НЕДЕСТРУКТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ РАСТЕНИЙ СОИ В СЕЗОННОЙ ДИНАМИКЕ**Харчук Олег Андреевич***Канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник,
Институт генетики, физиологии и защиты растений,
г. Кишинев***Кириллов Александр Филаретович***Канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник,
Институт генетики, физиологии и защиты растений,
г. Кишинев*[DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.3.59.33-36](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.3.59.33-36)**АННОТАЦИЯ**

Недеструктивный метод определения площади (S) отдельных тройчатых листьев или листовой поверхности целых растений сои (ЛП) по линейным размерам центральной пластинки каждого из всех тройчатых листьев применен для измерений на одних и тех же растениях в разные сроки вегетационного периода. Исследования проводили на растениях сои, как в фитоценозах, на полях, так и в сосудах в контролируемых условиях вегетационного комплекса. Измерение ЛП на одних и тех же растениях в разные фазы вегетации позволяет оценить изменение ЛП в сезонной динамике, что в некоторых случаях повышает статистическую значимость различий между изучаемыми вариантами.

ABSTRACT.

A non-destructive method for determining the area (S) of individual trifoliate leaves or the leaf area of whole soybean plants (LA) from the linear dimensions of the central leaflet of each of all trifoliate leaves was used for measurements on the selfsame plants at different stages of their development. Studies were carried out both in the soybean fields and on plants in vessels under controlled conditions of the vegetation complex. The LA measuring on the selfsame plants at different developmental stages during vegetation makes it possible to estimate the change in LA in seasonal dynamics, which, in some cases, increases the statistical significance of the differences between the studied variants.

Ключевые слова: соя, площадь листьев, методы.**Keywords:** Soybean, leaf area, methods.

Площадь листа является мерой его фотосинтетического потенциала [2], может быть определена как для целого растения, так и для растительного ценоза. В последнем случае (ценоз) говорят о листовом пологе, мерой которого является индекс листовой поверхности (ИЛП), отношение площади листьев к площади поверхности почвы, m^2/m^2 . Элементарной единицей при оценке ЛП растения и ценоза является отдельный лист. Площадь простого (однопластинчатого) листа принято измерять методом отпечатков или по его линейным размерам, используя эмпирические формулы [2]. Лист сои является сложным и состоит, как правило, из трех листовых пластинок (листочков), что усложняет определение площади целого тройчатого листа. Для упрощения определений Лещенко и др. (1987) предложили вычислять площадь тройчатого листа сои по длине центральной листовой пластинки, предложив для этого эмпирическую формулу: ими установлена зависимость площади тройчатого листа от длины среднего листочка, что позволяет характеризовать листовую поверхность при уменьшении объема измерений в несколько раз [4, с. 140]. Однако разные листья сои отличаются своей формой и, по отношению длины к ширине среднего листочка, могут варьировать от 1,20 (широкояйцевидная форма с притупленным окончанием) до 2,85 (ланцетовидная форма) [5]. Поэтому нами предложено при вычислении площади листа сои по линейным размерам учитывать форму листовой пластинки (отношение длины к ширине) [1]. Разными авторами на основании вегетационных [6] и полевых [7, 10] исследований предложены формулы

определения площади тройчатого листа сои по длине и ширине центрального листочка тройчатого листа.

В настоящей работе, с целью совершенствования недеструктивного определения ЛП растений сои, включая применение для ценоза, представлены данные измерений ЛП (с учетом формы листьев) на одних и тех же растениях сои в разные сроки вегетационного периода.

Материалы и методы. Объекты исследования – растения районированных в Республике Молдова сортов сои Аура и Амелина. Исследования проводили в 2017 и 2018 гг. на растениях, выращенных в сосудах объемом 10 литров (3 растения/сосуд) в условиях открытого вегетационного комплекса и в полевых условиях. В вегетационных опытах растения выращивали в контролируемых условиях влажности почвы. В поле, на демонстрационном участке Института генетики, физиологии и защиты растений АН Молдовы, плотность фитоценоза сои была 160 тыс. растений на гектар при междурядьях 45 см.

