

Тамахина А.Я.
Tamakhina A.Ya.

**ОЦЕНКА ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА ПОСЕВОВ
МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ ПО КПД ФАР
EVALUATION OF THE PRODUCTION PROCESS OF CROPS OF
PERENNIAL GRASSES IN THE EFFICIENCY OF PAR**

В статье представлены результаты оценки продукционного процесса посевов многолетних трав на примере девясила высокого (*Inula helenium* L.). Модифицированная методика расчёта КПД ФАР основана на учёте развития и функционирования надземных и подземных органов и перехода ассимилятов, депонированных в подземной фитомассе, из одного года в другой. Установлено, что КПД ФАР для фитоценоза *I. helenium* зависит от условий увлажнения. В благоприятных климатических условиях КПД ФАР надземной фитомассы возрастает за счёт быстрого транспорта ассимилятов из корневищ, использования их на рост надземной фитомассы. В засушливых условиях происходит увеличение КПД ФАР подземной фитомассы. Это обеспечивает максимальное сокращение расходов продуктов фотосинтеза на рост и дыхание надземных органов, более высокую жизнеспособность и конкурентную способность в условиях дефицита почвенной влаги. Более высокие значения КПД ФАР подземной и общей фитомассы характерны для видов с комбинированной SRS-стратегией, в которой преобладает R-составляющая. Предложенная методика расчёта КПД ФАР по надземной и подземной фитомассе в многолетней динамике позволяет более точно оценить экологическую стратегию вида и его потенциальную продуктивность, так как определение КПД ФАР только по надземной фитомассе занижает истинное значение эффективности усвоения солнечной энергии для фотосинтеза. Предложенная методика имеет важное значение для разработки научных основ улучшения пастбищ и сенокосов, повышения продуктивности посевов многолетних кормовых и лекарственных трав.

Ключевые слова: КПД ФАР, продукционный процесс, многолетние травы, *Inula helenium*, эколого-фитоценотическая стратегия.

The article presents the results of the evaluation of the production process of perennial grasses on the example of elecampane (*Inula helenium* L.). The modified method of calculating the efficiency of the PAR is based on taking into account the development and functioning of aboveground and underground organs and the transition of assimilates deposited in the underground phytomass from one year to another. It is established that the value of the efficiency of PAR depends on the conditions of moistening. Under favorable climatic conditions, the efficiency of the PAR of aboveground phytomass increases due to the rapid transport of assimilates from rhizomes and their use for the growth of aboveground phytomass. Under dry conditions, there is an increase in the efficiency of PAR of the underground phytomass. This ensures the maximum reduction in the costs of photosynthesis products for growth and respiration of the aboveground organs, a higher viability and increased competition under conditions of soil moisture. Higher values of the efficiency of PAR of the underground and total phytomass are characteristic of species with a combined SRS strategy, in which the R component dominates. The proposed method for calculating the efficiency of PAR on aboveground and underground phytomass over many years allows for a more accurate assessment of the ecological strategy of a species and its potential productivity, since the determination of the efficiency of PAR only on aboveground phytomass underestimates the true value of the efficiency of solar energy absorption for photosynthesis. The proposed technique is important for the development of scientific bases for improving pastures and hayfields, increasing the productivity of crops of perennial forage and medicinal herbs.

Key words: efficiency of PAR, production process, perennial grasses, *Inula helium*, ecological and phytocenotic strategy.

Тамахина Аида Яковлевна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры товароведения, туризма и права, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик

Тел.: 8 928 709 36 52

E-mail: aida17032007@yandex.ru

Tamakhina Aida Yakovlevna – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the department of merchandising, tourism and law, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

Tel.: 8 928 709 36 52

E-mail: aida17032007@yandex.ru

Введение. В основе количественных характеристик продукционного процесса растений лежит их фотосинтетическая деятельность, за счёт которой образуется более 95% органического вещества фитомассы [1]. В наземных экосистемах усвоение солнечной энергии для фотосинтеза не превышает 1–3%, а в посевах сельскохозяйственных культур – не выше 0,6% [2]. Поэтому задача повышения КПД использования солнечной энергии является одной из важнейших в физиологии и селекции культурных растений.

Общепринятые методы изучения фотосинтетической деятельности [3, 4] базируются на учёте надземной фитомассы, хотя урожайность сельскохозяйственных культур связана с развитием и функционированием как надземных, так и подземных органов. Различный характер распределения и депонирования ассимилятов в ходе вегетации у однолетних и многолетних трав требует совершенствования методики определения КПД ФАР. В пользу этого говорит тот факт, что реальная величина усвоения солнечной энергии для фотосинтеза выше фактической на величину расхода ассимилятов на дыхание и корневые выделения. Объем корневых выделений высших растений варьирует от 8 до 25% фотосинтетической продуктивности растений [5, 6]. На дыхание используется 40–60% нетто-фотосинтеза [7–11]. Следовательно, реальный КПД ФАР многолетних трав превышает значение, рассчитанное традиционными методами.

