

Օ. Ա. Գեոդակյան

Использование солнечной энергии растениями

Всякий луч солнца, не уловленный зеленым растением, навсегда потерян для человечества.

К. А. Тимирязев.

Прекрасным солнцезакумулятором, который дает не только тепло, но и пищу—органическое вещество—для человека и животных, является растение. Рассматривая вопросы фотосинтеза в растительном мире, К. А. Тимирязев говорил «...это—тот момент, когда неорганическое вещество, углекислота и вода, превращаются в органическое,—здесь лежит источник и начало всех разнородных веществ, из которых складывается весь органический мир. .. хлорофилловое зерно представляет тот прибор, в котором улавливаются солнечные лучи, превращающиеся в запас для дальнейшего использования» [1 стр. 196].

Первые эксперименты по изучению фотосинтеза под действием отдельных частей спектра, как известно, были сделаны более 160 лет назад. С тех пор сделаны многочисленные исследования, которыми установлено значение отдельных частей спектра на процесс фотосинтеза.

Установив значение солнечной энергии в жизни растений и в жизненных процессах вообще, научная мысль в дальнейшем пошла по двум направлениям: в выяснении роли основных спектральных частей солнечной энергии в жизненных процессах растений и в определении степени использования солнечной энергии растительностью.

В настоящей статье мы не рассматриваем вопросы, связанные с фотосинтезом, хотя они органически связаны с вопросом количественного использования энергии солнца растениями. Методика и приемы исследования указанных двух вопросов в настоящее время разные, что позволяет результаты экспериментов привести раздельно.

Великий русский ученый К. А. Тимирязев [1] на основании проведенных экспериментов впервые сообщил цифровые данные о количественном использовании солнечной энергии растениями. Калориметрическими определениями им было установлено, что растения утилизируют около 1% падающей энергии солнца. По количеству разложившейся углекислоты К. А. Тимирязев определил, что растение использует от 2-х до 5% солнечной энергии. Естественно, что в то время Тимирязев не располагал современной аппаратурой, однако тщательно проведенные эксперименты позволили автору установить достаточно точные данные—коэффициенты полезного действия энергии солнца для растений.

В 1919 г. аналогичные опыты были поставлены кафедрой общего земледелия Петровской, ныне Тимирязевской Сельскохозяйственной Академии [5]. С сожалением надо отметить, что в указанных исследованиях данные актинометрических наблюдений были взяты с Павловской обсерватории без приведения их для условий Москвы, кроме этого не была также учтена диффузная радиация, которая наравне с прямой радиацией солнца доступна растению.

В 1935 г. А. А. Кудрявцева [3] исправила величины коэффициентов использования солнечной энергии растениями, полученные кафедрой общего земледелия ТСХА, в то же время сама поставила достаточно обширные опыты по определению коэффициентов использования солнечной энергии для полевых и ряда огородных сельскохозяйственных культур.

На базе агрометеорологической станции Московского Гидрометеорологического Института,¹ начиная с 1935 г. до 1941 г. нами проводились опыты по определению калорийности некоторых сельскохозяйственных культур в различные фазы их развития, а затем и коэффициент использования солнечной энергии растениями. Под техническим коэффициентом использования солнечной энергии растениями, как известно, подразумевается отношение количества калорий в урожае, собранного с определенной площади, к количеству калорий, полученного этой же поверхностью от солнечной радиации за известный отрезок времени, т. е.

$$K = \frac{\text{Калорийность} \times \text{урожай}}{\text{Солнечная энергия}} \cdot 100.$$

Полученные материалы позволили нам исследовать вопросы калорийности и технических коэффициентов использования солнечной энергии растениями в различные фазы их развития. Опыты были проведены над следующими культурами: пшеница, рожь, овес, лен, сахарная свекла, подсолнечник и естественный травостой.

