

Научная статья

УДК 633.63.15:631.527.8

DOI: 10.25230/2412-608X-2024-2-198-80-86

Методика проведения агротехнических исследований в опытах с сахарной свёклой

Вячеслав Михайлович Лукомец
Николай Михайлович Тишков
Марина Валериевна Трунова

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК,
Россия, 350038, г. Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17
Тел.: (861) 255-59-33
vniimk@vniimk.ru

Аннотация. Излагаются методические особенности проведения наблюдений и учётов в полевых опытах с сахарной свёклой. Приведены строение растений, их рост и развитие; необходимые наблюдения и учёты по следующим показателям: фенология и биометрия, элементы структуры урожая, лабораторно-аналитические наблюдения, учёт урожая и расчёт потребления питательных элементов. Статья подготовлена на основании опубликованной книги авторов В. М. Лукомца, Н. М. Тишкова, С. А. Семеренко «Методика агротехнических исследований в опытах с основными полевыми культурами» (Краснодар, 2022).

Ключевые слова: методика научных исследований, сахарная свёкла, наблюдения и учёты в полевых опытах

Для цитирования: Лукомец В.М., Тишков Н.М., Трунова М.В. Методика проведения агротехнических исследований в опытах с сахарной свёклой // Масличные культуры. 2024. Вып. 2 (198). С. 80–86.

UDC 633.63.15:631.527.8

Methodology of agricultural and technical investigations in experiments with sugar beet

Lukomets V.M., scientific tutor, doctor of agriculture, academician RAS
Tishkov N.M., chief researcher, doctor of agriculture
Trunova M.V., deputy director for science, PhD in biology

V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops
17 Filatova str., Krasnodar, 350038, Russia
Tel.: (861) 255-59-33
vniimk@vniimk.ru

Abstract. There are stated methodic peculiarities of observations and accounts in field experiments with sugar beet. There are presented plant structure, growth, and development; necessary observations and accounts by following indicators: phenology and biometrics; elements of yield structure; analytic observations in laboratory; yield account and the calculation of the consumption of nutrients. The article is based on a published book “Methodology of agricultural and technical investigations in experiments with main field crops” by Lukomets V.M., Tishkov N.M., and Semerenko S.A. (Krasnodar, 2022).

Key words: methodology of scientific research, sugar beet, observations and accounts in field experiments

Введение. Подготовка магистров, аспирантов и научных сотрудников связана с необходимостью методического обеспечения научных агротехнических исследований в опытах с сахарной свёклой и предусматривает умение исследователя обосновывать и разрабатывать планы научных исследований, проводить лабораторные, вегетационные и полевые эксперименты. Это требует от экспериментатора развития самостоятельного мышления, критического отношения к имеющимся данным, умения обосновать выбор методики исследования, анализировать, обобщать, оценивать полученные данные и делать научно обоснованные выводы, логически вытекающие из результатов исследований, разрабатывать и предлагать рекомендации для использования в сельскохозяйственном производстве.

Методика проведения исследований, учётов и наблюдений в опытах с сахарной свёклой [2; 3; 4; 5].

Основные элементы методики полевого опыта изложены в статье Лукомца В.М., Тишкова Н.М., Труновой М.В., Семеренко С.А., Махонина В.Л. «Методика проведения агротехнических исследований в опытах с масличными культурами (Сообщение 1. Исследования в опытах с соей)» [1].

Наблюдения и учёты в опытах с сахарной свёклой

Строение растений, рост и развитие

Сахарная свёкла (*Beta vulgaris* L. v. *saccharifera* L.) относится к семейству Маревые (Chenopodiaceae) и является одной из двулетних разновидностей европейского подвида. Культурная сахарная свёкла относится к гибридным организмам. В первый год жизни у неё образуется утолщённый корень (корнеплод) с розеткой из 60–90 прикорневых листьев. На второй год на корнеплоде развиваются цветonoсные побеги, дающие семена.

В корнеплодах содержится 16–20 % сахарозы. При переработке корнеплодов получают отходы – патоку и жом. В сухом веществе патоки содержится (в %): безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) – около 15, сахара – около 60, золы – 8–9. Патоку используют для изготовления спирта и глицерина. Жом (выщелоченная и отжатая свекловичная стружка) содержит (в %): сухих веществ – около 15, в том числе БЭВ – 10, клетчатки – 3, золы – 0,7, жира – 0,1 и протеина – 1,2. Выход жома составляет около 80 % от урожайности сахарной свёклы. Отход свеклосахарного производства – дефекаат – служит хорошим удобрением. В нём содержится (в %): извести – 40–50, органических веществ – 15, азота – 0,2–1,7, фосфора – 0,2–0,9 и калия – 0,5–0,9.

При уборке сахарной свёклы остаются растительные остатки (листья, верхушки и кончики корнеплодов), которые используются в свежем, силосованном и высушенном виде на корм животным. Листья составляют (в %) 30–35 массы корней и более, содержат до 26 сухих веществ, в том числе 2,5–3,5 протеина, 0,8 жира, витамины.

Корневая система взрослого растения сахарной свёклы состоит из утолщённого главного корня и густой сетки тонких корневых разветвлений, отходящих от главного корня в плоскости расположения семядолей и проникающих на глубину до 2,0–2,5 м и отходящих в обе стороны на 40–50 см и более.

Листья прикорневые, крупные, цельные, черешковые. Форма их меняется с возрастом: у молодых листьев черешки короткие и пластинки округлой формы, а у более старых черешки удлиняются и пластинка приобретает сердцевидную форму. Поверхность листовой пластинки может быть гладкой или гофрированной, волнистой.

Цветки у сахарной свёклы пятерного типа, обоеполые, с простым зеленоватым околоцветником. В цветке пять тычинок и одногнёздная завязь с трёхлопастным рыльцем. Цветки образуются в верхней части цветonoсных побегов в пазухах прицветников группами по 3–4 и более штук.

Соцветием у свёклы является мутовчатая колосовидная кисть. Опыление перекрёстное, которое происходит в основном с помощью ветра и частично насекомых.

Плод – орешек с толстым двуслойным околоплодником из рыхлой одревесневшей ткани. При созревании плоды желтеют и срстаются в соплодия (клубочки), которые состоят из двух–шести орешков. Масса 1000 клубочков у многосемянных сортов составляет 20–50 г, у односемянных – около 20 г.

Семя, находящееся в каждом плоде, имеет бурю блестящую оболочку. Зародыш семени, свёрнутый почти кольцом, охватывает перисперм (вместилище запасных питательных веществ), состоит из двух семядолей, почечки между ними, подсемядольного колена и зародышевого (зачаточного) корешка. На долю семени приходится 25–30 % массы клубочка.

Фазы вегетации, биологические особенности

В 1-й год жизни сахарная свёкла проходит фазы вегетации:

- *прорастание семян*;
- *всходы* (фаза «вилочки»);
- *образование 1–5-й пар настоящих* (прикорневых или розеточных) *листьев*;
- *смыкание листьев в рядках*;

- смыкание листьев в междурядьях;
- размыкание листьев в междурядьях;
- размыкание листьев в рядах.

Вегетационный период растений 1-го года жизни составляет 160–170 суток. Для прорастания семян в клубочках требуется до 150–170 % воды к массе клубочков и достаточный доступ воздуха. Семена начинают прорастать при температуре 3–4 °С, а при 15–18 °С всходы появляются через 6–7 суток. Первым трогаются в рост зародышевый корешок и подсемядольное колено. Появившиеся на поверхности почвы две семядоли приобретают зелёную окраску и начинают выполнять функции листьев (фаза «вилочки»). В это время всходы очень чувствительны к заморозкам и могут погибать при температуре воздуха минус 3–4 °С. После появления первой пары настоящих листьев (через 6–8 суток после всходов) они могут выдержать заморозки до минус 8 °С. В начальный период листья формируются парами, а после 4-й пары они появляются уже по одному. В начале вегетации листья образуются через каждые 2–3 суток, в середине вегетации через 1–2 суток, а в конце вегетации их формирование замедляется. В 1-й год жизни на растениях сахарной свёклы образуются 60–90 листьев, которые функционируют 60–70 суток. Самыми продуктивными считаются листья среднего яруса – с 10-го по 25-й. Активная фотосинтетическая деятельность каждого листа составляет около 25 суток. Ко времени уборки продуктивность листьев снижается, масса их уменьшается. Оптимальная площадь листьев на свекловичной плантации составляет 40–50 тыс. м²/га.

Рост сахарной свёклы в первый год жизни принято подразделять на три этапа с продолжительностью каждого около 50 суток. На первом этапе растения интенсивно формируют листья и корни, а рост корнеплода в толщину отстаёт от роста листьев. На втором этапе идёт интенсивное формирование корнеплодов.

На третьем этапе прирост листьев замедляется, но идёт увеличение массы корнеплодов и накопление сахара.

Интенсивность образования сахара в листьях и отложение его в корнях находятся в прямой зависимости от числа солнечных дней в августе – сентябре при условии достаточной обеспеченности растений влагой и питанием. В полуденные часы жарких дней наблюдается депрессия фотосинтеза и усиление дыхания, сопровождающееся расходом сахара и торможением ростовых процессов вследствие нарушения водного баланса растений.

При сравнительно невысоком транспирационном коэффициенте (300–400) сахарная свёкла довольно влаголюбива. Больше всего воды расходуется в период усиленного роста листьев и утолщения корнеплода (июль – август). Длительное увядание листьев сопровождается их отмиранием, прекращением роста корнеплода и накопления сахара. Наилучшие условия для развития сахарной свёклы создаются при влажности почвы 60–80 % наименьшей влагоёмкости (НВ).

Сахарная свёкла требовательна к плодородию почвы. Поступление элементов питания в растения по отдельным периодам вегетации происходит неравномерно. Так, максимальное количество азота, фосфора и калия потребляется растениями в июле – 41–46 %. Установлена также высокая роль в питании свёклы кальция, бора, марганца, железа и других элементов. Лучшими почвами для сахарной свёклы считаются чернозёмы, серые и тёмно-серые лесные суглинки. Вполне пригодны для неё почвы низин и пойм. Для свёклы наиболее благоприятны почвы с нейтральной, слабокислой и слабощелочной реакцией.

Биологические и экологические особенности сахарной свёклы изложены в таблице.

Таблица

Биологические и экологические особенности сахарной свёклы [3]

Этап органогенеза и ведущие процессы	Формирование элементов продуктивности	Продолжительность фенофазы, сут.	Требование к условиям произрастания
			температура, °С
I. Конус роста недифференцированный	Густота всходов	8–10	Минимальная температура почвы 3–4, оптимальная – 15–18
II. Конус роста дифференцируется, закладываются зачаточный стебель, пазушные почки, формируются листья и корневая система	Густота стояния растений на единице площади	20–30	-
III. Интенсивный рост листьев и корнеплодов	Масса корнеплодов	130	Оптимальная температура для фотосинтеза 20–23. При температуре ниже 6–8 накопление сахара в корнеплодах прекращается
IV. Слабый рост корнеплодов, интенсивное накопление сахара в них	Содержание сахара в корнеплодах		

Строение и химический состав корнеплода

В фазе «вилочки» (всходы с семядолями до образования настоящих листьев) первичный корень достигает глубины 15 см, а при появлении 1-й пары настоящих листьев – 30 см. Затем начинается утолщение главного корня за счёт деления клеток первичного луба. Когда образуется три пары листьев, первичная кора корня постепенно сбрасывается («линька») и появляется вторичная, которая покрыта слоем пробковой ткани.

По мере увеличения числа листьев идёт утолщение и разрастание главного корня (формирование корнеплода). Он

образуется в результате деятельности 10–12 камбиальных колец сосудисто-волокнистых пучков, которые последовательно сменяют друг друга. Между ними разрастается паренхимная ткань, в клетках которой в основном запасается сахар. При оптимальных условиях роста и развития растений процесс разрастания паренхимы проходит более интенсивно, что способствует формированию более крупных корнеплодов. Полностью сформировавшийся корнеплод имеет коническую форму, в центральной части цилиндрический, несколько ребристый, с небольшой головкой, по бокам находятся два ряда корешков. Масса одного корнеплода 200–500 г и более. Окраска корнеплода белая, мякоть плотная.

В строении корнеплода различают головку (укороченный стебель), на которой расположены листья; шейку (подсемядольное колено) без листьев и корней и собственно корень (коническая часть корнеплода), на поверхности которого образуются боковые корешки.

У сахарной свёклы первого года жизни различают три этапа развития в строении корнеплода: первичное, вторичное и третичное. При первичном строении корня выделяют три слоя тканей: эпидермис, первичная кора, центральный цилиндр. В центре корня расположены сосуды первичной ксилемы и флоэмы, которые разделены между собой клетками паренхимы. Все это вместе представляет собой центральный проводящий цилиндр корня. Вокруг него расположен перицикл – образовательная ткань, состоящая из одного слоя клеток. Клетки перицикла отделяют клетки первичной коры от центрального цилиндра. В перицикле корня происходит закладка боковых корешков. Утолщение главного корня начинается при изменении его строения – при переходе от первичного этапа к вторичному. При этом происходит сбрасывание первичной коры – линька корня. В третичном строении корнеплода сахарной свёклы выделяют «звёздочку» – центральный сосудисто-волокнистый пучок,

чередующиеся концентрические слои или кольца из клеток ксилемы, окружённые камбием, и между ними запасящую паренхиму.

В зрелом корнеплоде в среднем содержится (в %): 75 воды и 25 сухого вещества, основную часть которого (17,5) составляет сахароза, а также клетчатка (2,5), пектины (2,4), белки и зола (0,1), безазотистые вещества (0,8) и азотистые вещества (1,8).

В техническом смысле сахаром называется только дисахарид $C_{12}H_{22}O_{11}$, все остальные вещества принято называть «несахарами». Содержание их варьируется в зависимости от сорта, района и агротехники возделывания. Самыми вредными считаются растворимые пектиновые вещества, которые переходят в сок, мешают его фильтрации и кристаллизации сахара. Азотистые вещества, входящие в состав свековичного сока, принято подразделять на безвредные (белковые) и вредные (бетаин, амиды, красящие соединения и др.). Последние в процессе выработки сахара не осаждаются и переходят в патоку. Распределение сахара в корнеплоде неравномерное, больше всего его в средней части (шейка), а незначительное – в верхней (головка) и нижней (хвостик).

Фенология

Фенологические наблюдения – регистрация очередной фазы развития с целью установления различий в росте и развитии растений.

Фенологические наблюдения проводят на учётных площадках делянки и определяют даты:

- посева;
- всходов («вилочка»);
- появления первой пары настоящих листьев;
- появления второй–третьей пары настоящих листьев;
- появления четвёртой–пятой пары настоящих листьев;
- смыкания листьев в рядах;
- смыкания листьев в междурядьях;
- технической спелости.

Наблюдения проводят по 25 закреплённым растениям на каждой делянке. Началом наступления фазы развития растений считают период, когда она отмечена у 10 % растений, массовое наступление – у 75 %.

Биометрия

Биометрия – наблюдения за количественными показателями роста и развития растений, признаками которых являются густота стояния растений, высота растений, сухая масса растений и т. д.

Наблюдения и учёты проводят по 25 закреплённым растениям на тех же пробных площадках, на которых проводили фенологические наблюдения. Определяют следующие показатели:

- высоту растений, см;
- густоту всходов, шт/м²;
- накопление вегетативной массы в фазе образования 4–5-й пары настоящих листьев, г/м²;
- накопление вегетативной массы в фазе смыкания листьев в междурядьях, г/м².

Определение структуры урожая

Определение структуры урожая проводят по 10 растениям из закреплённых 25 растений на учётных площадках каждой делянки в фазе технической спелости сахарной свёклы. Определяют следующие показатели:

- густоту стояния растений перед уборкой, тыс. шт/га;
- средний диаметр корнеплода, см;
- среднюю длину корнеплода, см;
- среднюю массу корнеплода, г;
- среднюю массу ботвы с одного растения, г.

Лабораторно-аналитические наблюдения

В лабораторно-аналитических наблюдениях изучают физические и химические свойства почвы, содержание элементов питания в вегетативных органах и в корнеплодах. В корнеплодах определяют содержание сахара и вредных азотистых веществ.

Влажность почвы и запасы влаги определяют на глубину 160–200 см послойно через 10 см: весной перед посевом или при полных всходах в шести точках опыта, в фазе технической спелости – на пробных площадках каждой делянки или в двух несмежных повторениях опыта. В свежих единичных образцах параллельно с определением влажности устанавливают содержание нитратного и аммонийного азота. Другие агрофизические показатели почвы определяют в слое 0–40 или 0–60 см послойно через 10 см, если это предусмотрено программой исследований.

Агрохимические показатели почвы (за исключением нитратного и аммонийного азота) изучают в слое 0–60 см послойно через 10 или 20 см, отбирая единичные почвенные образцы в 16-и точках опыта весной перед посевом или при полных всходах. Каждый единичный образец почвы анализируют отдельно или готовят объединённые почвенные образцы по слоям из двух единичных проб почвы. Если задачами исследований предусмотрено детальное изучение агрохимических показателей почвы, отборы единичных почвенных образцов проводят на каждой делянке или в двух несмежных повторениях опыта, по 3–4 точки на делянке. Объединённую пробу почвы с делянки формируют по изучаемым слоям из единичных проб этой делянки.

Виды физических и химических анализов почвы соответствуют целям и задачам исследования.

Анализ растительных образцов включает определение содержания питательных элементов в вегетативной массе растений и в корнеплодах. В корнеплодах высчитывают содержание сахара и азотистых веществ.

Виды анализа растительных образцов и сроки их отбора для анализа определяются целями и задачами исследований.

Учёт урожая

Уборку проводят в фазе технической спелости сахарной свёклы сплошным методом на учётной площади делянки. Технической спелостью считается наибольшее накопление в корнеплодах сахара с высокой доброкачественностью свекловичного сока при наименьшем содержании азотистых веществ. В этот период рядки размыкаются, большинство листьев становятся светло-зелёными, а нижние – жёлтыми, прирост массы корнеплодов почти прекращается. Биологическая спелость наступает поздней осенью, когда затухают жизненные процессы растений. Уборка должна завершиться во второй половине сентября – первой половине октября.

После уборки и ручной доочистки урожай корнеплодов с каждой делянки (содержание ботвы не должно превышать 3 % от массы корнеплодов) взвешивают и после взвешивания вычисляют урожайность с фактической влажностью по формуле:

$$Y = \frac{M \cdot 10}{S},$$

где Y – урожайность корнеплодов, т/га;
 M – масса корнеплодов с делянки, кг;
 S – учётная площадь делянки, м².

Расчёт потребления питательных элементов, сбора сахара

Потребление питательных элементов надземными вегетативными органами растений и корнеплодами рассчитывают по формуле:

$$P = Y \cdot C \cdot 10,$$

где P – потребление элемента питания, кг/га;

Y – урожай вегетативных органов или корнеплодов, т/га;

C – содержание питательного элемента, %.

Расчёт сбора сахара с урожаем корнеплодов проводят по формуле:

$$CC = Y \cdot C \cdot 10,$$

где CC – сбор сахара, кг/га;

Y – урожайность корнеплодов, т/га;

C – содержание сахара в корнеплодах, %.

Список литературы

1. Лукомец В.М., Тишков Н.М., Трунова М.В., Семеренко С.А., Махонин В.Л. Методика проведения агротехнических исследований в опытах с масличными культурами (Сообщение 1. Исследования в опытах с соей) // Масличные культуры. – 2023. – Вып. 1 (193). – С. 33–50.

2. Лукомец В.М., Тишков Н.М., Семеренко С.А. Методика агротехнических исследований в опытах с основными полевыми культурами. – Краснодар: Просвещение – Юг, 2022. – 538 с.

3. Коломейченко В.В. Растениеводство: учебник. – М.: Агробизнесцентр, 2007. – 600 с.

4. Корнев Г.В., Подгорный П.И., Щербак С.Н. Растениеводство с основами селекции и семеноводства: учебник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 575 с.

5. Растениеводство: учебное пособие / Под ред. В.А. Алабушева. – Ростов-на-Дону: Издательский центр «МарТ», 2001. – 384 с.

References

1. Lukomets V.M., Tishkov N.M., Trunova M.V., Semerenko S.A., Makhonin V.L. Metodika provedeniya agrotekhnicheskikh issledovaniy v opytakh s maslichnymi kul'turami (Soobshchenie 1. Issledovaniya v opytakh s soey) // Maslichnye kul'tury. – 2023. – Vyp. 1 (193). – S. 33–50.

2. Lukomets V.M., Tishkov N.M., Semerenko S.A. Metodika agrotekhnicheskikh issledovaniy v opytakh s osnovnymi polevymi kul'turami. – Krasnodar: Prosveshchenie – Yug, 2022. – 538 s.

3. Kolomeychenko V.V. Rastenievodstvo: uchebnik. – M.: Agrobiznestsentr, 2007. – 600 s.

4. Korenev G.V., Podgornyy P.I., Shcherbak S.N. Rastenievodstvo s osnovami selektsii i semenovodstva: uchebnik. – M.: Agropromizdat, 1990. – 575 s.

5. Rastenievodstvo: uchebnoe posobie / Pod red. V.A. Alabusheva. – Rostov-na-Donu: Izdatel'skiy tsentr «MarT», 2001. – 384 s.

Сведения об авторах

В.М. Лукомец, научный руководитель, д-р с.-х. наук, акад. Рос. акад. наук

Н.М. Тишков, гл. науч. сотр., д-р с.-х. наук

М.В. Трунова, зам. директора по научной работе, канд. биол. наук

Получено/Received

28.01.2024

Получено после рецензии/Manuscript peer-reviewed

04.02.2024

Получено после доработки/Manuscript revised

07.02.2024

Принято/Accepted

25.04.2024

Manuscript on-line

30.06.2024