Целью исследования стала оценка продукционного процесса посевов многолетних трав на примере девясила высокого (*Inula helenium* L.) по КПД ФАР с учетом развития и функционирования надземных и подземных органов.

Материалы и методы исследований. Объектом исследования стал посев *I. helenium* при двухукосном использовании спустя 3 года после начала возделывания. Посев широкорядный из расчёта 4 шт. на 1 м² при площади питания 0,5 x 0,5 м². Годы исследования (2012–2016 гг.) различались по тепловому и влажностному режиму. Лето 2015 г. было жарким и сухим, климатический режим остальных лет был близок к средним многолетним значениям.

Начиная с 2012 г., на 10 учётных площадках площадью по 1 м² определяли в пересчёте на сухое вещество надземную фитомассу 1-го и 2-го укосов, опад за год, пожнивные остатки, подземную фитомассу в конце вегетации. Скашивание проводили на высоте 7 см от поверхности почвы. Корни и корневища извлекали рытьём траншей на глубину 0,4–0,6 м. Опад подземной фитомассы считали равным 1/3 прироста подземной фитомассы учётного года. Удельную теплоту сгорания (УТС, ккал/г) стеблей, листьев и подземной фитомассы определяли калориметрическим методом и пересчитывали на 1 м². Долю запасных ассимилятов предыдущего года, расходуемую на рост побегов и первых листьев в начале вегетации, считали равной 20% от надземной фитомассы к 1-му укосу и пожнивных остатков, а на рост подземной фитомассы в начале вегетации – 40% от подземной фитомассы предыдущего года. Расчёт КПД ФАР проводили отдельно по надземной (КПД ФАР_н) и подземной (КПД ФАР_п) фитомассе по формулам (1) и (2):

$$\text{КПД ФАР}_n = \frac{(q_1 \cdot Y_1 + q_2 \cdot Y_2 + q_3 \cdot O_1 + q_4 \cdot \Pi) \cdot 100}{\Sigma Q\phi}, \quad (1)$$

где $q_1 \dots q_4$ – удельная теплота сгорания соответственно надземной массы 1-го укоса, 2-го укоса, листьев, стеблей, ккал/г; Y_1 – урожай 1-го укоса, г/м²; Y_2 – урожай 2-го укоса, г/м²; O_1 – масса опада, г/м²; Π – масса пожнивных остатков, г/м²; $\Sigma Q\phi$ – сумма ФАР за период от всходов до уборки урожая, ккал/м².

$$\text{КПД ФАР}_p = \frac{(q_5 \cdot K + q_6 \cdot O_2) \cdot 100}{\Sigma Q\phi}, \quad (2)$$

где q_5, q_6 – удельная теплота сгорания прироста подземной массы и опада корней, ккал/г; $\Sigma Q\phi$ – сумма ФАР за период от всходов до уборки урожая, ккал/м².

Ежегодный прирост подземной фитомассы (K , г/м²) рассчитывали с учётом разницы между подземной фитомассой в конце вегетации учётного и предыдущего года:

$$K = K_1 - K_2 - 0,4 \cdot K_2, \quad (3)$$

где K_1 – разница подземной фитомассы в конце вегетации учётного года, г/м²; K_2 – разница подземной фитомассы в конце вегетации предыдущего года, г/м²; 0,4 – коэффициент, учитывающий величину прироста за счёт 40% ассимилятов предыдущего года.

Результаты исследований. Σ ФАР за вегетационный период с температурой выше 5°С составила 1794 МДж/м² или 428489 ккал/м². УТС листьев, стеблей и подземной фитомассы девясила составила соответственно 4,85, 4,65 и 4,81 ккал/г.

В условиях слабого ценотического взаимодействия растения девясила высокого быстро формируют надземную массу за счёт 3-7 надземных побегов. В агрофитоценозе девясила урожайность надземной фитомассы за 2 укоса возросла с 282 г/м² в 2012 г. до 762 г/м² в 2016 г. В засушливых условиях 2015 г. отмечено снижение урожайности по сравнению со среднегодовой в 1,36 раза (табл. 1).