Методика работ. Для анализа нами бралась проба растений по фазам с площади 1 кв. м., в конце вегетации число проб увеличилось в 1,5—2 раза. При полном созревании, кроме надземных частей, убиралась также корневая система растений с пахотного слоя почвы. Корни тщательно отмывались от почвы и после сушки как надземная, так и подземная часть растений (в отдельности) размельчались с помощью мельницы Эксельсера и терки Дрефса, пока все вещество не проходило через сито с отверстиями 0—25 мм.

Для анализа из растений в специальном прессе приготавливали брикетки весом 0,5—0,8 г. и высушивались до постоянного веса.² Указанные брикетки для быстрого воспламенения в калориметре помещались в кол-

¹ При приведении настоящей работы большая работа и помощь была оказана мне коллективом сотрудников агрометеостанции и профессором С. И. Небольсином; подвзвучив случае приношу им мою благодарность.

² При сжигании семян богатых жиром (лен, подсолнечник) брикетки не изготавливались, семена таких культур сжигались непосредственно с предварительным высушиванием при температуре 35° С.

лодичные мешочки. Теплотворная способность растений определялась в водяном калориметре Малера-Крокера. Измерение температуры в калориметре производилось с точностью до 0,001° Ц. Относительная ошибка в определении температуры при ее изменении на 2° не превышала 0,05%. Анализ велся всегда с параллельными.¹ Суммарный приход солнечной энергии учитывался актинографом с регистрирующим гальванографом чувствительностью 10⁻⁹. Приемной частью служил пиранометр системы Янишевского.

В начальные фазы развития, как правило, зерно и стебель пшеницы, овса и ржи имеют сравнительно невысокую калорийность, по мере роста и развития растений калорийность этих частей увеличивается. Колос (метелка) в начале имеет сравнительно высокую калорийность, по мере развития зерна калорийность мякоти уменьшается.

Таблица 1

Калорийность проросшей пшеницы по фазам

Фазы развития	К а л о р и я н о с т ь				Корней
	зерна	колос- мякоти	стебля	всего растения (надз. часть)	
Кущение	—	—	4226	4226	—
Тростка	—	—	4339	4339	—
Колошение	—	4481	4378	4392	—
Цветение	—	4440	4392	4345	—
Молочная спелость	4338	4292	4117	4386	—
Восковая спелость	4117	4155	4165	4413	—
Полное созревание	4457	4068	4181	4414	3975

Определения показали, что калорийность одних и тех же растений достаточно устойчивая величина. Из года в год она меняется незначительно. Так, например, расхождения в определениях по калорийности для пшеницы, ржи и овса за исследуемый период не превышали 3,5%. Калорийность зерна овса примерно на 6% выше, по сравнению с калорийностью зерна пшеницы и ржи.

Интересно отметить, что наши данные по калорийности ржи и овса совершенно совпали с данными Тимирязевской сельскохозяйственной Академии [3, 5] по результатам опытов за 1924 и 1928—31 г. г.

Из поделосиенников нами были испытаны 4 сорта: карлик, Саратовский 169, Саратовский 50 и круглик 141. Навысшую калорийность имел сорт круглик 141. Его калорийность при полном созревании следующая: семена 6013, зеленая масса (стебель, листья) 4140, корень 4378, все растение 4684. Калорийность остальных сортов поделосиенника была меньше—от 100 до 300 калорий.

¹ Методика калориметрических исследований достаточно детально описана в работе М. М. Попова [4].

Увеличение калорийности растения по мере ее роста и развития очевидно и для культуры подсолнечника. От фазы бутонизации до созревания калорийность надземной части подсолнечника увеличивается на 1002 — 1070 калорий, что составляет 26—28%. В таблице 2 приводим эти данные.

Таблица 2

Калорийность подсолнечника в различные фазы развития (надземная часть)

Сорт	Фазы развития			Разность	
	Бутонизация	Цветение	Созревание	Абсолютная	в % ^{0/100}
Саратовский 169	3861	3914	4866	1002	26
Кругляк 141	3828	4119	4898	1070	28

Из испытываемых культур самую высокую калорийность имел лен. Средняя калорийность при его полном созревании следующая: зерно 6298, мякина 4399, стебель 4370, все растение (надз. часть) 4081.

