

ХРАНИМОСПОСОБНОСТЬ СВЕКЛЫ САХАРНОЙ КАК ПАРАМЕТР ОЦЕНКИ СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА САХАРА

STORAGE STABILITY OF SUGAR BEET AS A PARAMETER OF RAW MATERIAL EVALUATION FOR SUGAR PRODUCTION

Пружин М.К. — доктор с.-х. наук, профессор, ведущий научный сотрудник
Широких Е.В. — кандидат с.-х. наук, научный сотрудник
Косулин Г.С. — кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник

Российский научно-исследовательский институт сахарной промышленности
 ул. К. Маркса, 63, г. Курск, 305029, Россия
 E-mail: info@rniisp.ru

Pruzhin M.K. — doctor of agricultural sciences, professor, leading researcher
Shirokikh E.V. — candidate of agricultural sciences, sciences researcher
Kosulin G.S. — candidate of agricultural sciences, senior researcher

Russian Research Institute of Sugar Industry
 Karl Marx str., 63, Kursk, Russia, 305029
 E-mail: info@rniisp.ru

Рассмотрено понятие хранимостпособности свеклы сахарной. В перечень факторов хранимостспособности были включены четыре, определяющие селекционные особенности гибридов, физическое состояние корнеплодов, условия и продолжительность хранения. Фактор, характеризующий селекционные особенности гибридов, отражается селекционным типом, который представлен урожайным, нормальным и сахаристым. Фактор, характеризующий послеуборочное физическое состояние корнеплодов, включает показатели содержания корнеплодов с сильными механическими повреждениями, степень их увядания. Фактор, определяющий условия хранения, имеет качественное выражение формируемого режима через применяемые технологии, в т.ч. хранение на открытых площадках в естественных условиях или с приемами укрытия кагатов и принудительного вентилирования. Фактор продолжительности хранения выражается длительностью периода, которое исходя из реальных сроков хранения принимали отличающимся в полярных вариантах в 3 раза. Для определения уровней жизненных процессов в свекле сахарной при хранении, проводили вычислительный эксперимент на основе пяти показателей четырех факторов на трех уровнях варьирования. Предложен критерий хранимостспособности свеклы сахарной, представляющий собой интегральный показатель, характеризующий совокупностью иммунных, физиологических и биохимических свойств корнеплодов. Выделенные категории хранимостспособности свеклы сахарной характеризуются разной интенсивностью протекающих в корнеплодах процессов и следующими результатами хранения: высокая хранимостспособность (критерий хранимостспособности 8,0–10,0 баллов); средняя хранимостспособность (критерий хранимостспособности 5,0–7,9 баллов); низкая хранимостспособность (критерий хранимостспособности 2,0–4,9 баллов); не хранимостспособная (критерий хранимостспособности 0–1,9 баллов). Полученная информация о хранимостспособности свеклы сахарной может быть использована для установления оптимальных сроков хранения корнеплодов и дифференциации каждой принимаемой партии сырья по продолжительности и условиям хранения. Для практического применения хранимостспособность предлагается выражать в виде критерия, рассчитываемого на основе множественного уравнения регрессии, с последующим выделением соответствующих категорий хранимостспособности. Это позволит достоверно выявлять сырье с высоким уровнем хранимостспособности, предполагающее низкие потери массы свеклы и сахарозы при длительном хранении.

Ключевые слова: свекла сахарная, хранение, критерий хранимостспособности, значимые факторы, физиологические биохимические процессы, микробиологические процессы, категория.

