

ББК П258.1

КАЛИБРОВОЧНЫЕ КРИВЫЕ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ПЛОЩАДИ ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ КУСТОВ ЗЕМЛЯНИКИ

А.А. Аникьев, Э.Н. Аникьева

ФГОУ ВПО «Мичуринский государственный аграрный университет»

Рецензент А.Н. Квочкин

Ключевые слова и фразы: аналитические зависимости; площадь листовой поверхности; сорта земляники.

Аннотация: Предложены два способа проведения оценки площади кустов ягодных культур, с точностью, повышенной благодаря использованию компьютерных технологий. Оба способа пригодны для проведения измерения площади как в полевых, так и в лабораторных условиях с высокой достоверностью полученных результатов.

1 Введение

Оценка площади листовой поверхности плодовых и ягодных растений играет одну из первостепенных ролей в исследованиях активности фотосинтеза растений и связи ее с продуктивностью и урожайностью сортов. К настоящему времени известны работы по способам оценки площади листовых пластин некоторых плодовых, например, яблони, вишни, основанные на получении коэффициентов перевода площадей простых геометрических фигур в площадь листьев. Обычно используются площади четырехугольника и окружности ввиду простоты замеров линейных параметров листовой пластинки: для четырехугольника – это длина и ширина, для окружности – длина. Впервые этот метод был применен Н.К. Поляковым [1, с. 23 – 25] на листьях яблони, затем продолжен И.Г. Фулгой (1960).

Аникьев А.А. – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информатика» МичГАУ; Аникьева Э.Н. – старший преподаватель кафедры «Информатика» МичГАУ.

А.С. Овсянников [2] нашел более 100 переводных коэффициентов для некоторых сортов яблони и вишни и вычислил их средние значения для каждого сорта. В.А. Потапов [1, с. 25 – 28] усовершенствовал метод Н.К. Полякова – подсчета площади листьев яблони, применяя прозрачный планшет с нанесенными сантиметровыми делениями, а также предложил способ подсчета площади через периметр.

Аналогичные методы можно было бы применять и для ягодных культур, однако здесь мы имеем некоторые трудности. Во-первых, ягодные растения имеют небольшое количество листьев на куст и большой разброс их размеров, что приводит к увеличению погрешности измерения суммарной площади, если пользоваться усредненным переводным коэффициентом. Во-вторых, у большинства ягодных растений листья имеют сложную форму, зубчики по периметру листовых пластин, что вносит дополнительные погрешности при расчете переводных коэффициентов. В-третьих, исследования активности фотосинтеза у ягодных растений ужесточают требования к точности оценки площади листовой поверхности именно из-за их малого количества [3].

Казалось бы, возникает парадокс, чем меньше листьев, тем больше погрешность. Однако мы имеем дело со статистическими ансамблями, в которых объем выборки существенно влияет на величину дисперсии. Для плодовых деревьев, с их высокой степенью облиственности, плотность распределения линейных размеров пластинок имеет в максимуме на ширине дисперсии большое количество листьев с размерами, близкими к средним, более 60 % от общего количества. В то же время у ягодных кустарников количество листьев мало, а разброс размеров велик, поэтому плотность распределения имеет большую ширину (дисперсию). Вследствие этого, на ширине дисперсии имеется всего 30...40 % листьев, близких к среднему значению. Соответственно 60...70 % листьев имеют размеры далекие от среднего значения. Такой тип распределения, очевидно, приводит к увеличению погрешности измерений площади, если использовать среднее значение коэффициента перевода.

Возможны два подхода к решению этой задачи применительно к ягодным культурам. *Первый подход* состоит в нахождении таких коэффициентов пересчета, которые имеют минимальный разброс значений вокруг среднего (минимальную дисперсию) и используют масштабную инвариантность листовых пластин. *Второй подход* предполагает установление корреляционной зависимости, в общем случае нелинейной, между площадью листьев и какими-либо линейными морфометрическими индексами листовой пластины. И тот и другой подходы требуют проведения измерений площади и индексов пластин с высокой точностью. Такую точность могут обеспечить только новые компьютерные технологии.

В настоящей работе представлены оба подхода на примере анализа морфометрических индексов у листовых пластин трех сортов земляники. Данная методика без труда может быть распространена на другие сорта и ягодные культуры, имеющие сложную форму листовых пластин и малое количество листьев на куст.