Калорийность сахарной свеклы была такова: корни 4305, надземная масса 3650.

В целях выяснения степени дневной освещенности на величину калорийности растений нами был использован опыт с лесонарковым пастбищем, заложенный Московской областной зоотехнической опытной станцией. В опытах станции была поставлена задача — определить густоту леса для получения максимального урожая естественного травостоя. Опыт проводился в осиново-березовом и березово-дубовом лесу в возрасте около 30—50 лет. Прореживание леса проводилось разными способами: прорезкой крон, вырубкой и корчевкой. Степень освещенности определялась актинометрическими и фотометрическими наблюдениями, фотографированием кронов деревьев и глазомерным определением полноты леса.

Таблица 3

Степень освещенности и калорийности естественного травостоя в осиново-березовом лесу

Схема опыта	Степень освещенности в % ^{0/100}	Калорийность растений		
		Абсолютная величина	Абсолютная прибавка	Прибавка в % ^{0/100}
Осиново-березовый лес				
Контроль (не прореженный). Полнота леса 0,70—0,80	100	4315	—	—
То же + подстилка молодой поросли. Полнота леса 0,55	136	4394	80	1,8
Сплошная рубка без корчевки иней. Полнота леса 0,15	500	4494	179	4,1

Как видно из приведенных данных, с увеличением естественной освещенности в 5 раз, калорийность трав увеличивается на 4,1%.

Аналогичные данные были получены А. А. Кудряцевой с опытами искусственным затенением редиски и шпината. Калорийность редиски при ее затенении в среднем на 1,8% меньше, чем контрольная, а шпината меньше на 7,5%. Повидимому, освещенность сильнее всех сказывается на калорийности растений, т. к. влияние других факторов за исследуемый период как четко обнаружить нам не удалось.

Коэффициенты использования солнечной энергии для озимых культур определены с весны, с момента, когда они вышли в трубку, а затем и в последующих фазах. Для яровых культур эти определения сделаны начиная от всходов.

Исследования показали, что максимальное использование солнечной энергии пшеницами, рожью и овсом бывает, начиная от выхода трубки, до цветения или до репродуктивного периода. В репродуктивный период наблюдается значительное понижение коэффициентов использования солнечной энергии.

М. М. Катунский [6], приводя динамику изменения фотосинтеза растений, находящихся в различных фазах своего развития, приходит к аналогичному выводу, а именно, что максимум интенсивности фотосинтеза бывает в период цветения растений. Данные А. А. Зайцевой [7] также подтверждают, что максимум концентрации хлорофилла в листьях растений наблюдается в период цветения.

Ниже приводим величины (в%) технического коэффициента для озимой пшеницы по данным за 1937 г.

Фазы развития	Технич. коэф.ц.
Трубка—колошение	2,94
Колошение—цветение	1,26
Цветение—молочная спелость	0,28
Молочная спелость—восковая спелость	0,20
Восковая спелость—полное созревание	0,16

К вопросу использования солнечной энергии растениями можно подойти и другим методом: учитывать степень ее использования, объединив последовательные фазы растений. Результаты получаем следующие:

Трубка—колошение—	2,94
Трубка—цветение—	2,33
Трубка—молочн. сп.—	1,38
Трубка—восков. сп.—	1,00
Трубка—полн. созр.—	0,99

Следует отметить, что как озимые, так и яровые хлебные культуры в вопросе использования солнечной энергии по фазам развития дают аналогичную картину, разница только в величине коэффициентов, а последняя, о чем было сказано, зависит от трех основных факторов, а именно: калорийности самого растения, количества испускающей солнечной энергии за период вегетации данного растения и от величины урожая.