Таблица 1 – Показатели продукционного процесса посева *I. helenium*, среднее по 10 учётным площадкам

Показатели	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Урожай 1-го укоса, с.в., г/м ²	212,0	460,0	594,0	328,0	580,0
Теплота сгорания, ккал/м ²	1007,0	2185,0	2821,5	1558,0	2755,0
Урожай 2-го укоса, с.в., г/м ²	70,0	135,0	140,0	80,0	182,0
Теплота сгорания, ккал/м ²	332,5	641,2	665,0	380,0	864,5
Масса опада надземной фитомассы, г/м ²	9,5	11,0	16,3	10,0	15,4
Теплота сгорания, ккал/м ²	46,1	53,3	79,1	48,5	74,7
Масса пожнивных остатков, г/м ²	23,4	35,3	43,2	24,5	44,8
Теплота сгорания, ккал/м ²	108,8	164,1	200,9	113,9	208,3
K_1 , г/м ²	210,0	385,0	590,0	974,0	1394,0

Теплота сгорания, ккал/м ²	1010,1	1851,8	2837,9	4684,9	6714,8
(К ₁ -К ₂), г/м ²	108,0*	175,0	205,0	384,0	420,0
Теплота сгорания, ккал/м ²	519,5	841,7	986,0	1847,0	2020,2
Масса опада подземной фитомассы, г/м ²	36,0	58,3	68,3	128,0	140,0
Теплота сгорания, ккал/м ²	173,2	280,4	328,7	615,7	673,4

*Подземная фитомасса в конце вегетации 2011 г. 102 г/м².

Подземная фитомасса посева в конце 2016 г. возросла по сравнению с началом учёта в 6,6 раза, имея среднегодовой прирост 258,4 г/м². Максимальный прирост подземной фитомассы отмечен в засушливых условиях 2015 года. КПД ФАР надземной и подземной фитомассы по годам исследования возрастает и имеет среднегодовые значения соответственно 0,57 и 0,18%. В 2016 г. отмечено увеличение КПД ФАРн по сравнению с началом исследования в 2,6 раза. В засушливых условиях КПД ФАРп достиг максимального значения 0,3% (рис. 1).

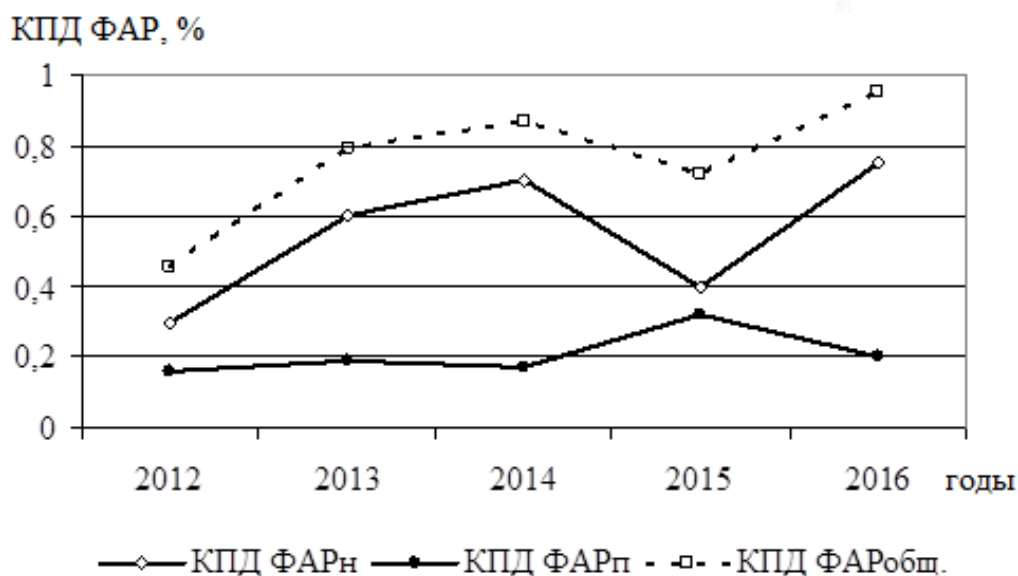


Рис. 1. Динамика КПД ФАР агрофитоценоза девясила высокого.

Зависимость КПД ФАР посева *I. helenium* от климатических условий объясняется тем, что в благоприятных условиях увлажнения происходит быстрый транспорт ассимилятов из корневищ для использования их на увеличение надземной фитомассы, что, в свою очередь, способствует повышению КПД ФАРн. В засушливых условиях возрастание КПД ФАРп и снижение КПД ФАРн обеспечивает максимальное сокращение расходов

продуктов фотосинтеза на рост и дыхание надземных органов, более высокую жизнеспособность и выигрыш в конкуренции за почвенную влагу.

