

Исследование сушки селекционных семян в плотном слое

Сергей Анатольевич Павлов¹, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
Нелли Семеновна Левина¹, ведущий научный сотрудник;
Иван Дмитриевич Лукин², главный инженер, e-mail: kirmis@orichila.kirov.ru

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация.

²Кировская государственная зональная машиноиспытательная станция, ул. Юбилейная, 1а, п.г.т. Оричи, Кировская область, 612080, Российская Федерация

При выборе режима безопасной сушки зерновой массы необходимо учитывать ее неоднородность по влажности. Это нежелательный фактор, от которого необходимо избавиться. С увеличением невыравненности зерновой массы по влажности снижается устойчивость ее при хранении, появляется опасность возникновения очагов самонагревания, уменьшается эффективность работы сушильных установок и других машин по обработке, возрастают затраты энергии на производство семян. Для устранения этого недостатка на отдельных участках зернового слоя или зернового потока высушенный продукт следует тщательно перемешивать, чтобы достичь наилучшей выравненности. Однако невыравненность по индивидуальной влажности отдельных зерен останется. Для ее снижения используют отлежку в сочетании с перемешиванием материала. Исследования проводили в лабораторной установке периодического действия. Продували увлажненные семена сахарной свеклы со скоростью агента сушки 0,5 м/с и температуре 45 градусов Цельсия. Влагосъем между перемешиваниями не превышал 2,5 процента для селекционных и 3,0 процента для рядовых семян. Длительность периодов между перемешиваниями можно определить аналитическим путем. Толщина слоя семян, допускающая сушку без перемешивания, убывает по квадратичной зависимости от повышения влажности. В перемешанных семенах происходит контактный влагообмен между влажными и подсушенными зерновками, что при суммарной длительности контакта не менее 30 мин позволяет дополнительно снизить неравномерность сушки до 0,5 процента.

Ключевые слова: сушка семян, перемешивание, контактный влагообмен.

■ **Для цитирования:** Павлов С.А., Левина Н.С., Лукин И.Д. Исследование сушки селекционных семян в плотном слое // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. №1. С. 22-26. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-1-22-26

Research of selection seeds drying in dense layer

Sergey A. Pavlov¹, PhD, Leading Researcher;
Nelli S. Levina¹, Leading Researcher;

Ivan D. Lukin²,
Engineer-in-chief, e-mail: kirmis@orichila.kirov.ru

¹Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation

²Kirov State Machinery Testing Station, Yubileynaya, 1, set. Orichi, Kirov region, 612080, Russian Federation

At the choice of the mode of safe drying of grain mass it is necessary to consider its heterogeneity on moisture content. It is an undesirable factor of which it is necessary to get rid. When increase in moisture inconstant the stability of grain mass at storage decreases, there is a danger of emergence of heating, the overall performance of dryers and other processing equipment decreases, energy costs for seeds production rise. To eliminate this shortcoming located in a grain layer or grain stream the dried-up product should be mixed carefully for the best uniformity. However not uniformity on individual moisture content of separate grains will remain. For its decrease combination of lying with material concitation is used. Researches were conducted in batch-operated laboratory machine. The humidified seeds of sugar beet were blowed-through with the drying agent speed of 0.5 m/s and temperature of 45 degrees Celsius. Moisture removal between concitations did not exceed 2.5 percent for selection seeds and 3.0 percent for ordinary ones. Duration of the periods between concitations can be determined in the analytical way. Thickness of a layer of seeds allowing drying without concitation decreases on



square dependence on increase in moisture content. A contact moisture exchange between the damp and dried caryopsides for 30 min and more make it possible drop-off in the unevenness of drying up to 0.5 percent.

Keywords: Seeds drying; Concitation; Contact moisture exchange.

For citation: Pavlov S.A., Levina N.S., Lukin I.D. Research of selection seeds drying in dense layer. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12; 1: 22-26. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-1-22-26

При производстве семян наиболее ответственной операцией остается безопасная сушка. От того, насколько своевременно и качественно она проведена, зависит сохранность собранного селекционного материала и результативность труда ученого-селекционера.

