

Исследование закономерности искажения определяемой сахаристости в сахарной свёкле в зависимости от степени увядания корнеплодов. Часть 3

М.Б. МОЙСЕЯК, проф. кафедры технологии кондитерских, сахаристых, субтропических и пищевкусовых продуктов, канд. техн. наук, доцент (e-mail: marina-mdgipp@mail.ru)
Г.М. СУСЛЯНОК, канд. биолог. наук, доцент
А.П. ЧУДИНОВ, мл. научн. сотрудник
О.В. ВОРОНИНА, ассистент
Д.Д. КИРИЛЛОВ, аспирант
 ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств (МГУПП)»

Введение

Ранее опубликованные исследования корнеплодов сахарной свёклы [4, 6] подтвердили предположение, что общепризнанный метод определения степени увядания не отражает реальную картину потери массы и сахарозы. Измерения по методике ГОСТ Р 53036-2008 показали, что при высокой степени увядания сахарной свёклы происходят необратимые процессы, которые не позволяют получить достоверное представление о техническом состоянии корнеплодов. Поэтому необходим расчёт поправочного коэффициента для введения в принятый метод анализа и более глубокие исследования по поиску альтернативного метода определения степени увядания.

На рис. 1 представлено строение клетки сахарной свёклы.

Клетка сахарной свёклы имеет оболочку 1, состоящую из целлюлозы, гемицеллюлозы и пектиновых веществ, внутри клетки расположен слой протоплазмы 2 (белковых веществ), в котором находится клеточное ядро 3. Протоплазма обволакивает вакуоль 4 – внутреннюю часть клетки, заполненную клеточным соком, т. е. водным

раствором сахарозы и различных несахаров. Защитное свойство слоя протоплазмы заключается в непропускании сахаров и несахаров клеточного сока из клетки.

Это обуславливается анатомическими особенностями строения корневой ткани свёклы – большими размерами клеток и межклеточников, а также низкой водоудерживающей способностью протоплазмы в связи с незначительным содержанием белковых веществ. В результате потери воды нарушается тургор корнеплодов, их упругость; протоплазма отходит от оболочки клеток и в итоге клетка не полностью насыщена водой. Следующим этапом происходит коагуляция коллоидов и выпадение их в раствор, т. е. происходят необратимые изменения в клетке и она отмирает. Даже при незначительной потере воды происходят изменения в работе ферментов, повышается активность окислительно-восстановительных и гидролитических процессов, наблюдается омертвление клеток, в результате уменьшается сопротивляемость микроорганизмам, увеличивается проницаемость протоплазмы и облегчается про-

никновение их в корнеплод, что может вызывать процесс загнивания. К.А. Рубин ещё в 1959 г. про-

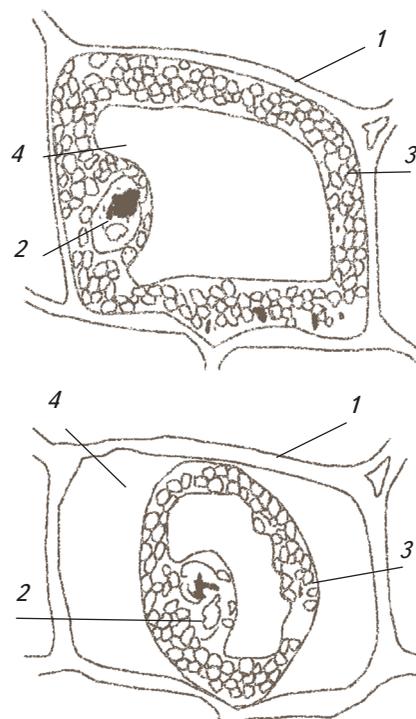


Рис. 1. Строение клетки паренхимы сахарной свёклы до (протоплазма прикреплена к стенкам клетки) и после (протоплазма отошла от стенок клетки) плазмолиза (1 – клеточная оболочка; 2 – клеточное ядро; 3 – зернистая цитоплазма; 4 – вакуоль)



вёл исследования и подтвердил, что 37–55 % корнеплодов при их подвяливания на 7–13 % поражается кагатной гнилью, при этом потери сахарозы составляют 3,4–6,1 % массы. При подвяливания на 17–23 % кагатной гнилью поражается 66–96 % корнеплодов, а потери сахара возрастают до 7,1–8,9 %.