2 Получение переводных коэффициентов

Все топологические измерения проводились на выборках размерами по 180 листьев каждого из трех указанных сортов. Листья отбирались случайно различных размеров из всех ярусов растений в целях наиболее полно охватить диапазон генетической изменчивости, проявляющийся в фенотипе внутри одного сорта. Листья, взятые у растений в различные вегетационные периоды, проявляли хорошо выраженное свойство самоподобия по основным топологическим параметрам. В то же время некоторые характерные признаки, такие как форма петель сети жилок, угол между главной жилкой и нижними боковыми жилками визуально мало изменялись в пределах одного сорта.

Линейные размеры, в частности длины жилок листовой пластинки, измерялись с помощью курвиметра КУ-А, имеющего погрешность 0,5 см на 50 см длины. Прямые измерения площади проводились с помощью миллиметровой бумаги подсчетом квадратных ячеек, попадающих внутрь контура листа. Приграничная площадь оценивалась по правилу: количество ячеек, попадающее на границу, умноженное на количество узлов без одного. Данная оценка вносит погрешность в определение площади порядка 5...7 %. В целях устранения недостатка обычных методов измерений [4] нами была разработана программа измерения длины контура и площади изображений любой формы, полученной сканированием реального объекта с заданным разрешением. Листовая пластинка предварительно сканируется с заданным разрешением, и изображение записывается в виде файла в формате bmp. Затем изображение в виде массива точек определенного цвета обрабатывается на поиск граничных точек цвета, отличного от фона и количество этих точек подсчитывается. После того как количество пикселей в контуре будет известно, можно провести пересчет из пикселей в сантиметры. Аналогично подсчитывается количество пикселей внутри замкнутого контура, и после пересчета получаем площадь в квадратных сантиметрах. Проверка работы данной программы на известных эталонных контурах различной формы показало, что погрешность определения длины контура составляет величину 0,25 %, а площади – 0,15 %.

Формулы пересчета длины и площади из пикселей в сантиметры

$$\begin{aligned} \ell &= \frac{(N-1)d}{N_i} = (N-1)\delta\ell, \\ S &= (N-1)\frac{d^2}{N_i N_j} = (N-1)\delta\ell_i \delta\ell_j, \end{aligned} \quad (1)$$

где N – количество пикселей; $d = 2,539$ см – перевод дюйма в сантиметры; $\delta\ell$ – разрешение сканирующего прибора (расстояние между пикселями); N_i, N_j – разрешение сканера в точках на дюйм по горизонтали и вертикали. Естественно, разрешение сканера также не является полностью отвечающим тем цифрам, которые приводятся в технических характеристиках. Увеличение разрешения достигается средствами аппроксимации участков изображения и вычислением дополнительных точек на изображении реально не сканируемых из-за ограничений оптического разрешения. Следо-

вательно, сам процесс сканирования вносит дополнительные погрешности, учтенные нами в итоговой оценке.

Анализ свойств переводных коэффициентов проводился нами на 4 геометрических фигурах в качестве простых моделей, описывающих форму листовой пластинки:

- ромб, диагоналями которого являются длина и ширина листа;
- окружность с диаметром, равным длине листовой пластинки;
- эллипс с полуосями равными половинам длины и ширины;
- окружность, полученная из измеренного периметра.

Площадь и периметр листовых пластин были измерены с помощью разработанной нами программы [4], сканированием листьев с различным разрешением. Длина центральной жилы измерялась курвиметром. Максимальная ширина листа измерялась в направлении, перпендикулярном длине центральной жилки с помощью циркуля; раствор циркуля наносился на миллиметровую бумагу и замерялся. Измерения проведены на выборках объемом 20, 40 и 80 листьев из совокупности в 80 листьев по каждому изученному сорту в целях выявления минимального объема выборки для получения достоверных результатов.

Результаты измерений показали, что наименьшую дисперсию имеют значения переводных коэффициентов в модели, приближающей листовую пластину эллипсом. Средние значения переводных коэффициентов с погрешностями измерений приведены в табл. 1.

Максимальная ошибка, допускаемая при пересчете площади листа из площади эллипса, составляет менее 2,5 %, в то время как максимальная ошибка, даваемая другими моделями, составляет величину ≤ 6 % (окружность по длине листа и окружность из периметра).