При выборе режима сушки необходимо учитывать следующие параметры: температуру агента сушки, величину коэффициента теплоотдачи, перемешивание как способ избавления от нежелательной неравномерности сушки, препятствующей качественному протеканию процесса [1-5].

С увеличением невыравненности зерновой массы по влажности снижается устойчивость семян к патогенам при хранении зерна, появляется опасность возникновения очагов самосогревания, уменьшается эффективность работы сушильных установок и других машин послеуборочной обработки, возрастают затраты энергии на производство семян.

Можно отметить два вида невыравненности зерновой массы по влажности. Первый вид – это неравномерное распределение влажности по участкам зерновой массы. Второй вид – это невыравненность по влажности отдельных зерен зерновой массы. В поступающем на обработку зерновом ворохе и обработанном зерне имеется невыравненность того и другого вида. При перемешивании зерновой массы и ее отлежке невыравненность снижается [6, 7].

Невыравненность характеризуют, как правило, отклонением от среднего значения влажности зерновой массы (максимальным, средним, среднеквадратическим и др.). В слоевых сушилках (лотковых, закромных, бункерных, ленточных и др.) пробы на невыравненность высушенного материала по влажности отбирают по толщине и площади зернового слоя. В сушилках непрерывного действия с перемешиваемой зерновой массой (например, в колонковых) пробы на влажность зерна отбирают через определенные интервалы времени на выходе из выпускного аппарата. Для устранения невыравненности влажности зерна на отдельных участках зернового слоя или зернового потока высушенный продукт следует тщательно перемешивать, чтобы достичь лучшей выравненности. Однако невыравненность по индивидуальной влажности отдельных зерен остается. Для ее снижения используют отлежку высушенного материала. Согласно исходным требованиям, неравномерность влажности зерна, высушенного до 14%, не должна превышать $\pm 1,5\%$.

Влажность свежубранного зерна зависит от способа и времени уборки, метеорологических условий уборочного периода и других факторов и может колебаться в широких пределах (у зерновых культур – от 10 до 35%). При этом колебания средней влажности зернового вороха, поступающего с одного поля в течение одного дня, могут быть значительными – до 8% [7]. Зерновой урожай обычно убирают при средней влажности зерна 13-23%, но влажность отдельных зерен будет существенно отличаться от среднего значения. При средней влажности зерна пшеницы 22% приблизительно десятая часть зерен имеет влажность ниже 17%, а пятая часть – выше 25%. Отклонения могут быть еще выше. При средней влажности зернового вороха 15% в нем могут быть зерна влажностью как 10-12%, так и 40-45% (недозрелые зерна).

Предварительная очистка зернового вороха несколько снижает его среднюю влажность и невыравненность по этому признаку – главным образом вследствие отделения примесей. Благодаря этому уменьшается опасность его порчи при длительном хранении. Однако для безопасного длительного хранения зерновой ворох должен быть высушен до кондиционной влажности (13-14%).

В слоевых сушилках периодического и непрерывного действия с перемешиваемой зерновой массой всегда будет наблюдаться неравномерность высушиваемого зерна по влажности на отдельных участках зернового слоя, то есть по толщине и площади зернового слоя. Это обусловлено способом воздействия сушильного агента на материал. Особенно большая неравномерность сушки характерна для сушилок периодического действия. В связи с этим высушенный с их использованием материал следует обязательно перемешивать, во многих случаях с применением специальных дополнительных технических средств [8].

Отмечается, что чем выше неравномерность исходного материала, тем более невыравненным оказывается он после сушки. Установлено, что после сушки уменьшается варьирование влажности отдельных зерен. Однако размах крайних отклонений остается высоким.

Анализ опытных данных показывает, что процесс сушки с перемешиванием семян дает более равномерный результат по толщине слоя, чем без этого приема. Разница в продолжительности сушки достигает 5,0-6,5 ч, что в пересчете на удельную

производительность составляет 50-65% [9].

