УДК 633.854.54:581.132:002(477)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО *(LINUM USITATISSIMUM L.)* НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Вера МАЛКИНА[1], Оксана ЕРЕМЕНКО[2]
[1]Таврический государственный агротехнологический университет, Украина
[2]Национальный университет биоресурсов и природоиспользованияУкраины

Abstract. Formation of high yields of agricultural crops is the result of photosynthesis, the process in which simple substances turn into energetically rich and complex organic compounds varying in their chemical composition. It is well known that the intensity of organic substances accumulation depends on the size of leaf surface, which is defined by the biometric parameters of plants and largely depends on their nutrition regime and also on the duration of leaf activity period. This paper presents the results of scientific investigations on the photosynthetic activity of linseed plants in the Steppe of Ukraine. The authors proposed a method to determine the leaf surface area of linseed, which consists of photographing leaf lamina and processing the obtained graphic files using a special software. The results of comparative assessment of the existing methods for determining leaf surface area on the example of linseed are presented. The advantage of using the methods of computer vision compared to other known methods was highlighted.

Key words: *Linum usitatissimum;* Linseed; Foliar surface area; Leaves; Computer image analysis.

Реферат. Формирование высокого урожая сельскохозяйственных растений является результатом фотосинтеза, в процессе которого из простых веществ образуются богатые энергией сложные и разнообразные по химическому составу органические соединения. Как известно, интенсивность накопления органических веществ зависит от величины листовой поверхности, которая определяется биометрическими параметрами растений и существенно зависит от режима их питания, а также продолжительности активной деятельности листьев. В статье изложены результаты научных исследований по изучению фотосинтетической деятельности растений льна масличного в Степи Украины. Авторами предложена методика по определению площади листовой поверхности льна масличного, которая заключается в фотографировании листовой пластины и обработке полученных графических файлов с помощью специального программного обеспечения. Изложены результаты сравнительной оценки существующих методов определения площади листовой поверхности на примере льна масличного. Выявлено преимущество использования методов компьютерного зрения перед другими известными методиками.

Ключевые слова: *Linum usitatissimum;* Лен масличный; Площадь листовой поверхности; Листья; Компьютерный анализ изображений.

ВВЕДЕНИЕ

Для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур решающее значение имеет площадь листовой поверхности растений. Так существует целый ряд методов, суть которых И.Г. Фульга изложил в своей работе. Наиболее распространенным стал метод «высечек», однако из-за формы и размера листьев, этот метод не может быть использован на растениях льна масличного.

Не менее популярным является расчетный метод, который базируется на корреляционных связях между площадью листка и его линейными размерами, для чего используется переводной коэффициент, который существенно зависит от особенностей геометрической формы листа. Таким образом, для обеспечения высокой точности расчетов необходимо определять переводной коэффициент для каждой сельскохозяйственной культуры отдельно (на примере работ О.М. Ганженко).

Известны способы, принцип которых основан на нанесении контуров листка на миллиметровую бумагу с последующим подсчетом площади. В этом случае площадь листка определяется более точно, однако при этом значительно усложняется и замедляется процесс определения площади. Использование планомеров позволяет ускорить процесс определения площади и обеспечивает достаточно высокую его точность, но высокая их стоимость делает использование планомеров экономически не целесообразным.

Поэтому целью наших исследований было разработать современную высокоточную методику определения площади листовой поверхности льна масличного на основе привлечения современных технологий компьютерного зрения, а сам процесс определения реальной площади листовой поверхности заменить вычислением площади области на фотоизображении этого листа.

В настоящий момент существует ряд программных средств, которые основаны на технологиях компьютерного зрения, позволяющие качественно и эффективно определять площадь физического объекта. Однако, такие программные системы требуют специальной подготовки пользователя, дополнительных материальных затрат и компьютерных ресурсов. Так, к примеру, известная система Adobe Photoshop обладает специальными инструментами для проведения качественной предобработки фотоизображения, но процесс определения площади объектов малоэффективен. Е.М. Навроцкая, В.Ю. Березина и Т.А. Гурова (2001) в своей работе предлагают специально разработанное программное обеспечение для определения площади листовой поверхности, но в случае, когда необходимо обеспечить достаточно высокую точность из-за малых размеров самого листа и при большом объеме выборки листьев, результаты могут быть неудовлетворительными, к тому же в иследование необходимо привлекать специальное оборудование.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования по изучению площади листовой поверхности льна масличного проводились на протяжении 2013 – 2015 гг. в комплексном опыте по изучению продуктивности его в засушливых условиях Степной зоны Украины. В опыте использовали сорт Эврика отечественной селекции занесенного в Реестр сортов растений Украины. Определяли площадь с помощью разных методик (не менее 200 листьев льна масличного в каждом опыте). Площадь листьев и другие биометрические измерения проводили на протяжении всего вегетационного периода растений.

