

## **К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ**

**Л.А. Коробова, И.С. Толстова**

*Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Россия*

Технологический процесс переработки корнеплодов сахарной свеклы характеризуется последовательностью промышленных операций и является многостадийным. К основным стадиям производства относятся:

- приемка и хранение свеклы;
- мойка и транспортировка свеклы;
- диффузионное отделение;
- сокоочистительное отделение;
- продуктовое отделение;
- сахаросушильное отделение и упаковка.

Переход от предыдущей стадии к следующей происходит последовательно.

При производстве сахара необходимо учитывать большое количество параметров, взаимосвязанных и взаимовлияющих друг на друга [1, 2]. Т.е., на качество сахара как готового продукта влияет большое количество параметров. Определить важность параметров практически невозможно, начиная от операций по приему сырья (корнеплодов) и до получения и упаковки готового продукта. Учет параметров необходимо вести, начиная от спелости (ботанической, биологической и технической), сахаристости, состояния тургора, степени загрязненности и заканчивая концентрацией не сахаров в свекловичном соке [3]. Пригодность сахарной свеклы как сырья для хранения и промышленной переработки определяет ГОСТ 33884-2016. [4]. Качество и количество конечного сахара определяется технологическим качеством корнеплодов, характером и объемом потерь сахарозы вследствие механических повреждений корнеплодов при уборке и транспортировке, увядания, подмораживания и оттаивания при хранении. Механически поврежденные корнеплоды усиливают интенсивность дыхания во время хранения, легче поражаются микроорганизмами [5]. Увядание приводит к усиленному дыханию, что увеличивает потери сахара и ослабляет устойчивость к микроорганизмам [6]. Большой интерес к процессу производства сахара проявляют различные исследователи и практики в этой области. В источнике Калинин А.Т. и Калинин А.А. рассматривают вопросы улучшения технологического качества сахарной свеклы [7]. В рекомендациях Корниенко А.В., Нанаенко А.К., Мазепин М.Г. приводят примеры современных технологий производства сахарной свеклы [8].

Для эффективного применения и учета требований к показателям физического состояния исходного сырья разработаны ГОСТы, стандарты и технические требования [4]. Нормативные документы определяют процентное содержание наличия в свекломассе примесей цветущих, подвяленных, подмороженных или сильно поврежденных корнеплодов, приводящих к ослаблению устойчивости их к хранению, затруднениям в процессе переработки. Сахарную свеклу, которая не соответствует нормам, относят к некондиционному сырью. Некондиционные корнеплоды являются очагами поражения патологиями и распространяют заболевания на здоровые [7].

Таким образом, устойчивость к хранению корнеплодов достигается при соответствии свеклы определенным параметрам [3, 6]. Потери свеклоперерабатывающих предприятий в период хранения сильно зависят от начальных технических характеристик корнеплодов.

Период послеуборочного хранения дает основание считать, что образуется сложная биосистема. Она является целостной совокупностью популяций микроорганизмов-вредителей и сахарной свеклы. Так же, в системе имеют место абиотические взаимодействия, влияющие на характер биотических взаимодействий, то есть, компонент биосистемы. Для реализации прогнозирования необходимо описать динамику биосистемы в как можно более широком представлении

В комплексе факторов, оказывающих влияние на взаимоотношения, складывающиеся между возбудителями гнилей и растением сахарной свеклы, большое значение имеет температура и относительная влажность воздуха при заражении растения – хозяина. Как показали ранее проведенные исследования [7, 8], температура влияет на рост мицелия возбудителей гнилей и развитие болезни [9], а от влажности зависит сама возможность инфицирования корнеплодов [10].

Исходя из этого, весь процесс хранения считаю целесообразным разделить на два подпроцесса: подпроцесс заражения и подпроцесс распространения болезней, каждый из которых зависит от одного индивидуального параметра:

1. Подпроцесс первичного инфицирования. Зависит от влажности внутри кагата.