Вышеприведенные режимы перемешивания не оптимальны и имеют резервы интенсификации при условии полной сохранности семян.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ – определение частоты, длительности перемешивания семян и максимальной толщины плотного слоя, не требующего перемешивания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследования проводили в лабораторной установке периодического действия. Семена сахарной свеклы, увлажненные до 18, 20, 25 и 30% в слое толщиной 0,1; 0,2; 0,3 и 0,4 м, продували в cassette диаметром 0,12 м при скорости агента сушки 0,5 м/с и температуре 45°C.

Перемешивали слой при влагосъеме $\Delta W = 3,5; 3,0$ и $2,5\%$. Предельная толщина слоя была принята 0,4 м на том основании, что слой этой толщины характерен для большинства установок периодического действия. При наличии вентиляторов среднего давления (2 кПа) его можно продувать со скоростью до 0,5 м/с. Этот слой семян с диаметром зерен 2-4 мм обеспечивает интенсивную сушку, допускает как механизированное, так и ручное перемешивание. Минимальная толщина слоя, позволяющая равномерно распределять зерно по площади решетки сушилки, составила 0,1 м.

Без перемешивания высушивали семена влажностью 18, 22, 26, 30 и 34%. Определяли толщину слоя зерна, неравномерность в котором не превышает $\delta = \pm 1,5\%$ для семян, высушенных до 14%. Исследовали влияние контактного массопереноса на снижение неравномерности сушки, для чего изменяли длительность перемешивания. Время перемешиваний составило 10, 15 и 25 мин.

Влажность семян определяли отбором проб из cassette с последующим высушиванием в сушильном шкафу. Отбор проб проводили по глубине слоя в трех точках: с пограничных слоев и в середине – до и после каждого перемешивания. При отборе проб взвешивали cassette и определяли среднюю влажность и температуру материала. Неравномерность сушки δ рассчитывали как разность между влажностью семян верхнего и нижнего слоев. Перемешивание осуществляли в термоизоляционной cassette вручную.

Влияние контактного массопереноса на снижение неравномерности сушки δ изучали следующим образом.

До и после перемешивания определяли влажность семян в пограничных слоях и сравнивали с неравномерностью сушки при перемешивании длительностью 2 мин.

Слой продували агентом сушки температурой 45°C. С периодичностью 20 мин отключали вентилятор и пробоотборником брали навески семян с решетки и свободной поверхности слоя (рис. 1).

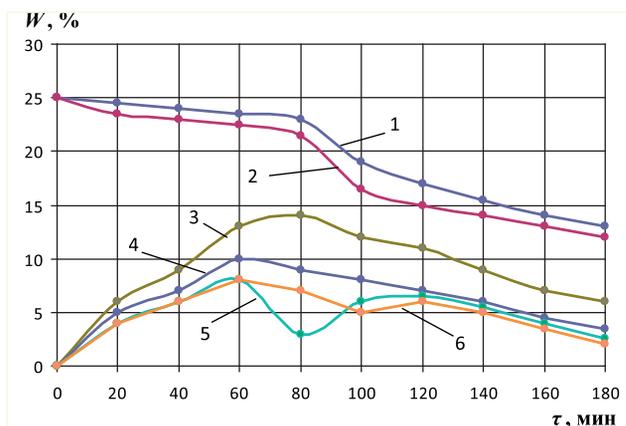


Рис. 1. Зависимость влажности W (1, 2) и неравномерности сушки δ (3, 4, 5, 6) от времени τ :

1, 2 – высота слоя $H = 0,3; 0,2$ м;

3 – без перемешивания; $H = 0,3$ м;

4, 5, 6 – влагосъем $\Delta W = 3,5; 3,0; 2,5\%$

Fig. 1. Dependence of moisture W (1, 2) and drying unevenness δ (3, 4, 5, 6) from time τ :

1, 2 – layer height $H = 0,3; 0,2$ m;

3 – without concitation; $H = 0,3$ m;

4, 5, 6 – ΔW moisture removal = 3,5; 3,0; 2,5%

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Установлено, что для качественного высушивания слоя семян сахарной свеклы влажностью $W=25\%$ при $\Delta W=3,5\%$ надо использовать три перемешивания, при $\Delta W = 3,0\%$ – четыре, а при $\Delta W = 2,5\%$ – пять перемешиваний. Установлено, что при трех перемешиваниях с $\Delta W = 3\%$, несмотря на быстрое снижение неравномерности по влажности, остаточная неравномерность составила $\delta \approx 3\%$, при четырех перемешиваниях – $\delta \leq 3\%$, а при пяти – $\delta \leq 2,5\%$.

