

УДК: 57.013: 57.036: 57.043: 635.24

ДИНАМИКИ ТЕРМОДЕГИДРАТАЦИИ СЕМЯН НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА ALLIUM L.**В.Н. Зеленков^{1,2}, М.И. Иванова¹**¹ Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства, д. Верея, Россия² Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва, Россия

Актуальность изучения закономерностей взаимосвязи обезвоживания семян различных лекарственных и овощных культур с химическим составом и особенностями морфологии и строения семенной оболочки, их структуры приобретает особое значение в настоящее время в связи с проблемой создания сортов с повышенной устойчивостью семян к термодегидратации. Интересным объектом для исследований в этом направлении являются семена луковых растений. Род *Allium* L. включает свыше 900 видов [1, 2], что делает его одним из крупнейших однодольных родов. Он состоит из 15 монофилетических подродов [3]. Это переменная группа, которая широко распространена по всей Голарктической области от сухих субтропиков до бореальной зоны [4]. Этот род имеет главный центр разнообразия в восточном Средиземноморье, а также Юго-Западной и Центральной Азии [5]. Виды *Allium* во всем мире очень важны как овощные, лекарственные и декоративные растения [6]. Установлен высокий уровень морфологического разнообразия семян в роде *Allium* [7]. Семенная оболочка является основной защитой семян от неблагоприятных условий окружающей среды. Твердый слой семян защищает семена не только от механического воздействия, но и от проникновения микроорганизмов, а также от колебаний температуры и влажности во время хранения. Фенольные соединения в семенной оболочке способствуют твердости семян и подавлению роста микроорганизмов. Во время прорастания оболочка защищает семена от гидратации и утечки электролита [8]. Виды рода *Allium*, выбранные нами в качестве объекта исследований, имеют большое биоресурсное значение (декоративные, пищевые, витаминоносные, лекарственные, медоносные) и испытывают негативное антропогенное воздействие. Для сравнительного изучения термодегидратации семян представляют интерес лук-слизун и лук душистый, с существенными различиями как по морфологии семян так и по содержанию. В них запасных питательных веществ как по количественному, так и по качественному химическому составу.

Лук-слизун (*A. nutans*) – многолетнее короткостебельное растение. Корневище толстое, горизонтально ползучее. Листья широколинейные, плоские, 10–15 (20) мм шириной, сжатые при основании стебля. Весенне-летне-осенне-зеленый вид. Отрастает в мае. Цветет в конце июля – начале августа. Семена созревают в сентябре. Размножается семенами и вегетативно. Семена округло-трапециевидные, черные, блестящие, размером 2,8х1,8 мм. Масса 1000 семян составляет около 2,5 г. В 1 г 400 семян [9].

Лук душистый (*A. ramosum*) – многолетнее, луковича узколинейная, диаметром 0,8–1,5 см, прикреплена к корневищу. Листья длинные 35–60 см, плоские, мясистые, шириной 0,8–1,2 см, темно-зеленого цвета, со слабым восковым налетом. На одном побеге 6–12 общей массой 35–70 г. Цветет на второй год в июле-августе. Зрелые семена плосковыпуклые, экзотестальные, с хорошо развитым, дифференцированным на органы зародышем, большую часть которого составляет длинная, закрученная в халазальной части семядоля, терминальный конец которой имеет плотный контакт с клетками эндосперма и характеризуется гаусториальной функцией. Большая часть семени заполнена клеточным эндоспермом, клетки которого содержат большое количество запасных питательных веществ. В образовании семенной кожуры принимает участие только наружный интегумент. При этом инициация данного процесса связана с процессом клеткообразования в эндосперме. В клетках его наружной эпидермы начинают утолщаться клеточные стенки за счет отложения веществ, обеспечивающих механическую и защитную функцию [10]. Размер семени 3,66х2,65 мм. Масса 1000 семян до 4,3 г. В 1 г до 230 семян [9].

