугового, у которого коричневым и бурый цвет имеют мертвые и поврежденные семена (Голубев, 1931).

Объективно зафиксированные гиперспектральной камерой отличия спектров отражения поверхности семян солодки уральской в видимом диапазоне открывают возможность для создания технологии автоматической сортировки семян солодки с применением фотометрического метода. Автоматическая сортировка семян солодки по окраске

позволит целенаправленно отбирать семена «оливковой» окраски и, тем самым, повышать долю твердосемянных и, следовательно, жизнеспособных семян в посевном материале.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Неоднородность семян солодки уральской по признаку окраски семенной кожуры проявляется в различных характеристиках спектра отражения поверхности семени в оптическом диапазоне длин волн 450 – 950 нм.

Окраска семян солодки уральской тесным образом связана с их биологическими свойствами, с твердосемянностью, способностью к набуханию и жизнеспособностью.

Визуальный отбор семян солодки уральской по окраске может служить эффективной мерой предпосевной обработки, направленной на повышение содержания жизнеспособных семян в посевах.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ: проект № 18-016-00082, а также при частичной поддержке государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Беляев А. Ю., Мелинтинич О. С. Сравнительная характеристика образцов семян солодки из популяций Уральского региона и сопредельных территорий // X Зырянские чтения: матер. Всерос. науч.-практ. конф. Курган: Изд-во Курган. гос. ун-та, 2012. С. 209 – 210.

Биология семян и семеноводство / Пер. с польск. Г. Н. Мирошниченко. М.: Колос, 1976. 436 с.

Васфилова Е. С., Беляев А. Ю. Итоги тридцатилетних интродукционных исследований солодки (*Glycyrrhiza* L.) в Ботаническом саду УрО РАН // Биологическое разнообразие растительного мира Урала и сопредельных территорий: матер. Всерос. конф. с междунар. участием. Екатеринбург: Гощицкий, 2012. С. 184 – 186.

Голубев Н. П. Красный клевер. М.: Огиз; Л.: Гос. изд-во с.-х. и колхоз.-кооп. лит-ры, 1931. 141 с.

ГОСТ Р55330-2012 Семена аридных кормовых культур. Посевные качества. Технические условия.

Гранкина В. П., Надежина Т. П. Солодка уральская. Новосибирск: Наука. Сибир. отд-ние, 1991. 152 с.

О СВЯЗИ ТВЕРДОСЕМЯННОСТИ С ОКРАСКОЙ СЕМЯН

Лемешко Б. Ю., Постовалов С. Н. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Методические рекомендации. Часть II: Непараметрические критерии. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. 86 с.

Международные правила анализа семян / Пер. с англ. Н. Н. Антошкиной. М.: Колос, 1984. 310 с.

Мухина Н. А., Хорошайлов Н. Г., Коломиец Т. А., Станкевич А. К. Культурная флора: Многолетние бобовые травы. Том 13. М.: Колос, 1993. 335 с.

Николаева М. Г., Разумова М. В., Гладкова В. Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. 348 с.

Толстиков А. Г., Балтина Л. А., Гранкина В. П., Кондратенко Р. М., Толстикова Т. Г. Солодка: биоразнообразие, химия, применение в медицине. Новосибирск: Гео, 2007. 311 с.

Худайбергенов Э. Б. Солодки Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1979. 191 с.

Шилова И. В., Гладилина Т. Ю., Горланова Е. П. Особенности прорастания семян солодки уральской в лабораторных условиях // Бюллетень ботанического сада Саратовского государственного университета. 2009. Т. 8. С. 199 – 204.

Campbell J. B. Introduction to Remote Sensing. London: Taylor and Francis. 1996. 622 p.

Larntz K. Small-Sample Comparisons of Exact Levels for Chi-Squared Goodness-of-Fit Statistics // Journal of the American Statistical Association. 1978. Vol. 73, № 362. P. 253 – 263. doi: 10.2307/2286650

Sahoo R. N., Ray S. S., Manjunath K. R. Hyperspectral remote sensing of agriculture // Current science. 2015. Vol. 108, № 5. P. 848 – 859.

Образец для цитирования:

Быструшкин А. Г., Кругликов Н. А., Беляев А. Ю. О связи твердосемянности с окраской поверхности семян у солодки уральской (Fabaceae) // Бюл. Бот. сада Сарат. гос. ун-та. 2019. Т. 17, вып. 4. С. 185 – 198.
DOI: 10.18500/1682-1637-2019-4-185-198.