Как следует из рисунка 1, в первый период сушки до $W_{кр} = 23\%$, неравномерность δ при всех влагосъемах отличается несущественно, в конце этого периода она достигает максимума и во втором периоде снижается более интенсивно.

В общем случае частоту перемешивания слоя семян при сушке можно определить по уравнению:

$$n = \frac{(W_n - W_k) - \Delta W}{\Delta W}, \quad (1)$$

где W_n, W_k – начальная и конечная влажность семян, %.

Длительность периода сушки между перемешиваниями можно определить по выражению [10-12]:

$$\tau_i = \frac{\Delta U_i r H}{\alpha f (T - \theta_{cp}) \eta h_i}, \quad \text{ч}, \quad (2)$$

где ΔU_i – влагосъем между перемешиваниями, кг вл./кг сух. мат.; r – удельная теплота испарения влаги, кДж/кг; H, h_i – высота слоя и элементарного слоя ($h_i = 2...3 d_s$, где d_s – эквивалентный диаметр зерновки, м); α – коэффициент теплообмена, Вт/м²·°C;

f – удельная поверхность семян, $\text{м}^2/\text{кг}$; T, θ_{cp} – температура агента сушки и средняя температура семян, $^{\circ}\text{C}$; η – доля теплоты, поступающей на испарение влаги.

При исследовании максимальной толщины слоя, не требующей перемешивания, установлено, что с ростом W быстро снижается высота слоя H_0 , при которой не требуется перемешивания, то есть $\delta \geq 3\%$ (рис. 2). Если при влажности семян 18% толщина слоя близка более к 0,2 м, то при $W = 25\%$ величина H_0 опускается ниже 0,1 м.

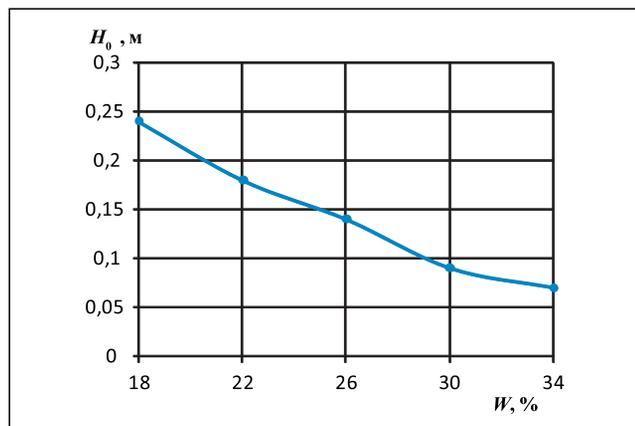


Рис. 2. Зависимость высоты неперемешиваемого слоя H_0 от влажности семян W

Fig. 2. Dependence of height of unstirred layer H_0 from seeds moisture W

Зависимость максимальной толщины слоя H_0 от W на основе эксперимента можно записать в виде:

$$H_0 = 68,0 W^{-2}, \quad (3)$$

где W – влажность семян, %.

В слое перемешанных семян реализуется контактный теплообмен, и температура выравнивается за 2-3 мин, но перераспределение влаги между семенами происходит значительно медленнее. Однако более длительное перемешивание, особенно для семян повышенной влажности, позволяет несколько снизить остаточную величину δ (рис. 3).

Без перемешивания длительность сушки семян в плотном слое возрастает в 1,4-1,5 раза по достижении допустимой неравномерности, при этом влажность пограничного с решеткой слоя снижается почти до 12% вместо 14%.

Для слоя семян влажностью 25% высотой 0,3 м в установках периодического действия при скорости агента сушки 0,5 м/с и температуре 45°C процесс сушки продолжается около 3 ч.

