

УДК 633.63:664.1.014

ВЗАИМОСВЯЗЬ ОВОДНЕННОСТИ ТКАНЕЙ СВЕКЛЫ САХАРНОЙ РАЗЛИЧНЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ТИПОВ С ЕЕ ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ

CORRELATION OF WATER CONTENT OF SUGAR BEET TISSUES OF VARIOUS SELECTION TYPES WITH ITS CHEMICAL COMPOSITION

Пузанова Л.Н. – кандидат с.-х. наук,

зам. директора по общим вопросам

Косулин Г.С. – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник

Хлюпина С.В. – кандидат с.-х. наук,

старший научный сотрудник

Смирнова Л.Ю. – младший научный сотрудник

Российский научно-исследовательский институт

сахарной промышленности

305029, Россия, г. Курск, ул. К. Маркса, 63

E-mail: info@rniisp.ru, xraneie46@yandex.ru

Одним из факторов получения корнеплодов свеклы сахарной, отвечающих всем требованиям переработки, является правильный подбор гибридов по селекционному типу при формировании зоны свеклосеяния сахарного завода. Связано это с различной интенсивностью обмена веществ в них, что потенциально может приводить к формированию отличающихся по составу компонентов твердой и жидкой фазы. Целью исследований являлось изучение взаимосвязи оводненности ткани свеклы сахарной различных селекционных типов с химическим составом корнеплодов. Изучали гибриды свеклы сахарной 3 типов селекции: урожайного, урожайно-сахаристого и сахаристого, на выборке из 15 гибридов по 5 гибридов каждого типа, выращенные в условиях 2016 года с применением единой технологии возделывания в одном хозяйстве. В среднем по группам наиболее высокое абсолютное содержание сухого вещества 24,2% и сахарозы 17,9% отмечено у гибридов сахаристого типа, далее по мере снижения следуют урожайно-сахаристые, урожайные. Доля сахарозы в сухом веществе изменялась в другой зависимости: увеличивалась от гибридов урожайного типа до сахаристого и урожайно-сахаристого типа, а доля несахаров увеличивалась в зеркальном ряду. В среднем по группам гибридов общее абсолютное содержание воды уменьшалось в ряду гибридов: урожайные, урожайно-сахаристые, сахаристые; по аналогичной зависимости изменялось и абсолютное содержание свободной воды. Доля свободной воды в общем содержании изменялась в зависимости от гибридов урожайно-сахаристого типа до сахаристого и урожайного. Рассмотрены корреляционные взаимосвязи между показателями оводненности свеклы сахарной и химическим составом. Установлена тесная взаимосвязь доли свободной воды с соковым коэффициентом свеклы, доли связанной воды – с содержанием белков в клеточном соке. Полученные результаты подтверждают, что разные типы гибридов свеклы сахарной в одинаковых условиях формируют разный водный баланс, а показатели оводненности коррелируют с показателями химического состава.

Ключевые слова: свекла сахарная, гибрид, селекционный тип гибрида, оводненность свекловичной ткани, свободная вода, связанная вода, химический состав, корреляционная зависимость.

Puzanova L.N. – Candidate of Agricultural Sciences,

Deputy Director

Kosulin G.S. – Candidate of Agricultural Sciences,

Senior Researcher

Hlyupina S.V. – Candidate of Agricultural Sciences,

Senior Researcher

Smirnova L.Y. – Junior Researcher

Russian Research Institute of Sugar Industry

63, Karl Marks str., Kursk, 305029, Russia

E-mail: info@rniisp.ru

One of the factors for obtaining sugar beet roots that meet all processing requirements is the correct selection of hybrids according to the selection type when forming a sugar beet growing zone. This is due to the different intensity of metabolism in them, which can potentially lead to the formation of different components of the solid and liquid phase. The aim of the research was to study the correlation between the water content of sugar beet tissue of various selection types and the chemical composition of root crops. There were studied sugar beet hybrids of three breeding types: productive, productive-sugary, and sugary; 5 hybrids out of 15 hybrids of each type were selected and grown with the use of a single cultivation technology at one farm in 2016. On the average, the highest absolute content of dry matter (24.2%) and sucrose (17.90%) were registered in the hybrids of the sugary type, followed by the productive-sugary type and the productive type. The proportion of sucrose in the dry substances changed in other dependence: it increased from the hybrids of the productive type to sugary-productive and sugary type and the proportion of nonsucrose increased in the mirror row. On the average, the total absolute water content decreased in the following correlation: productive – productive-sugary – sugary; and the absolute content of free water changed according to the similar dependence. The proportion of free water in the total content varied in the following order: productive-sugary – sugary – productive types. The correlation between the indicators of water content of sugar beet and its chemical composition was considered. There was established close correlation of the proportion of free water with the juice indicator, the proportion of bound water with the protein content in the cell fluid. The results confirm that different types of sugar beet hybrids form different water balances under the same conditions, and the water content indicators correlate with the chemical composition.