**CORRELATION OF SEED HARDNESS AND SEED COAT COLOR
IN *GLYCYRRHIZA URALENSIS* FISCH. (FABACEAE)**

A. G. Bystrushkin¹, N. A. Kruglikov^{2,3,4}, A. U. Belyaev⁵

¹*Institute Botanic Garden, Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
202b Vos'mogo Marta Str., Ekaterinburg 620144, Russia
E-mail: manpupuner@rambler.ru*

²*M. N. Mikheev Institute of Metal Physics of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences
18 S. Kovalevskaya Str., 620108 Ekaterinburg, Russia
E-mail: nick@imp.uran.ru*

³*Ural Federal University named after the first President
of Russia B. N. Yeltsin
19 Mira Str., Ekaterinburg 620002, Russia*

⁴*Ural State University of Economics
62 Vos'mogo Marta Str., 620144 Ekaterinburg, Russia*

⁵*Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences
202a Vos'mogo Marta Str., Ekaterinburg 620144, Russia
E-mail: belyaev@ipae.uran.ru*

Received October 07, 2019

Revised October 18, 2019; Accepted October 29, 2019

In population-based sample of *Glycyrrhiza uralensis* investigation it was determined that there is clear linkage between seed hardness and spectral properties of seed surface. Distinct colored seeds (subdivided for two groups – “olive” and “light brown”) differ by features in reflection spectra range 450 – 950 nm as well as by swelling dynamics during germination and by hard seeds percentage. In standard germination mode in “olive” group very high percentage (91.8%) of hard seeds detected. Majority of “light brown” seeds swell within three days with hard seeds percentage less than 11.1%. Revealed *Glycyrrhiza uralensis* seeds shell coloring differentiation could be used for intentional division of the seeds into fractions with various hard seeds content. It is important for methods

О СВЯЗИ ТВЕРДОСЕМЯННОСТИ С ОКРАСКОЙ СЕМЯН

of presowing treatment development and for high viability seeds fraction separation.

Key words: seed hardness, licorice seeds, surface reflection spectrum, seed coat color, *Glycyrrhiza uralensis*.

DOI: 10.18500/1682-1637-2019-4-185-198

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported in part by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-016-00082) and as part of a state assignment of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

REFERENCES

Belyaev A. U., Melinyinovich O. S. Comparative characteristics of licorice seed samples from populations of the Ural region and adjacent territories. In: *X Zyrjanovsky Readings: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Kurgan: Publishing house of the Kurgan state University, 2012. pp. 209 – 210. (in Russian).

Seed Biology and Seed Production / Translation from Polish by G. N. Miroshnichenko. Moscow: Kolos Publ., 1976. 436 p. (in Russian).

Vasilova E. S., Belyaev A. U. The results of thirty-year introduction studies of licorice (*Glycyrrhiza* L.) in the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. In: *Biological diversity of the plant world of the Urals and adjacent territories: proceedings of the All-Russian Conference with international participation*. Yekaterinburg: Goshchitsky, 2012. pp. 184 – 186. (in Russian).

Golubev N. P. *Red clover*. Moscow: Ogiz; Leningrad: State. agricultural publishing house and collective farm. liters, 1931. 141 p. (in Russian).

GOST R 55330-2012. Seeds of arid fodder crops. Sowing characteristics. Specifications. (in Russian).

Grankina V. P., Nadezhina T. P. *Ural licorice*. Novosibirsk: Nauka Publ., 1991. 152 p. (in Russian).

Lemeshko B. U., Postovalov S. N. *Applied statistics. Rules for verifying the agreement of the experimental distribution with the theoretical one. Guidelines. Part II Nonparametric criteria*. Novosibirsk: NSTU Publishing House, 1999. 86 p. (in Russian).

International rules for seed testing. Moscow: Kolos, 1984. 310 p. (in Russian).

Mukhina N. A., Khoroshailov N. G., Kolomiyets T. A., Stankevich A. K. *Cultural flora: Perennial legumes*. Vol. 13. Moscow: Kolos, 1993. 335 p. (in Russian).

Nikolaeva M. G., Razumova M. V., Gladkova V. N. *A guide to germinating dormant seeds*. Leningrad: Nauka, 1985. 348 p. (in Russian).

А. Г. Быструшкин, Н. А. Кругликов, А. Ю. Беляев

Tolstikov A. G., Baltina L. A., Grankina V. P., Kondratenko R. M., Tolstikova T. G. *Licorice: biodiversity, chemistry, medical applications*. Novosibirsk: Geo, 2007. 311 p. (in Russian).

Khudaibergenov E. B. *Licorice of Kazakhstan*. Alma-Ata: Nauka Publ., 1979. 191 p. (in Russian).

Shilova I. V., Gladilina T. Yu., Gorlanova E. P. Features of germination of seeds of Ural licorice in laboratory conditions. *Bulletin of Botanic Garden of Saratov State University*, 2009, vol. 8, pp. 199 – 204. (in Russian).

Campbell J. B. *Introduction to Remote Sensing*. London: Taylor and Francis, 1996. 622 p.

Larntz K. Small-Sample Comparisons of Exact Levels for Chi-Squared Goodness-of-Fit Statistics. *Journal of the American Statistical Association*, 1978, vol. 73, iss. 362, pp. 253 – 263. doi: 10.2307/2286650

Sahoo R. N., Ray S. S., Manjunath K. R. Hyperspectral remote sensing of agriculture. *Current science*, 2015, vol. 108, iss. 5, pp. 848 – 859.

Cite this article as:

Bystrushkin A. G., Kruglikov N. A., Belyaev A. U. Correlation of seed hardness and seed coat color in *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. (Fabaceae). *Bulletin of Botanic Garden of Saratov State University*, 2019, vol. 17, iss. 4, pp. 185 – 198. (in Russian). DOI: 10.18500/1682-1637-2019-4-185-198.