The concept of the storage stability of sugar beet has been considered. Four factors were included in the checklist of storage stability: determining breeding characteristics of hybrids; the physical state of the roots; conditions and duration of storage. The factor characterizing the breeding peculiarities of hybrids is reflected by the selection type, which is presented by the yield, normal and sugary. The factor characterizing the post-harvest physical condition of root crops includes indicators of the content of root crops with strong mechanical damages, the degree of their withering. The factor that determines the storage conditions has a qualitative expression of the regime formed through the technologies used, including storage in open areas in natural conditions or with methods of shelter and forced ventilation. The factor of storage duration is expressed by the duration of the period, which is based on the actual shelf life took different in the polar variants 3 times. To determine the levels of life processes in sugar beet during storage, a computational experiment was conducted on the basis of five indicators of four factors at three levels of variation. A criterion for the storage stability of sugar beet was proposed, which is an integral indicator characterized by a combination of immune, physiological and biochemical properties of root crops. The information obtained about storage stability of sugar beet can be used to determine the optimal shelf life of root crops and differentiation of each batch of raw material in terms of duration and conditions of storage. To determine the levels of life processes in sugar beets during storage, a simulating experiment was conducted on the basis of five indicators of four factors at three levels of variation. The chosen categories of the storage stability of sugar beets are characterized by different intensity of processes occurring in root crops and the following storage results: high storage stability (the criterion of storage stability is 8.0–10.0 points); average storage stability (criterion of storage capacity is 5.0–7.9 points); low storage stability (criterion of storage stability is 2.0–4.9 points); no storage stability (the criterion of the storage stability is 0–1.9 points). For practical application, the storage stability is proposed to be expressed in the form of a criterion calculated on the basis of a multiple regression equation, with subsequent allocation of the relevant categories of storage stability. This will allow to truly identify raw materials with a high level of storage stability, assuming low weight loss of beet and sucrose during long-term storage.

Keywords: sugar beet, storage, criterion of storage stability, significant factors, physiological and biochemical processes, microbiological processes, category.

В апреле 2018 года в России последним завершил сезон переработки сахарной свеклы урожая 2017 года Кирсановский сахарный завод Тамбовской области, отработав 227 суток, из них 94 — в первом полугодии 2018 года; вообще же продолжали работать в первом полугодии 31 сахарный завод. Такая ситуация оказалась возможной в результате длительного хранения сырья, которое становится фактором повышения конкурентоспособности предприятий.

При этом следует отметить, что результативность хранения не всегда оправдывает ожидания. Причин этому много — фактические погодные условия, которые в ряде случаев способствуют активизации развития микрофлоры; неприменение специальных приемов (укрытие кагатов, принудительное вентилирование межкорневого пространства, обработка специальными защитными средствами); несоблюдение требований к качеству укладываемой свеклы и др.

И хотя последние годы Россия удерживает лидерство в мире по производству свеклы сахарной и выработке из нее сахара, что в разнообразных климатических условиях зон свеклосеяния вынуждает хранить до 25 млн т сырья, какой-либо инструментарий оценки хранимостпособности свеклы сахарной отсутствует, а в научной литературе по хранению свеклы сахарной это понятие не используется. Поэтому представляет интерес рассмотрение и введение в практику такого параметра оценки свеклы сахарной как хранимостпособность.

Для плодовоовощной продукции используются близкие понятия лежкости и сохраняемости. Лежкость — способность продукции в течение определенного периода времени сохранять свои качества, не подвергаясь воздействию патогенной микрофлоры и не теряя массы, сохраняемость же обозначает лежкость в определенных условиях, причем в зависимости от этих условий результат хранения может меняться [6]. Применительно к свекле сахарной, сохраняемость которой также во многом зависит от условий хранения, объективное определение хранимостпособности следует производить для равнозначных условий.

Как известно, период хранения свеклы сахарной сопровождается протекающими в корнеплодах физиологическими и биохимическими процессами разной интенсивности, обеспечивающими поддержание их жиз-

недеятельности, а также нежелательными микробиологическими процессами. Эти процессы протекают одновременно, тесно взаимосвязаны друг с другом, и, в конечном итоге, определяют результат хранения. Сущностный анализ указанных процессов показал, что они в полной мере могут отражать совокупность свойств, характеризующих способность свеклы сахарной к длительному хранению. Учитывая это, хранимостпособность (нехранимостпособность) свеклы сахарной можно сформулировать как сопряженную совокупность ее физиологических, биохимических и иммунных свойств, потенциально определяющих (при соблюдении оптимальных условий хранения) сохранность или изменение исходных технологических качеств сырья, причины и величины потерь массы свеклы и сахара.

В литературе [8] показано, что с точки зрения хранимостпособности свеклы сахарной, результирующую совокупность протекающих процессов можно охарактеризовать тремя основными показателями: физиологические процессы — интенсивностью дыхания корнеплодов (показывает интенсивность распада сахарозы на энергию поддержания жизнедеятельности); биохимические процессы — активностью фермента инвертазы (показывает интенсивность распада сахарозы); микробиологические процессы — накоплением гнилой массы (показывает естественную устойчивость корнеплодов к патогенной микрофлоре).