2. Подпроцесс распространения заболевания и вторичного инфицирования. Зависит от температуры. Он обусловлен развитием патогенов на сахарной свекле и взаимозаражению. При наличии зараженных до некоторого порога корнеплодов, соприкасающиеся с ними растения также гарантированно заразятся.

Наибольший интерес представляет второй подпроцесс, поскольку именно он вызывает большое число вопросов.

Важным регулирующим фактором, оказывающим влияние на агрессивность возбудителей гнилей корнеплодов свеклы, является температура. Заражение растений свеклы сахарной патогенами преимущественно наблюдается при температуре 10°C и выше [9, 10, 11].

Прежде чем применять способы моделирования динамики биосистемы, необходимо однозначно утвердить связанность системы. Иными словами, необходимо убедиться в том, что межвидовые биотические взаимодействия являются действительно системообразующими механизмами, определяющими качественную специфику биоценоза, а не представляют собой просто статистическое объединение видов, оказавшихся вместе только потому, что они нуждаются в сходных абиотических условиях.

Первым важным условием в защиту наличия биосистемы является одинаковое питание. Все микроорганизмы используют в качестве источника энергии сахарозу свеклы, следовательно, они связаны через организм свеклы сахарной опосредованно.

Для оценки связности биоценоза используется следующая формула:

$$S(C) = \frac{s(C)}{n(n-1)} 100\% \quad (1)$$

где  $s(C)$  – число недиагональных элементов матрицы (2), отличных от нуля,  $n$  – размерность матрицы. Значение  $S(C)$  определяется применительно к конкретному биоценозу в определенные периоды времени. В качестве правдоподобной гипотезы предполагается, что средний по множеству биоценозов коэффициент связности составляет ( $5\% < S(C) < 20\%$ ).

Для применения этой формулы необходимо построить матрицу межвидовых биотических взаимодействий. Она строится по следующим правилам:

В любой момент времени  $t$  влияние  $j$ -го вида на динамику  $i$ -го вида определяется реакцией скорости изменения плотности последнего, то есть величины  $\frac{dx_i}{dt}$ , на бесконечно малое изменение плотности популяции первого вида – величины  $x_i(t)$ . Математическим выражением этого влияния служит величина частной производной скорости  $\frac{dx_i}{dt}$  по плотности  $x_j$ , взятая в момент времени  $t$ , которую обозначим через  $c_{ij}(t)$ .

Составив из величин  $c_{ij}(t)$ , соответствующих всевозможным парам индексов  $(i, j)$  при  $i = 1, \dots, n$ ;  $j = 1, \dots, n$ , квадратную матрицу  $n \times n$  можно получить исчерпывающую количественную характеристику всей совокупности биотических взаимодействий между популяциями биосистемы.

$$C(t) = \begin{bmatrix} c_{11}(t) & \cdots & c_{1n}(t) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1}(t) & \cdots & c_{nn}(t) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Рассмотрим основные свойства структурной матрицы. Прежде всего обратим внимание на то, что, как правило, не все компоненты биосистемы непосредственно влияют друг на друга, то есть для некоторых пар  $(i, j)$  имеет место  $c_{ij}(t) = 0$ . В частности, если переменная  $x_i$  вообще не входит в число существенных аргументов функции  $f_j(\dots)$ , то коэффициент воздействия  $i$ -го вида на  $j$ -тый будет тождественно равен нулю. Наличие нулей в структурной матрице биоценоза свидетельствует об отсутствии непосредственных биотических взаимодействий между соответствующими видами, причем возможны варианты, когда  $c_{ij} = 0$ , но  $c_{ji} \neq 0$ , то есть в общем случае матрица (2) будет несимметричной.

Ненулевые элементы в структурной матрице имеют положительные или отрицательные значения в зависимости от того, каким образом одна популяция влияет на другую в текущий момент времени  $t$ . Так как с течением времени плотности популяций биоценоза изменяются, то,

следовательно, могут изменяться и элементы структурной матрицы. При этом возможно изменение не только величин, но и знаков коэффициентов  $c_{ij}(t)$ , то есть может происходить изменение знаковой структуры матрицы. Если изменение плотностей происходит непрерывно, то знаковая структура меняется скачкообразно в некоторые критические моменты времени  $t_0, t_1, t_2, \dots$ , оставаясь неизменной внутри промежутков  $[t_0, t_1), [t_1, t_2), \dots, \dots]$  Следовательно, применение классификации, приведенной в таблице 1, а соответственно и построение биоценологических моделей динамики популяций, допустимо только в интервале  $T$  постоянства знаковой структуры матрицы (2).

То есть, при наличии взаимодействия между популяциями на пересечении элементов матрицы будет стоять ненулевой элемент, при отсутствии – 0. Анализируя расположение ненулевых элементов, подтверждается наличие как непосредственных, так и опосредованных связей, через корнеплоды сахарной свеклы. В каком-то роде это биотическое взаимодействие можно исключить из рассмотрения, введя предположение о том, что сахароза – абиотический элемент. Поскольку в рамках исследования истощения питания для микроорганизмов не предвидится, можно исключить сахарозу из рассмотрения вообще

### Литература

1. Арапов Д.В., Юдина Н.Ю., Курицын В.А., Коробова Л.А. Математическое обеспечение информационно-управляющей системы для хранения продукции с ограниченным сроком хранения // *Модел. систем и проц.* 2024. Т. 17. № 1. С. 7–18. doi: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-7-18.
2. Арапов Д.В., Коробова Л.А., Кульнева Н.Г. Управление параметрами послеуборочного хранения сахарной свёклы для предупреждения порчи сырья // *Сахар.* 2023. № 7. С. 20–24. doi: 10.24412/2413-5518-2023-7-20-24.
3. Лукашова У.В., Бугаев Ю.В., Коробова Л.А. Прогнозирование возможных потерь при хранении сельскохозяйственного сырья в зависимости от погодных условий // *Инженерные технологии для устойчивого развития и интеграции науки, производства и образования: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посв. 15-летию Ассоциации "Объединённый университет имени В.И. Вернадского"*. Тамбов: Тамбовский гос. техн. ун-т, 2020. Т. 2. С. 60–64.
4. ГОСТ 33884-2016. Свекла сахарная. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2017. 11 с.
5. Просвирыков В.В., Свиридов А.В. Экологические особенности возбудителей кагатной гнили корнеплодов сахарной свеклы // *Сельское хозяйство - проблемы и перспективы: сб. науч. тр. / под ред. В.К. Пестиса.* Гродно: Гродн. гос. аграр. ун-т, 2014. Т. 24: Агрономия. С. 217–226.
6. Коробова Л.А., Кульнева Н.Г. Прогнозирование развития кагатной гнили сахарной свеклы в зависимости от параметров среды // *Хранение и перераб. сельхозсырья.* 2020. № 4. С. 79–88. doi: 10.36107/spfp.2020.344.
7. Калинин А.Т., Калинин А.А. Как улучшить технологические качества сахарной свеклы // *Сах. свекла.* 2003. № 12. С. 18–20.
8. Корниенко А.В., Нанаенко А.К., Мазепин М.Г. Современные технологии производства сахарной свеклы. Москва: Колос, 2002. 240 с.
9. Korobova L.A., Gladkikh T.V., Chikunov S.V. et al. Features of storing sugar beets in piles with the purpose of increasing the efficiency of its processing // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2022. V. 1052. 012107. doi: 10.1088/1755-1315/1052/1/012107.
10. Korobova L., Tolstova I., Ivliev M. et al. Application of statistical methods for the agriculture complex using the example of sugar beet production // *BIO Web Conf.* 2025. V. 161. 00026. doi: 10.1051/bioconf/202516100026.
11. Кульнева Н.Г., Коробова Л.А. К вопросу снижения потерь свекломассы путем прогнозирования развития патогенной микрофлоры // *Сах. свекла.* 2022. № 4. С. 30–32. doi: 10.25802/SB.2022.59.28.004.