

УДК 634.11

Д.Г. ЗАРГАРЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ СОЗРЕВАНИЯ ПЛОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Описаны технологии определения степени зрелости урожая после сбора. Дается классификация и оценивается качество сельскохозяйственных продуктов. Представлены структурная схема и процесс работы измерителя ИК диапазона.

Ключевые слова: инфракрасный диапазон, отражение, поглощение, электромагнитная волна, проникаемость.

Введение. Растущий спрос на высокое качество продукции на рынке требует разработки и внедрения передовых технологий для определения зрелости урожая после сбора. Сортировка и оценка качества сельскохозяйственных продуктов - весьма сложный и трудоемкий процесс.

Качество овощей и фруктов зависит от различных факторов: техники выращивания, климата, состояния почвы и т.д. Таким образом, существует большая разница в качестве плодов, даже если они выращены и собраны из той же области.

Ручная сортировка представляет собой дорогостоящий и ненадежный способ, так как человеческий фактор противоречив при определении таких качеств, как внешний вид, вкус, содержание питательных веществ, текстуры и т.д. (см. табл.). В этом случае для оценки качества фруктов и овощей желательно применение устройства, которое при измерении не повреждает агропродукт. С помощью такого устройства можно получить надежный, быстрый и, с точки зрения экономии, прибыльный результат.

Таблица

Факторы оценки качества

Внешний вид	Внутренние качества
Размер, вес, объем	Вкус, запах (сладость, кисловатость, терпкость)
Конфигурация	Твердость, четкость, сочность
Цвет, однородность, интенсивность	Химические компоненты (углеводы, белки, витамины, функциональные свойства)
Дефект (ушиб, удар, точечный)	Дефект внутренней полости, водного ядра, урон от мороза

Метод ИК измерения. С помощью новых технологий с использованием инфракрасных лучей сельскохозяйственные продукты можно сортировать не только по весу и цвету, но и по индикаторам вкуса. При этом не происходит ни

повреждения продукта, ни даже механического контакта с продуктом. Степень зрелости определяется процентным содержанием сухого вещества в заданном весе продукта и выражается в количестве частей сахарозы, фруктозы, витаминов, минералов, аминокислот, протеинов и других веществ.

Одни методы оценки качества нашли практическое применение, другие считаются перспективными решениями. ИК техника на протяжении последних лет стала стремительно развиваться и широко применяться в технологиях по оценке и классификации агропродуктов.

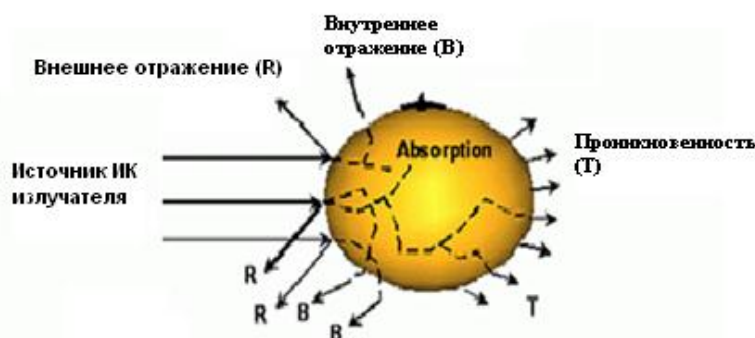


Рис. 1. Оптические характеристики плода

Длина видимого луча составляет от 400 до 700 нм, а длина ближнего инфракрасного (БИК) луча - от 0,7 до 2,5 мкм и более. Оптические свойства основаны на отражении, пропускании, поглощении или рассеянии света на продукт (рис. 1). Когда луч света падает на объект, часть падающего луча отражается от поверхности (R). Такое отражение называется регулярным (или зеркальным). Оставшееся излучение (T) передается через поверхность в клеточную структуру объекта, где оно рассеивается на небольшой интерфейс в ткани или поглощается составляющими. Поглощенная часть излучения может быть преобразована в другие формы энергий, таких как тепловые, химические изменения или люминесценции. Часть передаваемой энергии поглощается, часть отражается обратно к поверхности (коэффициент отражения тела или диффузного отражения), остальная часть передается через объект (пропускание), как показано на рис. 1 [1]. Исходя из вышесказанного, можно вычислить содержание органических веществ, которые, в свою очередь, и дадут информацию о степени созревания плодов.

БИК измерители состоят из источника света или ИК излучателя, приемника и системы расчета результатов.

Со структурной точки зрения, различают два метода измерения:

1. Метод измерения отражения, когда измеряется значение энергии отраженного ИК луча (рис. 2) [1].



Рис. 2. Метод измерения отражения

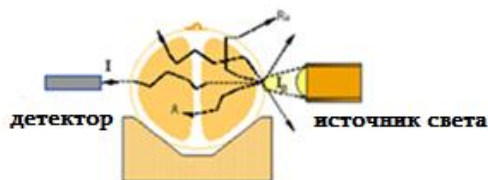


Рис. 3. Метод измерения пропускания

2. Метод измерения пропускания, когда информация получается от значения пропущенной энергии (рис.3). В этом случае измеряется проходящий через ткани свет, который отражает внутренние атрибуты объекта. Данный метод дает общую информацию о качестве и в состоянии компенсировать слабые стороны метода отражения [2].

Работа измерителя, разработанного в Институте радиофизики и электроники НАН РА, основана на измерении остаточной мощности от отраженного ИК луча из тканей плодов. Устройство компактное, портативное, а длительность измерения одного цикла составляет ≤ 10 с.

Описание работы. В ИК диапазоне (рис. 4) часть сигнала излучателя диода 2, доходя до полупрозрачного экрана 3, отражается на фотоприемник 5.1, а другая часть - на наблюдаемый объект 4. Отраженные ИК мощности с полупрозрачного экрана 3 и наблюдаемого объекта 4 принимаются от фотодиодов 5 и 5.1. Узлы 6, 7, 8 обеспечивают значение мощности излученным ИК, а значение сигнала, принятого фотоприемником, считается опорным. Отраженный сигнал от наблюдаемого объекта 4, который содержит информацию о степени спелости продукта, принимается и обрабатывается в приемном узле 9, 10.

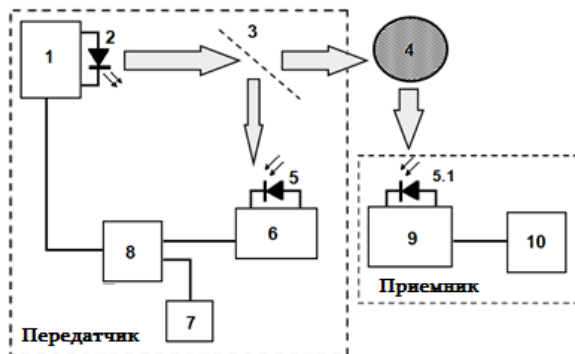


Рис. 4. Структурная схема и узлы измерителя ИК диапазона:

1- источник питания диода, 2- ИК излучатель. 3- полупрозрачный экран, 4- измеряемый объект, 5- фотоприемник стабилизации цепи, 6- узел усиления и изменения сигнала, 7- контролируемый источник постоянного тока, 8- дифференциальный усилитель, 9- узел обработки сигнала измерительной цепи, 10- регистрирующее устройство (микропроцессор)

После ввода данных от БИК приемного диода проводится корреляция со статистическими и опорными данными.

Чтобы получить опорные данные и калибровку, используется техника регрессионного анализа. Последнее регистрируется в БИК анализаторе для прогнозирования степени зрелости плодов. Указанное более детально показано в нижеприведенном примере.