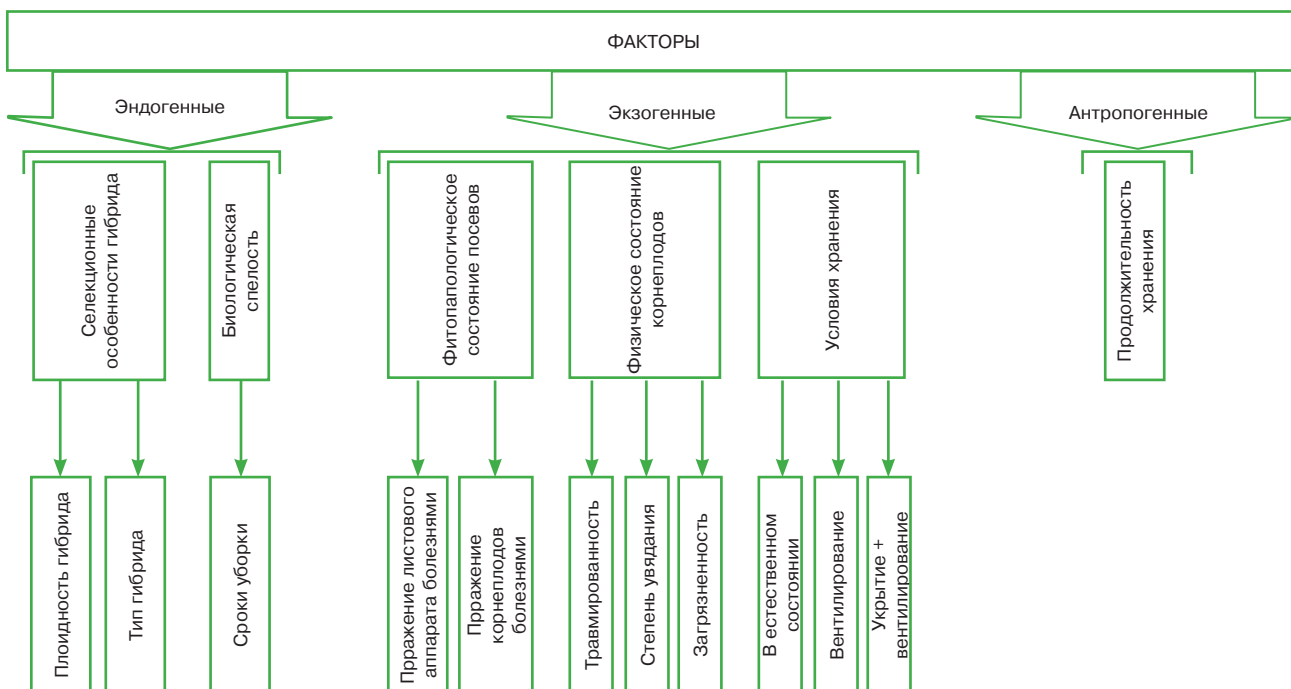
Тогда общее отражение этих показателей через интегральный показатель может служить критерием оценки хранимостпособности свеклы сахарной, который формализованно можно представить выражением:

$$K_{XP} = f(X_1, X_2, X_3),$$

где K_{XP} — критерий хранимостпособности сахарной свеклы; X_1 — интенсивность дыхания корнеплодов; X_2 — активность инвертазы; X_3 — содержание гнилой массы.

Для того, чтобы увязать течение процессов при хранении с вызывающими их причинами, из общей массы значимых факторов сохранности свеклы сахарной (рис.) были выделены наиболее существенные факторы с характеризующими их показателями. Далее из сложившегося перечня были исключены факторы или их показатели, влияние которых ограничено отсутствием варьирования параметров или возможного точного соблюдения. Так, на-

Рис. 1. Классификация значимых факторов сохранности свеклы сахарной



пример, для фактора селекционных особенностей гибрида, выраженного такими показателями как тип гибрида и его плоидность, учитывался только тип гибрида; показатель плоидности был исключен в связи с низкой способностью к длительному хранению триплодных гибридов сахарной свеклы [1]. Не учитывались факторы, характеризующие фитопатологическое состояние свеклы сахарной и биологическую спелость в связи с тем, что их параметры ограничены требованиями нормативного документа (ГОСТ 33884-2016) [2]. Показатель загрязненности корнеплодов фактора физического состояния не учитывался, как имеющий пороговое значение при укладке свеклы сахарной на длительное хранение.

