

МЕТОД ОЦЕНКИ ЗРЕЛОСТИ ЯГОД БЕЗ ИХ РАЗРУШЕНИЯ*

А.Ф. АЛЕЙНИКОВ^{1,2}, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник,
В.В. МИНЕЕВ¹, старший научный сотрудник

¹*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН
630501, Россия, Новосибирская область, р.п. Краснообск*

²*Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
e-mail: fti2009@yandex.ru*

При промышленном производстве продукции садоводства необходимы инструментальные средства контроля физических свойств растений и элементов технологических приемов. Одним из важнейших показателей качественной уборки плодов и ягод является их зрелость. Проанализированы основные существующие методы оценки зрелости ягод в Российской Федерации и зарубежных странах. Установлено, что метод импедансной спектроскопии более предпочтителен при реализации портативного устройства для определения спелости ягод в полевых условиях. Проведены исследования по оценке зрелости ягоды черной смородины Алтайская поздняя и облепихи Алтайская. Объем выборки при сборе выбранных сортов ягод составил 1000 шт. для каждого сорта в соответствии с фазами созревания ягод. В качестве информативного параметра выбран коэффициент дисперсии поляризации ткани ягоды, определяемый как отношение модулей электрических импедансов, измеренных на двух частотах. Предложен метод оценки степени спелости ягод, заключающийся в построении и анализе годографа распределения коэффициента по равномерному ряду гармонических частот в диапазоне от 100 до 10^6 Гц. Результаты исследований показали, что оценка степени спелости ягод возможна через 1–2 нед после начала созревания. Незначительное различие в характере изменения коэффициента дисперсии поляризации ткани ягоды у ягод объясняется спецификой содержания и распада сахаров и кислот в облепихе и смородине. На основе предлагаемого метода оценки зрелости ягод могут быть созданы портативные средства, уменьшающие потери при механизированной уборке и хранении урожая.

Ключевые слова: промышленное садоводство, ягоды, качество, зрелость, средства контроля, биологическая ткань, импеданс.

Большое значение в повышении качества питания населения придают увеличению в рационе доли ягод, обладающих низкой калорийностью и содержащих много витаминов, микроэлементов, органических кислот, пектинов, глюкозидов, неорганических солей и других ценных веществ, которые существенно влияют на обмен веществ и жизнедеятельность организма [1]. Особенно важно потребление ягод в свежем виде. Для этого необходимо улучшать их биологическое свойство сохраняться в течение определенного периода без ухудшения товарных, пищевых и вкусовых качеств, потерь массы, поражения болезнями [2]. Качество ягод является результатом сложных физиологических и биохимических реакций, происходящих во время всего вегетативного цикла культуры.

Рациональная норма потребления плодов и ягод, отвечающая современным требованиям здорового питания, – 100 кг в год на человека [3]. Производство плодово-ягодной продукции в Новосибирской области составляет около 3 кг на человека, при этом доля промышленного производства данной продукции – 29% [4]. Сады населения и мелкие крестьянские хозяйства не в состоянии обеспечить необходимый объем производства плодов и ягод. В связи с этим необходимо увеличивать масштабы индустриального садоводства с применением ягодоуборочных комбайнов.

Промышленное производство предполагает, что для оценки результатов селекционных и научно-исследовательских работ, качества посадочного материала, его плантаций, оценки равномерности созревания

* Работа поддержана бюджетным проектом СФНЦА СО РАН № 0778-2018-0003.

и готовности плодов к уборке в технологический процесс производства ягод должны быть включены портативные инструментальные средства контроля и измерения физических свойств растений и элементов технологических приемов.

Зрелость можно охарактеризовать несколькими показателями, главным образом размером ягод, цветом, концентрацией общего количества растворимых твердых веществ, кислотностью, фенольными соединениями, содержанием антоцианина [5].

Степень зрелости (спелости) при съеме урожая ягод – один из важных факторов, определяющих продолжительность хранения. Поздний съем ягод снижает урожай следующего года, а переспелые ягоды плохо хранятся [2]. Рано снятые ягоды не успевают получить необходимый запас органических веществ и плохо дозревают при хранении, ягоды в оптимальной для сорта степени съемной спелости отличаются более низкой интенсивностью дыхания и его равномерным изменением при хранении [6].

Для оценки степени спелости ягод и определения сроков их съема необходимы контрольно-измерительные средства и соответствующие методики.

Известен метод определения съемной зрелости по разности общих и растворимых сухих веществ [6]. Содержание общих сухих веществ устанавливают высушиванием, растворимых – рефрактометром. Недостаток метода – большие затраты труда и времени.

Распространена также методика определения съемной зрелости по твердости мякоти [7, 8]. По мере созревания она уменьшается, что обусловлено увеличением количества пектина. Для определения твердости мякоти используется пенетрометр. Однако использование этой методики ограничено, так как она применима только для ягод, содержащих мякоть.

В работе [8] утверждается, что более достоверные методики основаны на методах определения физиологических показателей, связанных с созреванием, таких, как йодо-крахмальная проба, с отражением света поверхностью ягоды и ее флуоресценцией.

В развитых зарубежных странах широко применяют метод определения сахара путем получения гиперспектральных изображений, например, плодов винограда [9, 10]. Гиперспектральная визуализация объединяет методы спектроскопии и цифровой визуализации для сбора как пространственной, так и спектральной информации [11]. Этот метод визуализации в режиме отражения собирает информацию об интенсивности света, отраженного от множества локальных областей объекта исследования, в зависимости от длины волны. Метод не требует механического контакта между спектрометром, камерой и виноградом. Учитывая большое количество и сложность информации, собранной с помощью гиперспектрального изображения, требуются мощные инструменты анализа данных. Эти инструменты могут быть хемометрическими [12–14] или основанными на методах машинного обучения [15–17]. Рассмотренные оптические методы требуют или больших затрат труда и времени, или использования дорогостоящего оборудования.

Учитывая, что важнейшие проявления жизнедеятельности клетки связаны с мембранами и изменением их проницаемости, перспективны методы биоимпедансометрии и спектроскопии [18, 19]. В процессе созревания ягод происходят активизация обмена веществ через мембраны, увеличение объема межклеточной жидкости и начинаются деструктивные изменения (повышается проницаемость мембран, увеличиваются ионные потоки и ослабляется эффект поляризации границ раздела), которые при достижении состояния полного созревания начинают превалировать над синтетическими процессами [20, 21]. Преимуществом методов биоимпедансометрии и спектроскопии по сравнению с другими является относительная простота их реализации, возможность определения большого количества свойств и характеристик биологических объектов, малая трудоемкость проведения оценки и др.

Цель работы – научно обосновать нетрудоемкий достоверный метод для определения зрелости ягод, на основе которого возможно

изготовление портативного прибора для использования его в полевых условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследований использовали ягоды черной смородины Алтайская поздняя и облепихи Алтайская. Плоды были собраны вручную в саду Сибирского физико-технического института аграрных проблем СФНЦА РАН, расположенном в р.п. Краснообск Новосибирской области. Географические координаты: широта – 54°55'11" N; долгота – 82°59'27" E; высота над уровнем моря 114 м. Земельный участок расположен в лесостепи Новосибирского Приобья. Состав почвы с преобладанием выщелоченного среднесиловатого чернозема. Климат континентальный, умеренно прохладный, умеренно засушливый со среднегодовым количеством осадков 425 мм [22].

Сбор ягод осуществляли вручную в соответствии с фазами их созревания начиная с полуспелых (бурых и желто-зеленых) и кончая полностью созревшими. Сбор ягод производили утром, используя обрезные ножницы для удаления плодоножек. Интервалы сбора ягод – 5–7 дней с 13.07.2017 по 07.08.2017 для смородины и с 10.08.2017 по 05.09.2017 для облепихи. Было произведено по пять сборов каждой ягоды.

Объем выборки при сборе для каждого сорта составлял 200 шт. и делился на три части: две части (по 50 шт.) для измерений электрофизических параметров с помощью импедансметра Z-1500J (РФ) и одна часть (100 шт.) для измельчения миксером Viatto NX-301H и приготовления сока на центрифуге МЦГ-8 (РФ) для определения содержания сухих растворимых веществ рефрактометром SCM-1200.

Затем плоды перевозили в лабораторию, где их промывали и предварительно отбирали в соответствии со стадией спелости, цветом, размером, однородностью, массой и отсутствием травм или заболеваний.