Калорийность есть результат химического состава растений и, как увидели выше, в одних и тех же экологических условиях она меняется незначительно. Солнечная энергия для данного места также меняется не в больших пределах. Решающим моментом, определяющим величину технического коэффициента, является урожай, поэтому и высокие коэффициенты получаем именно в те годы, когда урожай был высокий. Так, например, урожай озимой пшеницы в воздушно сухом состоянии в 1937 г. в ц/га составлял: всей надземной массы 105,4, в том числе зерно 41,0 стебли и мякина 64,4. В 1936 г. урожай пшеницы был значительно ниже, что и отразилось на величине технического коэффициента.

Технические коэффициенты использования солнечной энергии озимой пшеницей за 1936 г. были следующие:

Трубка—колошение 0,98	Восков. спел.—полное созрев. 0,12
Колошение—цветение 0,41	Трубка—цветение 0,92
Цветение—молочная спелость 0,21	Трубка—молочная спелость 0,68
Молочная спелость —	Трубка—восковая зрелость 0,57
восковая спелость 0,20	Трубка—полное соз. 0,49

Данные урожая озимой пшеницы за 1936 г. следующие (в ц/га):

Вся надземная масса 54,6—в том числе: зерно—18,9, стебли—мякина 35,7. Как видно из приведенных данных, урожай пшеницы в 1937 г. почти 2 раза больше, чем в 1936 г., а технические коэффициенты около 3-х раз.

Для яровых культур мы имели возможность определить технические коэффициенты использования солнечной энергии в период от всходов до трубки, а также за период их полной вегетации.

Данные за 1935 г. по яровой пшенице следующие:

Всходы—кущение (18/V—10 VI)	0,18
Кущение—трубка (11 VI—20 VI)	0,69
Трубка—колошение (21 VI—3/VII)	1,08
Колошение—молочная спелость (4 VII—29/VII)	0,79
Молочная спелость—восковая спелость (30/VII—18/VIII)	0,51
Восковая спелость—полное созревание (19 VIII—28/VIII)	0,48

Технический коэффициент за весь вегетационный период яровой пшеницы (от всходов до уборки—18.V—28.VIII) равен 0,66.

Данные других лет по яровой пшенице аналогичны данным 1935 г. В отличие от яровой пшеницы, максимальный коэффициент использования солнечной энергии овсом приходится в период цветения 1,60 (1936 г.) и рожью—2,64 (1937 г.). В отношении ржи следует отметить, что ее технические коэффициенты по сравнению с озимой пшеницей примерно на 30% выше.

Технические коэффициенты льна в период от его всходов до полного созревания за исследуемый период колебались от 0,24 до 0,32.

Из испытанных сортов подсолнечника наивысший коэффициент использования солнечной энергии имел сорт круглик—1,13. Коэффициенты других сортов оказались значительно ниже.

Расчеты показывают, что при вышеуказанных хлебных культурах из испускающей солнечной энергии около 41% расходуется на испарение с поверхности почвы и на транспирацию.

Растения за вегетационный период испаряют разное количество воды, если взять среднюю величину, равную около 300 куб. см., на один грамм сухого вещества, то это означает, что растение, при создании одного грамма сухого вещества, тратит около 162 больших калорий только на транспирацию.

Как ни мал относительно коэффициент использования растением солнечной энергии, все же количество энергии, запасаемое в растениях, более чем в 10 раз превосходит количество энергии, доставляемое углем, нефтью и водой. Потребление воды, а следовательно, и как следствие транспирация растениями, безусловно, является важным фактором в жизни растений в деле поступления питательных веществ из почвенного раствора, а также средством самозащиты растений от перегрева и др. Однако, известно также, что в зависимости от экологических, агротехнических и других условий, растение способно уменьшить свою транспирацию. По этому поводу К. А. Тимирязев писал: «В тех размерах, в каких он обыкновенно совершается в природе, он может быть скорее рассматриваем как неизбежное физическое зло, чем как необходимое физиологическое отправление». И далее: «Узнав, как борется с засухой растение, естественно задаться вопросом: может ли и в чем может подражать ему человек? Мне кажется, что может и в очень многом». [2 стр. 129—130].