ЛП определяли недеструктивным методом; для учета влияния формы листа на его площадь измеряли не только длину, но и ширину центральной листовой пластинки всех настоящих (тройчатых) листьев [6,7,10]. Измерения ЛП для определения ее максимума проводили в разные сроки вегетационного периода до начала опадения листьев. Полную ЛП (растения) вычисляли как сумму площадей всех листьев больше 5 cm^2 [8]. В вегетационных опытах использовали формулу со степенной поправкой на форму листа $S=(0,128*L+1,328*L*L)*1,42*СТЕПЕНЬ(L/D; -1,157)$, где L и D –длина и

ширина средней листовой пластинки (см) [6], ранее подтвержденную параллельным контролем площади отдельных листьев методом отпечатков [2]. Указанная формула для листа с центральной листовой пластинкой широкояйцевидной формы с заостренным окончанием и отношением длина/ширина (L/D) 1,354 тождественна формуле Лещенко с соавт.: $S=(0,128*L+1,328*L*L)$ [4]. Для определения S тройчатого листа растений в поле использовали также формулы Bakhshandeh et al. (2011): $S, \text{ см}^2=1,923*(L, \text{ см}) *(D, \text{ см})-4,869$ [7], т.е. $S, \text{ см}^2=1,923*(L, \text{ мм}) *(D, \text{ мм})/100-4,869$ и Richter et

al. (2014): $S=2,0185*(L, \text{ см}) *(D, \text{ см})$ [10], т.е. $S=2,0185*(L, \text{ мм}) *(D, \text{ мм})/100$.

Статистический анализ данных. Повторность определений – 3^х-кратная. Провели дисперсионный анализ полученных параметров по наименьшей средней разности (НСР) для разных уровней значимости: 0,05, 0,01 и 0,001 [3].

Измерения площади отдельных тройчатых листьев растений сои.

Величина S зависит не только от длины листовой пластинки, но и от формы листа (отношения длина/ширина), что проиллюстрировано на Рис.1.

Рисунок 1. Тройчатые листья сои сорт Аура с одного и того же растения: слева – лист 3^{го} яруса (нижняя часть растения), справа - лист 15^{го} яруса (верх растения).

Отпечатки двух тройчатых листьев с одного растения сделаны 30 августа 2017 г. (117 дней после сева, ДПС, при севе 5 мая 2017 г.). Величины площадей методом отпечатков приведены в Таблице 1

вместе с расчетными величинами S тройчатых листьев сои по формулам разных авторов,

Таблица 1.

Определение разными методиками площади двух тройчатых листьев растения сои сорт Аура в поле (2017, 117 ДПС).

2017, 117 д.с.):					
лист	S тройчатого листа, см ²				
	по отпечатку	по центральной пластинке сложного листа			
		по длине	по длине и ширине		
	библиографические источники				
	[2]	[4]	[6]	[7]	[10]
н 3	146,1	142,2	130,7	135,2	147,0
н 15	33,0	66,7	32,1	32,5	39,2

Согласно прямому измерению площади (методом отпечатков) общая площадь настоящего (тройчатого) листа третьего от почвы яруса (н3) равна 146,1 см² (при длине центрального листочка 103,0 мм и ширине центрального листочка 70,7 мм), а общая площадь настоящего (тройчатого) листа пятнадцатого от почвы яруса (н15) равна 33,0 см² (при длине центрального листочка 70,4 мм и ширине центрального листочка 27,6 мм).

Приведенные примеры показывают, что формулы расчета S тройчатого листа, учитывающие

форму листа (отношение длина/ширина), более точны для узких листьев.

Измерения полной ЛП растений сои в поле.

В качестве примера в 2017 году взяли растения естественного (неорошаемого) ценоза сои сорт Аура (плотность 160 тыс. растений/га, ширина междурядий 45 см). Растения имели 16 ярусов листьев. Величины ЛП растений сои, полученные по формулам разных авторов, приведены в Таблице 2.

Таблица 2.

Характеристики ЛП растений сои сорт Аура (95 ДПС) в полевом опыте 2017 года при разных формулах расчета.

Показатель	Библиографические источники формул		
	[6]	[7]	[10]
ЛП, дм^2	$20,7 \pm 1,2$	$21,7 \pm 1,5$	$24,4 \pm 1,7$
количество ярусов	16 ± 0		
количество листьев	32 ± 3		
S листа, средняя	$0,65 \pm 0,02$	$0,68 \pm 0,03$	$0,77 \pm 0,03$
S листа, максимальная	$1,32 \pm 0,04$	$1,41 \pm 0,05$	$1,53 \pm 0,05$
S листа, минимальная	$0,18 \pm 0,03$	$0,16 \pm 0,03$	$0,22 \pm 0,03$
опад	$0,7 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,3$
ИЛП	$3,2 \pm 0,2$	$3,4 \pm 0,2$	$3,8 \pm 0,2$

Как следует из данных Таблицы 2, разные листья одних и тех же растений сои очень отличаются по размеру. Независимо от выбора формулы расчета, площадь самых крупных листьев в 7 раз больше площади самых мелких (в учет не брали имевшиеся листья площадью менее 5 см^2), в то время как абсолютные величины средней S тройчатого листа и полной ЛП растений отличаются незначительно, в диапазонах $0,65 \div 0,77 \text{ дм}^2$ и

$20,7 \div 24,4 \text{ дм}^2$. В соответствии с ЛП определен диапазон величин ИЛП (вычисления для плотности ценоза $160 \text{ тыс. растений/га}$), $3,2 \div 3,8$.