Мы привели в табл. 1 также пример переводного коэффициента для составной модели – среднего значения площади круга и ромба. Этот коэффициент примечателен тем, что дает близкие к реальному значения площади листовой пластинки; значения K_{QC} близки к единице. Однако погрешность в такой модели велика (большой разброс значений коэффициента перевода).

Суммируя результаты, мы рекомендуем, при проведении измерений площади листовой поверхности кустов земляники, с высокой точностью

Таблица 1

Значения переводных коэффициентов для трех сортов земляники

Коэффициент перевода \ Модель	Зенга–Зенгана	Кама	Марышка
Ромб, K_Q	$1,387 \pm 0,028$	$1,401 \pm 0,034$	$1,332 \pm 0,028$
Круг, K_C	$0,795 \pm 0,027$	$0,776 \pm 0,045$	$0,717 \pm 0,030$
Эллипс, K_E	$0,883 \pm 0,018$	$0,892 \pm 0,022$	$0,848 \pm 0,018$
Окружность, K_P	$1,713 \pm 0,056$	$1,745 \pm 0,068$	$1,631 \pm 0,031$
Ромб + Круг, K_{QC}	$1,010 \pm 0,028$	$0,997 \pm 0,044$	$0,931 \pm 0,031$

пользоваться моделью эллипса, описывающей форму листа. В этой модели площадь листьев находится по формуле

$$S = \pi \cdot \ell \cdot d / 4, \quad (2)$$

где ℓ – длина листовая пластинки по центральной жилке; d – ширина в наиболее широкой части листа, перпендикулярная длине. Измерения можно проводить непосредственно в поле с помощью линейки.

Оценка площади листовой поверхности куста находится суммированием длины и ширины всех листьев куста и подстановкой полученных значений в формулу (2). Найденное значение площади умножается на переводной коэффициент для данного сорта (четвертая строка таблицы) и получается реальная площадь поверхности листьев куста.

Как видно из табл. 1, разница значений переводных коэффициентов между сортами состоит в изменении второго знака после запятой, причем наименьшая разница наблюдается также в модели эллипса. Мы полагаем, что с погрешностью не более 5 % можно принять среднее по сортам значение переводного коэффициента в модели эллипса для оценки площади листьев любых сортов земляники. В дальнейшем мы предполагаем, издать справочник по переводным коэффициентам большинства сортов ягодных культур для моделей, проявляющих наименьший разброс значений вблизи среднего.

Аналитические зависимости между площадью листьев и их линейными индексами

Второй подход был развит нами в целях построения калибровочных кривых для нахождения площади листьев, на основе полученной аналитической зависимости с наибольшим коэффициентом корреляции.

Нами проведены измерения площади, периметра, длины и ширины листовых пластин сортов земляники, описанных в первой части с погрешностью, не превышающей 2 %. В эту погрешность входит погрешность измерения длин с помощью курвиметра (1 %), погрешность при сканировании изображений (0,5...0,7 %) и погрешность оценки площади и периметра (0,3 %). Анализ погрешностей при измерении параметров геометрических фигур показал, что наибольшую погрешность программа измерения периметра и площади обнаруживает при оконтуривании окружностей. Причем погрешность возрастает при уменьшении радиуса. Результат вполне понятен, так как программа основана на подсчете пикселей, имеющих собственные размеры, и наибольшая погрешность возникает при подсчете их количества на границе линий с малой кривизной. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

В данной табл. приведены 3 из 9 выборок параметров листьев трех сортов земляники, по которым был проведен корреляционный анализ между площадью, длиной, шириной и суммой длины и ширины листовых пластинок. Наибольший коэффициент корреляции 0,983 обнаруживается между площадью и суммой длины и ширины листовой пластинки. Мы построили эмпирические зависимости этих величин в функции $LD(S)$, где через LD обозначена сумма ($L + D$) длины и ширины. Нелинейным методом наименьших квадратов были аппроксимированы эмпирические зависимости и получены аналитические зависимости для оценки площади. Результаты приведены на рис. 1 – 3.

Таблица 2

Результаты замеров площади, длины и ширины листьев земляники

№ п/п	Сорт Зенга–Зенгана			Сорт Кама			Сорт Марышка		
	S _{REAL}	Длина	Ширина	S _{REAL}	Длина	Ширина	S _{REAL}	Длина	Ширина
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	27,856	6,8	5,7	18,744	5,9	5,1	15,35	4,9	4,5
2	15,733	4,9	4,5	26,054	6,3	5,9	14,377	5,2	4,4
3	25,141	6,9	5,6	26,963	6,2	5,8	17,736	5,3	4,9
4	25,191	6,1	5,6	10,263	4,2	3,7	12,351	4,9	3,9
5	30,231	6,9	6,1	16,569	5,2	4,6	10,415	4,5	3,7
6	15,728	5,2	4,7	14,843	4,8	4,2	17,697	6,3	4,5
7	17,293	5,3	4,4	16,569	5,7	4,2	10,38	4,5	3,6
8	21,177	6,3	5,4	23,859	5,4	6,1	25,334	6,8	5,4
9	9,468	3,9	3,5	18,129	5,4	4,6	22,988	6,5	5,2
10	9,377	3,9	3,6	8,718	4,1	3,3	38,651	8,4	7
11	10,392	3,8	3,7	12,489	5,2	3,9	21,572	6,2	5,3
12	8,541	3,9	3,2	8,711	3,7	3,4	26,5	6,7	5,9
13	13,662	4,4	4,2	26,488	6,6	5,6	36,347	7,8	6,7
14	14,911	4,9	4,5	18,559	5,3	4,8	10,513	4,2	3,7
15	9,056	3,9	3,3	16,875	5,5	4,5	19,386	5,9	5,2
16	22,143	5,9	5,3	20,621	5,7	5,1	36,111	7,4	6,6
17	19,665	5,4	5,2	9,249	3,8	3,4	27,846	6,7	5,9
18	18,074	5,2	5,1	27,101	7,1	5,5	10,115	4,4	3,6
19	9,725	3,9	3,7	15,153	4,7	4,2	–	–	–
20	9,538	3,9	3,6	15,603	4,8	4,4	–	–	–
21	10,471	4,2	3,7	22,389	6,8	4,9	–	–	–

Все измерения даны в сантиметрах.

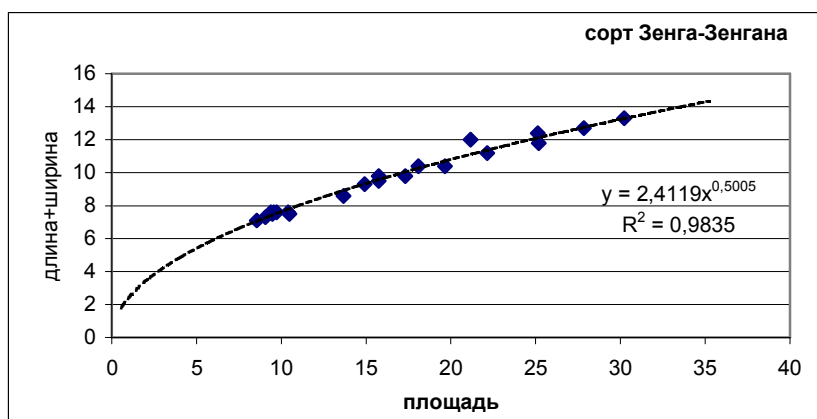


Рис. 1 Зависимость длины и ширины листовых пластин сорта Зенга–Зенгана от площади (пунктиром показана кривая, полученная в качестве наилучшего приближения к эмпирическим точкам методом МНК)

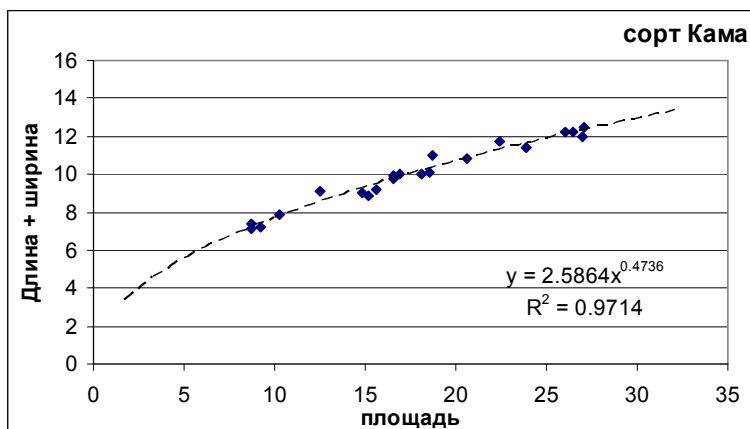


Рис. 2 Зависимость длины и ширины листовых пластин сорта Кама от площади (пунктиром показана кривая наилучшего приближения к эмпирическим точкам, полученная нелинейным МНК)