Авторами предлагается новая методика определения площади листовой поверхности, которая базируется на анализе его фотоизображения. Предложенная методика применяет, как известные методы и алгоритмов компьютерного зрения, так и специально разработанные алгоритмы выделения объекта и определения его реальной площади.

Предложенная методика анализа изображения состоит из следующих этапов:

Первый этап – предварительная обработка фотоизображения;

Второй этап – выделение эталонного объекта и отдельных объектов (листьев);

Третий этап – определение количества пикселей отдельных объектов и определение их реальной площади.

Для улучшения качества распознания объектов необходимо провести предварительную обработку изображения. Особенно, когда листья имеют неоднородную структуру с малоконтрастными контурами.

Предлагается провести предварительную обработку изображения по следующему алгоритму:

Первый этап – обработка изображения с помощью преобразователя Лапласа. В этом случае, благодаря тому, что он учитывает возможные перепады контрастности во всех направлениях, такой способ обработки изображения является эффективным инструментом выделения контуров объекта.

Использование такого преобразования позволяет улучшить качество изображения за счет определения нулей второй производной, а точнее локальных максимумов градиента.

Второй этап предварительной обработки изображения характеризуется качественным анализом контуров отдельных объектов изображения, особенно для последующих расчетов их геометрических характеристик, необходимо увеличить четкость самого контура. Как показал анализ существующих методов, наиболее эффективное использование получил метод сглаживания (CV_BLUR_NO_SCALE с ядром 3 на 3 в библиотеке команд OpenCV) за счет того, что каждый пиксель на выходе является средним арифметическим пикселем в области 3x3 без последующего масштабирования.

Третий этап – бинаризация, то есть пороговые преобразования. Получение бинарного (двойного) изображения путем порогового преобразования с подбором верхнего и нижнего пределов, в соответствии с уровнем качества полученного изображения после проведенных на предварительных этапах преобразований. Такой процесс позволяет получить бинарное изображение с хорошо дифференцированными контурами объектов.

После предварительной обработки изображения проводится этап выделения объектов методом обнаружения всех прилегающих к указанному пикселю, который имеет такое же значение яркости. Так как после порогового преобразования все пиксели области изображения листка имеют одинаковый показатель яркости и образуют односвязную область, то определение количества таких пикселей позволяет оценить площадь объекта, когда «единицей измерения» является один пиксель.

Для определения реальной площади объекта предлагается указать количество пикселей на изображении, которое соответствует одному квадратному сантиметру. С этой целью, необходимо при проведении фотографирования, листья расположить на плоской поверхности с эталонным образцом, площадь которого нам известна. В результате чего определяется коэффициент с помощью следующей формулы:

$$k = \frac{N_{эт}}{S_{эт}},$$

где $N_{эт}$ - количество пикселей в области эталонного объекта,

$S_{эт}$ - площадь эталонного объекта.

Тогда реальная площадь объектов на изображении определяется с помощью формулы:

$$S_{об} = k \cdot N_{об},$$

где $S_{об}$ - реальная площадь объекта,

$N_{об}$ - количество пикселей на изображении отдельного объекта.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Выбор наиболее эффективного метода определения площади листовой поверхности проводили с учетом точности полученных данных и скорости действий для получения результатов.

Предложенная методика представлена в виде специально разработанной информационной системы, которая реализована в среде Microsoft Visual Studio на языке программирования C# на основе использования набора библиотек OpenCV Sharp.

В качестве тестового фотоизображения для демонстрации работы предложенной методики используется фото (рис. 1)

После проведения предварительной обработки изображения согласно этапам предложенного алгоритма, получаем бинарное изображение (рис. 2).

Затем выделяем контуры отдельных объектов и убираем «шумы» - объекты с существенно меньшей и существенно большей площадью (рис. 3).