В результате в окончательный перечень факторов хранимостпособности были включены четыре фактора, определяющие селекционные особенности гибридов, физическое состояние корнеплодов, условия и продолжительность хранения. Фактор, характеризующий селекционные особенности гибридов, отражается селекционным типом, который представлен урожайным, нормальным и сахаристым. Фактор, характеризующий послеуборочное физическое состояние корнеплодов, включает показатели содержания корнеплодов с сильными механическими повреждениями, степень их увядания. Фактор, определяющий условия хранения, имеет качественное выражение формируемого режима через применяемые технологии, в т.ч. хранение на открытых площадках в естественных условиях или с приемами укрытия кагатов и принудительного вентилирования. Фактор продолжительности хранения выражается длительностью периода, которое исходя из реальных сроков хранения принимали отличающимся в полярных вариантах в 3 раза.

Для определения уровней жизненных процессов в свекле сахарной при хранении, проводили вычислительный эксперимент на основе пяти показателей четырех факторов на трех уровнях варьирования (табл. 1).

Для заполнения матрицы вычислительного эксперимента по сокращенному факториальному плану использовали собственные полученные в результате многолетних исследований зависимости [3, 5, 7, 9], отражающие влияние указанных факторов на интенсивность протекающих при хранении процессов. В результате регрессионного анализа данных матрицы были получены уравнения вида полиномов, у которых в качестве исходных переменных выступают показатели значимых факторов, а выходных данных (отклика) — показатели интенсивности физиолого-биохимических и микробиологических процессов. Для дальнейшей возможности работы с единообразно выраженными численными значениями уровня интенсивности указанных процессов во всем их диапазоне выполнено ранжирование по 10-балльной шкале. Основанием для этого послужила систематизация обширного массива исследований по длительному хранению свеклы сахарной, в которых фигурировали разные значения интенсивности физиолого-биохимических и микробиологических процессов. При этом в качестве репрезентативных показателей уровня интенсивности физиолого-биохимических и микробиологических процессов использовали интенсивность дыхания, активность инвертазы и содержание гнилой массы [4]. Регрессионный анализ ранжированных показателей интенсивности протекающих в корнеплодах процессов позволил математически выразить связь зна-

Таблица 1.

Значимые факторы с показателями и уровнями варьирования

Фактор	Показатель фактора	Уровень варьирования
Селекционные особенности гибридов	Тип гибрида	Е (урожайный)
		N (нормальный)
		Z (сахаристый)
Физическое состояние корнеплодов	Содержание корнеплодов с сильными механическими повреждениями	3,0
		9,0
		15,0
	Степень увядания корнеплодов	0,6
		6,5
		12,8
Условия хранения	Режим хранения	Контроль
		Вентилирование
		Укрытие + вентилирование
Продолжительность хранения	Срок хранения	20 суток
		40 суток
		60 суток

чений критерия хранимостспособности свеклы сахарной с показателями указанной совокупности сопряженных процессов в виде квадратичного уравнения:

$$K_{XP} = 10,82 - 0,42699X_d - 0,155X_i - 0,25708X_g + 0,01221X_i^2 + 0,00192X_d^2 + 0,0054X_g^2, \\ F_\phi = 0,21; F_{05} = 1,60; R_2 = 0,98.$$

где K_{XP} — критерий хранимостспособности, балл; X_d — интенсивность дыхания, мг $CO_2/1$ кг×час; X_i — активность инвертазы, мг на 1 г сух. в-ва; X_g — содержание гнилой массы, % к массе свеклы; F — критерий Фишера; R_2 — показатель достоверности аппроксимации.

Полученная зависимость применима для определения значений критерия хранимостспособности в следующих диапазонах уровней процессов хранения: интенсивность дыхания (мг $CO_2/1$ кг×час) — от 1 до 15; активность инвертазы (мг на 1 г сух. вещества) — от 2 до 40; содержание гнилой массы (% к массе свеклы) — от 0 до 25.