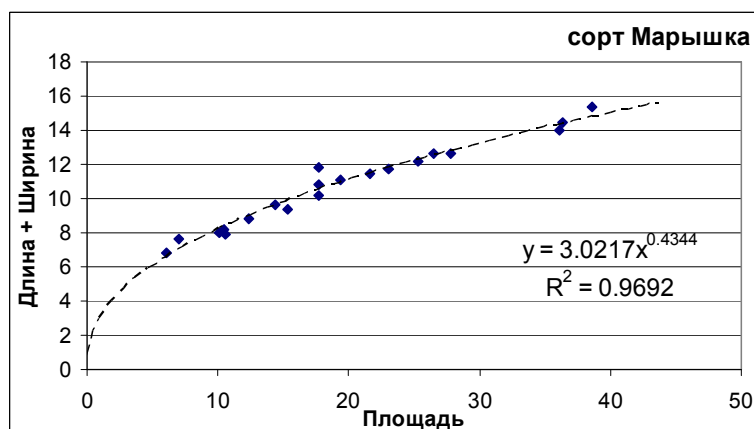


Рис. 3 Зависимость длины и ширины листовых пластин сорта Марышка от площади (пунктиром показана кривая наилучшего приближения к эмпирическим точкам, полученная нелинейным МНК)

В табл. 3 приведены результаты найденных зависимостей для трех сортов земляники.

Графики, приведенные на рис. 1 – 3 можно рассматривать как калибровочные кривые для нахождения площади листа по измеренным длине и ширине. Значение суммы длины и ширины пластинки откладывается по оси ординат и проводится горизонтальная линия до пересечения с кривой на графике. Из точки пересечения опускается перпендикуляр на ось абсцисс и находится значение площади.

Анализ остатков, полученных вычитанием найденных аналитических зависимостей из выборки площадей, показывает, что их распределение является нормальным со средним, близким к нулю, и малой дисперсией.

Таким образом, точность найденных аналитических зависимостей позволяет определять площадь листовых пластин с погрешностью 2...3,5 %, что для ягодоводческой практики является чрезвычайно низкой.

Зависимости площади от длины и ширины листьев земляники

Функциональная зависимость	Зенга–Зенгана	Кама	Марышка
$S(L+D)$	$S = 0,1745(L + D)^{1,995}$	$S = 0,1543(L + D)^{2,0513}$	$S = 0,0926(L + D)^{2,231}$

Нами предложены два способа проведения оценки площади кустов ягодных культур, с точностью, повышенной благодаря использованию компьютерных технологий. Оба данных способа пригодны для проведения измерения площади как в полевых, так и в лабораторных условиях с высокой достоверностью полученных результатов.

Список литературы

1 Потапов, В.А. Методика определения общей площади листьев плодовых и ягодных растений / В.А. Потапов, Л.В. Бобрович, Н.А. Полянский, Н.В. Андреева // Сборник докладов Международной научно-методической конференции. – 25-26 марта 1998.

2 Овсянников, А.С. Изучение зависимости между морфо-физиологическими признаками и урожайностью земляники в агроценозе / А.С. Овсянников, А.Н. Андреева. – Мичуринск, 1978. – Вып. 27.

3 Филонов, В.Б. Метод определения площади листа земляники с помощью специальной шкалы / В.Б. Филонов // В кн. «Научная конференция молодых ученых садоводов по проблеме «Интенсификация плодового и виноградарства». – 2-я Алма-Ата, 1974. – С. 91 – 93.

4 Аникьев, А.А. Фрактальная размерность листовой пластинки в качестве сортовой селекции земляники / А.А. Аникьев, Н.И. Федоряка, С.А. Пчелинцев // Труды международной юбилейной научно-практической конференции, посвященной 70-летию образования Мичуринского государственного аграрного университета. – Мичуринск, 2001. – Т. 3. – С. 194 – 196.

Standard Curves for Finding the Square of Leaf Surface of Strawberry Bushes

A.A. Anikyeu, E.N. Anikyeva

Michurinsk State Agricultural University

Key words and phrases: analytical dependences; square of leaf surface; strawberry kinds.

Abstract: Two ways of evaluating the square of berry bushes with the improved accuracy due to the use of computer technologies are proposed. These two ways can be used both in the field and laboratory conditions with high reliability of the obtained results.

© А.А. Аникьев, Э.Н. Аникьева, 2006