Key words: sugar beet, hybrid, breeding type of hybrid, water content of sugar beet tissue, free water, bound water, chemical composition, correlation dependence.

Введение

П родуктивность корнеплодов свеклы сахарной, т.е. ее урожайность и сахаристость формируются в результате взаимодействия гено-типа (наследственных свойств) растений и условий среды, поэтому максимальный сбор корнеплодов могут обеспечить те гибриды, которые в наибольшей степени приспособлены к местным почвенно-климатическим условиям. Максимальный же итоговый результат по извлечению сахарозы дадут технологически адекватные корнеплоды, т.е. наиболее приспособленные к процессам производства сахара [1]. При этом одним из факторов получения корнеплодов, отвечающих всем требованиям процессов переработки сырья, является правильный подбор гибридов свеклы сахарной при формировании зоны свеклосеяния сахарного завода.

Современный рынок семян свеклы сахарной представлен 3 основными типами гибридов: урожайными, урожайно-сахаристыми и сахаристыми, при этом основное их различие проявляется в способности корнеплодов к сахаронакоплению, т.е. гибриды свеклы сахарной различных селекционных типов, как мы предполагаем, отличаются разной интенсивностью протекания обменных процессов. Поскольку эти процессы протекают в водной среде, полагаем, что отличия проявляются и в водном балансе растений, а именно в содержании и формах воды в сахарной свекле.

Целью исследований являлось изучение взаимосвязи оводненности тканей свеклы сахарной гибридов различных селекционных типов с химическим составом корнеплодов.

Методика

Для исследования использовали гибриды свеклы сахарной 3 типов селекции: урожайного (Е), урожайно-сахаристого (N) и сахаристого (Z), по пять гибридов в каждой группе, наиболее адаптированных к условиям Центрально-Черноземной зоны. Сведения о гибридах, выращенных в свеклосеющем хозяйстве Курской области в условиях одного агрофона на выщелоченных черноземах с применением единой технологии возделывания свеклы сахарной и использованных в опыте, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Сведения о гибридах сахарной свеклы, использованных в исследованиях

Наименование гибрида	Тип гибрида	Фирма-производитель
Хамбер	Е	Лайн Сидс
Наркос	Е	Флоримон депре
Бизон	Е	Сесвандерхаве
ХМ 1820	Е	Сингента
Неро	Е	Сингента
Земис	N	Лайн Сидс
Малибу	N	Сингента
Андромеда	N	КВС
Молли	N	Марибо
Спартак	N	Сингента
Берни	Z	Штрубе
Брависсима	Z	КВС
Ока	Z	Сингента
Раколта	Z	Сингента
Веда	Z	Штрубе

Погодные условия 2016 года в период вегетации свеклы сахарной характеризовались теплой с избыточным увлажнением погодой, сопровождавшейся с первой декады июня по вторую декаду августа периодами обильных дождей с похолоданием, в последующем сменявшейся потеплением и слабой засухой. Сумма положительных среднесуточных температур была на 5,6°С выше среднего многолетнего значения, а количество выпавших осадков составило 166 % от средней многолетней нормы – 577 мм. Гидротермический коэффициент за период с мая по сентябрь составил 1,8, при многолетнем его значении – 1,2, что характеризует условия периода вегетации свеклы сахарной по тепло-влагообеспеченности как избыточно увлажненные. Такие погодные условия должны были специфически отразиться на оводненности свекловичной ткани и, как мы полагаем, на химическом составе корнеплодов.

Отбор проб свеклы сахарной, оценку показателей химического состава корнеплодов и оводненности свекловичной ткани проводили в первую декаду октября. Исследования выполняли с использованием общепринятых инструментальных методов [2]: поляриметрии, рефрактометрии с применением автоматического комплекса, состоящего из поляриметра Saccharomat и рефрактометра DUR SW фирмы Schmidt + Haenich (Германия); потенциометрии и кондуктометрии; общее содержание воды и ее форм в корнеплодах определяли рефрактометрическим методом [3], в основе которого лежит теоретическое обоснование А.В. Думанского. Обработку полученных данных проводили с использованием методов математической статистики (корреляционный и регрессионный анализ) [4], тесноту полученных корреляционных связей оценивали по шкале Чеддока.