Направить растение на целесообразное использование энергии солнца, уменьшив их транспирацию—один из путей для повышения технического коэффициента использования солнечной энергии растениями.

На основании сказанного можно сделать следующие выводы:

Калорийность для каждого растения величина достаточно постоянная для определенной фазы развития растения и для данных экологических условий.

По мере роста и развития растений их калорийность повышается.

Калорийность отдельных частей экспериментированных хлебных культур следующая: зерно от 4309 (озимая пшеница) до 4691 (овес), стебли от 4116 (овес) до 4547 (озимая пшеница), колос—мякина от 4839 (рожь) до 4068 (яровая пшеница).

Изменения величины дневной освещенности заметно сказываются на калорийности растений (естественный травостой).

Максимальное значение технического коэффициента использования солнечной энергии для озимых культур (пшеница, рожь) наступает в период колошения—цветения, а для яровых (пшеница, овес) в период наступления цветения—молочная спелость.

Начальные и конечные отрезки вегетационного периода, когда растения или не дали еще сомкнутого травостоя, или прекратили прирост сухого вещества, обуславливают малые коэффициенты использования лучистой энергии солнца.

Լ Ի Ե Ր Ա Տ Ր Ա

1. Կ. Ա. Կուրյաչև—Избранные сочинения, т. I Москва, 1948.
2. Կ. Ա. Կուրյաչև—Избранные сочинения, т. II Москва, 1948.
3. А. А. Кудрявцева—Использование солнечной энергии различными растениями. Москва, 1935.
4. М. М. Попов—Термометрия и калориметрия, Москва, 1931.
5. А. Г. Дояренко—Использование солнечной энергии полевыми культурами. Научно-агр. журн. I, Москва, 1924.
6. М. М. Калунский—Об изменениях фотосинтетической деятельности растений в процессе их роста и развития, в связи с проблемой углекислотного удобрения. Изв. АН СССР, серия биол. 1, 1939.
7. А. А. Зайцева—Содержание хлорофилла в связи с развитием пшеницы. Докл. АН СССР, т. XXV, № 8, 1939.

Հ. Ա. Գյոսդայան

ԱՐԵԳԱԿԻ ԶԱՌԱԳԱՅՔՆԵՐԻ ՕԳՏԱԿՈՐՄՈՒՄԸ ԲՈՒՅԱՆԵՐԻ ԿՈՂՄԻՑ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Ս

Փորձեր են դրվել որոշելու բույսերի կալորիականությունը և նրանց կողմից արեգակի ճառագայթների օգտագործման չափը: Մոսկվայի մարդի էկոլոգիական պայմաններում, ըստ իրենց զարգացման փուլերի, փորձարկվել են հետևյալ կուլտուրաները՝ աշնանացան և դարձանացան ջարինները, աչորան, վարսակը, արևածաղկի սարրեր սորակերը, իսկ լրիվ հասունացման ժամանակ՝ շաքարի ձակնդեղը, կոսովատը և բնական բուսաբանակը:

Բույսերի կալորիականությունը՝ Ձերմատու ընդունակությունը որոշվել է ջրային կալորիմետրում՝ մոտ 0,05^ս ճշտությամբ:

Փորձերը ցույց են տվել, որ բույսն իր զարգացման սկզբնական փուլերում ունի համեմատաբար ցածր կալորիականություն, իսկ հետագայում վերջինս աճում է: Այսպես, օրինակ, դարձանացան ջարինի հատիկի կալորիականությունը կախնային հասունացման ժամանակ 4338 է, իսկ լրիվ հասունացման ժամանակ՝ 4457, ջրգունի կալորիականությունը թփակլաման փուլում 4226 է, իսկ լրիվ հասունացման ժամանակ՝ 4414 և այլն:

