

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ И КОМПОНЕНТЫ ПРОДУКТИВНОСТИ ЗЕМЛЯНИКИ СОРТА ЗЕНГА–ЗЕНГАНА

Э.Н. Аникьева, Н.И. Федоряка, А.А. Аникьев

ФГОУ ВПО «Мичуринский государственный аграрный университет», г. Мичуринск

Рецензент А.Н. Квочкин

Ключевые слова и фразы: квазипериод; кластер; продуктивность; урожайность; фотосинтез; хлорофилл.

Аннотация: Проведены измерения компонент продуктивности сортов земляники совместно с морфометрическими индексами листовой пластинки в целях установления корреляции между ними, а также выделения групп особей растений внутри сорта, проявляющих значимую изменчивость морфобиологических признаков, сопровождаемую возможной изменчивостью, и компонент продуктивности. Установлена связь между скоростью нарастания концентрации хлорофилла в листьях растений и урожайностью.

Сорт Зенга–Зенгана следует отнести к средне-поздним сортам созревания ягод. Как было показано в работе С.В. Пустоваловой [1], для таких сортов внесение удобрений приводит к увеличению качественных показателей в ущерб количественным. В нашем случае данный агротехнический фон позволил максимально проявить изменчивость морфометрических признаков и компонент продуктивности, что существенно упрощает разделение растений на группы и более выпукло обнажает имеющиеся взаимосвязи между индексами.

В качестве первичных морфометрических индексов рассматриваем длину центральной жилки листа, максимальную ширину листовой пластинки, площадь листа и длину контура листа без черешка. В качестве компонент урожайности рассмотрены число цветоносов на растении, число цветков на растении, число ягод на растении, средняя масса ягод и урожай с куста. Все растения сорта в наших экспериментах находились в одинаковых условиях. В качестве агротехнических воздействий использовалось внесение удобрений.

Аникьева Э.Н. – старший преподаватель кафедры «Информатика» МичГАУ; Федоряка Н.И. – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Информатика» МичГАУ; Аникьев А.А. – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информатика» МичГАУ, г. Мичуринск.

Задачей работы было выявление связи между морфометрическими индексами листовых пластин и компонентами урожайности растений внутри сорта (внутривидовая изменчивость).

Прецизионное измерение длины листа, ширины, площади и периметра позволило выявить внутреннюю структуру зависимости периметра от площади, что проявилось на графике соответствующей зависимости как периодические колебания длины контура как функции площади вокруг общей линейной тенденции возрастания периметра с увеличением площади. График указанной зависимости приведен на рис. 1. Обнаруженный эффект указывает на то, что в изученной выборке участвуют несколько групп растений с индивидуальным поведением формы листовых пластин. Плоские (горизонтальные) участки графика означают, что имеются группы растений, у которых при одинаковой длине контура центральной листочка разные площади (размеры). Данную закономерность легко объяснить. У растений с листочками больших размеров изрезанность краев ниже (зубцы крупнее и меньше количество зубцов на единицу длины контура), чем у растений с листьями небольших размеров. Анализ компонент продуктивности показал, что в такой группе растений продуктивность увеличивается с увеличением площади листьев и укрупнением зубцов (уменьшением количества зубцов на единицу длины контура) [4].

Период колебаний периметра от площади является параметром, характеризующим границы отдельных групп. Вычисление периода было проведено следующим образом. На первом этапе был найден общий закон изменения периметра при изменении площади листа путем перехода к нелинейной системе координат преобразованием $X \rightarrow \lg x$, $Y \rightarrow \lg y$. Полученный линейный закон позволил найти явный вид зависимости $P(S)$, показанный на рис. 1 сплошной линией.

На втором этапе переходим к новой системе координат, полученной поворотом старой системы на некоторый угол и сдвигом ее по оси ординат, до совмещения оси абсцисс с найденной ранее линейной зависимостью. Угол поворота нам известен из наклона предварительно полученной

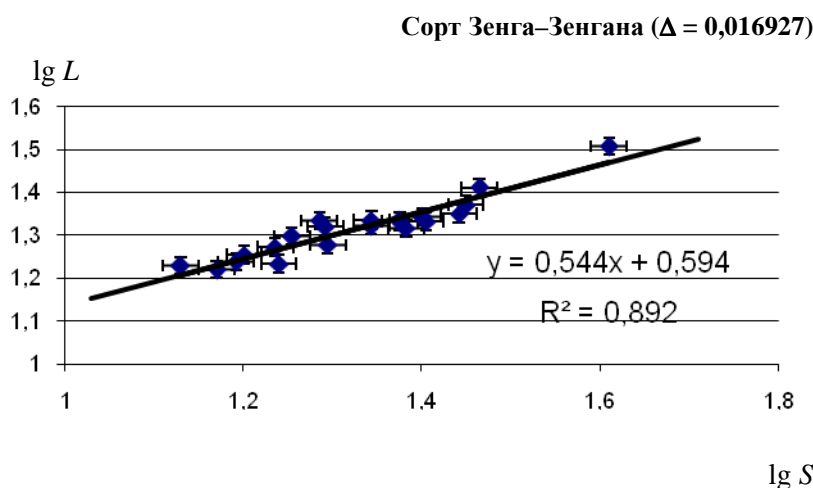


Рис. 1. Зависимость периметра от площади выборки листьев сорта Зенга–Зенгана.
Использованы двойные логарифмические шкалы по осям данной зависимости.

линейной зависимости. В новой системе координат эмпирические точки проявляют периодическую зависимость и могут быть аппроксимированы любой конечной периодической функцией $\sin x$ или $\cos x$.

Как видно из рис. 1, эмпирические данные обнаруживают хорошо выраженную квазипериодическую структуру – колебания вокруг средней линии $y = kx + b$ с некоторым периодом T_k . Определение параметров периодичности изменения периметра от площади проводилось путем перехода к новой системе координат, полученной поворотом старой системы на некоторый угол $\varphi = \arctg k$ и сдвигом начала координат на отрезок b , отсекаемый на оси ординат прямой линией.

После перехода к новой системе координат

$$\begin{cases} x' = (y - b) \sin \varphi + x \cos \varphi; \\ y' = (y - b) \cos \varphi - x \sin \varphi, \end{cases} \quad (1)$$

где $\varphi = \arctg(D/2)$, $b = D \lg K_S$. Получаем уравнение квазипериодических колебаний периметра в зависимости от площади в форме

$$y' = A \sin(Cx' + \varphi_0). \quad (2)$$

Здесь параметры A , C и начальная фаза φ_0 получаются привязкой модельной кривой к эмпирическим данным в точках максимумов функции $y'(x')$ и $y'(0)$. Переход к старым переменным позволяет записать явные выражения для периода колебаний, исходя из явного вида зависимости $P(S)$:

$$\lg P = \frac{D}{2} \lg S + \frac{a}{2} \sqrt{4 + D^2} \sin \left(c \frac{K_S D + 1}{\sqrt{4 + D^2}} \lg S \right) + \lg K_S. \quad (3)$$

Здесь величина квазипериода

$$T_k = \frac{2\pi\sqrt{4 + D^2}}{c(K_S D + 1)} \quad (4)$$

характеризует межгрупповую изменчивость сорта, причем границы между группами соответствуют резкому изменению периметра при малом изменении площади. Схематически эту зависимость можно изобразить в виде лестницы, в которой (рис. 2), грубо говоря, ширина ступеньки численно равна квазипериоду T_k , а высота ступеньки – скачкообразному изменению периметра.

Мы намеренно употребили термин «квазипериод», чтобы подчеркнуть отличие этого параметра от периода, определяемого обычно как промежутки повторяемости определенной зависимости по отношению к приведенной оси. Квазипериод получен проекцией точек обычного периода на ось площадей S , повернутую на угол $\varphi = \arctg (D/2)$, по отношению к основной оси, задаваемой линией $y = kx + b$.

На рис. 2 пунктиром показаны проекции точек периода на ось площадей. Расстояние между пунктирными линиями и есть величина квазипериода. Вертикальный участок зависимости $P(S)$ обнаруживает границы между

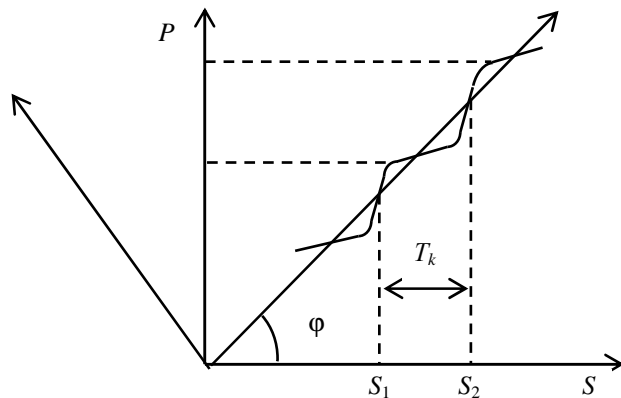


Рис. 2. Схематическое изображение периодического скачкообразного изменения периметра при малом изменении площади

группами растений, листья у которых при почти одинаковой площади, имеют резко отличающуюся изрезанность краев (большее количество зубцов на единицу длины контура и более мелкие зубцы).

На третьем этапе нами была получена теоретическая кривая, наилучшим образом описывающая эмпирические данные по соотношению (3) с известными параметрами K_S и D и граничных условий. Константы A и C были оценены из положения максимумов эмпирической кривой в двух точках. На рис. 3 представлены результаты расчетов периодической структуры при значениях $A = 0,024$ и $C = 12,27$.

После привязки модели (3) к реальным экспериментальным данным, показанным на рис. 1, мы получили наилучшее приближение к эксперименту, используя только две эмпирические точки: в максимуме и минимуме периодической зависимости. В первом приближении теоретическая

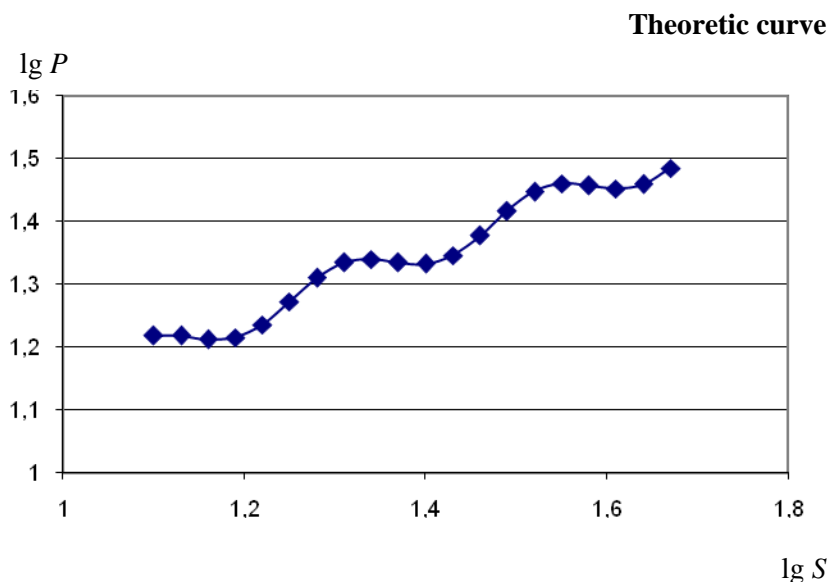


Рис. 3. Результаты расчета теоретической кривой зависимости $P(S)$ по соотношению (3)

кривая была рассчитана нами по соотношению (3), полученному из (2) подстановкой явной зависимости новых координат через старые и полученного на первом этапе линейного закона для зависимой переменной в правой части (2). На рис. 4 представлены результаты приближения эмпирической зависимости теоретической кривой по соотношению (3) с квазипериодом (4).

Как видно из рис. 4, периодическая зависимость хорошо описывает поведение экспериментальных данных во всей области их изменений. На основе полученных результатов по квазипериоду, мы разбили все изученные растения на три группы по интервалам площади, соответствующим горизонтальным участкам зависимости $P(S)$. Границы интервалов отвечают критическим областям, в которых происходит скачок периметра. Они же соответствуют границам выделенных по этому признаку групп.

S_1	S_2	14,1254	17,7828
S_3	S_4	22,3872	28,1838
S_5	S_6	38,0189	44,6684

Предположение о разделении растений данного сорта на группы по указанному признаку было проверено нами на основе кластерного анализа компонент урожайности данной выборки и морфометрических индексов. Факторами урожайности были выбраны: урожай с куста, количество цветоносов на куст, средняя масса ягоды, число цветков на растении. Факторами морфометрических измерений были: периметр, площадь, длина центральной жилки, индекс отношения периметра к корню квадратному из площади. В табл. 1 представлены наблюдения и факторы анализа растений земляники сорта Зенга–Зенгана.

На уровне влияния 50 % выборка разбивается на три кластера, в которых представлены группы растений с низкой урожайностью, средней и

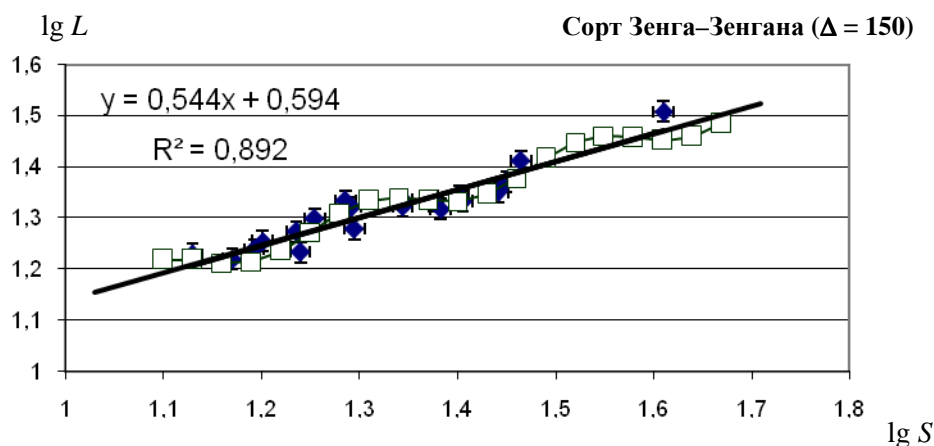


Рис. 4. Эмпирическая зависимость длины контура

от площади листовых пластин земляники сорта Зенга–Зенгана (ромбы).

Сплошной линией показана кривая наилучшего приближения к эксперименту линейным законом методом МНК. Пустыми квадратами – приближение эмпирических точек периодическим законом (3)

Таблица 1

**Индексы листьев и компоненты продуктивности земляники сорта
Зенга–Зенгана**

№	Периметр, см	Площадь, см ²	Коэффициент формы, <i>k</i>	Урожай с куста, г	Количество цветоносов, шт.
1	16,943	13,484	4,614	431	11
2	20,764	24,144	4,2258	523,5	14
3	17,323	15,563	4,3911	494,6	13
4	21,519	25,419	4,2682	529,8	14
5	21,551	23,727	4,4243	517,7	13
6	22,415	27,666	4,2615	564,2	15
7	25,75	29,165	4,7681	484,5	12
8	18,744	17,213	4,5179	502,5	13
9	22,039	25,204	4,3899	572,3	15
10	21,589	19,310	4,9129	423,5	11
11	19,892	17,969	4,6926	521,4	14
12	18,992	19,722	4,2766	459,3	11
13	21,655	22,072	4,6094	481,8	12
14	20,936	19,592	4,7299	437,4	11
15	16,596	14,806	4,3131	477,5	12
16	17,992	15,888	4,5138	489,1	12
17	21,002	22,069	4,4706	453,4	11
18	17,131	17,375	4,1098	495,8	13
19	23,515	28,166	4,4308	526,6	14
20	32,1632	40,756	5,038	422	11

высокой урожайностью. На рис. 5 представлена диаграмма дерева для двадцати наблюдений из табл. 1. Разбивка на кластеры произведена по евклидовым расстояниям факторов между растениями.

На уровне сходства 25 % растения в выборке разбиваются на 4 кластера, как по морфометрическим признакам листа, так и по компонентам продуктивности. Сравнение внутрисортных групп было проведено по комплексу компонент продуктивности: числу цветоносов на растении, числу ягод на растении, средней массе ягод, урожаю с куста. По всем компонентам продуктивности были установлены статистически достоверные различия между тремя из четырех кластеров. В табл. 2 представлены результаты средних по кластерам значений компонент продуктивности растений изученной выборки. Увеличение объема выборки до 40 или 80 шт. не изменяет полученного результата качественно, за исключением варьирования средних значений.

Достоверность различий средних значений проверялась сравнением дисперсий и математических ожиданий, по критерию лямбда и ранговому критерию различий.

Приведем в качестве иллюстрации порядок расчета достоверности различий по урожайности с куста растений из 2 и 4 кластеров с помощью критерия Смирнова λ^2 .

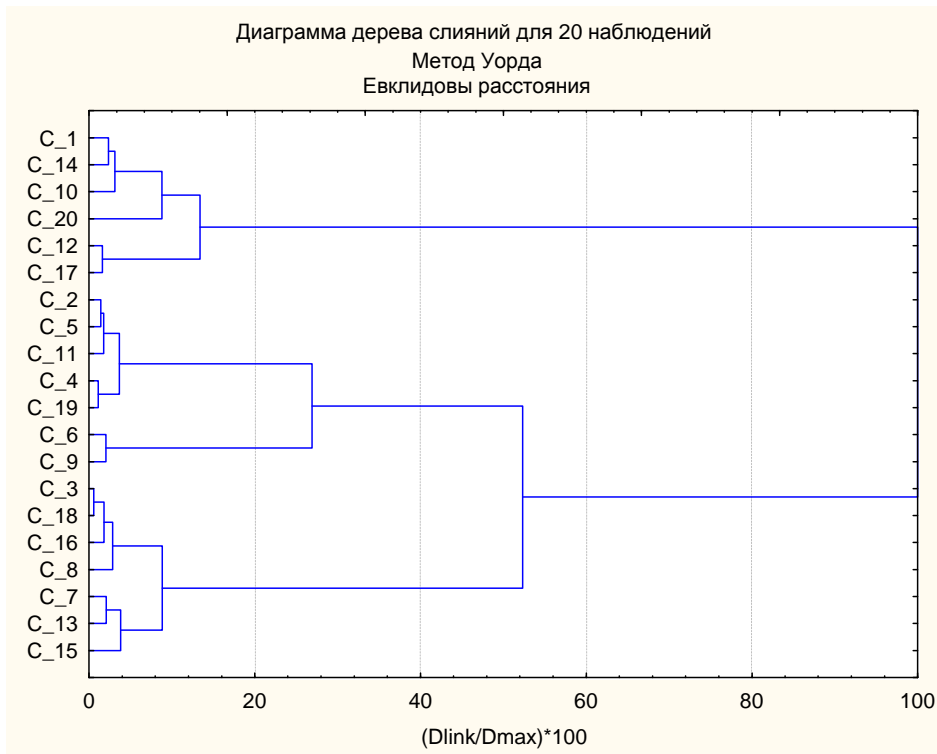


Рис. 5. Результат кластерного анализа признаков сорта Зенга–Зенгана.
 C_1–C_20 – порядковые номера растений в выборке. Расстояние слияния – это уровень сходства, на котором растения объединяются в кластер. Выражено в единицах парного евклидова расстояния

Таблица 2

**Средние по кластерам значения компонент продуктивности
и достоверность различия кластеров растений сорта Зенга–Зенгана**

Номер кластера	Число растений	Средние значения	Тест на достоверность различия
Урожай с куста, г			
1	6	437,88	*
4	7	489,40	*
2	5	519,10	*
3	2	568,25	*
Количество цветоносов на растении, шт.			
1	6	11,00	*
4	7	12,43	*
2	5	13,80	*
3	2	15	*
Средняя масса ягоды, г			
1	6	6,73	*
2	5	7,24	*
4	7	7,34	*
3	2	7,82	*

Таблица 3

**Максимальная разность накопленных частот
по компоненте урожайности**

Урожайности, X, Y	Частоты		Сумма частот		Удельная сумма частот		Разность
	X	Y	X	Y	X	Y	
477,5	1	0	1	0	0,142857	0	0,142857
481,8	1	0	2	0	0,285714	0	0,285714
484,5	1	0	3	0	0,428571	0	0,428571
489,1	1	0	4	0	0,571429	0	0,571429
494,6	1	0	5	0	0,714286	0	0,714286
495,8	1	0	6	0	0,857143	0	0,857143
502,5	1	0	7	0	1	0	1
517,7	0	1	7	1	1	0,2	0,8
521,4	0	1	7	2	1	0,4	0,6
523,5	0	1	7	3	1	0,6	0,4
526,6	0	1	7	4	1	0,8	0,2
529,8	0	1	7	5	1	1	0

Критерий Смирнова вычисляется по соотношению

$$\lambda^2 = \delta_{\max}^2 \frac{N_X N_Y}{N_X + N_Y}, \quad (5)$$

где δ_{\max}^2 – максимальная из попарных разностей приведенных накопленных частот, рассчитанная в последнем столбце табл. 3; N_X, N_Y – объемы сравниваемых рядов в кластерах 4 и 2, соответственно. В нашем случае эти величины равны соответственно 1; 7,5. Подставляя в формулу (5) полученные значения, находим

$$\lambda^2 = 2,916.$$

На 5%-ном уровне значимости критерий $\lambda^2 = 1,84$, на 1%-ном уровне значимости – 2,65. Вычисленное значение больше каждого из приведенных, следовательно, можно сделать вывод о достоверном различии кластеров 2 и 4 по признаку «урожайность с куста».

Аналогично были проведены расчеты достоверности различий по остальным критериям. Критерий разности дисперсий и математических ожиданий не показал достоверных различий между кластерами 2 и 4 по признакам «урожай с растения» и «средняя масса ягод».

По результатам анализа можно заключить, что значимым признаком, связанным с урожайностью растений, может служить коэффициент формы листа, определяемый как отношение периметра к корню квадратному из площади. Разбиение выборки на группы показало значимые различия и по средним значениям коэффициента формы в кластерах, а также интервалы площадей листа, в которых следует ожидать наивысшей урожайности в группе внутри сорта. Однако сами площади должны быть связаны с периметром так, что лучшую урожайность имеют растения, у которых лист име-

ет при одинаковых примерно площадях, меньший периметр, другими словами наименьшее количество зубцов на единицу длины. В табл. 4 приведены коэффициенты формы и интервалы площадей по номерам кластеров.

В группы с высокой урожайностью входят растения, у которых листья имеют коэффициент формы в пределах 4,3...4,46, предпочтительнее левая граница интервала.

Наряду с факторами внутривидовой изменчивости, были изучены условия влияния фотосинтетической деятельности листовой поверхности растений на продуктивность сорта. Например, исследования Л.Г. Поликарповой [2] на сеянцах земляники в количестве 2000 шт. проводились по признакам: количество цветоносов, количество цветков, количество ягод на растении, размер ягод, количество листьев, средний вес ягод. Полученные данные заставляют предположить о существовании внутренней согласованности между некоторыми генетическими механизмами, и подтвердить наличие характерных связей компонентов продуктивности через влияние на них фотосинтетической деятельности листа. Однако простой механический рост площади листовой поверхности прямо не оказывает влияния на урожайность земляники, и нужно искать ответ в качественных показателях продуктивности фотосинтеза – в его динамике и эффективности процесса.

Целью данной части исследований явилось нахождение качественных показателей фотосинтетической деятельности растений земляники, непосредственно связанных с урожайностью и определение особенностей фотосинтеза на основе спектров флуоресценции и параметров поляризованного излучения листовых пластин сорта Зенга–Зенгана.

Методика исследований. Измерения спектров флуоресценции были проведены на зеленых и желтых листьях земляники садовой сорта Зенга–Зенгана. Спектры возбуждались аргоновым лазером на длине волны $\lambda = 488,0$ нм и регистрировались на двойном монохроматоре U-1000 производства фирмы Horiba Jobin Yvon. Система сбора отраженного и рассеянного излучения и настройки анализируемого объекта оснащена микроскопом с максимальным увеличением $\times 200$.

Возбуждающий луч фокусировался в пятно диаметром $\sim 40...50$ мкм, а разрешение $\approx 0,7$ мкм позволяло локально измерять спектры флуоресценции от областей листа различной окраски и структуры. На рис. 6 представлены спектры флуоресценции зеленого листа земляники.

Таблица 4

Средние значения признаков, выделяющих группы растений

Группа	Признак	
	K_S	Интервал площади
1	4,665	9 – 13, 19 – 22
2	4,400	23 – 25, 17 – 19, 28 – 29
3	4,458	14 – 17, 22 – 23
4	4,325	25 – 27

Спектр Зенга–Зенгана

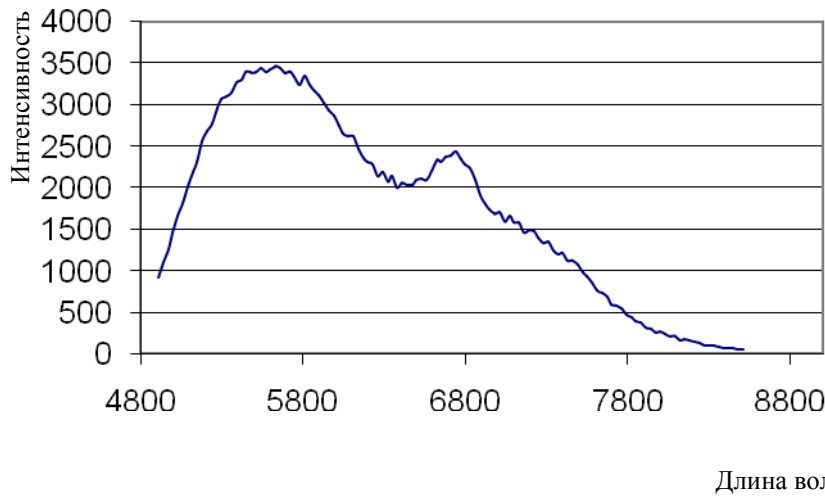


Рис. 6. Спектр флуоресценции листовой поверхности земляники сорта Зенга–Зенгана.
Полоса в области 674,0 нм соответствует свечению хлорофилла

Максимум полосы излучения хлорофилла связан с его концентрацией в агрегированной форме. Именно по концентрации агрегированной формы можно судить о степени продуктивности фотосинтеза – чем меньше ее концентрация, тем больше хлорофилла в активной форме участвовало в процессе фотосинтеза. Была проведена регистрация спектров флуоресценции на листьях земляники в течение всего периода вегетации растений. По динамике накопления хлорофилла, измеренной из интенсивности пика в области 674 нм, для сорта Зенга–Зенгана можно выделить три периода. Первый период от конца апреля до 25–30 мая (естественно, эти сроки варьируют по годам) характерен максимальной скоростью нарастания хлорофилла в весенних листьях растений и окончание срока близко к фенодате начала цветения. Второй период от 30 мая до 29 июня – 4 июля характерен меньшей скоростью нарастания концентрации хлорофилла, а конец периода близок к фенодате начала созревания. Третий период – с 4 июля по 1–5 сентября характерен практически неизменным содержанием этого пигмента, с плавным понижением к концу периода вегетации. Надо отметить, что и в первом и во втором периодах имеются участки, в которых концентрация хлорофилла не меняется. Эти участки соответствуют периодам бурного нарастания площади листовой поверхности растений. Сопоставление периодов нарастания хлорофилла с урожайностью за период 1997–2003 годы показывает, что именно второй период коррелирует с реальной урожайностью земляники за данный год.

Таким образом, установлена связь между признаком «динамика накопления хлорофилла» в листьях земляники и урожайностью, которая позволяет по спектрам флуоресценции листьев, зарегистрированных в определенный период начала срока вегетации, прогнозировать потенциальную и реальную урожайности земляники.

Список литературы

1. Пустовалова, С.В. Биологические особенности морфогенеза различных сортов земляники : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / С.В. Пустовалова. – М., 2001.
2. Поликарпова, Л.И. Наследование количественных признаков определяющих урожайность : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1974.
3. Овсянников, А.С. Изучение зависимости между морфофизиологическими признаками и урожайностью земляники в агроценозе / А.С. Овсянников, А.Н. Андреева. – Мичуринск, 1978. Вып. 27.
4. Аникьев, А.А. Фрактальная размерность листовой пластинки в качестве сортовой селекции земляники / А.А. Аникьев, Н.И. Федоряка, С.А. Пчелинцев // Тр. междунар. юбилейной науч.-практ. конф., посвященной 70-летию образования Мич. гос. аграр. ун-та. Т. 3. – Мичуринск, 2001. – С. 194–196.

Morphometric Characteristics and Components of Productive Capacity of Strawberry “Zeng–Zengan” Variety

E.N. Anikieva, N.I. Phedoryaka, A.A. Anikiev

Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk

Key words and phrases: chlorophyll; photosynthesis; productivity; productive capacity; quasi-period.

Abstract: Measuring of component productivity of strawberry varieties with morphometric indexes of the leaf blade to define the correlation between them, and pick out groups of plant species inside the variety, showing significant variability of morpho-biological characteristics, accompanied by possible variability as well as the component of productivity have been made. The connection between the velocity of accumulation of chlorophyll concentration in plant leaves and productive capacity has been determined.

© Э.Н. Аникьева, Н.И. Федоряка, А.А. Аникьев, 2009