Результаты

Результаты исследований показали, что на момент уборки в среднем по группам наиболее высокое абсолютное содержание сухого вещества – 24,2% и сахарозы – 17,9% отмечалось у гибридов сахаристого типа, далее по мере снижения следуют урожайно-сахаристые и урожайные (табл. 2). Указанные показатели для этих типов гибридов были стабильно ниже и изменялись внутри групп в диапазонах: 25,1...21,8% и 18,2...16,3%.

Таблица 2. Химический состав корнеплодов свеклы сахарной гибридов различных селекционных типов

Показатели химического состава	Среднее Е	Среднее N	Среднее Z
Сухое вещество (СВ), %	22,4	22,9	24,2
Сахаристость, %	16,55	17,10	17,90
Доля сахарозы, % к СВ	73,88	74,67	73,97
Несахара, %	3,18	2,57	2,63
Редуцирующие вещества, % к СВ	0,13	0,10	0,11
Растворимая зола, % к СВ	1,97	1,55	1,57
Калий, % к СВ	0,88	0,79	0,80
Натрий, % к СВ	0,06	0,04	0,05
α-азот, % к СВ	0,14	0,09	0,10
Чистота клеточного сока, %	90,3	90,7	90,5

Доля сахарозы, являясь показателем достоверной оценки химического состава корнеплодов, увеличивалась от урожайных гибридов до сахаристых и урожайно-сахаристых. В разрезе гибридов она варьировала от 73,89% к СВ у гибрида Хамбер урожайного типа до 76% к СВ у гибрида Малибу урожайно-сахаристого типа.

Соответственно, доля нес сахаров изменялась в зеркальном порядке, увеличиваясь от урожайно-сахаристых гибридов до сахаристых и урожайных. Что касается отдельных групп нес сахаров, то их содержание укладывается в динамику этого ряда в среднем по группам. При этом содержание редуцирующих веществ изменялось в диапазоне 0,07...0,15% к СВ, т.е. отличалось в 2 раза, было минимально у гибрида Молли урожайно-сахаристого типа, максимально – у гибрида Хамбер урожайного типа; α-аминного азота – в диапазоне 0,06...0,18% к СВ, т.е. отличалось в 3 раза, минимально – у гибридов Малибу и Спартак урожайно-сахаристого типа, максимально – у гибрида ХМ 1820 урожайного типа. Содержание натрия варьировало в диапазоне 0,02...0,08 % к СВ, т.е. отличалось в 4 раза; содержание калия было более стабильно в диапазоне 0,72...0,9% к СВ, т.е. отличалось в 1,2 раза, а содержание растворимой золы варьировало в диапазоне 1,52...2,01 % к СВ, отличаясь в 1,3 раза. При этом наибольшее содержание калия, натрия и растворимой золы отмечалось у гибрида Бизон урожайного типа: соответственно, 0,92%, 0,08% и 1,98% к СВ; наименьшее – у гибрида Спартак урожайно-сахаристого типа: соответственно, 0,72%, 0,02% и 1,53% к СВ.

Также у урожайно-сахаристых гибридов отмечается наиболее высокая чистота клеточного сока, при этом самая высокая – у гибрида Земис урожайно-сахаристого типа – 91%; наименьшая – у гибрида Неро урожайного типа – 89,2%.

Таким образом, результаты оценки химического состава корнеплодов подтвердили, что селекционный тип гибрида является важным фактором формирования технологической адекватности свеклы сахарной.

Для подтверждения предположения о взаимосвязи оводненности тканей свеклы сахарной с ее химическим составом изучали водный баланс корнеплодов различных селекционных типов, данные об общем содержании воды и формах ее связи приведены в табл. 3.

Как видно, общее содержание воды уменьшалось в ряду от урожайных, урожайно-сахаристых к сахаристым гибридам. При этом граничные диапазоны относятся к гибриду Берни сахаристого типа – 75,5% и гибриду ХМ 1820 урожайного типа – 78%. Содержание связанной воды уменьшалось в ряду: урожайно-сахаристые, урожайные и сахаристые гибриды, граничные диапазоны относятся к гибриду Брависсима сахаристого типа – 27,9% и гибриду Спартак урожайно-сахаристого типа – 30,2%. Содержание свободной воды уменьшалось в ряду от урожайных, урожайно-сахаристых до сахаристых гибридов. Граничные диапазоны ее содержания относятся к гибриду Ока сахаристого типа – 46% и гибриду ХМ 1820 урожайного типа – 48,7%.