Измерения ЛП растений в сосудах.

В таблице 3 приведены результаты измерений ЛП растений сои сорт Амелина в вегетационном опыте 2017 года на незасоленной черноземной почве. Варианты опыта - контроль 70% ПВ и повторная засуха 40% ПВ. ЛП растений определяли после каждого из двух засушливых периодов (в срок 68 и 96 ДПС, соответственно).

Таблица 3.

Влияние недостатка влагообеспеченности на показатели ЛП растений сои сорт Амелина (2017, 68 и 96 ДПС).

Показатель	68 ДПС (10 июля)		96 ДПС (7 августа)	
	варианты влагообеспеченности			
	70% ПВ	40% ПВ	70% ПВ	40% ПВ
ЛП, дм^2	6,91 $\pm$ 0,35	3,77 $\pm$ 0,20	9,70 $\pm$ 0,35	4,70 $\pm$ 0,36
всего ярусов	9 $\pm$ 0	8 $\pm$ 0	12 $\pm$ 0	9 $\pm$ 0
всего листьев	17 $\pm$ 1	10 $\pm$ 1	27 $\pm$ 0	14 $\pm$ 2
S листа, средняя	0,40 $\pm$ 0,03	0,37 $\pm$ 0,01	0,36 $\pm$ 0,01	0,33 $\pm$ 0,02
S максимальная	0,78 $\pm$ 0,02	0,81 $\pm$ 0,06	0,80 $\pm$ 0,10	0,88 $\pm$ 0,06
S минимальная	0,09 $\pm$ 0,01	0,09 $\pm$ 0,03	0,09 $\pm$ 0,02	0,08 $\pm$ 0,02
опад. дм^2	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	1,08 $\pm$ 0,22	0,00 $\pm$ 0,00

Согласно данным Таблицы 3 по сроку 96 ДПС (в сравнении с данными Таблицы 2 для растений в поле) ЛП и S листа растений сои в сосудах много меньше растений в поле. Среднесуточный прирост ЛП растений в сосудах $0,04 \text{ дм}^2$ на фоне засухи 40% ПВ и $0,06 \text{ дм}^2$ в контроле 70% ПВ (где новый среднесуточный прирост $0,10 \text{ дм}^2$ уменьшается опадом старых листьев, 40% от нового прироста). В срок 96 ДПС растения сои сорт Амелина находятся в начале фазы отогенеза R5 (фаза начала семян). Согласно Nanway (1984), сухая масса листьев растений сои стабильна в течение двух недель от начала фазы R5 [9]. Стабильность ЛП в течение двух недель является результатом динамического равновесия между приростом верхних освещенных листьев и опадением нижних, теневых листьев.

Различие между вариантами по величине ЛП после первой засухи (68 ДПС) достоверно для уровня значимости 0,01. Различие между вариантами по величине ЛП после второй засухи (96 ДПС) достоверно для уровня значимости 0,001. Таким образом, недеструктивное определение ЛП на одних и тех же растениях в разные сроки сезона сопровождается повышением достоверности различий между изучаемыми вариантами.

В таблице 4 приведены результаты измерений ЛП растений сои сорт Амелина в вегетационном опыте 2018 года на фоне повышенного содержания солей (бикарбоната натрия) в почве при двух уровнях влагообеспеченности: 70% ПВ и повторная засуха 40% ПВ. ЛП растений определяли до (в срок 63 ДПС) и после второй засухи (в срок 72 ДПС).

Таблица 4.

Показатели ЛП растений сои сорт Амелина в вегетационном опыте 2018 года (повышенное содержание бикарбоната натрия в почве) при достаточной влагообеспеченности и при засухе.