Исходя из уровня физиолого-биохимических и микробиологических процессов в корнеплодах свеклы сахарной, выполнили градацию по категориям ее хранимостспособности. Для этого ранжированные значения были сопоставлены с показателями среднесуточных потерь массы свеклы и сахарозы. На основании отличительных особенностей протекающих в корнеплодах процессов и результатов их длительного хранения были выделены четыре дискретных категории хранимостспособности свеклы сахарной (табл. 2).

Выделенные категории хранимостспособности свеклы сахарной характеризуются разной интенсивностью протекающих в корнеплодах процессов и следующими результатами хранения:

— высокая хранимостспособность (критерий хранимостспособности 8,0–10,0 баллов) — микробиологические процессы отсутствуют или находятся на незначительном уровне, физиолого-биохимические процессы протекают на минимально возможном уровне, потери массы свеклы и сахарозы обусловлены физиологическим покоем корнеплодов;

— средняя хранимостспособность (критерий хранимостспособности 5,0–7,9 баллов) — микробиологические процессы находятся на низком уровне, физиолого-биохимические процессы протекают на среднем уровне, поте-

ри массы свеклы и сахарозы не превышают норм естественной убыли;

— низкая хранимостпособность (критерий хранимостпособности 2,0–4,9 баллов) — микробиологические и физиолого-биохимические процессы протекают интенсивно, потери массы свеклы и сахарозы выше норм естественной убыли;

— не хранимостспособная (критерий хранимостспособности 0–1,9 баллов) — микробиологические и физиолого-биохимические процессы протекают очень интенсивно, что приводит к утрате технологических качеств корнеплодов, при которых их переработка для получения кристаллического сахара экономически нецелесообразна.

Таким образом, предлагается введение понятия хранимостспособности как дополнительного параметра оценки свеклы сахарной, направляемой на длительное хранение. Для обоснования указанного параметра приведена классификация значимых факторов сохранности свеклы сахарной, а также имеющиеся фундаментальные сведения о роли интенсивности протекания физиолого-биохимических и микробиологических процессов, которые в полной мере могут отражать сопряженную совокупность

Таблица 1.

Категории хранимостспособности свеклы сахарной

Категория хранимостспособности	Уровень процессов хранения			Показатели потерь	
	интенсивность дыхания, мг CO ₂ /1 кг·час	активность инвертазы, мг на 1 г сух. в-ва	содержание гнилой массы, % к массе свеклы	среднесуточные потери массы, %	среднесуточные потери сахарозы, %
Высокая	1,1–3,1	2,9–4,1	0,00–1,55	0,006–0,031	0,003–0,010
Средняя	3,2–6,4	4,2–11,0	1,56–6,49	0,032–0,070	0,011–0,022
Низкая	6,5–10,4	11,1–30,4	6,50–17,99	0,071–0,109	0,023–0,039
Не хранимостспособная	10,5–15,5	30,5–80,4	18,00–44,90	0,110–0,136	0,040–0,063

свойств, характеризующих способность сахарной свеклы к длительному хранению. Для практического применения хранимостспособности предлагается выражать в виде критерия, рассчитываемого на основе множественного уравнения регрессии, с последующим выделением соответствующих категорий хранимостспособности. Это позволит достоверно выявлять сырье с высоким уровнем хранимостспособности, предполагающее низкие потери массы свеклы и сахарозы при длительном хранении.

■ ЛИТЕРАТУРА

1. Апасов, И.В. Технологические качества гибридов сахарной свеклы различных селекционных направлений в условиях засухи / И.В. Апасов, Г.К. Фоменко, Л.Н. Путилина // Сахар. — 2011. — № 5. — С. 48–54.

2. ГОСТ 33884–2016. Свекла сахарная. Технические условия [Текст]. — Взамен ГОСТ Р 52647–2006; введ. 1.07.2017. — М.: Стандартинформ, 2016. — 8 с.

3. Морозов, А.Н. Влияние селекционного направления и физического состояния сахарной свеклы на результативность хранения / А.Н. Морозов, Г.С. Косулин, С.В. Хлюпина // Достижения науки и техники АПК. — 2016. — № 11. — С. 123–126.