Որոշումները ցույց են տվել, որ վարսակի հատիկի կալորիականությունը, համեմատած մյուս հոցանաթիկային կուլտուրաների հատիկի հետ, միջին հաշվով բարձր է մոտ 6^ս անգամ: Փորձարկված են արևածաղկի հետևյալ սորակերը՝ կառլիկ, սարատովյան 169, սարատովյան 50 և կրուզիկ 141, ընդհարում ամենարարձր կալորիականություն ունի վերջինը՝ նրա սերմերի կալորիականությունը լրիվ հասունացման ժամանակ 6013 է, ջրգուններինն ու տերևներինը՝ 1140, մյուս սորակրինը՝ 100—300 կալորիա ցածր: Շաքարի ձակնդեղի սրմանների կալորիականությունը 4305 է, իսկ վերերկրրյա զանգվածինը՝ 3650: Բարձր կալորիականությամբ աչքի են ընկնում կոսովատի սերմերը՝ 6208:

Փորձերը ցույց են տվել, որ բնական լուսավորություն աստիճանը անմիջական ազդեցություն է գործում բույսերի կալորիականության մեծության վրա: Այսպես օրինակ, անտառում բնական լուսաբանակի վրա արևի լուսավորության չափը 3 անգամ ավելացնելու դեպքում բույսի կալորիականությունը մոտ 4 անգամ բարձրանում է:

Որոշումները չույց են ավել, որ ցորենները, աշորան և վարսակը արեղակի ճառագայթները մաքսիմալ չափով օգտագործում են ցողունակայման ֆազից մինչև ծաղիկումը ներառյալ, այնուհետև արեղակի ճառագայթների օգտագործման տեխնիկական դործակիցներն զգալի կերպով խօնում են: Այսպես, օրինակ, աշնանացան ցորենի կողմից արևի ճառագայթների օգտագործման տեխնիկական դործակիցները ցողունակայումից մինչև հասկակայման ֆուզը 2,94 է, իսկ լրիվ հասունացման ժամանակ՝ 0,16—0,20:

Փորձարկված հացահատիկների արեղակի ճառագայթների օգտագործման ամենարարձր տեխնիկական դործակիցը ըստ ֆազերի հասնում է մոտ 3^{1/2}-ի:

Կտավառի տեխնիկական գործակիցը (վեցետացիայի սկզբից մինչև լրիվ հասունացումը) մոտ 0,3 է, իսկ արևածաղկինը՝ մոտ 1:

Կատարված փորձերի արդյունքները հիման վրա արված են նետեյալ կզրակացությունները:

Բույսերի կալոբիականությունը, ըստ նրա զարգացման ֆազերի, միևնույն էկոլոգիական պայմաններում բավական հաստատուն մեծություն է:

Խույսի զարգացման և աճման հետ մեկտեղ բարձրանում է նրա կալոբիականությունը:

Փորձարկված հացահատիկային կուլտուրաների առանձին մասերի կալոբիականությունը հետևյալն է: Հատիկը՝ 4309-ից (աշնանացան ցորեն) մինչև 1691 (վարսակ), ցողունը՝ 4116-ից (վարսակ) մինչև 1547 (աշնանացան ցորեն), հասկ—մղեղը՝ 1839-ից (աշորա) մինչև 1068 (պարնանացան ցորեն):

Ըստ բնական լուսավորություն աստիճանի զգալի կերպով փոխվում է բույսի կալոբիականությունը:

Աշնանացան հացահատիկների կողմից արեղակի ճառագայթների օգտագործման տեխնիկական գործակցի մաքսիմալ մեծությունը լինում է հասկակայման-ծաղիկման ֆազերում, իսկ զարնանացան հացահատիկների համար այդ լինում է ծաղիկման-կաթնային հասունության ֆազերում:

Խույսի նախնական և վերջնական զարգացման հատվածներում արեղակի ճառագայթների օգտագործման տեխնիկական գործակիցները համեմատաբար դարձր են: