

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА /
POWER SUPPLY AND AUTOMATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 635.64:631.522

DOI: 10.26897/1728-7936-2020-1-51-54

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗРЕЛОСТИ ТОМАТОВ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЯ ИХ ИНДУКЦИИ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА

СУДНИК ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, докт. техн. наук, профессор¹

E-mail: Sudnikya@mail.ru

АБДЕЛХАМИД МАХМУД, аспирант^{1,2}

E-mail: Mahmoudabdelhamid@agr.asu.edu.eg

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49.

² Айн-Шамс государственный университет, 11241, Египет, Каир, ул. Шобра Сады, 68.

Традиционные способы сортирования плодов томатов используют внешние их атрибуты – цвет, размер и твёрдость, которые не учитывают внутренние качества и структуру плодов, что отражается на качестве сортирования. Предложен способ сортирования томатов на основе контроля их индукции флуоресценции хлорофилла. Такой способ позволяет учитывать внутреннюю структуру и качество томатов. При проведении эксперимента использовали ботанический сорт томатов Алькасар с различными стадиями зрелости: зеленые; молочные (светло-зеленые); бурые; розовые и красные. Для этого сорта томата выявлена общая закономерность: по мере созревания плодов уменьшается величина индукции максимальной флуоресценции и повышается вариабельность этого показателя. Незрелые плоды отличаются высокими значениями максимума индукции флуоресценции хлорофилла при его низкой вариабельности. Стадия же полной зрелости томатов характеризуется низкими значениями максимума флуоресценции и вариабельности этого показателя. Предлагаемый способ менее трудоёмок по сравнению с методом определения зрелости томатов по их цвету, он позволяет более качественно проводить разделение томатов по зрелости с учётом их внутренней структуры. Способ может быть применен для интегральной оценки зрелости как крупных партий овощей, так каждого отдельного плода.

Ключевые слова: томаты, сорт Алькасар, окраска, зрелость, индукция флуоресценции хлорофилла.

Формат цитирования: Судник Ю.А., Абделхамид М. Способ определения зрелости томатов на основе контроля их индукции флуоресценции хлорофилла // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2020. № 1(95). С. 51-54. DOI: 10.26897/1728-7936-2020-1-51-54.

METHOD FOR DETERMINING THE MATURITY OF TOMATOES BASED ON THE CONTROL OF THEIR CHLOROPHYLL FLUORESCENCE INDUCTION

YURIYA A. SUDNIK, DSc (Eng), Professor¹

MAHMUD A. ABDELHAMID, postgraduate student²

¹ Russian Timiryazev State Agrarian University, 147550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49.

² Ain Shams University; 11241, Egypt, Cairo, Shoubra Garden Str., 64.

Conventional methods of tomato sorting are based on the external attributes of fruits, such as color, size, hardness, or other textural features. These methods do not take into account the internal qualities and texture of fruits, which therefore affects the sorting quality. The proposed method for sorting tomatoes based on the control of their induction of chlorophyll fluorescence takes into account the internal structure and quality of tomatoes. During the experiment, the botanical Alcazar variety of tomatoes with various stages of maturity was used: green; dairy (light green); brown; pink, and red. For the considered tomato variety, a general pattern was revealed: as the fruit ripens, the magnitude of maximum fluorescence induction decreases and the variability of this indicator increases. Immature fruits are characterized by high values of the maximum fluorescence induction of chlorophyll with its low variability. The full-maturity stage of tomatoes is characterized by low values of maximum fluorescence and the variability of this indicator. The proposed method is less time-consuming than the method for determining the maturity of tomatoes by their colour; it ensures better quality separation of tomatoes by maturity, taking into account their internal structure. The method can be applied for an integrated maturity assessment of large batches of vegetables, as well as of each individual fruit.

Key words: tomatoes, Alcazar variety, colour, maturity, chlorophyll fluorescence induction

For citation: Sudnik Yu.A., Abdelhamid M.A. Method for determining the maturity of tomatoes based on the control of their chlorophyll fluorescence induction. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2020; 1(95): 51-54. DOI: 10.26897/1728-7936-2020-1-51-54 (In Rus.).

Введение. Зрелость является одним из основных показателей качества томатов. Существующие в настоящее время оптические методы для оценки зрелости томатов реализуют принципы измерения коэффициентов отражения светового потока на определённых длинах волн [1-6]. Однако, им присущ существенный недостаток – низкое качество оценки степени зрелости томатов, обусловленной их внутренним качеством и структурой [7-9]. Поэтому для повышения качества оценки зрелости томатов предложен новый способ, основанный на контроле индукции флуоресценции хлорофилла. Последний является важным пигментом, содержащимся во всех растительных тканях, имеющих хлоропласты, необходимые для роста и энергетических потребностей растений. При полном дифференцировании пластидов в хлоропласты уровень хлорофилла становится высоким, что позволяет растительным частям поглощать свет. Когда плод достигает своего зрелого состояния, хлоропласт снова дифференцируется в хромопласт или другие типы протопластов, разрушающих хлорофилл [10-12]. Поэтому контроль содержания уровня хлорофилла в томатах является важной качественной характеристикой их зрелости.

Цель исследования – определение зависимости зрелости томатов от величины их индукции флуоресценции хлорофилла.

Материал и методы. В экспериментальном исследовании был использован ботанический сорт томатов Алькасар с пятью стадиями зрелости: зеленые, молочные, бурые, розовые и красные (ГОСТ Р 51810-2001), выращенный в теплицах РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Для каждой из пяти стадий зрелости было использовано по восемь томатов одинакового размера.

Созревание плодов томатов (ГОСТ Р 51810-2001: «Томаты свежие, реализуемые в розничной торговой сети») различают по цвету и состоянию семенной камеры для пяти фаз созревания, следующим образом [1]:

1. Зеленая степень зрелости: поверхность плода полностью зеленая;
2. Молочная степень зрелости: плоды со светло-зеленым беловатым оттенком окраски поверхности с твердой кожурой;
3. Бурая степень зрелости: плоды плотные, с глянцевым блеском, с частично или полностью бурыми разливами на поверхности плода, с признаками розовой окраски у его вершины;
4. Розовая степень зрелости: плоды плотные, со светло-розовой или ярко-оранжевой окраской, поверхность плода до 50% может быть желтовато-бурой окраски;
5. Красная степень зрелости: плоды плотные, полной биологической зрелости с розоватой или оранжевой окраской.

Для контроля экспериментальных исследований авторами разработано устройство для определения уровня индукции флуоресценции хлорофилла в томатах. Функциональная схема такого устройства приведена на рисунке 1.

Устройство работает следующим образом. Микроконтроллер (размещён в блоке управления

излучением 5) с установленной в нём программой формирует сигнал управления светодиодом 1, который направленно излучает световой поток с длиной волны 470 нм на объект 2 (томат). Отражённый от плода световой поток, но уже с другой длиной волны (от 650 до 820 нм) через светофильтр 3 попадает на объектив цифровой видеокамеры 4. Сформированный в ней электрический сигнал через USB-порт 6 поступает в компьютер 7, в котором согласно программе происходит обработка сигнала с учётом уровней амплитуд и спектрального состава излучённого и отражённого от томата световых потоков.

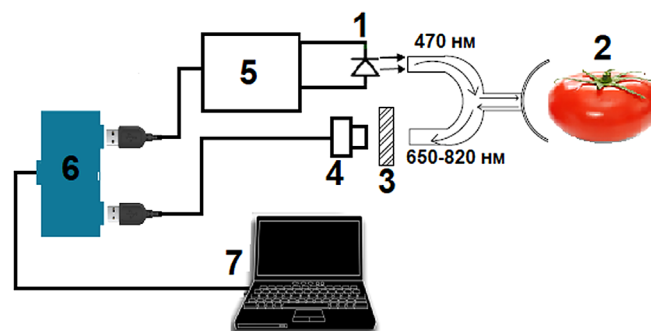


Рис. 1. Функциональная схема устройства для контроля уровня индукции флуоресценции хлорофилла:
1 – светодиод; 2 – объект (томат); 3 – светофильтр; 4 – цифровая видеокамера; 5 – блок управления излучением; 6 – USB порт; 7 – компьютер

Fig. 1. Functional diagram of a device for monitoring the level of chlorophyll fluorescence induction:
1 – LED; 2 – an object (tomato); 3 – a light filter; 4 – a digital video camera; 5 – a radiation control unit; 6 – a USB port; 7 – a computer

По результатам измерений во всех группах плодов томата был оценён параметр медленной индукции флуоресценции хлорофилла. Длина волны возбуждения флуоресценции составляла 470 ± 8 нм, а её интенсивность на поверхности плода варьировала от 3200 до 4700 $\text{мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. В процессе проведения эксперимента регистрировали максимумы медленной индукции флуоресценции хлорофилла (F_m), а также измеряли коэффициент удельной фотосинтетической активности томатов $K_f = (F_m - F_{st})/F_m$, где F_m и F_{st} – максимальный и стационарный уровни флуоресценции хлорофилла.

Результаты и обсуждение. На рисунке 2 приведены результаты эксперимента, которые свидетельствуют о закономерности изменения величин максимальной флуоресценции F_m хлорофилла и коэффициента удельной фотосинтетической активности K_f от степени зрелости томатов. Состояние зелёной зрелости характеризуется высокими значениями максимальной флуоресценции хлорофилла и коэффициента K_f . Напротив, в случае полной зрелости характерны низкие значения максимальной флуоресценции и коэффициента K_f .

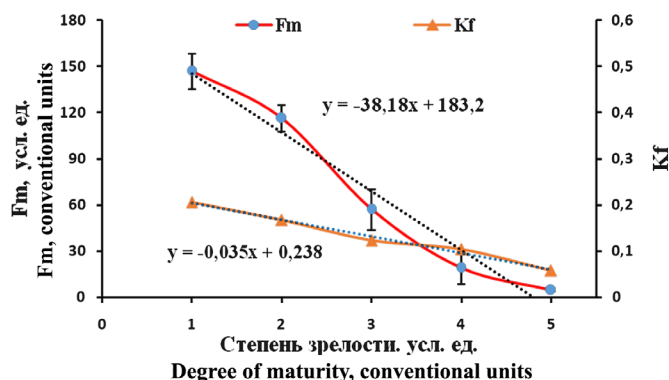


Рис. 2. Изменение максимальной флуоресценции хлорофилла Fm и Kf от степени зрелости томатов «Алькасар»

Fig. 2. Change in the maximum fluorescence of chlorophyll Fm and Kf depending on the maturity degree of Alcazar tomatoes

Анализ зависимостей изменения вариальности Fm от степени зрелости томатов показывает, что в зеленой зрелости меньше вариальность параметра Fm (рис. 3).

Зелёной зрелости плоды отличаются высокими значениями максимума индукции флуоресценции хлорофилла при его низкой вариальности. На стадии розовой зрелости томатов наблюдается максимальная вариальность параметра Fm. Стадия полной зрелости плодов томата характеризуется низким уровнем значения максимумов флуоресценции и также его вариальности. Таким образом, чем меньше значение показателя максимальной флуоресценции хлорофилла и его вариальности, тем больше зрелость плодов томата.

Библиографический список

- ГОСТ Р 51810-2001 «Томаты свежие, реализуемые в розничной торговой сети».
- Будаговская О.Н. Оптическая дефектоскопия плодов // Пролетарский светоч. 2009. 277 с.
- K. Choi, G. Lee, Y.J. Han, J.M. Bunn. Tomato maturity evaluation using color image analysis. *Transactions of the ASAE*. 38(1): 171-176. doi: 10.13031/2013.27827 @1995.
- George M (2015) Multiple Fruit and Vegetable Sorting System Using Machine Vision. *Int J Adv Technol* 6: 142. doi:10.4172/0976-4860.1000142
- Helyes L., Pék Z., & Lugasi A. (2006). Tomato Fruit Quality and Content Depend on Stage of Maturity, *HortScience HortSci*, 41(6), 1400-1401. Retrieved Jan 24, 2020, <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/41/6/article-p1400.xml>.
- S. Laykin, V. Alchanatis, E. Fallik, Y. Edan Image-processing algorithms for tomato classification. *Transactions of the ASAE*. Vol. 45(3): 851-858. doi: 10.13031/2013.8838 @2002.
- Гудковский В.А., Акишин Д.В., Сутормина А.В. Об использовании нового способа определения степени зрелости плодов томата в селекционной, научной и практической работе // Вестник МичГАУ. 2013. № 5. С. 67-71.

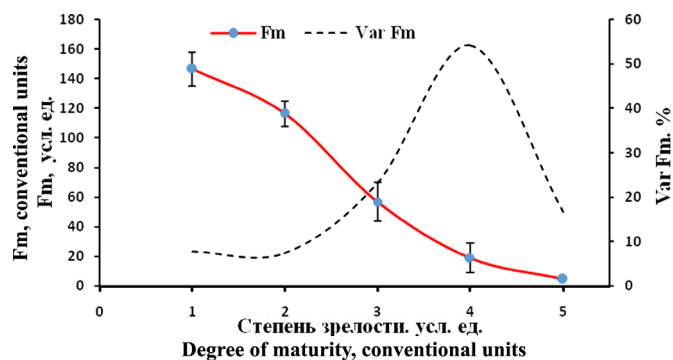


Рис. 3. Зависимость изменения вариальности от степени зрелости томатов «Алькасар»

Fig. 3. Relationship between the variability change and the maturity degree of Alcazar tomatoes

Предлагаемый новый способ определения зрелости томатов на основе контроля их индукции флуоресценции хлорофилла позволяет контролировать внутреннюю структуру и качество различных сортов и гибридов томатов.

Выводы

Использование параметров максимума медленной индукции флуоресценции хлорофилла Fm и коэффициента вариальности VarFm позволяет проводить разделение томатов по зрелости более объективно и точно. При этом метод подходит как для интегральной оценки зрелости крупных партий овощей, так и для оценки степени зрелости каждого отдельного плода как в предуборочный, так и в послеуборочный период.

Перспективно применение предлагаемого способа и для других овощных культур, содержащих хлорофилл.

References

- GOST R51810-2001 "Tomaty svezhiye, realizuyemye v roznichnoy trgovoy seti" [Fresh tomatoes sold in retail]. (In Rus.)
- Budagovskaya O.N. Opticheskaya defektoskopiya plodov [Optical inspection of fruit]. *Proletarskiy svetoch*. 2009: 277. (In Rus.)
- K. Choi, G. Lee, Y.J. Han, J.M. Bunn. Tomato maturity evaluation using color image analysis. *Transactions of the ASAE*. 38(1): 171-176. doi: 10.13031/2013.27827 @1995. (In English)
- George M (2015) Multiple Fruit and Vegetable Sorting System Using Machine Vision. *Int J Adv Technol*. 6: 142. doi:10.4172/0976-4860.1000142. (In English)
- Helyes L., Pék Z., & Lugasi A. (2006). Tomato Fruit Quality and Content Depend on Stage of Maturity, *HortScience HortSci*, 41(6), 1400-1401. Retrieved Jan 24, 2020, <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/41/6/article-p1400.xml>. (In English)
- S. Laykin, V. Alchanatis, E. Fallik, Y. Edan Image-processing algorithms for tomato classification. *Transactions of the ASAE*. Vol. 45(3): 851-858. DOI: 10.13031/2013.8838 @2002. (In English)

8. Способ определения степени зрелости плодов томатов: патент № 2032902 РФ А01G7/00 // Д.А. Выродов, А.П. Выродова, В.К. Андрущенко, П.Н. Жужа. Оpubл. 10.04.95. Бюл. № 14.

9. Wan P., Toudeshki A., Tan H., Ehsani R., 2018. A methodology for fresh tomato maturity detection using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. Volume 146, March 2018, Pages 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.011>

10. Peter M. Bramley. Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. *Journal of Experimental Botany*. Volume 53. Issue 377. 1 October 2002. Pages 2107-2113. <https://doi.org/10.1093/jxb/erf059>

11. Lois L.M., Rodriguez-Concepcion M., Gallego F., Campos N., Boronat A. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development: regulatory role of 1-deoxy-D-xylulose 5-phosphate synthase *The Plant Journal*, (2000), 22(6), 503-513. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.2000.00764.x>

12. Hobson G., Grierson D. *Biochemistry of fruit ripening*. Springer, Chapman and Hall, London. 1993. Pp. 405-442. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1584-1_14

7. Gudkovsky V.A., Akishin D.V., Sutormina A.V. Ob ispol'zovanii novogo sposoba opredeleniya stepeni zrelosti plodov tomata v selektsionnoy, nauchnoy i prakticheskoy rabote [On the use of a new method for determining the degree of maturity of tomato fruits in breeding, scientific, and practical work]. *Vestnik Michgau*, 2013; 5: 67-71. (In English)

8. Vyrodov D.A., Vyrodova A.P., Andryushchenko V.K., Zhuzha P.N. Sposob opredeleniya stepeni zrelosti plodov tomatov [Method for determining the degree of maturity of tomato fruits]: Patent No. 2032902 RF A01G7/00. 1995. (In Rus.)

9. Wan P., Toudeshki A., Tan H., Ehsani R., 2018. A methodology for fresh tomato maturity detection using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. Volume 146, March 2018: 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.011>. (In English)

10. Peter M. Bramley. Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. *Journal of Experimental Botany*. Volume 53. Issue 377. 1 October 2002. Pages 2107-2113. <https://doi.org/10.1093/jxb/erf059> (In English)

11. Lois L.M., Rodriguez-Concepcion M., Gallego F., Campos N., Boronat A. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development: regulatory role of 1-deoxy-D-xylulose 5-phosphate synthase. *The Plant Journal*, (2000), 22(6), 503-513. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.2000.00764.x> (In English)

12. Hobson G., Grierson D. *Biochemistry of fruit ripening*. Springer, Chapman and Hall, London. 1993. pp. 405-442. (In English)

Критерии авторства

Судник Ю.А., Abdelhamid M. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Судник Ю.А., Abdelhamid M. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 11.12.2019

Опубликована 27.02.2020

Contribution

Sudnik Yu.A., Abdelhamid M.A. carried out the experimental work, summarized the material based on the experimental results, and wrote the manuscript. Sudnik Yu.A., Abdelhamid M.A. have copyrights for the paper and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on December 11, 2019

Published 27.02.2020