Рисунок 1. *Фотоизображения тестовой выборки*

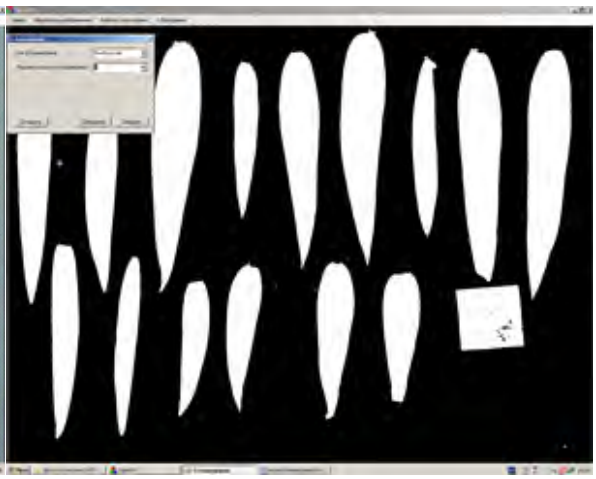

Рисунок 2. *Предобработка изображения (бинаризация)*

Рисунок 3. *Выделение контуров объектов*

После выделения эталонного объекта, указания его реальной площади в диалоговом режиме и последовательном указании отдельных объектов определяются реальные площади указанных объектов. На рисунке 3 приводится этап работы информационной системы – определения площади текущего объекта. Все расчеты сохраняются в отдельном файле в формате .xls, что позволяет использовать рассчитанные данные для дальнейших исследований.

В тестовом примере, в результате анализа изображения по предложенной методике определена площадь отдельных объектов. Для подтверждения достоверности полученных результатов было выполнено определение площадей этих же объектов путем подсчета площади листьев на миллиметровой бумаге (точные значения).

Таблица 1. *Сравнительная оценка площади листьев льна масличного с помощью разных методик их определения*

Номер объекта	Путем нанесения контуров листа на миллиметровую бумагу (контроль), мм^2	Расчетный метод	Эксперимент		
			Предложенный метод (на основе программного модуля), мм^2	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность, %
1	263,39	266	265,89	2,50	0,95
2	231,42	234	232,74	1,32	0,57
3	222,29	234	231,28	8,99	4,04
4	194,28	201	195,34	1,06	0,55
5	173,41	182	181,58	8,17	4,71
6	173,22	181	177,27	4,05	2,34
7	169,28	172	171,36	2,08	1,23
8	132,26	129	129,9	2,36	-1,78
9	112,26	110	111,22	1,04	-0,93
10	108,13	112	104,42	3,71	-3,43
11	102,18	107	98	4,18	-4,09
12	99,31	97	98,4	0,91	-0,92
13	97,22	96	94,2	3,02	-3,11
14	84,17	85	84	0,17	-0,20
15	66,15	65	67	0,85	1,28
Ср.	148,598	151,4	149,7	2,96	0,08

В таблице 1 приведены значения средней площади объектов (листьев) выборки, которые определены по предложенной методике и с помощью «ручного подсчета» на миллиметровой бумаге. Как видно, погрешность измерений не превышает 5%. Для подтверждения достоверности результатов было обработано 10 выборок по 50 листьев в каждой. Анализ показал, что средняя относительная погрешность составляет 2,5%.

Анализ результатов показал, что погрешность оценки площадей объектов зависит от качества исходного изображения, качества предварительной обработки изображения, точности изображения эталонного объекта.

ВЫВОДЫ

При изучении листового аппарата исследователю необходимо быть хорошо осведомленным и знать состояние и особенности жизнедеятельности растительного организма, знать свойства и особенности листового материала, с которым ему приходится работать, знать, какие могут вытекать отсюда трудности и что предпринимать для их преодоления.

Результаты, полученные с помощью предложенной методики автоматического анализа характеристик листовой поверхности растений являются важным этапом в создании таких интеллектуальных систем как системы автоматизированного исследования биологических объектов. Важным достоинством предложенной методики является возможность заменить реальный эксперимент компьютерным, что существенно экономит материальные и временные затраты, а так же, позволяет получить более эффективные и точные результаты анализа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГАНЖЕНКО, О.М. (2014). Методика визначення площі листкової поверхні цукрового сорго. У: Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків, Вип. 22, с. 17-22.

2. ЛАКИН, Г.Ф. (1990). Биометрия. Москва: Высшая школа. 352 с. ISBN 5-06-000471-6.

3. НАВРОЦКАЯ, Е.М., БЕРЕЗИНА, В.Ю., ГУРОВА, Т.А. (2001). Использование виртуального прибора «ЛИСТОМЕР» в исследованиях адаптации пшеницы к засолению. В: Вестник аграрной науки, №4, с. 182-194.

4. Патент 2145410 РФ, МПК G01B5/26. Способ определения площади листьев растений / Потапов В.А., Бобрович Л.В., Полянский Н.А., Андреева Н.В.; заявитель и патентообладатель Мичуринская ГСХА. - № 98103702/28; заявл. 02.03.98; опубл. 10.02.2000.

5. Програма для обробки фото Photoshop CC, пробна версія [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.adobe.com/ua/products/photoshop.html

6. ФУЛГА, И.Г. (1975). Изучение фотосинтетической поверхности растений. Кишинев. 179 с.

Data prezentării articolului*: 21.09.2015*
Data acceptării articolului*: 19.11.2015*