4. Морозов, А.Н. Прогнозирование способности сахарной свеклы к длительному хранению / А.Н. Морозов, Г.С. Косулин, И.Н. Мирошниченко: Сборник материалов II Международной науч.-практич. конф. «Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции», 05–26 июня 2017 г., г. Краснодар. Краснодар, 2017. — С. 414–418.

5. Морозов, А.Н. Технология длительного хранения сахарной свеклы / А.Н. Морозов, М.К. Пружин, Л.Ю. Смирнова // Сахар. — 2016. — № 7. — С. 33–35.

6. Николаева, М.А. Научные основы обеспечения сохранности овощей и плодов: монография / М.А. Николаева, Л.Г. Елисеева. — М.: РУСАЙНС, 2017. — 154 с.

7. Пат. 2555004 Российская Федерация, МПК A01F25/00. Способ длительного хранения сахарной свеклы [Текст] / Сапронов Н.М., Аксенов Д.М., Донцова Э.П. [и др.]; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 19. — 4 с.

8. Разработать прогностическую модель оценки хранимостспособности сахарной свеклы в условиях направленного воздействия на физическую среду межкорневого пространства катета [Текст]: отчет о НИР (промеж.) / Рос. науч.-исслед. ин-т сах. пром.; рук. Косулин Г.С.; испол.: Морозов А.Н. [и др.]. — Курск, 2016. — 53 с. — № ГР АААА-А16–116022610089-8. — Инв. № 807.

9. Сапронов, Н.М. Укрытие многофункционального действия и принудительное вентилирование для длительного хранения сахарной свеклы / Н.М. Сапронов, М.К. Пружин, А.Н. Морозов, Д.М. Аксенов // Сахар. — 2015. — № 8. — С. 24–27.

■ REFERENCES

1. Apasov I.V. Technological properties of sugar beet hybrids of different breeding directions during drought / I.V. Apasov, G.K. Fomenko, L.N. Putilina // Sugar. — 2011. — No. 5. — P. 48–54.

2. GOST 33884–2016. Sugar beet. Technical specifications [Text]. — Replaced of GOST R 52647–2006; Introduction. 1.07.2017. — Moscow: Standardinform, 2016. — P. 8.

3. Morozov A.N. Influence of selection direction and physical state of sugar beet on the efficiency of storage / A.N. Morozov, G.S. Kosulin, S.V. Khlyupina // Achievements of science and technology of agroindustrial complex. — 2016. — No. 11. — P. 123–126.

4. Morozov A.N. Forecasting of sugar beet stability to long-term storage / A.N. Morozov, G.S. Kosulin, I.N. Miroshnichenko: Source book II International Research and Practice Conference «Innovative research and development for the scientific provision of production and storage of environmentally friendly agricultural and food products», June 05–26, 2017, Krasnodar. Krasnodar, 2017. — P. 414–418.

5. Morozov A.N. Technology of long-term storage of sugar beets / A.N. Morozov, M.K. Pruzhin, L.Yu. Smirnova // Sugar. — 2016. — No. 7. — P. 33–35.

6. Nikolaeva M.A. Scientific foundations for ensuring the preservation of vegetables and fruits: monograph / M.A. Nikolaeva, L.G. Eliseeva — Moscow: Rusayns, 2017. — P. 154.

7. Patent 2555004 Russian Federation, IPC A01F25 / 00. The method of long-term storage of sugar beet [Text] / Sapronov N.M., Aksenov D.M., Dontsova E.P. [and others]; published on July 10, 2015, Bulletin № 19 — P. 4.

8. To develop a prognostic model to assess the storage stability of sugar beet in conditions of directed influence on the physical environment of the space between roots of the beet pile [Text]: report on research work (intermediate) / Russian Research Institute of Sugar Industry. Research advisor Kosulin G.S.; performer: Morozov A.N. [and others]. — Kursk, 2016. — P. 53 — No. GR АААА-А16–116022610089-8. — inventory number 807.

9. Sapronov N.M. Cover material of multifunctional action and forced ventilation for long-term storage of sugar beet. N.M. Sapronov, M.K. Pruzhin, A.N. Morozov, D.M. Aksenov // Sugar. — 2015. — No. 8. — P. 24–27.