

УДК 582.31:[54-38 + 54-145.2]

## ПРИМЕНЕНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЛЕЙ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ СКЛЕРОЦИЙ СПОРЫНЬИ

<sup>1</sup>Сайтов В.Е., <sup>1</sup>Устюжанин И.А., <sup>2</sup>Сайтов А.В.

<sup>1</sup>ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока», Киров, e-mail: vicsait-valita@e-kirov.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия», Киров

Зерновой ворох, поступающий от комбайнов на зерноочистительные пункты, кроме полноценного зерна содержит различные сорные примеси. Одной из этих примесей являются склероции спорыньи, которые содержат ядовитые вещества, вызывающие различные заболевания у людей, животных и птиц. Основные физико-механические свойства (скорость витания, толщина, ширина и длина) зерна основных зерновых культур (пшеницы, ячменя, ржи и овса) и склероций спорыньи схожи. В связи с этим использование воздушно-решетно-триерных машин, пневмосортировальных столов, фотосепараторов и других устройств не дает положительных результатов при очистке зернового материала от данных примесей. Однако зерна основных зерновых культур (пшеницы, ячменя, ржи и овса) имеют удельную массу 1200...1500 кг/м<sup>3</sup>, а склероции спорыньи – 900...1150 кг/м<sup>3</sup>. Поэтому очистка семян от склероций спорыньи возможна в растворах солей различной плотности. Для выделения склероций спорыньи из зернового материала проведены исследования по определению возможности применения водных растворов хлористого натрия, хлористого кальция, хлористого калия и сернокислого калия. Применение этих растворов целесообразно вследствие доступности и отсутствия токсического влияния их на семенную и пищевую ценность зерна. Установлено, что показатели растворимости в воде хлористого калия, хлористого натрия и хлористого кальция позволяют получить растворы с плотностью до 1162, 1203 и 1370 кг/м<sup>3</sup> соответственно, что выше максимальной удельной массы склероций спорыньи. Наибольшая плотность водного раствора сернокислого калия составляет 1081 кг/м<sup>3</sup>, что ограничивает возможность его использования.

**Ключевые слова:** зерновой материал, озимая рожь, злаковая культура, спорынья, ядовитая примесь, зерноочистительная машина, удельная масса зерна, раствор соли

## THE USE OF AQUEOUS SOLUTIONS OF INORGANIC SALTS FOR THE ISOLATION OF ERGOT SCLEROTIA

<sup>1</sup>Saitov V.E., <sup>1</sup>Ustyuzhanin I.A., <sup>2</sup>Saitov A.V.

<sup>1</sup>Agricultural Research Institute of the North-East, Kirov, e-mail: vicsait-valita@e-kirov.ru;

<sup>2</sup>Vyatka State Agricultural Academy, Kirov

Grain heap coming from the harvesting to the grain items other than full grain contains various trash. One of these impurities are ergot sclerotia, which contain toxic substances that cause various diseases in humans, animals and birds. Basic physical and mechanical properties (speed hovering in the air, thickness, width and length) of the main grain crops (wheat, barley, rye and oats), and ergot sclerotia are similar. In this regard, the use of grain-cleaning machines, sorter and other devices do not give positive results when cleaning the grain material from these impurities. However, the main grain cereals (wheat, barley, rye and oats) have a specific weight of 1200...1500 kg/m<sup>3</sup> and ergot sclerotia – 900...1150 kg/m<sup>3</sup>. Therefore, purification from seed ergot sclerotia can be in a salt solution. For isolation of ergot sclerotia from the grain material is conducted studies to determine if the use of aqueous solutions of sodium chloride, calcium chloride, potassium chloride and potassium sulfate. The use of these solutions, it is advisable due to lack of availability and toxicity of their influence on seed and food grain value. It is found that the water solubility of potassium chloride, sodium chloride, calcium chloride and allow the solution to bring the density to 1162, 1203 and 1370 kg/m<sup>3</sup>, respectively, higher than the maximum specific gravity ergot sclerotia. The highest density of the aqueous solution of potassium sulfate is 1081 kg/m<sup>3</sup>, which limits its use to highlight ergot sclerotia.