Измерение размеров ягоды проводили в вертикальной и горизонтальной плоскостях с помощью оптического теневого измери-

теля Калибр-1 (РФ). Массу ягод измеряли с помощью лабораторных электронных весов Advtytuer (Япония) с относительной погрешностью 1% в диапазоне от 1 до 200 г. Затем выбранные ягоды были упакованы в картонные коробки габаритами 250 × 100 × 50 мм. Образцы хранили в бытовом холодильнике «Бирюса» при температуре 7–10 °C и относительной влажности 40–50%.

Перед каждым экспериментом образцы промывали в водопроводной воде и погружали в раствор 150 мг хлора на 1 л воды на 15 мин. Затем их промывали, чтобы удалить избыток хлора, и сушили при комнатной температуре.

Исходя из изложенного и технических характеристик импедансметра Z-1500J в качестве электрофизических параметров растительной ткани ягод, определяемых методом прямых измерений, выбраны активное R и реактивное емкостное X сопротивления с расчетом модуля полного электрического сопротивления (импеданса) $Z(f)$.

Предварительные исследования зависимости выбранных параметров от степени спелости ягод показали, что наиболее информативным параметром является коэффициент дисперсии поляризации ткани ягоды $K(z)$, определяемый как отношение модулей импедансов, измеренных на двух частотах. При этом аппаратная реализация измерителя модуля импеданса более проста и сводится к измерению тока при заданном напряжении или измерению напряжения при питании от источника тока.

Модуль импеданса $Z(f)$ и коэффициент дисперсии поляризации ткани ягоды $K(f)$ определяли путем косвенных измерений по формулам

$$Z(f) = R^2 + X^2;$$

$$K(z) = Z(f_1) / Z(f_2),$$

где f – частота, значение которой равно f_1 или f_2 .

Подробная методика измерений описана в работе [23].

Частоты измерения сопротивлений выбирали из ряда: для f_1 – 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 Гц; для f_2 – 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 кГц.

При измерениях электрофизических параметров растительной ткани ягод выбраны неполяризующиеся электроды 9013E2372 производства фирмы «Alpine Biomed» (Германия).

Проверку исходных данных измерений электрофизических параметров растительной ткани ягод на принадлежность их к нормальному закону распределения проводили по составному критерию с уровнем значимости $q = 2\%$ по методике, приведенной в работе [24].

Результаты измерений и доверительные границы погрешности измерений при доверительной вероятности $p = 0,95$ определяли для групп прямых измерений по методике [25], косвенных – по методике [26].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для всей отобранной партии ягод облепихи, если их представить в виде цилиндра, разброс диаметров отобранных ягод находился от 7,7 до 8,3 мм, длины – от 10,5 до 13,8 мм; для смородины диапазон диаметра ягод составлял 9,6–13,9 мм. Масса ягод об-

лепихи во всех партиях составляла от 0,43 до 0,75 г, смородины – от 0,77 до 1,52 г.

В процессе экспериментальных исследований произведены измерения электрофизических параметров растительной ткани на 1000 ягодах смородины и облепихи. В каждой выборке подтверждена их принадлежность к нормальному закону распределения. Доверительные границы погрешности измерений коэффициента дисперсии поляризации ткани ягод при доверительной вероятности $p = 0,95$ не отклонялись от результатов измерений более чем на $\pm 8\%$.

Измерения проводили на указанных выше фиксированных частотах, по диапазону частот измерителя импеданса (от 100 Гц до 1,5 МГц) с расчетом коэффициента дисперсии поляризации строили их годограф. Затем из полученных зависимостей коэффициента дисперсии поляризации ткани при 20 опытах выбирали зависимости с ярко выраженной динамикой коэффициента дисперсии поляризации ткани для каждого сорта ягоды.

На рис. 1 приведен пример измерений содержания сухих растворимых веществ

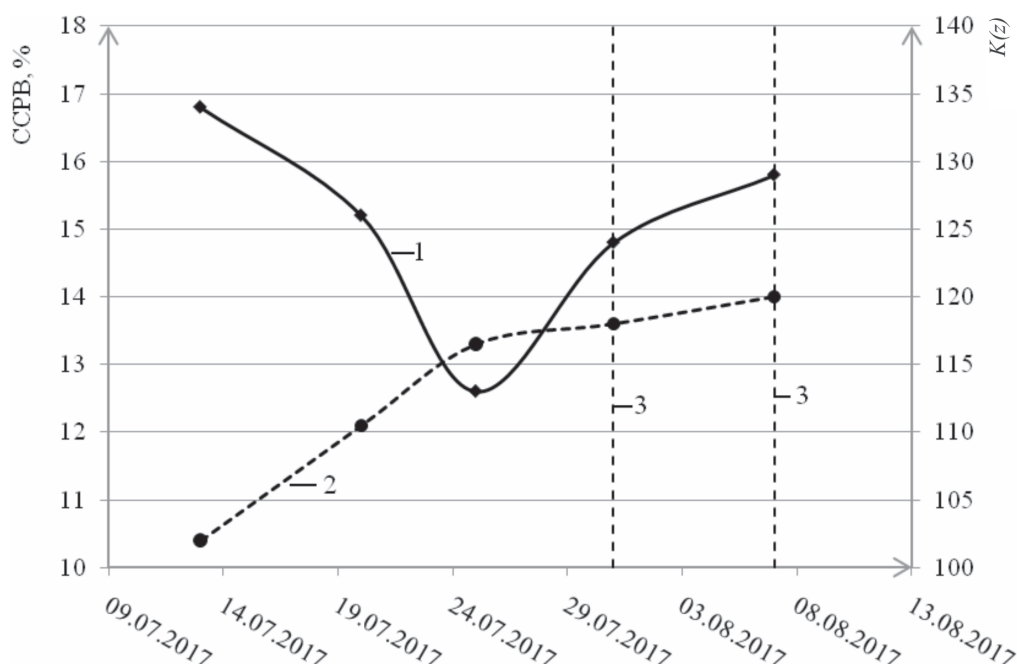


Рис. 1. Графики зависимостей ССРВ и коэффициента дисперсии поляризации ткани ягод смородины Алтайская поздняя $K(z)$ от сроков сбора ягод:

1 – значения коэффициента $K(z)$; 2 – значения ССРВ; 3 – границы зоны спелости

Fig. 1. Dependency graph of soluble dry substance content and dispersion coefficient of berry tissue polarization of black currant Altai Late $K(z)$ against harvesting time:

1 – coefficient $K(z)$; 2 – soluble dry substance content; 3 – borders of maturity zones

(ССРВ) и коэффициента $K(z)$ ягоды смородины Алтайская поздняя как показателя зрелости ягод.

Наличие динамических изменений зависимостей, представленных на рис. 1, поясняется следующим.

Созревание плодов сопровождается интенсивным переходом углеводов в более простые соединения. Так, крахмал и другие полисахариды (пектиновые вещества, гемицеллюлоза, целлюлоза) гидролизуются с образованием растворимых сахаров.

Затем общее содержание сахаров вследствие расходования их при дыхании постепенно уменьшается, при этом соотношение между сахарозой и моносахарами меняется в пользу последних и преобладающим сахаром становится фруктоза.

Следует заметить, что при дыхании происходит и распад кислот.

Такой же характер изменения информативного коэффициента $K(z)$ наблюдали и у ягоды облепихи Алтайская (рис. 2).

Динамика изменения ССРВ имеет резкий выброс в течение процесса созревания. Это объясняется тем, что в плодах облепихи

содержится низкое содержание сахаров и относительно высокое – кислот, соотношение их колеблется в зависимости от сорта и почвы на участке [2, 7]. В связи с этим в процессе дыхания в ягодах облепихи расходуется большая часть накопленных сахаров, чем в ягодах смородины.

В результате исследований установлено, что оценка степени спелости ягод возможна через 1–2 нед после начала созревания, т.е. в периоды, когда наблюдается рост ССРВ и информативного показателя – коэффициента $K(z)$ (см. рис.1, 2).

Таким образом, с помощью созданной экспериментальной установки выявлено наличие связи электрофизических параметров растительных тканей ягод смородины и облепихи со степенью их спелости и выбран информативный параметр – коэффициент дисперсии поляризации ткани ягоды $K(z)$, определяемый как отношение модулей электрических импедансов, измеренных на двух частотах, численные значения которых определяются анализом результатов.

Разработан новый метод оценки степени спелости ягод по их электрофизическим

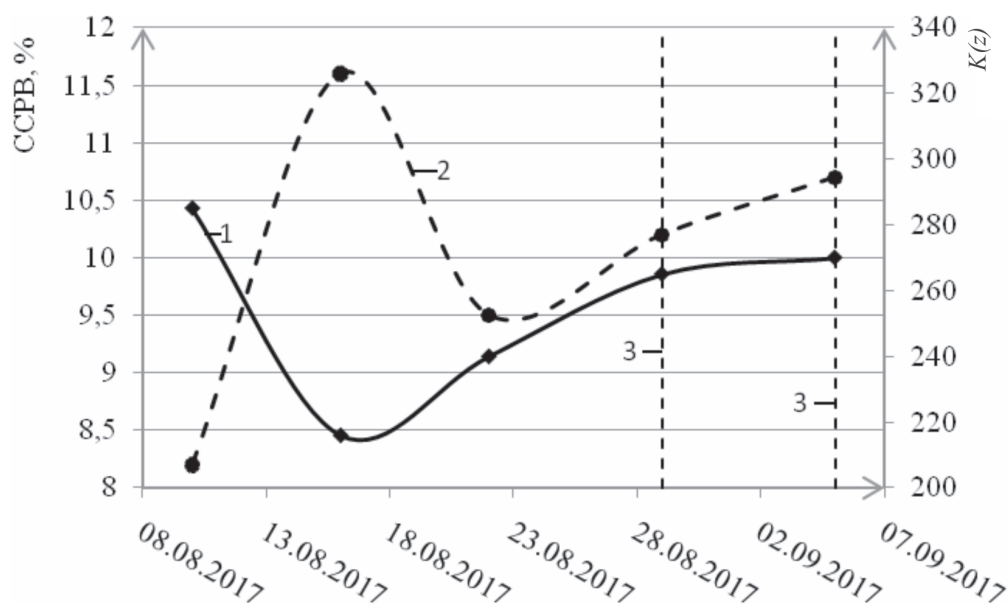


Рис. 2. Графики зависимостей ССРВ и коэффициента дисперсии поляризации ткани ягод облепихи Алтайская от сроков сбора ягод:

1 – значения коэффициента $K(z)$; 2 – значения ССРВ; 3 – границы зоны спелости

Fig. 2. Dependency graph of soluble dry substance content and dispersion coefficient of berry tissue polarization of sea buckthorn Altai $K(z)$ against harvesting time:

1 – coefficient $K(z)$; 2 – soluble dry substance content; 3 – borders of maturity zones

свойствам, заключающийся в определении коэффициента дисперсии поляризации ткани ягоды $K(z)$ по равномерному ряду гармонических частот в диапазоне от 100 до 10^6 Гц; в построении и анализе годографа распределения коэффициента $K(z)_i$ и выборе из построенного годографа конкретной зависимости коэффициента $K(z)_k$ с ярко выраженной динамикой коэффициента дисперсии поляризации ткани (для каждого k -го сорта ягоды).

Использование устройств, разработанных на основе результатов исследований, позволит уменьшить потери при механизированной уборке и хранении урожая ягод за счет определения оптимальных сроков их сбора и сокращения потерь ягодного сырья.

ВЫВОДЫ

1. Портативные инструментальные средства для экспресс-оценки степени спелости ягод отсутствуют на рынке РФ.

2. Наиболее достоверными из неразрушающих объект методов оценки зрелости ягод, фруктов и овощей являются флуориметрические и спектрометрические методы анализа, а также методы импедансной спектроскопии.

3. Метод импедансной спектроскопии более предпочтителен для реализации портативного устройства определения спелости ягод в полевых условиях (по критерию цена – качество).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Короткий И.А.** Сибирская ягода. Физико-химические основы технологий низкотемпературного консервирования. – Кемерово, 2007. – 146 с.
2. **Франчук Е.П.** Товарные качества плодов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 269.
3. **Приказ Минздрава № 614 от 19.08.2016.** – [Электронный ресурс]: URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=279426>
4. **Перспективы** роста производства плодово-ягодной продукции (Новосибирская область) – [Электронный ресурс]: URL: <http://naukarus.com/perspektivy-rosta-proizvodstva-plodovoyagodnoy-produktsii-novosibirskaya-oblast>
5. **Cédric Baudrit, Nathalie Perrot, Jean Marie Brousset et al.** A probabilistic graphical model for describing the grape berry maturity // Computers and Electronics in Agriculture – 2015. – N 118. – P. 124–135.
6. **Родиков С.А.** Методы и устройства анализа зрелости яблок. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 216 с.
7. **Методическое** и аналитическое обеспечение исследований по садоводству. – Краснодар: Изд-во Сев.-Кавк. зон. науч.-исслед. ин-та садоводства и виноградарства, 2010. – 299 с.
8. **Figueiredo Neto A., Almeida F.A.C., Oliver N.C. et al.** Mechanical behavior of pumpkin fruits subjected to compression during maturation. Pesq. Agropec. Trop. – 2013. – N 43 (3). – P. 223–231.
9. **Véronique M. Gomes, Armando M. Fernandes, Arlete Faia et al.** Computers and Comparison of different approaches for the prediction of sugar content in new vintages of whole Port wine grape berries using hyperspectral imaging // Electronics in Agriculture. – 2017. – N 140. – P. 244–254.
10. **Gomes V., Fernandes A., Martins-Lopes et al.** Characterization of neural network generalization in the determination of pH and anthocyanin content of wine grape in new vintages and varieties // Food Chem. – 2017. – N 218. – P. 40–46.
11. **Prats-Montalbán J.M., de Juan A., Ferrer A.** Multivariate image analysis: A review with applications // Chemom. Intell. Lab. Syst. – 2011. – Vol. 107. – P. 1–23.
12. **González-Caballero V., Pérez-Marin D., Lopez M.-I. et al.** Optimization of NIR spectral data management for quality control of grape bunches during on-vine ripening // Sensors. – 2011. – N 11. – P. 6109–6124.
13. **Hernández-Hierro J.M., Nogales-Bueno J., Rodríguez-Pulido F.J. et al.** Feasibility study on the use of near-infrared hyperspectral imaging for the screening of anthocyanins in intact grapes during ripening // J. Agric. Food Chem. – 2013. – N 61. – P. 9804–9809.
14. **Le Moigne M., Dufour E., Bertrand D., Maury C. et al.** Front face fluorescence spectroscopy and visible spectroscopy coupled with chemometrics have the potential to character-

- ise ripening of Cabernet Franc grape // *Anal. Chim. Acta.* – 2008. – N 621. – P. 8–18.
15. **De’bska B., Guzowska-Srwider B.** Application of artificial neural network in food classification // *Anal. Chim. Acta.* – 2011. – N 705. – P. 283–291.
 16. **Fernandes A.M., Franco C., Mendes-Ferreira A., Mendes-Faia A.** Brix, pH and anthocyanin content determination in whole Port wine grape berries by hyperspectral imaging and neural networks // *Comput. Electron. Agric.* – 2015. – N 115. – P. 88–96.
 17. **Gomes V., Fernandes A., Martins-Lopes P., Pereira L et al.** Characterization of neural network generalization in the determination of pH and anthocyanin content of wine grape in new vintages and varieties // *Food Chem.* – 2017. – N 218. – P. 40–46.
 18. **Acácio Figueiredo Neto, Nelson Cárdenas Olivier, Erlon Rabelo Cordeiro et al.** Determination of mango ripening degree by electrical impedance spectroscopy // *Computers and Electronics in Agriculture.* – 2017. – N 143. – P. 222–226.
 19. **Chowdhury A., Bera T.K., Ghoshal D., Chakraborty B.** Studying the electrical impedance variations in banana ripening using electrical impedance spectroscopy // *Proc. IEEE Adv. Biol. Med. Soc.* – 2015. – N 1. – P. 97–99.
 20. **Goulao L.F., Oliveira C.M.** Cell wall modifications during fruit ripening: when a fruit is not the fruit – a Review // *Trends Food Sci. Technol.* – 2008. – N 19. – P. 4–25.
 21. **Schwann H.P.** Electrical properties of tissue and cell suspensions: mechanisms and models // *Proc. IEEE Adv. Biol. Med. Soc.* – 2002. – N 1. – P. 70–71.
 22. **Алейников А.Ф., Габитов Н.М.** Формирование системы информационной поддержки задач маркетинга на уровне сельскохозяйственных предприятий. – Новосибирск, 2012. – 254 с.
 23. **Алейников А.Ф., Пальчикова И.Г., Глянченко В.С., Чугуй Ю.В.** Экспресс-метод оценки качества мяса // *Сиб. вестн. с.-х. науки.* – 2013. – № 6. – С. 71–79.
 24. **Шенк Х.** Теория инженерного эксперимента. – М.: Мир, 1972. – 381 с.
 25. **ГОСТ 8.207–76.** ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.
 26. **МИ 2083–90** ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 7 с.

REFERENCES

1. **Korotkii I.A.** Sibirskaya yagoda. Fiziko-khimicheskie osnovy tekhnologii nizkotemperaturnogo konservirovaniya. – Kemerovo, 2007. – 146 s.
2. **Franchuk E.P.** Tovarnye kachestva plodov. – М.: Agropromizdat, 1986. – 269 s.
3. **Prikaz** Minzdrava № 614 ot 19.08.2016. – [Elektronnyi resurs]: URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=279426>
4. **Perspektivy** rosta proizvodstva plodovo-yagodnoi produktsii (Novosibirskaya oblast') – [Elektronnyi resurs]: URL: <http://naukarus.com/perspektivy-rosta-proizvodstva-plodovoyagodnoy-produktsii-novosibirskaya-oblast>
5. **Cédric Baudrit, Nathalie Perrot, Jean Marie Brousset et al.** A probabilistic graphical model for describing the grape berry maturity // *Computers and Electronics in Agriculture* – 2015. – N 118. – P. 124–135.
6. **Rodikov S.A.** Metody i ustroystva analiza zrelosti yablok. – М.: FIZMATLIT, 2009. – 216 s.
7. **Metodicheskoe i analiticheskoe obespechenie** issledovaniy po sadovodstvu. – Krasnodar: Izd-vo Sev.-Kavk. zon. nauch.-issled. in-ta sadovodstva i vinogradarstva., 2010. – 299 s.
8. **Figueiredo Neto A., Almeida F.A.C., Oliver N.C. et al.** Mechanical behavior of pumpkin fruits subjected to compression during maturation. *Pesq. Agropec. Trop.* – 2013. – N 43 (3). – P. 223–231.
9. **Véronique M. Gomes, Armando M. Fernandes, Arlete Faia et al.** Computers and Comparison of different approaches for the prediction of sugar content in new vintages of whole Port wine grape berries using hyperspectral imaging // *Electronics in Agriculture.* – 2017. – N 140. – P. 244–254.
10. **Gomes V., Fernandes A., Martins-Lopes et al.** Characterization of neural network generalization in the determination of pH and anthocyanin content of wine grape in new vintages and varieties // *Food Chem.* – 2017. – N 218. – P. 40–46.
11. **Prats-Montalbán J.M., de Juan A., Ferrer A.** Multivariate image analysis: A review

- with applications // *Chemom. Intell. Lab. Syst.* – 2011. – Vol. 107. – P. 1–23.
12. **González-Caballero V., Pérez-Marin D., Lypez M.-I. et al.** Optimization of NIR spectral data management for quality control of grape bunches during on-vine ripening // *Sensors*. – 2011. – N 11. – P. 6109–6124.
 13. **Hernández-Hierro J.M., Nogales-Bueno J., Rodríguez-Pulido F.J. et al.** Feasibility study on the use of near-infrared hyperspectral imaging for the screening of anthocyanins in intact grapes during ripening // *J. Agric. Food Chem.* – 2013. – N 61. – P. 9804–9809.
 14. **Le Moigne M., Dufour E., Bertrand D., Maury C. et al.** Front face fluorescence spectroscopy and visible spectroscopy coupled with chemometrics have the potential to characterise ripening of Cabernet Franc grape // *Anal. Chim. Acta.* – 2008. – N. 621. – P. 8–18.
 15. **De'bska B., Guzowska-Srwider B.** Application of artificial neural network in food classification // *Anal. Chim. Acta.* – 2011. – N 705. – P. 283–291.
 16. **Fernandes A.M., Franco C., Mendes-Ferreira A., Mendes-Faia A.** Brix, pH and anthocyanin content determination in whole Port wine grape berries by hyperspectral imaging and neural networks // *Comput. Electron. Agric.* – 2015. – N 115. – P. 88–96.
 17. **Gomes V., Fernandes A., Martins-Lopes P., Pereira L. et al.** Characterization of neural network generalization in the determination of pH and anthocyanin content of wine grape in new vintages and varieties // *Food Chem.* – 2017. – N 218. – P. 40–46.
 18. **Acácio Figueiredo Neto, Nelson Cárdenas Olivier, Erlon Rabelo Cordeiro et al.** Determination of mango ripening degree by electrical impedance spectroscopy // *Computers and Electronics in Agriculture* – 2017. – N 143. – P. 222–226.
 19. **Chowdhury A., Bera T.K., Ghoshal D., Chakraborty B.** Studying the electrical impedance variations in banana ripening using electrical impedance spectroscopy // *Proc. IEEE Adv. Biol. Med. Soc.* – 2015. – N 1. – P. 97–99.
 20. **Goulao L.F., Oliveira C.M.** Cell wall modifications during fruit ripening: when a fruit is not the fruit – a Review // *Trends Food Sci. Technol.* – 2008. – N 19. – P. 4–25.
 21. **Schwann H.P.** Electrical properties of tissue and cell suspensions: mechanisms and models // *Proc. IEEE Adv. Biol. Med. Soc.* – 2002. – N 1. – P. 70–71.
 22. **Aleinikov A.F., Gabitov N.M.** Formirovanie sistemy informatsionnoi podderzhki zadach marketinga na urovnesel'skokhozyaistvennykh predpriyatii. – Novosibirsk, 2012. – 254 s.
 23. **Aleinikov A.F., Pal'chikova I.G., Glyanenko V.S., Chugui Yu.V.** Ekspress-metod otsenki kachestva myasa // *Sib. vestn. s.-kh. nauki.* – 2013. – № 6. – S. 71–79.
 24. **Shenk Kh.** Teoriya inzhenerenogo eksperimenta. – M.: Mir, 1972. – 381 s.
 25. **GOST 8.207-76.** GSI. Pryamyie izmereniya s mnogokratnymi nablyudenyami. Metody obrabotki rezul'tatov nablyudenii. – M.: Izd-vo standartov, 2001. – 7 s.
 26. **MI 2083-90** GSI. Izmereniya kosvennyie. Opredelenie rezul'tatov izmerenii i otsenivanie ikh pogreshnostei. – M.: Izd-vo standartov, 1991. – 7 s.

BERRY MATURITY ASSESSMENT METHOD WITHOUT ITS DAMAGE

**A.F. ALEINIKOV^{1,2}, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head Researcher,
V.V. MINEYEV¹, Senior Researcher**

*¹Siberian Federal Scientific Center of Agro-BioTechnologies, RAS,
Krasnoobsk, Novosibirsk region, 630501, Russia;*

*²Novosibirsk State Technical University,
20, Karl Marx Ave, Novosibirsk, 630073, Russia
e-mail: fti2009@yandex.ru*

Commercial production of horticultural produce requires instrumental control means of physical properties of plants and technological methods. One of the most important parameters of high quality harvest of fruit and berries is their maturity. The main maturity assessment methods existing in Russia and other countries are analyzed. It is established that the method of impedance spectroscopy is preferable in the use of portable means for berry maturity determination in the field conditions. Research on maturity of blackcurrant berry *Altai late* and sea buckthorn *Altai* was conducted. The sample number of the chosen varieties of berries was 1000 pieces for each variety. They were harvested in accordance with their ripening stage. To determine the maturity of berries the dispersion coefficient of berry tissue polarization was taken as an informative parameter, which is the relation of modules of electric impedances measured at two frequencies. The assessment method of berry maturity degree consisting of construction and analysis of coefficient distribution hodograph was proposed. Distribution was carried out on a uniform range of harmonic frequencies of 100 to 10⁶ Hz. The results of the research showed that maturity assessment is possible after 1-2 weeks from the beginning of berry ripening. The insignificant difference in dynamic changes of dispersion coefficient of berry tissue polarization is explained by specific content and disintegration of sugars and acids in sea buckthorn and currant. The assessment method of berry maturity allows to create portable devices that would reduce their losses during mechanical harvesting and storage.

Keywords: commercial horticulture, berries, quality, maturity, control means, tissue, impedance

Поступила в редакцию 26.02.2018