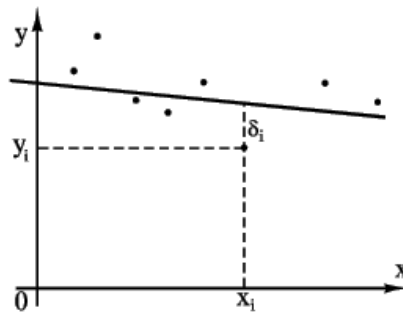


Рис. 5. Линейная функция одного аргумента

Для упрощения изложения рассмотрим сначала случай линейной функции одного аргумента. Пусть из опыта получены точки:

$$\begin{cases} x_1, y_1, \\ x_2, y_2, \\ \dots \\ x_n, y_n, \end{cases} \quad (1)$$

$$y = ax + b, \quad (2)$$

наилучшим образом согласующиеся с опытными точками.

Пусть мы нашли такую прямую. Обозначим через δ_i расстояние опытной точки от этой прямой (измеренное параллельно оси y).

Из уравнения (2) следует, что

$$\delta_i = y_i - ax_i - b. \quad (3)$$

Чем меньше число δ_i по абсолютной величине, тем лучше подобрана прямая (2). В качестве характеристики точности подбора прямой (2) можно принять сумму квадратов

$$S = \sum_{i=1}^n \delta_i^2. \quad (4)$$

Покажем, как можно подобрать прямую (2) так, чтобы сумма квадратов S была минимальной. Из уравнений (3) и (4) получим

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2. \quad (5)$$

Условия минимума S будут

$$\frac{\partial S}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)x_i = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b) = 0. \quad (7)$$

Уравнения (6) и (7) можно преобразовать в вид

$$\sum_{i=1}^n y_i x_i = a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = a \sum_{i=1}^n x_i + nb. \quad (9)$$

Из (8) и (9) легко найти a и b по опытным значениям x_i и y_i . Прямая (2), определяемая уравнениями (8) и (9), называется прямой, полученной методом наименьших квадратов (этим названием подчеркивается, что сумма квадратов S имеет минимум). Уравнения (8) и (9), из которых определяется прямая (2), называются нормальными уравнениями.

Можно указать простой и общий способ составления нормальных уравнений [3]. Используя опытные точки (1) и уравнение (2), можно записать систему уравнений для a и b :

$$\begin{cases} y_1 = ax_1 + b, \\ y_2 = ax_2 + b, \\ \dots \\ y_n = ax_n + b. \end{cases} \quad (10)$$

Умножив левую и правую части каждого из этих уравнений на коэффициент при первой неизвестной a (на $x_1, x_2, \dots, x_n$) и сложив полученные уравнения, получим первое нормальное уравнение (8).

Умножив левую и правую части каждого из этих уравнений на коэффициент при второй неизвестной b , т.е. на 1, и сложив полученные уравнения, получим второе нормальное уравнение (9).

Этот способ получения нормальных уравнений является общим: он пригоден, например, и для функции

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n. \quad (11)$$

Естественно, что здесь получится система из $(n+1)$ нормальных уравнений для определения величин $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$.

Рассмотрим частный случай применения метода наименьших квадратов. Пусть из теории известно, что

$$k = y/x \quad (12)$$

есть величина постоянная, и ее нужно определить по опытным данным (1).

Систему уравнений для k можно записать в виде

$$\begin{cases} k = y_1/x_1, \\ k = y_2/x_2, \\ \dots \\ k = y_n/x_n. \end{cases} \quad (13)$$

Для получения нормального уравнения умножим каждое из этих уравнений на коэффициент при неизвестной k , т.е. на 1, и сложим полученные уравнения:

$$kn = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i}. \quad (14)$$

Отсюда имеем

$$k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i}. \quad (15)$$

Следовательно, среднее арифметическое, полученное из опытных отношений $\frac{y_i}{x_i}$, дает решение поставленной задачи по методу наименьших квадратов. Это важное свойство средней арифметической объясняет ее широкое применение в практике обработки опытных данных.

Пример. На опыте получены значения x и y , сведенные в таблицу.

X	1	2	3	4	5	6
Y	5,2	6,3	7,1	8,5	9,2	10,0

Найти прямую по методу наименьших квадратов.

Решение:

$$\sum x_i = 21, \quad \sum y_i = 46,3, \quad \sum x_i^2 = 91, \quad \sum x_i y_i = 179,1.$$

Запишем уравнения (8) и (9):

$$\begin{cases} 91a + 21b = 179,1, \\ 21a + 6b = 46,3. \end{cases}$$

Отсюда находим

$$a = 0,98, \quad b = 4,3.$$

Приведем еще один более типичный пример поглощения света и концентрации вещества (рис. 6).

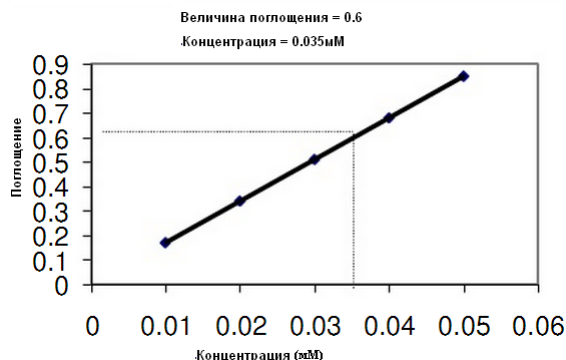


Рис. 6. Концентрация и поглощение

Регрессионный анализ решается с помощью пяти опорных данных, полученных на основе опытов, где измеряется коэффициент поглощения при следующих значениях концентрации агропродукта: 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05. В результате регрессионного анализа получается α линия ($f(x)$), которая используется для анализа дальнейших измеренных результатов. Вставив в регрессионную функцию коэффициент поглощения 0,64 ($\log_{10}(1/R)$), значение концентрации (C) будет 0,035. Этот метод позволяет быстро находить соотношение концентрации агропродуктов и ИК поглощения.

Технические данные устройства: длина волны λ – 0,95 мкм, мощность ИК излучателя P – 3 МВт, глубина модуляции m – 100%, частота f – 80 Гц.

По результатам проведенных опытов с помощью этого устройства видно, что при соответствующей длине волны у каждого объекта (фрукты, овощи) имеется своя область проникновения в зависимости от степени спелости и структуры тканей.

Закключение. Результаты исследования показали, что, используя значение диффузного отраженного ИК сигнала, можно определить степень зрелости урожая после сбора. Добавив соответствующее программное обеспечение, получим multifunctional мобильный измеритель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Kyu-Hong Choi, Kang – Jin Leen, Giyoung Kim** Non-destructive for the Quality Evaluation Technology for Fruit and Vegetables using NIR –spectroscopy // National Institute of Agrecultural Engineering. - 2003.
2. **Hongjian Lin, Yibin Ying** Theory and application of near infrared spectroscopy in assessment of fruit quality. - 25 March, 2008.
3. Measurement of sugar contents in citrus using near infrared transmittance / **K. Lee, G. Kim, S. Kang et al** // Advances in Nondestructive Evaluation. – 2004. – P. 1–3.

Դ.Գ. ԶԱՐԳԱՐՅԱՆ

ՊՏՈՒՂՆԵՐԻ ՀԱՍՈՒՆԱՑՄԱՆ ԱՍՏԻՃԱՆԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԻՆՖՐԱԿԱՐՄԻՐ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ

Նկարագրված են գյուղմթերքների՝ մրգերի, բանջարեղենի որակական հատկանիշների գնահատման և դասակարգման տեխնոլոգիաները, ինչպես նաև լայն կիրառություն գտած ինֆրակարմիր (ԻԿ) տիրույթում աշխատող չափիչ սարքի աշխատանքային նկարագիրն ու կառուցվածքային սխեման:

Առանցքային բաներ. ինֆրակարմիր տիրույթ, անդրադարձում, կլանում, էլեկտրամագնիսական ալիք, թափանցելիություն:

D.G. ZARGARYAN

FRUIT MATURITY DEGREE DETERMINATION USING INFRARED RADIATION

The estimation and classification technologies for qualitative characteristics of agricultural products – fruit and vegetable, as well as the operation and the scheme of the measuring device functioning in the widely used infrared (IR) range are described.

Keywords: infrared range, reflection, absorption, electromagnetic wave, permeability.