**Keywords:** grain material, winter rye, cereals, ergot, a poisonous impurity, grain cleaning machine, the specific weight of the grain, salt solution

Зерно является древнейшим продуктом питания человека и кормом для сельскохозяйственных животных. Зерновой ворох, поступающий от комбайнов на зерноочистительные пункты, кроме полноценного зерна содержит различные сорные примеси. Одной из этих примесей являются склероции спорыньи, которые содержат ядовитые вещества, вызывающие различные заболевания у людей, животных и птиц [2].

Основные физико-механические свойства (скорость витания, толщина, ширина и длина) зерна основных зерновых культур

(пшеницы, ячменя, ржи и овса) и склероций спорыньи схожи. Использование воздушно-решетно-триерных машин, пневмосортировальных столов, фотосепараторов и других устройств не дает положительных результатов при очистке зернового материала от данных примесей из-за близости их свойств со свойствами очищаемой культуры [4–9, 11].

Однако зерна основных зерновых культур (пшеницы, ячменя, ржи и овса) имеют удельную массу 1200...1500 кг/м<sup>3</sup>, а склероции спорыньи – 900...1150 кг/м<sup>3</sup>. Поэтому очистка семян от склероций спорыньи, от-

личающихся плотностью от зерна, возможна в растворе соли [3, 10].

Для очистки зернового материала по удельному весу мокрым способом с надлежащей эффективностью выделения склероций спорыньи требуется приготовление солевого раствора необходимой плотности.

**Цель исследования** – определение возможности применения водных растворов неорганических солей для выделения склероций спорыньи из зернового материала.

#### Материал и методы исследования

С целью выделения склероций спорыньи из озимой ржи мокрым способом были рассмотрены водные растворы хлористого натрия ( $\text{NaCl}$ ), хлористого кальция ( $\text{CaCl}_2$ ), хлористого калия ( $\text{KCl}$ ) и сернокислого калия ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ). Данные неорганические соли для анализа водных растворов были выбраны исходя из хорошей растворимости в воде, доступности их приобретения вследствие массового производства, а также отсутствия токсического влияния на семенную и пищевую ценность зерна. Общий вид хлористого натрия ( $\text{NaCl}$ ), хлористого кальция ( $\text{CaCl}_2$ ), хлористого калия ( $\text{KCl}$ ) и сернокислого калия ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) в россыпи приведен на рис. 1 [1].

Хлористый натрий, или хлорид натрия ( $\text{NaCl}$ ), представляет собой белые кристаллы соленого вкуса, но с различными примесями, его цвет может принимать голубой, фиолетовый, розовый, желтый или серый оттенок. Хлорид натрия в значительном количестве содержится в морской воде, создавая ее соленый вкус. В пищевой промышленности и в кулинарии используют хлорид натрия, чистота которого должна быть не менее 97%. Его применяют как вкусовую добавку и для консервирования пищевых продуктов. Такой хлорид натрия имеет товарное название поваренная соль и по составу добавок – йодированная или фторированная. Хлорид натрия имеет слабые антисептические свойства – 10...15% содержание соли предотвращает размножение гнилостных бактерий. В медицине водный раствор хлорида натрия (0,9%) применяется как средство для выведения токсических веществ, для коррекции состояния систем организма в случае обезвоживания, как растворитель других лекарственных препаратов, для обработки местно гнойных ран. В промышленности из хлорида натрия получают соду, хлор, соляную кислоту, гидроксид натрия, сульфат натрия и металлический натрий. В коммунальном хозяйстве хлорид натрия, смешанный с другими солями и разведенный с песком или глиной, применяется как антифриз против гололеда. Им посыпают дороги, хотя это отрицательно влияет на лакокрасочное покрытие транспортных средств и на кожаную обувь людей.