Для рядовых семян влажностью свыше 25% требуются 3 перемешивания, для селекционных – 4,

при этом неравномерность сушки не превысит $\delta \leq \pm 1,5\%$.

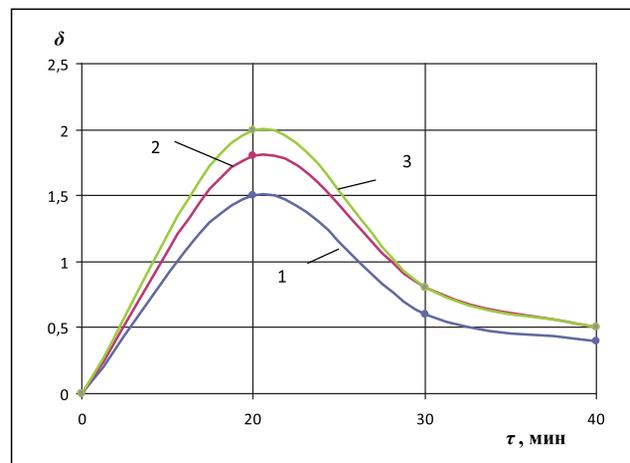


Рис. 3. Зависимость неравномерности сушки семян δ от времени τ :

1, 2, 3 – после первого, второго и третьего перемешивания соответственно

Fig. 3. Dependence of unevenness of seeds drying δ from time τ : 1, 2, 3 – after the first, second and third concitation respectively

В первом периоде сушки до $W = 23\%$ достаточно одного перемешивания с влагосъемом до 4%, во втором периоде интервал между перемешиваниями ограничен величиной $\Delta W = 3,0$ и 2,5%.

Оптимальная высота слоя семян – 0,3-0,35 м; при этом длительность сушки до первого перемешивания составляет 0,7 ч, между следующими – 1 ч, при влажности слоя 25% и скорости агента сушки 0,5 м/с.

При перемешивании происходит контактный влагообмен между зерновками различной влажности, оптимальная длительность перемешивания – до 30 мин, причем влагообмен наиболее интенсивен при первом и втором перемешиваниях.

Выводы.

Влагосъем между перемешиваниями плотного слоя влажных семян не должен превышать $\Delta W = 2,5\%$ для селекционных и 3% для рядовых семян. Длительность периодов между перемешиваниями можно определить аналитическим путем по формуле (2).

При повышении влажности толщина слоя семян, допускающая сушку без перемешивания, убывает по квадратичной зависимости. В перемешанных семенах происходит контактный влагообмен между влажными и подсушенными зерновками, что при длительности перемешивания не менее 30 мин позволяет дополнительно снизить неравномерность сушки до 0,5%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент N2615350 РФ. Способ безопасной сушки семян в плотном слое / Голубкович А.В., Павлов С.А., Елизарова О.В., Левина Н.С. // Бюл. 2017. N10.
2. Патент N2601071 РФ. Способ безопасной сушки семян / Павлов С.А., Голубкович А.В., Измайлов А.Ю., Марин Р.А., Дадыко А.Н., Тараканова Л.А. // Бюл. 2016.
3. Патент N2589972 РФ. Способ и устройство для контейнерной сушки семян / Измайлов А.Ю., Голубкович А.В., Евтюшенков Н.Е., Крюков М.Л., Павлов С.А. // Бюл. 2016. N19.
4. Павлов С.А., Голубкович А.В., Марин Р.А. Математическое моделирование при реверсивной сушке зерна // *Тракторы и сельхозмашины*. 2013. N2. С. 36-37.
5. Павлов С.А., Голубкович А.В., Марин Р.А. Особенности сушки семян в колонковой сушилке // *Тракторы и сельхозмашины*. 2014. N5. С. 40-41.
6. Патент N2578920 РФ. Способ реверсивной сушки семян / Голубкович А.В., Павлов С.А., Марин Р.А., Дадыко А.Н. // Бюл. 2016.
7. Анискин В.И., Окунь Г.С. Технологические ос-
новы сушки работы зерносушильных установок. М.: ВИМ, 2003. 167 с.
8. Витоженц Э.Н., Окунь Г.С., Чижиков А.Г., Добычин Н.А. Рекомендации по использованию материально-технической базы для сушки семян зерновых и других культур в семеноводческих хозяйствах. М.: Колос, 1983. 39 с.
9. Гамхошвили Р.М. Обоснование технологических и конструктивных параметров и разработка универсальной установки для сушки селекционных семян сельскохозяйственных культур: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М.: ВИМ, 1975. 23 с.
10. Сажин Б.С. Основы техники сушки. М.: Химия, 1984. С. 79.
11. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Кынев Н.Г. ВИМ – основатель производства селекционной техники в России // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2008. N4. С. 9-11.
12. Лобачевский Я.П. Проблема механизации работ в селекции и семеноводстве // «Золотая осень» – демонстрация достижения российских аграриев: Сборник. М.: Росинформагротех, 2010. С. 110-111.