Данное исследование также является продолжением наших работ в направлении изучения динамики термодегидратации различных вегетативных частей лекарственных, сельскохозяйственных и природных популяций растений и их семян и отработки методологии определения параметров физико-химического и биофизического описания удаления воды из различных вариантов образцов растительного происхождения [11–15].

Материалы и методы

В тесте обезвоживания исследовали семена лука душистого (*Allium ramosum* L., подрод *Butomissa*, секция *Butomissa*) сорта Джусай и лука-слизуна (*Allium nutans* L., подрод *Rhizirideum*, секция *Rhizirideum*) сорта Грин из биоколлекции Всероссийского научно-исследовательского института овощеводства – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства». Оба вида являются пищевыми. Исследования проводили в 2019 г. на семенах урожая 2015 г. Динамики обезвоживания семян получали, определяя показатели остаточной влажности цельных семян во времени досушивания при 105°C при непрерывном взвешивании на анализаторе влажности MX-50, A&D Company, Япония. Досушивание до постоянной массы образцов проводили с использованием инфракрасного излучателя. Эксперимент после начала сушки проводили в контролируемом режиме с использованием автоматической записи данных по остаточной влажности образцов (с временным шагом в 10 сек) на компьютере, с последующей их обработкой). В построении графиков использовали данные динамики удаления воды в % относительно массы исходного образца для лука душистого 68 экспериментальных значений, а для лука-слизуна – 93.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 приведена динамика сушки при 105 °C семян лука душистого сорта Джусай и лука-слизуна сорта Грин. Кривую обезвоживания можно описать логарифмической зависимостью остаточной влажности от времени обезвоживания с аппроксимацией не ниже 0,99.

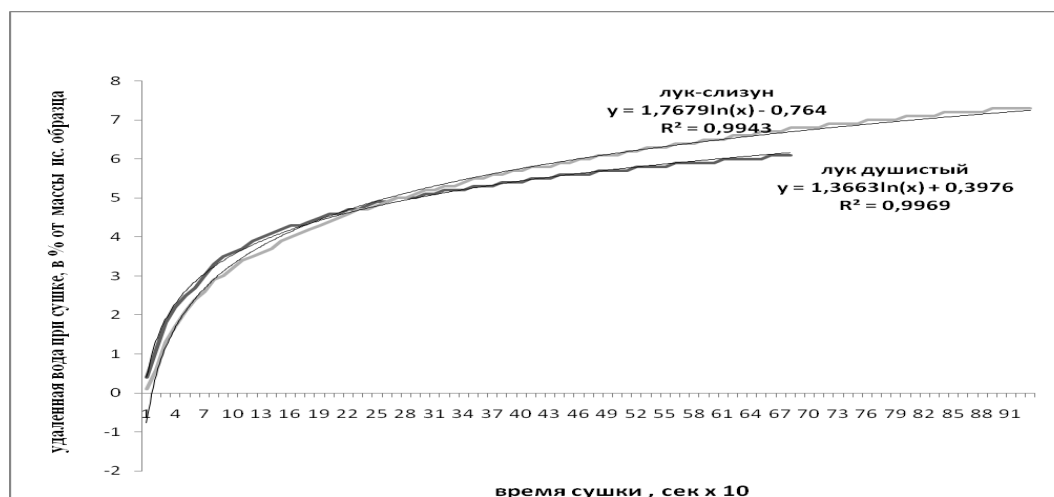


Рисунок 1 – Динамики ИК-сушки при 105 °C для семян лука душистого (*Allium ramosum* L., подрод *Butomissa*, секция *Butomissa*) сорта Джусай и лука-слизуна (*Allium nutans* L., подрод *Rhizirideum*, секция *Rhizirideum*) сорта Грин

Как видно из рис. 1, каждый сорт луковых культур имеет характерную динамику удаления воды при ИК-обезвоживании до постоянной массы образцов при температуре 105 °C. Кривые обезвоживания семян для образцов различных луков при 105 °C с высокой достоверностью (не менее 0,99) описываются логарифмическими уравнениями.