а



б



в



г

Рис. 1. Общий вид хлористого натрия (а), хлористого кальция (б), хлористого калия (в) и сернокислого калия (г) в россыпи

Хлористый кальций, или хлорид кальция, ( $\text{CaCl}_2$ ) – кальциевая соль соляной кислоты. Зарегистрирован в качестве пищевой добавки E509, имеет вид бесцветных кристаллов либо несколько белесоватого цвета. Его химико-физические свойства характеризуются хорошей растворимостью в воде и этиловом спирте. Применение хлористого кальция в России является регламентированным. В странах Европейского союза данную добавку также признали безопасной и официально допустили ее к использованию при изготовлении лекарственных препаратов и некоторых продуктов. Список продуктов, в состав которых включают хлорид кальция, довольно велик, но наиболее часто его добавляют в молочные и кисломолочные продукты, такие как творог, сыры, сливки, как сухие, так и питьевые, а также пастеризованное молоко. Хлористый кальций довольно интенсивно применяют не только в пищевой индустрии, но также и в сфере фармацевтики. Его включают в состав медикаментов, действие которых направлено на предотвращение кровотечений и противоаллергические препараты. Полезные свойства хлористого кальция важны для поддержания некоторых функций в организме человека: оказывает положительное воздействие на работу миокарда, помогает в формировании костной ткани, нормализует свертывание крови, предотвращает развитие воспалительных заболеваний, обладает способностью повышать стойкость организма от различного рода инфекциям. Однако, несмотря на большое количество положительных качеств, хлористый кальций способен принести пользу только в случае грамотного его употребления. Суточная доза этого вещества не должна быть более 350 мг.

Хлористый калий, или хлорид калия ( $\text{KCl}$ ), является наиболее распространенным калийным удобрением. По виду это маленькие кристаллы белого с серым оттенком или розового цвета без запаха, они имеют большую гигроскопичность. Хлорид калия разрешено применять в качестве пищевой добавки (E508) в большинстве стран мира, в том числе в Российской Федерации и Евросоюзе, он не имеет запаха, обладает горько-соленым вкусом, растворим в воде и не растворим в этаноле. Согласно официальным данным, пищевая добавка E508 является нетоксичной и не представляет угрозы для здоровья человека. Допустимое суточное употребление не ограничено. Хлорид калия быстро усваивается в организме. В пищевой промышленности E 508 используется для изготовления пастеризованных и стерилизованных сливок, молочных консервов – сухого и сухого молока и сливок, соли с пониженным содержанием натрия для диетического питания, овощных консервов, колбасных изделий и сыров в качестве стабилизатора, кондитерских изделий в качестве загустителя и желеобразующего агента. В медицинской практике раствор хлорида калия в виде инъекций применяется для восполнения недостатка калия, при нарушении сердечного ритма. Противопоказан при заболеваниях почек.

Сернокислый калий, или сульфат калия ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), представляет собой мелкие кристаллы белого цвета с желтоватым оттенком. В Европейском союзе допущен в качестве использования как пищевая добавка E515. Сульфат калия E515 имеет вид белых или бесцветных кристаллов, а также кристаллического порошка, наделенного специфическим горько-соленым вкусом. Добавка хорошо растворяется в воде и практически нерастворима в этаноле и щелочных концентрированных растворах. Сульфат калия содержится

в целом ряде продуктов. Его находят в свекле, масле из пророщенных зерен пшеницы, морской капусте, миндале, сыре, шпинате, нежирной говядине, апельсинах, лимонах, бананах и свежих овощах, которые обычно покрывают зеленые листья. В пищевой индустрии добавка E515 чаще всего применяется как заменитель соли. Кроме того, сульфат калия выступает как регулятор кислотности в напитках, питательная среда в процессе приготовления дрожжей жидкой консистенции, а также ржаных заквасок, тоже как источник питания минералами. Сульфат калия необходим организму как поставщик кислорода клеткам. Он в ответе за энергетический баланс человека. При недостаточном содержании E515 можно наблюдать потерю волос, сухость кожи, появление перхоти, утомляемость. Тем не менее обращаться с веществом нужно осторожно. Попадание в глаза сульфата калия приводит к механическому раздражению и воспалению. Попадание на кожные покровы E515 становится причиной раздражения. Если употребить чрезмерное количество добавки в пищу, то высока вероятность расстройства желудка и раздражения всего пищеварительного тракта. Изредка постоянное употребление пищевой добавки заканчивается отравлением организма. Вдыхание вещества грозит раздражением и воспалением дыхательных путей. В сельском хозяйстве сульфат калия используется в качестве ценного удобрения для дерново-подзолистых почв, бедных калием и другими минеральными веществами. По сравнению с другими это более дорогое удобрение. Добавка E 515 фигурирует в производстве стекла, красителей. В аналитической химии вещество применяется в процессе перевода труднорастворимых химических соединений в легко растворимые.

Плотность  $\rho$  водных растворов рассматриваемых неорганических солей и их процентных концентраций  $\omega_c$  при температуре раствора  $20^\circ\text{C}$  получена в виде массива дискретных значений согласно электронной справочной таблице [12, 13], в котором промежуточные значения рассчитаны с помощью стандартного метода интерполяции по двум крайним значениям. Обработка массива полученных дискретных значений зависимости плотности  $\rho$  водных растворов рассматриваемых неорганических солей от их процентных концентраций  $\omega_c$  осуществлена с помощью персонального компьютера применением стандартной программы по статистической обработке данных Microsoft Excel 2013.

### Результаты исследования и их обсуждение

В результате обработки массива дискретных значений зависимости плотности  $\rho$  водных растворов хлористого натрия ( $\text{NaCl}$ ), хлористого кальция ( $\text{CaCl}_2$ ), хлористого калия ( $\text{KCl}$ ) и сернокислого калия ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) от массовой доли  $\omega_c$  растворенной соли получены регрессионные модели:

$$\rho_{\text{NaCl}} = 996,490 + 7,723\omega_c, r = 0,999; \quad (1)$$

$$\rho_{\text{CaCl}_2} = 987,960 + 9,964\omega_c, r = 0,997; \quad (2)$$

$$\rho_{\text{KCl}} = 996,13 + 6,803\omega_c, r = 0,999; \quad (3)$$

$$\rho_{\text{K}_2\text{SO}_4} = 998,06 + 8,251\omega_c, r = 0,999. \quad (4)$$

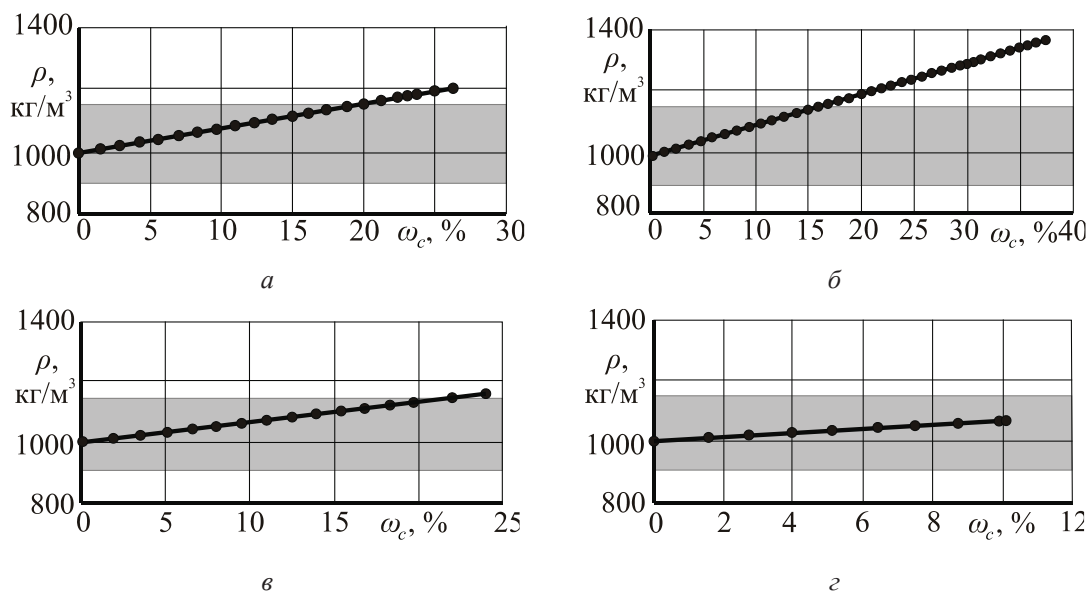


Рис. 2. Зависимость плотности  $\rho$  раствора от массовой доли  $\omega_c$  растворенной соли:  
 а – раствор хлористого натрия ( $\text{NaCl}$ ); б – раствор хлористого кальция ( $\text{CaCl}_2$ );  
 в – раствор хлористого калия ( $\text{KCl}$ ); г – раствор сернокислого калия ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ );  
 ■ – пределы варьирования удельной массы склеротий спорыньи

Данные регрессионные модели описываются линейными уравнениями. Коэффициенты  $r$  корреляции данных уравнений близки к 1,0, что свидетельствует о высоком приближении теоретических моделей табличным данным.

Полученные зависимости (1), (2), (3) и (4) представлены на рис. 2 с использованием редактора векторной графики CorelDraw 12.

Из рисунка следует, что максимальная плотность  $\rho$  раствора хлористого натрия ( $\text{NaCl}$ ) составляет  $1203 \text{ кг/м}^3$  при концентрации  $\omega_c$  растворенной соли  $26,3\%$ , хлористого кальция ( $\text{CaCl}_2$ ) –  $1370 \text{ кг/м}^3$  при  $\omega_c = 37,3\%$ , хлористого калия ( $\text{KCl}$ ) –  $1162 \text{ кг/м}^3$  при  $\omega_c = 24,0\%$ , сернокислого калия ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) –  $1081 \text{ кг/м}^3$  при  $\omega_c = 10,0\%$ . Причем при одинаковой плотности  $\rho$  содержание соли в водных растворах сернокислого калия ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) и хлористого кальция ( $\text{CaCl}_2$ ) меньше, чем в водных растворах хлористого натрия ( $\text{NaCl}$ ) и хлористого калия ( $\text{KCl}$ ). Так, при плотности  $\rho$  водного раствора  $1080 \text{ кг/м}^3$  содержание соли в растворах сернокислого калия ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) и хлористого кальция ( $\text{CaCl}_2$ ) составляет  $10,0$  и  $9,4\%$  соответственно, в растворах хлористого натрия ( $\text{NaCl}$ ) и хлористого калия ( $\text{KCl}$ )  $11,0$  и  $12,5\%$  соответственно.

Из этих показателей следует, что в водных растворах хлористого кальция ( $\text{CaCl}_2$ ),

хлористого натрия ( $\text{NaCl}$ ) и хлористого калия ( $\text{KCl}$ ) все склеротии спорыньи, характеризующиеся удельной массой  $900 \dots 1150 \text{ кг/м}^3$ , будут всплывать на поверхность, а зерна основных зерновых культур (пшеницы, ячменя, ржи и овса), характеризующиеся удельной массой  $1200 \dots 1500 \text{ кг/м}^3$ , – тонуть и выпадать на дно емкости. Водный раствор сернокислого калия ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), имеющий максимальную плотность  $1081 \text{ кг/м}^3$ , не способен выделять склеротии спорыньи с удельной массой выше плотности раствора, а потому применение этого раствора ограничено.

### Выводы

Показатели растворимости в воде хлористого калия ( $\text{KCl}$ ), хлористого натрия ( $\text{NaCl}$ ) и хлористого кальция ( $\text{CaCl}_2$ ) позволяют довести плотность раствора до  $1162$ ,  $1203$  и  $1370 \text{ кг/м}^3$  соответственно, что выше максимальной удельной массы склеротий спорыньи, равной  $1150 \text{ кг/м}^3$ . Водные растворы данных неорганических солей позволяют всплыванием на поверхность отделять склеротии спорыньи от зерна основных зерновых культур (пшеницы, ячменя, ржи и овса), которое будет тонуть и выпадать на дно емкости из-за большей удельной массы, равной  $1200 \dots 1500 \text{ кг/м}^3$ . Растворимость сернокислого калия ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ )



в воде по сравнению с хлористым калием (KCl), хлористым натрием (NaCl) и хлористым кальцием (CaCl<sub>2</sub>) ниже, наибольшая плотность его водного раствора ниже максимальной удельной массы склероций спорыньи, что ограничивает возможность использования водного раствора сернокислого калия (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) для выделения склероций спорыньи.

#### Список литературы

1. Волков А.И., Жарский И.М. Большой химический справочник. – Мн.: Современная школа, 2005. – 608 с.
2. Очистка зерна от спорыньи / В.А. Сысуев, В.Е. Саитов, П.А. Савиных, А.В. Саитов // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 6. – С. 46–49.
3. Павловский Г.Т., Птицын С.Д. Очистка, сушка и активное вентилирование зерна. – 2-е изд., исправ. и доп. – М.: Высшая школа, 1972. – 256 с.
4. Разработка и совершенствование малогабаритных пневмосепараторов с замкнутым циклом воздушного потока: Монография / В.Е. Саитов, В.Г. Фарафонов, А.Н. Суворов, Д.В. Григорьев. – Киров: ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2012. – 209 с.
5. Саитов В.Е. Повышение эффективности функционирования зерноочистительных машин путем совершенствования основных рабочих органов и пневмосистем с фракционной сепарацией: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Саитов Виктор Ефимович. – Чебоксары, 2014. – 519 с.
6. Саитов В.Е. Совершенствование технологического процесса воздушно-решетных зерно- и семяочистительных машин (рекомендации). – Киров: Вятская ГСХА, 2008. – 87 с.
7. Саитов В.Е., Григорьев Д.В. Замкнутый малогабаритный пневматический сепаратор для очистки зерна // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 7. – С. 15–18.
8. Саитов А.В. Особенности функционирования фотосепараторов для очистки зерна и семян от примесей // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: монография / Под общ. ред. В.А. Сысуева, Г.А. Баталовой, Е.М. Лисицына. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2016. – С. 352–355.
9. Саитов В.Е., Савиных П.А., Саитов А.В. Водоструйные сепараторы для очистки зернистых материалов от примесей // Научное обеспечение устойчивого развития АПК в современных условиях: материалы Всероссийской науч.-практ. конф., посвященной 80-летию Нижегородского НИИСХ. – Нижний Новгород, 2016. – С. 226–232.
10. Саитов В.Е., Суворов А.Н., Саитов А.В. Очистка зернового материала от склероций спорыньи в солевых растворах // Состояние и перспективы развития АПК Центрального Нечерноземья: сб. материалов Междунар. заочной науч.-практ. конф., посвященной 120-летию создания ФГБНУ Смоленской ГОСХОС. – Стодолище: ФГБНУ Смоленская ГОСХОС, 2016. – С. 238–243.
11. Состояние проблемы очистки зернового вороха от вредных примесей / В.А. Сысуев, В.Е. Саитов, П.А. Савиных, А.В. Саитов // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. Мосоловские чтения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Йошкар-Ола: ФГБОУ ВО «Мар. гос. ун-», 2016. – Вып. XVIII. – С. 248–252.
12. Techemy – сайт химиков > справочник по химии... [Электронный ресурс]. – URL: <http://techemy.com/handbook/tab0003.php> (дата обращения 06.04.2016).
13. Концентрация растворов – Википедия [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Концентрация\\_растворов](https://ru.wikipedia.org/wiki/Концентрация_растворов) (дата обращения 06.04.2016).