REFERENCES

1. Patent N2615350 RF. Sposob bezopasnoy sushki semyan v plotnom sloe [Method of safe seeds drying in dense layer]. Golubkovich A.V., Pavlov S.A., Elizarova O.V., Levina N.S. Byul. 2017. N10. (In Russian)
2. Patent N2601071 RF. Sposob bezopasnoy sushki semyan [Method of safe seeds drying] Pavlov S.A., Golubkovich A.V., Izmaylov A.Yu., Marin R.A., Dadyko A.N., Tarakanova L.A. Byul. 2016. (In Russian)
3. Patent N2589972 RF. Sposob i ustroystvo dlya konteynernoy sushki semyan [Method and equipment for container seeds drying] Izmaylov A.Yu., Golubkovich A.V., Evtyushenkov N.E., Kryukov M.L., Pavlov S.A. Byul. 2016. N19.
4. Pavlov S.A., Golubkovich A.V., Marin R.A. Mathematical modeling at grain reversible drying. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2013; 2: 36-37. (In Russian)
5. Pavlov S.A., Golubkovich A.V., Marin R.A. Features of drying of seeds in tower drier. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2014; 5: 40-41. (In Russian)
6. Patent N2578920 RF. Sposob reversivnoy sushki semyan [Method of reversible seeds drying] Golubkovich A.V., Pavlov S.A., Marin R.A., Dadyko A.N. Byul. 2016. (In Russian)
7. Aniskin V.I., Okun' G.S. Tekhnologicheskie osnovy sushki raboty zernosushil'nykh ustanovok [Drying technological bases of grain drying units operation]. Moscow: VIM, 2003: 167. (In Russian)
8. Vitozhents E.N., Okun' G.S., Chizhikov A.G., Dobychin N.A. Rekomendatsii po ispol'zovaniyu material'no-tekhnicheskoy bazy dlya sushki semyan zernovykh i drugikh kul'tur v semenovodcheskikh khozyaystvakh [Recommendations about use of material and technical resources for drying of seeds of grain and other crops in seed-growing farms]. Moscow: Kolos, 1983: 39. (In Russian)
9. Gamkoshvili R.M. Obosnovanie tekhnologicheskikh i konstruktivnykh parametrov i razrabotka universal'noy ustanovki dlya sushki selektsionnykh semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Justification of technological and design data and development of universal unit for drying of selection seeds of crops]: Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. M.: VIM, 1975. 23 s. (In Russian)
10. Sazhin B.S. Osnovy tekhniki sushki [Bases of drying technique]. M.: Himiya. 1984: 79. (In Russian)
11. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Kynev N.G. WIM is the founder of selection machinery production in Russia. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2008; 4: 9-11. (In Russian)
12. Lobachevskiy Ya.P. Problema mekhanizatsii robot v selektsii i semenovodstve [Problem of mechanization of works in selection and seed production]. «Zolotaya osen'» – demonstratsiya dostizheniya rossiyskikh agrariyev: Sbornik. M.: Rosinformagrotekh, 2010: 110-111. (In Russian)

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.