Однако, интерпретация процесса обезвоживания в этом варианте обработки кривых дает только одну информацию о большей скорости удаления воды из семян лука душистого на первом этапе сушки (до пересечения 2-х кривых) по сравнению с луком-слизуном. На втором этапе семена лука душистого быстрее теряют воду по сравнению с семенами лука-слизуна и быстрее выходят на время достижения постоянного веса при заданной температуре обезвоживания.

Другой вариант обработки динамик дегидратации семян луков – графическое представление динамики процесса термодегидратации как совокупность 4-х прямолинейных участков, которые можно описать уравнениями линейной регрессии с коэффициентами корреляции $R^2 \geq 0.95$. Иллюстрация этого приведена на рис. 2 для варианта с семенами лука душистого. Аналогично, эта картина наблюдается и для семян лука-слизуна.

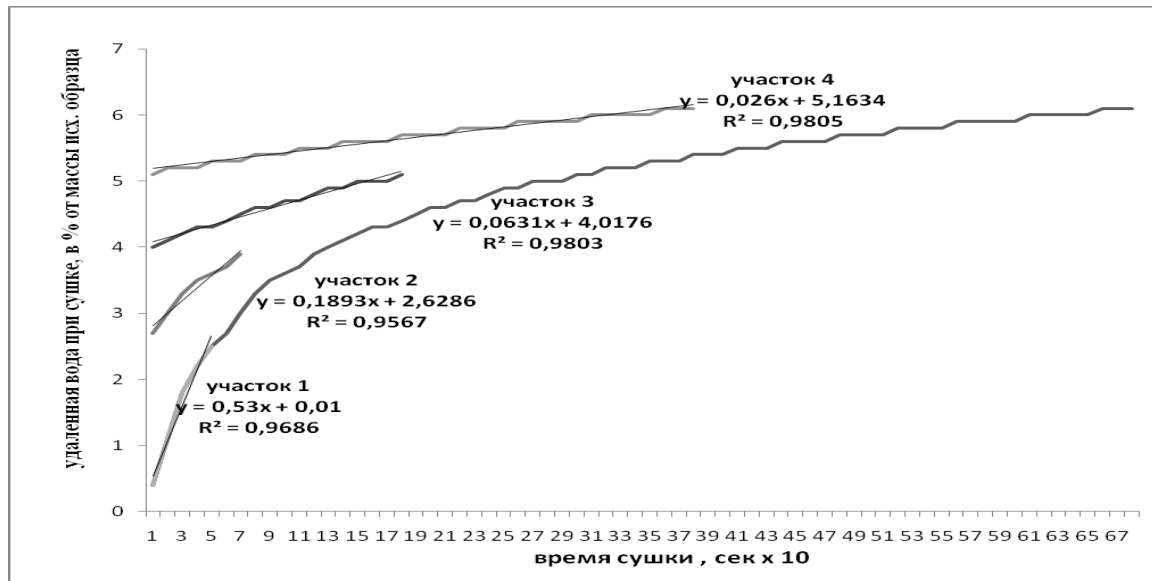


Рисунок 2 – Динамика ИК-сушки при 105 °C для семян лука душистого (*Allium ramosum* L., подвид *Butomissa*, секция *Butomissa*) сорта Джусай

Ранее нами было показано, что этот методический прием разбивки кривых динамик термодегидратации на 4-е прямолинейных участка можно применять и для других растительных объектов исследований, таких как зубцы и зелень чеснока, листья и клубни топинамбура, надземной части различных лекарственных растений а также и для их фармакопейных сборов [11–16].

Наклон каждого участка соответствует тангенсу угла наклона участка с временной осью ординат и в уравнении линейной регрессии соответствует коэффициенту a первого члена уравнения.

Как видно из рисунка 2, наблюдается высокая достоверность аппроксимации результатов обезвоживания 4-мя линейными участками с соответствующими уравнениями линейной регрессии, характеризующими скорости обезвоживания на каждом участке и достоверность этой модели экспериментальным данным.

Анализ кривых сушки по скоростям для каждого линейного участка (расчет скоростей обезвоживания в %/мин) приведен в таблице.