Вариант	Часть растения	ЛП, дм^2		Прирост за 9 дней Δ (ЛП), дм^2
		63 ДПС (16 июля)	72 ДПС (25 июля)	
70% бикарбонат	верх	$2,19 \pm 0,45$	$3,08 \pm 0,49$	$0,89 \pm 0,19$
	низ (куст)	$1,16 \pm 0,35$	$2,12 \pm 0,29$	$0,97 \pm 0,06$
	сумма	$3,34 \pm 0,34$	$5,21 \pm 0,24$	$1,86 \pm 0,25$
40% бикарбонат	верх	$2,10 \pm 0,44$	$2,37 \pm 0,45$	$0,27 \pm 0,03$
	низ (куст)	$1,38 \pm 0,23$	$1,50 \pm 0,20$	$0,13 \pm 0,03$
	сумма	$3,47 \pm 0,32$	$3,87 \pm 0,32$	$0,40 \pm 0,06$

Различие между вариантами по величине ЛП перед второй засухой (63 ДПС) недостоверно: $3,47 \pm 0,32$ и $3,34 \pm 0,34 \text{ дм}^2$. Различие между вариантами по величине ЛП после второй засухи (72 ДПС) достоверно для уровня значимости 0,05: $3,87 \pm 0,32$ и $5,21 \pm 0,24 \text{ дм}^2$.

Учет прироста ЛП за 9 дней изучаемого периода (63→72 ДПС) повышает достоверность различий между вариантами опыта. Различие между вариантами по величине прироста за 9 дней, Δ (ЛП) достоверно для уровня значимости 0,01: $0,40 \pm 0,06$ и $1,86 \pm 0,25 \text{ дм}^2$.

Дополнительные возможности повышения достоверности различий между вариантами представляет анализ ЛП не только интегрально по целому растению, но и по его частям (нижней части растения с боковыми побегами из узлов главного стебля и верхней части главного стебля, без боковых побегов). Различие между вариантами по величине прироста за 9 дней для нижней (с боковыми побегами) части растения достоверно для уровня значимости 0,001: $0,13 \pm 0,03$ и $0,97 \pm 0,06 \text{ дм}^2$.

Таким образом, измерение ЛП на одних и тех же растениях в разные сроки вегетационного периода, что возможно только при неdestructивном методе определения ЛП, позволяет повысить статистическую достоверность различий между изучаемыми вариантами.

Выводы. Неdestructивное измерение ЛП на одних и тех же растениях в разные сроки вегетационного периода, позволяет повысить статистическую достоверность различий между изучаемыми вариантами.

Список литературы:

1. Будак А.Б. и Харчук О.А. Форма листьев как фактор продуктивности фенотипов сои // *Современная физиология растений: от молекул до экосистем*. Материалы докладов Международной конференции (в трех частях). Часть 3. Сыктывкар, 2007, стр. 304-306

2. Гродзинский А.М., Гродзинский Д.М. Краткий справочник по физиологии растений. Киев, «Наукова думка», 1973, 590 стр.

3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 307 с.

4. Леценко А.К., Сичкар В.И., Михайлов В.Г., Марьюшкин В.Ф. Соя (генетика, селекция, семеноводство). Киев, «Наукова думка», 1987. - 256 стр.

5. Корсаков Н., Корнейчук В., Леманн Хр., Пастуха Л. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ рода *Glycine* L. Л.: ВИР, 1981. - 42 с.

6. Харчук О.А.; Кириллов А.Ф.; Будак А.Б.; Козьмик Р.А.; Баштова, С.И.; Кириллова Э.Н. Листовая поверхность растений сои при слабом засолении и недостатке влаги в связи с продуктивностью // Материалы Международной конференции «Физиология растений – теоретическая основа инновационных агро- и фитобиотехнологий», Калининград, (19-25 мая 2014 г.), Ч. II, Калининград: Аксиос, 2014, стр. 462-46

7. Bakhshandeh E., Kamkar B. & Tsialtas J.T. Application of linear models for estimation of leaf area in soybean [*Glycine max* (L.) Merr] // *Photosynthetica*. 2011. 49, P. 405.

8. Chiera J., Thomas J. and Rufty T. Leaf initiation and development in soybean under phosphorus stress // *J Exp Bot*. 2002. 53 (368), P. 473-81.

9. Hanway J. J., Dunphy E. J., Loberg G. L. and Shibles R. M. Dry weights and chemical composition of soybean plant parts throughout the growing season // *Journal of Plant Nutrition*. 1984, 7: 10, 1453 — 1475

10. Richter G.L., Zanon A.J., Streck N.A., Guedes J.V.C., Kraulich B., da Rocha T.S.M., Winck J.E.M.W., Cera J.C. Estimating leaf area of modern soybean cultivars by a non-destructive method // *Bragantia*, Campinas 2014. 73, P. 416-425.