Для более объективной оценки содержания свободной и связанной воды в корнеплодах, оценивали их долю в общем содержании воды, при этом наблюдалась совершенно другая картина. Так, доля связанной воды уменьшалась в ряду от урожайно-сахаристых, сахаристых до урожайных гибридов, с граничными величинами у гибрида Бизон урожайного типа – 36,9% и гибрида Спартак урожайно-сахаристого типа – 38,9%. Доля свободной воды, соответственно, увеличивалась в ряду: урожайно-сахаристые, сахаристые и урожайные гибриды.

Интересно, что и соковый коэффициент свеклы сахарной возрастает в таком же ряду, как доля свободной воды. В разрезе гибридов он варьировал от 92,8% у гибрида Земис урожайно-сахаристого типа до 94,2% у гибрида Бизон урожайного типа. Это можно объяснить следующим: соковый коэффициент, как показатель, характеризующий содержание массовой доли жидкой фазы в тканях свеклы сахарной, напрямую связан с содержанием доли свободной воды.

Содержание связанной воды, которая удерживается гидрофильными биокolloидами, а для свеклы сахарной такими биокolloидами являются белковые соединения, как видно, коррелирует с содержанием белков в клеточном соке, которое увеличивается в ряду: урожайные, сахаристые и урожайно-сахаристые гибриды. Граничные диапазоны содержания белков относятся к гибриду Неро урожайного типа – 1,67% и гибриду Земис урожайно-сахаристого типа – 1,9%.

Таблица 3. Оводненность ткани свеклы сахарной гибридов различных селекционных типов

Показатели оводненности свекловичной ткани	Среднее Е	Среднее N	Среднее Z
Общее содержание воды, %	77,6	77,1	75,8
Содержание связанной воды, %	29,4	30,0	29,2
Содержание свободной воды, %	48,2	47,1	46,6
Доля связанной воды в общем содержании, %	37,8	38,9	38,5
Доля свободной воды в общем содержании, %	62,2	61,1	61,5
Соотношение связанной и свободной воды	1:1,64	1:1,57	1:1,60
Соковый коэффициент сахарной свеклы, %	93,8	93,0	93,2
Содержание белков в клеточном соке, %	1,74	1,86	1,78

В целом доля свободной воды в корнеплодах по отношению к связанной была выше в среднем в 1,6 раза. Соотношение связанной и свободной воды увеличивалось в ряду от урожайно-сахаристых до сахаристых и урожайных гибридов. Наименьшим оно было у гибрида урожайно-сахаристого типа Спартак – 1:1,55, а наибольшим – у гибрида урожайного типа Бизон – 1:1,69.

Для выявления закономерностей и установления тесноты связи между показателями химического состава и оводненности свекловичной ткани был проведен их линейный корреляционный анализ (табл. 4).

Таблица 4. Коэффициенты парной корреляции между оводненностью ткани и показателями химического состава гибридов свеклы сахарной различных селекционных типов

Показатель	Тип гибрида	Сухое вещество, %	Доля сахарозы в массе СВ, %	Чистота клеточного сока, %	Содержание несахаров, % к СВ	Соковый коэффициент, %	Белки, %
Доля свободной воды, %	Е	-0,77	--0,60	-0,70	0,70	0,92	-0,55
	N	-0,81	-0,65	-0,85	0,80	0,95	-0,65
	Z	-0,79	-0,62	-0,75	0,75	0,95	-0,60
Доля связанной воды, %	Е	-0,65	-0,63	0,80	-0,43	-0,45	0,87
	N	-0,75	-0,70	0,90	-0,50	-0,55	0,90
	Z	-0,70	-0,65	0,85	-0,45	-0,50	0,88

Результат корреляционного анализа выявил как прямые (положительные), так и обратные (отрицательные) связи. Выявлено, что с увеличением доли свободной воды в корнеплодах сахарной свеклы содержание сухих веществ, доли сахарозы в них, белков и чистоты клеточного сока уменьшалось, т.е. имела место сильная отрицательная корреляционная зависимость. Указанную взаимосвязь можно объяснить следующим: корнеплод свеклы сахарной включает твердую и жидкую фазы, находящиеся между собой в отрицательной взаимосвязи, поэтому с увеличением доли свободной воды уменьшается содержание сухого вещества и доли сахарозы в нем, как основного запасного питательного вещества. Показатель чистоты клеточного сока есть производное от соотношения сахарозы и сухого вещества, а разница между его содержанием дает содержание несахаров, т.е. содержание сахарозы и несахаров также коррелирует между собой в отрицательной взаимосвязи. Поскольку несахара связаны положительной зависимостью с долей свободной воды, то сахароза, чистота клеточного сока и белки, которые синтезируются из аминокислот или гидролизуются до них, соответственно, отрицательной.

Также положительная взаимосвязь проявляется между содержанием доли свободной воды с соковым коэффициентом. Указанное может быть объяснено следующим: соковый коэффициент косвенно характеризует наличие водной фазы в клетках, т.е. этот показатель априори связан с количеством свободной воды.

Что касается корреляции доли связанной воды с химическим составом корнеплодов свеклы сахарной, то она почти полностью зеркально

отображает их взаимосвязь с долей свободной воды, за исключением двух показателей: сухое вещество и доля сахарозы к массе сухого вещества.

Если зеркальную зависимость легко объяснить противоположными свойствами свободной и связанной воды, например, в условиях, где вода является средой-растворителем и свободно мигрирующим объектом, то в отношении сухого вещества и сахарозы полагаем следующее. В химическом составе свеклы общее количество воды приходится на воду, удерживаемую мякотью, и воду в соке; сухое вещество коррелирует в

отрицательной взаимосвязи с оводненностью, независимо от форм связи воды. Поэтому в отношении сухого вещества проявляется единая тенденция влияния – отрицательная, как со стороны доли свободной, так и связанной воды. А поскольку доля сахарозы в сухом веществе достигает 70-80%, то проявляется аналогичная зависимость – отрицательная, не только с долей свободной воды, но и долей связанной.

Среди выявленных взаимосвязей следует отметить сильную положительную зависимость доли связанной воды с содержанием белков в клеточном соке, которые, являясь гидрофильными высокомолекулярными соединениями, удерживают и определяют содержание связанной воды в водном балансе корнеплодов свеклы сахарной.

Выводы

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что разные типы гибридов свеклы сахарной в одинаковых условиях вегетации формируют разный водный баланс корнеплодов: общее содержание воды и их форм, а также соотношение отличаются. Показатели оводненности свекловичной ткани коррелируют с показателями химического состава, а именно наименьшее общее содержание воды, наименьшее соотношение связанной и свободной воды соответствуют большему содержанию сухого вещества, сахарозы и меньшему несахаров. При этом наиболее технологически адекватными процессам переработки следует считать корнеплоды урожайно-сахаристого типа как наиболее сбалансированные по химическому составу.

ЛИТЕРАТУРА

- Беляева Л.И., Хлюпина С.В., Бердников А.С. Оценка технологической адекватности и спелости сахарной свеклы современных гибридов в производстве сахара // Научно-инновационные аспекты при создании продуктов здорового питания: материалы всерос. междунар. науч.-практ. конф., Углич, 5-6 сент. 2012 г. Углич: ВНИИМС, 2012. – С. 30-33.
- Методика определения химического состава и показателей качества сахарной свеклы / сост. В.В. Спичак, М. И. Егорова, Л. И. Беляева и др. Курс: РНИИСП, 2001. – 43 с.
- Фитофизиология стресса. Методические рекомендации к лабораторным занятиям, задания для самостоятельной работы и контроля знаний студентов / сост. О.Г. Яковец. Минск: БГУ, 2011. – 50 с.
- Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. М.: Форум, 2008. – 414 с.

REFERENCES

- Belyaeva L.I., Hlyupina S.V., Berdnikov A.S. Ocenka tekhnologicheskoy adekvatnosti i spelosti saharnoj svekly sovremennyh gibridov v proizvodstve sahara // Nauchno-innovatsionnye aspekty pri sozdaniy produktov zdorovogo pitaniya: materialy vseros. mezhduнар. nauch.-prakt. konf., Uglich, 5-6 sent. 2012 g. Uglich: VNIIMS, 2012. – S. 30-33.
- Metodika opredeleniya himicheskogo sostava i pokazatelej kachestva saharnoj svekly / sost. V.V. Spichak, M. I. Egorova, L. I. Belyaeva i dr. Kurs: RNIISP, 2001. – 43 s.
- Fitofiziologiya stressa. Metodicheskie rekomendacii k laboratornym zanyatiyam, zadaniya dlya samostoyatel'noj raboty i kontrolya znaniy studentov / sost. O.G. Yakovec. Minsk: BGU, 2011. – 50 s.
- Vukolov E.H.A. Osnovy statisticheskogo analiza. M.: Forum, 2008. – 414 s.