Таким образом, можно предварительно говорить о различиях между семенами лука душистого и лука-слизуна исходя из структуры семенных оболочек и химического состава, что по каждому варианту образцов семян луков характеризуется по 4-м участкам с постоянными скоростями термодегидратации (удаление воды) с различиями между сортами в 33,7; 59,5 и 23,2 %, соответственно по 1,2 и 3-му участкам динамик. По 4-му участку различия для 2-х сортов луковых культур составили 1,2 %, что, по-видимому, связано с сопоставимостью химического состава семян по низкомолекулярным углеводам, имеющих наибольшую энергетическую составляющую взаимодействия с молекулами воды на последнем участке динамики термодегидратации. Для 2-го и 3-го участков динамик существенные различия, вероятнее всего, связаны со специфичностью веществ, составляющих белково-углеводные-жировые компоненты для этих участков термодегидратации. 1-й участок термодегидратации, вероятнее всего, связан с удалением адсорбированной, слабосвязанной воды в структуре семян и его количественные характеристики по влагоудержанию больше всего зависят от фактора структурной организации оболочки семян.

Выделение в динамике обезвоживания вышеприведенных семян 2-х сортов луковых культур 4-х фракций воды на основе анализа 4-х линейных участков динамик, по мнению авторов, позволит в дальнейшем связать эти фракции воды с химическими компонентами, характерными для сорта и специфичностью «влагоудержания» за счет структурно-химических особенностей семян для каждой культуры лука. Одним из путей реализации этого подхода может быть введение в эксперимент химических соединений – маркеров и экспериментальное определение их динамик, а также стандартного образца – маркера по структуре семени для луковых культур.

Таблица 1. Значения скоростей удаления воды (%/мин) по участкам динамик обезвоживания образцов семян лука душистого (*Allium ramosum* L., подрод *Butomissa*, секция *Butomissa*) сорта Джусай и лука-слизуна (*Allium nutans* L., подрод *Rhizirideum*, секция *Rhizirideum*) сорта Грин при 105 °С.

	Участок 1 динамики	Участок 2 динамики	Участок 3 динамики	Участок 4 динамики
Семена лука душистого, сорт Джусай	3,180 %/мин	1,136 %/мин	0,379 %/мин	0,156 %/мин
Значение R ² для семян лука душистого, сорт Джусай	0,97	0,96	0,98	0,98
Семена лука-слизуна, сорт Грин	2,378 %/мин	0,712 %/мин	0,307 %/мин	0,154 %/мин
Значение R ² для семян лука-слизуна сорта Грин	0,97	0,99	0,98	0,98
Соотношение скоростей удаления воды из семян лука душистого к удалению воды из семян лука-слизуна	1,337	1,596	1,234	1,013

Заключение

В данной работе предложен алгоритм определения динамик термодегидратации для цельных семян луковых культур на примере лука душистого (*Allium ramosum* L., подрод *Butomissa*, секция *Butomissa*) сорта Джусай и лука-слизуна (*Allium nutans* L., подрод *Rhizirideum*, секция *Rhizirideum*) сорта Грин с описанием кривой обезвоживания цельных семян 4-мя линейными участками. Предполагается взаимосвязь такой картины динамик термодегидратации со специфичностью химического состава семян и строением их оболочек.

Определены скорости удаления воды для двух сортов луковых культур. Показано, что соотношение скоростей обезвоживания для разных сортов позволяет количественно характеризовать их различия по 4-м линейным участкам динамик удаления воды характеризующих влагоудерживающую способность оболочек и специфичность химического состава семян.