Интенсивность подвяливания сахарной свёклы после её уборки зависит от многих факторов: температуры, относительной влажности воздуха, зрелости корнеплодов, условий аэрации, приёмов агротехники [1, 2, 3]. С увеличением температуры от 10 до 20 °С и понижением относительной влажности воздуха с 90 до 70 % потери воды возрастают в шесть раз, особенно в условиях свободного доступа воздуха.

Тургор корнеплодов хорошо сохраняется при влажности почвы 18–20 %.

Вода и протоплазма в свёкле являются единой структурированной системой. Водородные связи между молекулами воды и белка определяют гидратацию белковых веществ протоплазмы, которая повышает структурированность воды, в результате чего её подвижность уменьшается. В клетке присутствует как связанная, так и свободная вода. От состояния воды зависят протекающие в клетке физиологические процессы и биохимические реакции. Имеются определённые зависимости между содержанием разных фракций воды в растении, обменом веществ и продуктивностью свёклы. Исследования показали, что в листьях сортов сахарной свёклы урожайного направления больше общей и свободной воды, чем у сортов сахаристого направления. Последние характеризуются большим содержанием связанной воды.

В корнеплодах в расчёте на сырую массу не обнаружено значительных сортовых различий по

количеству воды разных фракций. В пересчёте же на сухое вещество в корнеплодах сортов урожайного направления связанной воды больше, чем в корнеплодах сортов сахаристого направления, что обусловлено более высоким содержанием в корнеплодах первой группы сортов несахаристых веществ (коллоидов и др.).

Известно, что при длительном периоде высоких температур, периодическом снижении относительной влажности воздуха и почвенной засухе в листьях сортов свёклы как урожайного, так и сахаристого направления содержание свободной воды уменьшается до 22–23 %, а отношение свободной воды к связанной составляет 0,33–0,36. Это приводит к нарушению физиологических функций листьев, таким образом, на свету вместо процесса ассимиляции происходит выделение CO_2 , явно усиливается дыхание, что отрицательно отражается на урожайности. Физиологические процессы в растениях протекают нормально только при определённом количестве свободной и связанной воды.

Сахаристость корнеплодов свёклы с уменьшением влажности до определённого предела несколько повышается. Степень обеспеченности растения водой влияет не только на продуктивность сахарной свёклы, но и на технологические качества корнеплодов.

Если вегетацию растений свёклы (с 15 мая до 15 октября) подразделить на три периода (по 50 дней), то соотношение расхода воды на испарение в каждом из них составит примерно 1:9:3. Недостаток влаги в любой из этих периодов отрицательно сказывается на урожайности свёклы. Однако больше всего снижается урожай корнеплодов и их сахаристость, когда растения подвергаются действию засухи, – в июле-августе.

Изменения химического состава корнеплодов в период их хранения

бывают значительными. Это вызвано физиологическими и биохимическими процессами, протекающими в корнеплодах, и химическими превращениями, связанными с обменом веществ [5].

В период хранения корнеплодов содержание сахарозы в них уменьшается. В опытах А.И. Опарина, Н.Н. Дьячкова и И.В. Глазунова содержание сахарозы в сухом веществе корнеплодов свёклы через 103 дня их хранения уменьшилось с 27,66 до 21,68 %. При этом одна часть сахарозы была израсходована на дыхание, а другая превратилась в инвертный сахар. Авторы отмечают, что в начальные стадии хранения корнеплода сахарозы разрушается значительно меньше, а в дальнейшем значительно больше, чем требуется для нормального дыхания корнеплода. При длительном хранении корнеплодов увеличивается распад сахарозы.

Во время хранения изменяется структура корнеплодов, они становятся менее твёрдыми и возрастает коллоидность сока. Это способствует переходу инвертазы в раствор и усилению её гидролитического действия.

При хранении в корнеплодах изменяется и азотный комплекс: уменьшается содержание белкового азота и накапливаются его растворимые формы, в частности вредный азот, который вызывает увеличение выхода мелассы и потери сахара в производстве.

Главный показатель, определяющий качество сахарной свёклы как сырья для выработки сахара, – сахаристость, и чем она выше, тем лучше технологические качества корнеплода. Однако при переработке на сахарных заводах различных партий свёклы с одинаковой сахаристостью выход сахара может значительно колебаться, т. е. технологические качества этих партий свёклы будут разными. Это будет зависеть от количества

других химических веществ (несахаров), перешедших вместе с сахаром в сок.

Технологические качества сахарной свёклы – комплекс её биологических, химических и физических особенностей, обуславливающих протекание технологических процессов её переработки на сахарных заводах и выход кристаллического сахара [1, 5].

Цель исследования

В методе измерения степени увядания свёклы по методике ГОСТ Р 53036-2008 отсутствует информация по переработке свёклы некондиционного качества при увядании более 5 % (корнеплоды с потерей влаги до 5 % относят к категории свежих с нормальным тургором, с потерей влаги от 6 до 20 % – к увядшим). Однако в случае засушливой погоды в течение длительного времени свёкла теряет влагу достаточно интенсивно и имеет высокое содержание сухих веществ, что требует введения в принятый метод анализа поправочного коэффициента для корректировки расчёта сахаристости сахарной свёклы.

Материалы и методы исследований

Изначально испытуемые образцы корнеплодов свёклы были условно разделены на 4 группы по массе: от 0 до 450 г – мелкие; от 450 до 900 г – средние; от 900 до 1350 г – крупные; 1350 г и более. Среди групп образцов также была проанализирована потеря массы во времени (табл. 1). Из данных таблицы видно, что увядание свёклы разной массы проходит с разной интенсивностью. Чем больше масса свёклы, тем медленнее она теряет её.

Из показателей, приведённых в табл. 2, видно, что потеря массы свёклы имеет зависимость от времени и наиболее активна первые

4 суток, потом процесс замедляется и идёт в постоянном режиме (рис. 2).

В процессе исследований на разных этапах эксперимента проводился отбор клубней для измере-



Рис. 2. Потери массы корнеплодов сахарной свёклы в зависимости от времени хранения

Таблица 1. Закономерность потери массы корнеплодами свёклы в период хранения в зависимости от их массы при поступлении на хранение

Время, сут	Усреднённая потеря массы корнеплодов свёклы по установленным группам по массе в период хранения, %			
	До 450 г	От 451 до 900 г	От 900 до 1350 г	Свыше 1350 г
4	13,777	11,969	10,078	7,990
8	23,991	21,107	19,954	16,378
11	30,354	26,530	25,779	21,177
13	33,500	28,794	28,814	23,577
15	35,838	30,103	29,733	24,977

Таблица 2. Сводная таблица потери массы корнеплодами свёклы в зависимости от времени хранения

Исследуемый объект	Количественный показатель
Средняя масса свёклы, г	889,82
Средняя масса свёклы 4 суток хранения, г	792,35
Средняя потеря массы свёклы за 4 суток, %	10,95
Средняя масса свёклы 8 суток хранения, г	708,7
Средняя потеря массы за 8 суток, %	20,35
Средняя масса свёклы 11 суток хранения, г	658,7
Средняя потеря массы за 11 суток, %	25,97
Средняя масса свёклы 13 суток хранения, г	634,7
Средняя потеря массы за 13 суток, %	28,67
Средняя масса свёклы 15 суток хранения, г	621,4
Средняя потеря массы за 15 суток, %	30,166



ния таких параметров, как сахаристость, увядание, содержание мякоти. Определение сахаристости проводили методом горячего водного дигерирования начиная от свежевыкопанной свёклы и далее на всём протяжении времени эксперимента. Показание поляриметра демонстрирует содержание сахарозы в свекловичной стружке по прямой поляризации в процентах к массе свёклы. От каждого образца свёклы отбиралось три пробы для исследования, из которых выводилось среднее значение, представленное в табл. 3.

Так как метод горячего дигерирования имеет недостаток, заключающийся в том, что его погрешность растёт с потерей влаги свёклы, были проведены исследования и методом спиртовой экстракции.

Количество сока в свёкле и содержание сухих веществ в нём могут колебаться в довольно широких пределах, что приводит к погрешности при определении содержания сахарозы в свекловичной стружке методами холодного и горячего дигерирования. Кроме того, растворы, полученные методом водной дигестии, при поляризации дают алгебраическую сумму вращения всех содержащихся в них оптически активных веществ, что также приводит к погрешности в определении количества сахарозы. В связи с этим в качестве контрольного применяют метод спиртовой экстракции, который даёт более точные результаты при определении содержания сахарозы в свёкле. Данные исследований сахарной свёклы, полученные методом спиртовой экстракции, представлены в табл. 4.

Результаты исследования содержания сахарозы в сахарной свёкле методами горячей дигестии и спиртовой экстракции представлены в табл. 5.

Таблица 3. Результаты измерений сахарозы в клубнях свёклы методом горячего водного дигерирования

Потери сахарозы корнеплодами свёклы в период хранения, %					
Исходное содержание	На 4-е сутки	На 8-е сутки	На 11-е сутки	На 13-е сутки	На 15-е сутки
18,891	23,300	23,211	24,338	24,925	27,340
19,738	20,100	25,201	22,891	26,801	21,757
18,613	21,300	21,985	24,974	25,421	23,609
20,809	22,100	23,904	24,974	23,116	25,679
19,350	20,200	23,904	22,667	26,870	23,262
18,242	20,400	21,769	26,237	21,514	27,074
20,127	18,800	20,260	21,096	22,543	25,103
17,409	22,900	24,956	22,106	23,001	22,799
18,705	19,700	21,230	22,554	23,344	23,377
19,738	22,100	21,661	26,330	25,440	25,500

Таблица 4. Исследование содержания сахарозы в сахарной свёкле методом спиртовой экстракции

Содержание сахарозы в сахарной свёкле, %					
Исходное	На 4-е сутки	На 8-е сутки	На 11-е сутки	На 13-е сутки	На 15-е сутки
19,0	23,20	23,10	24,10	24,70	27,00
19,9	20,10	25,10	22,70	26,60	21,40
18,8	21,20	21,80	24,80	25,20	23,30
21,0	22,00	23,80	24,60	22,90	25,30
19,5	20,10	23,80	22,40	26,60	23,00
18,4	20,30	21,60	26,00	21,30	26,70
20,3	18,80	20,10	20,90	22,30	24,80
17,6	22,80	24,85	22,00	22,80	22,50
18,9	19,70	21,10	22,30	23,10	23,00
19,9	22,00	21,50	26,10	25,20	25,20

Таблица 5. Сравнительные показатели содержания сахарозы в сахарной свёкле методами горячей дигестии и спиртовой экстракции

Исследование содержания сахарозы в сахарной свёкле методами горячей дигестии и спиртовой экстракции						
Время эксперимента, сут	0	4	8	11	13	15
Среднее содержание сахарозы методом горячей дигестии, %	19,16	21,09	22,81	23,82	24,30	24,57
Среднее содержание сахара методом спиртовой экстракции, %	19,33	21,02	22,68	23,59	24,07	24,23
Расхождение данных исследований разными методами измерения, %	-0,17	0,07	0,13	0,23	0,23	0,34

Расхождение данных содержания сахарозы в сахарной свёкле в табл. 5 может быть объяснено следующим образом. Так как сахароза обладает максимальной способностью к растворению в спирте по сравнению с другими углеводами и редуцирующими сахарами, метод спиртовой экстракции исключает максимально влияние других сахаров на значение поляризации в растворе. Таким образом, поскольку в процессе хранения идёт нарастание редуцирующих сахаров, метод горячей и холодной дигестии будет давать возрастающую погрешность, что и следует из табл. 5.

В целях получения более достоверной картины измерений были проведены выборочные сравнительные тесты на содержание сахарозы в сахарной свёкле методом хроматографии. Для этого в разных по массе клубнях определялось содержание сахарозы методом спиртовой экстракции и хроматографии (табл. 6). Как видим, погрешность измерения методом спиртовой экстракции не превышает 0,1 % содержания сахарозы.

Для подтверждения теории, утверждающей, что при увеличении срока хранения в искусственно созданных условиях ускоренного увядания клубней свёклы метод горячей дигестии даёт серьёзную погрешность при повышении степени увядания, были проанализированы отобранные клубни свёклы методами горячей дигестии и спиртовой экстракции. Сводная таблица полученных результатов отношения прироста сахаристости к показателю увядания корнеплодов сахарной свёклы представлена в табл. 7. Из данных таблицы следует, что между двумя методами измерения содержания сахара существует расхождение, которое растёт со степенью увядания и вносит тем самым погрешность при расчёте выхода сахара при переработке увядшей свёклы.

Разница в методах измерения, представленная в табл. 7, обусловлена несколькими факторами. При методе горячей дигестии мы условно принимаем, что содержание влаги в навеске 26 г равно 91 %, однако это условие

применимо к нормальной свёкле со степенью увядания ниже 5 %. С ростом степени увядания в данном методе измерения будет расти погрешность, так как содержание влаги в навеске будет сокращаться, а содержание сухих веществ

Таблица 6. Сравнительные результаты определения сахарозы методами спиртовой экстракции и хроматографии

Исследование содержания сахарозы методами спиртовой экстракции и хроматографии, %						
Данные, полученные методом спиртовой экстракции	18,80	20,10	21,50	22,30	22,80	23,00
Данные, полученные методом хроматографии	18,763	21,127	21,448	22,228	22,963	23,157

Таблица 7. Исследование зависимости повышения сахаристости от степени увядания корнеплодов сахарной свёклы*

Зависимость прироста сахаристости от степени увяданию корнеплодов сахарной свёклы						
Время эксперимента, сут	0	4	8	11	13	15
Увеличение содержания сахарозы, % (метод спиртовой экстракции)	0,00	8,74	17,30	22,04	24,52	25,35
Увеличение содержания сахарозы, % (метод дигестии)	0,00	10,06	19,03	24,29	26,79	28,21
Разница показаний методов	0,00	1,32	1,72	2,25	2,27	2,86
Увядание, %	0,00	10,95	20,36	25,96	28,67	30,16

* На начало эксперимента степень увядания свежесвыкопанной сахарной свёклы была условно принята равной 0

Таблица 8. Данные исследований корнеплодов свёклы в условиях ускоренного увядания

Показатели качества свёклы	Изменения определяемых показателей сахарной свёклы во времени, сут					
	0	4	8	11	13	15
Увядание, %	0	10,95	20,36	25,96	28,67	30,16
Содержание сахарозы (методом спиртовой экстракции), %	19,34	21,10	22,79	23,72	24,22	24,39
Содержание сахарозы (методом горячей дигестии), %	19,16	21,09	22,81	23,82	24,30	24,57
Содержание сахарозы в свёкле для идеальной системы (без учёта нарастания редуцирующих веществ), %	19,34	21,46	23,27	24,37	24,89	25,18
Потери сахарозы, %	0	0,36	0,48	0,64	0,67	0,79
Предлагаемый коэффициент	1	0,89	0,81	0,77	0,76	0,74
Коэффициент для идеальной системы	1	0,89	0,79	0,74	0,71	0,69



Таблица 9. Предлагаемый коэффициент пересчёта для переработки подвяленной свёклы с повышенным содержанием сухих веществ

Степень увядания, %	Коэффициент пересчёта					
	0–5	5–10	10–15	15–20	20–25	25–30
Предлагаемый коэффициент пересчёта	0	0,92	0,88	0,84	0,8	0,77

расти. В связи с большим содержанием сухих веществ в навеске растёт и количество оптически активных соединений, переходящих в раствор, что влечёт за собой отклонение от реальной сахаристости. Также со временем в свёкле накапливаются редуцирующие вещества, которые вносят погрешность в измерения.

Данные, представленные в табл. 8, объединяют полученные показания результатов исследований и подтверждают, что при неблагоприятных погодных условиях в осенний период свёкла, которая выращена при недостатке влаги и выкопана с уже высокой степенью увядания и повышенным содержанием сухих веществ, требует корректировки методов оценки её технологического качества. Очевидно, что с ростом степени увядания также растут потери сахарозы, а это влияет на коэффициент пересчёта. Можно сделать вывод о нарастании содержания нес сахаров, что отрицательно влияет на выход сахара и вносит погрешность в метод поляриметрического измерения сахарозы.

Коэффициент пересчёта, полученный по среднему значению результатов исследований с целью определения коэффициента для пересчёта при определении сахаристости подвяленной свёклы, представлен в табл. 9.

Заключение

Значения измерений степени увядания свёклы по методике ГОСТ Р 53036-2008 дают погрешность и не отражают реальной картины технологических показателей качества свёклы при высокой степени её увядания, так как происходят необратимые физико-химические процессы, которые вносят искажения в реальную картину технического состояния корнеплодов свёклы. Поэтому в указанный ГОСТ необходимо ввести поправочные коэффициенты для переработки свёклы некондиционного качества [4, 6].

Список литературы

1. Чернявская, Л.И. Потери сахара и их снижение при хранении сахарной свёклы / Л.И. Чернявская // Сахар. – 2004. – № 5. – С. 24–27.

2. Литвиновская, Л.А. Технологичность свёклы урожая 2017 года и особенности её переработки / Л.А. Литвиновская // Сахар. – 2017. – № 12. – С. 33–40.

3. Славянский, А.А. Промышленное производство сахара: учеб. пособие / А.А. Славянский. – М. : ФГБОУ ВО МГУТУ им. К.Г. Разумовского, 2015. – 255 с.

4. Исследование закономерности искажения определяемой сахаристости в сахарной свёкле в зависимости от степени увядания корнеплодов. Ч. 1 / М.Б. Мойсеяк, А.П. Чудинов, О.В. Воронина, С.Р. Бойков // Сахар. – 2020. – № 2. – С. 25–29.

5. Морозов, А.Н. Особенности поведения корнеплодов сахарной свёклы различного физического состояния при хранении / А.Н. Морозов, Н.М. Сапронов, Л.Ю. Смирнова // Пища. Экология. Качество. – 2016. – С. 346–351.

6. Мойсеяк, М.Б. Исследование закономерности искажения определяемой сахаристости в сахарной свёкле в зависимости от степени увядания корнеплодов. Ч. 2 / М.Б. Мойсеяк [и др.] // Сахар. – 2020. – № 6. – С. 24–31.

Аннотация. Цель исследования – подтвердить предположение, что общепризнанный метод определения степени увядания не отражает реальную картину потери массы и сахарозы при степени увядания выше 5 %. В статье проведены исследования степени увядания свёклы по методике ГОСТ Р 53036-2008. Подтверждено, что при высокой степени увядания сахарной свёклы происходят необратимые процессы, которые не позволяют отражать реальную картину технического состояния корнеплодов свёклы. Предложен поправочный коэффициент для введения в принятый метод анализа.

Ключевые слова: сахарная свёкла, сахаристость, поправочный коэффициент, степень увядания, потеря массы.

Summary. The aim of the study is to confirm the assumption that the generally accepted method for determining the degree of wilt does not reflect the real picture of weight loss and sucrose at a wilt rate above 5 %. The article studies the degree of withering of beets according to the method of GOST R 53036-2008. It is confirmed that with a high degree of withering of sugar beet, irreversible processes occur, which do not allow reflecting the real picture of the technical condition of beet root crops. A correction factor is proposed for introduction into the accepted method of analysis.

Keywords: sugar beet, sugar content, correction factor, degree of wilting, weight loss.