Литература

1. Fritsch R.M., Abbasi M. (Eds). A taxonomic review of *Allium* subgenus *Melanocrommyum* in Iran. Halberstädter Druckhaus GmbH, Gatersleben, Germany, 2013. 240 pp.
2. Govaerts R., Kington S., Friesen N., Fritsch R., Snijman D.A., Marcucci R., Silverstone-Sopkin P.A., Brullo S. World checklist of Amaryllidaceae. 2013, p. 2005–2014. <http://apps.kew.org/wcsp/>.
3. Huang D.Q. et al.. Phylogenetic reappraisal of *Allium* subgenus *Cyathophora* (Amaryllidaceae) and related taxa, with a proposal of two new sections. *Plant Res.* 2014. V. 127. 275–286. doi: 10.1007 / s10265–013–0617–8
4. Keusgen M., Kusterer J., Fritsch R.M. *Allium* species from Middle and Southwest Asia are a rich source for Marasmin. *J. Agr. Food Chem.* 2011. V. 59. P. 8289–8297. doi: 10.1021 / jf201052u
5. Fritsch R.M., Friesen N. Evolution, domestication and taxonomy. In: Rabinowitch, H.D. and Currah, L. (Eds). *Allium Crop Science: Recent Advances*. CABI Publishing, Wallingford, UK, 2002. Pp. 5–30.
6. Herden T., Hanelt P., Friesen N. Phylogeny of *Allium* L. subgenus *Anguinum* (G. Don. ex W.D.J. Koch) N. Friesen (Amaryllidaceae). *Mol. Phyl. Evol.* 2016. V. 95. P. 79–93. doi: 10.1016 / j.ympev.2015.11.004
7. Bednorz L., Krzyńska A., Czarna A. Seed morphology and testa sculptures of some *Allium* L. species (Alliaceae). *Acta Agrobotica.* 2011. Vol. 64 (2): 33–38.
8. Mohamed-Yasseen, Y., Barringer, S.A., Splittstoesser, W.E. et al. The role of seed coats in seed viability. *Bot. Rev.* 1994. 60: 426. <https://doi.org/10.1007/BF02857926>
9. Тухватулина Л.А., Абрамова Л.М. Семенная продуктивность некоторых видов рода *Allium* L. при интродукции в Уфе. *Бюллетень Главного ботанического сада.* 2012. № 3. С. 2–7.
10. Батыгина Т.Б., Виноградова Г.Ю. Феномен полиэмбрионии. Генетическая гетерогенность семян. *Онтогенез.* 2007. Т. 38. № 3. С. 166–191.
11. Зеленков В.Н. Особенности динамики обезвоживания срезов редьки зеленой при инфракрасном облучении. *Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: Сборник научных трудов.* Выпуск 22 – М.: РАЕН, 2015. С. 109–115.
12. Зеленков В.Н., Лапин А.А., Поляков А.В. Особенности динамики обезвоживания разных сортов чеснока отечественной и зарубежной селекции при инфракрасной сушке. *Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: Сборник научных трудов.* Выпуск 23 – М.: РАЕН, 2016. С. 121–129.
13. Зеленков В.Н., Поляков А.В. Особенности удаления воды из зубцов чеснока разных сортов при инфракрасном облучении при 105 С // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: сборник научных трудов по материалам XIII Международного симпозиума. – Москва: РУДН, 2019. – с. 164–166. DOI: 10.22363/09509–2019–164–166
14. В.Н. Зеленков, А.А. Лапин, Е.В. Ферубко, Т.Д. Даргаева Динамики удаления воды из растительного сбора желчегонного действия при инфракрасном облучении при 1050 С. *Актуальная биотехнология.* № 3 (30), 2019, с. 348–352.
15. В.Н. Зеленков Е.В. и др. Анализ динамик удаления воды из растительного сбора гепатопротективного действия при инфракрасном излучении при досушивании образцов. *Сборник трудов II Межд. науч. конф. «Роль метаболизма в совершенствовании биотехнологических средств производства».* 6–7 июня 2019 г., ФГБНУ ВИЛАР С. 267–273
16. Зеленков В.Н., Павлов М.Н., Усанова З.И. Динамики удаления воды из листьев и клубней топинамбура сорта Интерес при инфракрасном облучении при 105° С. // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: сборник науч. трудов по материалам XIII Межд. симпозиума. Москва: РУДН, 2019. – с. 173–175. DOI: 10.22363/09509–2019–173–175.