В целом, связь между КПД ФАР, урожайностью надземной и приростом подземной фитомассы *I. helenium* носит полиномиальный характер и описывается уравнением:

$$\text{КПД ФАР} = 0,154 + 0,094 x + 0,840 y, \quad (4)$$

где X , кг/м^2 - прирост подземной фитомассы, Y , кг/м^2 - урожайность надземной фитомассы [12].

Модификация традиционной методики определения КПД ФАР, основанная на учёте всех приходно-расходных компонентов процесса фотосинтеза, в частности, перехода депонированных ассимилятов в подземной фитомассе из одного года в другой, даёт реальную информацию о продукционном процессе агрофитоценозов многолетних кормовых и лекарственных трав и их потенциальной продуктивности. Расчёт КПД ФАР для посева *I. helenium* только по надземной фитомассе (по аналогии с однолетними травами) занижает реальное значение КПД ФАР, среднее за 5 лет исследования, в 1,4, а по годам опыта – в 1,22-1,75 раза.

Раздельный учёт КПД ФАР по надземной и подземной фитомассе позволяет оценить экологическую стратегию вида. Для девясила высокого, как многолетника с запасающим типом корневищ, характерна комбинированная CRS-эколого-фитоценотическая стратегия. В зависимости от абиотических и биотических условий экотопов *I. helenium* проявляет черты виолентности (С), эксплерентности (R) или пациентности (S). Для виолентов характерна адаптивная стратегия, заключающаяся в высокой акцептирующей способности подземных органов и низкой скорости использования ассимилятов, что позволяет им выдерживать конкуренцию с другими видами [13]. Для эксплерентов характерна высокая ассимиляционная способность, быстрая транспортировка ассимилятов из депонирующих органов к надземной массе. Это обуславливает захват свободных территорий путем образования клонов. Для пациентов характерна более высокая акцептирующая способность

подземных запасующих органов и низкая скорость использования ассимилятов, что позволяет им выдерживать конкуренцию с другими видами.

Чем сильнее выражена R-составляющая стратегии, тем выше значения КПД ФАР подземной и общей фитомассы, шире ареал распространения вида. Так, у окопника шершавого, расселяющегося и натурализующегося в нарушенных местообитаниях, способного внедряться в полуестественные и естественные сообщества и занесённого в Черные книги ряда регионов России [14, 15], КПД ФАР надземной и подземной фитомассы имеет среднегодовые значения соответственно 0,64 и 0,22% [16].

Область применения результатов. Ботаника, физиология растений, растениеводство.

Заключение. Определение КПД ФАР для посевов многолетних трав по аналогии с однолетними травами по надземной фитомассе занижает реальную эффективность усвоения солнечной энергии. При расчете КПД ФАР для агрофитоценозов многолетних трав следует учитывать переход депонированных в подземной фитомассе ассимилятов из одного года в другой. Раздельный учет КПД ФАР по надземной и подземной фитомассе в многолетней динамике позволяет оценить эколого-фитоценотическую стратегию вида и его потенциальную продуктивность, что имеет важное значение для разработки научных основ улучшения пастбищ и сенокосов, повышения продуктивности посевов многолетних кормовых и лекарственных трав.

Литература

1. *Ничипорович А.А.* О путях повышения продуктивности фотосинтеза растений в посевах // Фотосинтез и вопросы продуктивности растений. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 5-36.
2. *Миркин Б.М., Наумова Л.Г.* Основы общей экологии. Учебник. М: Логос, 2003. 238 с.
3. *Скерлок Дж.М.О., Лонг С.П., Холл Д.О. и др.* Фотосинтез и биопродуктивность: методы определения. М.: ВО «Агропромиздат», 1989. 459 с.
4. *Тооминг Х.Г., Гуляев Б.М.* Методика измерений фотосинтетически активной радиации. М.: Наука, 1967. 148 с.

5. Головки Т.К. Дыхание растений. Физиологические аспекты. СПб.: Наука, 1999. 214 с.
6. Мусиенко Н.Н., Тернавский А.И. Корневое питание растений. Киев: Выща школа, 1989. 203 с.
7. Кумаков В.А., Березин Б.В., Евдокимова О.А. Продукционный процесс в посевах пшеницы. Саратов, 1994. 202 с.
8. Куперман И.А., Хитрово Е.В. Дыхательный газообмен как элемент продукционного процесса растений. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1977. 184 с.
9. Голик К.Н. Темновое дыхание растений. Киев: Наук. думка, 1990. 136 с.
10. Леина Г.Д., Юдина О.С. Темновое дыхание и накопление сухой массы многолетним растением сердечником луговым в течение репродуктивного периода // Физиология растений. 1989. Т. 36. С. 284-293.
11. Семихатова О.А., Иванова Т.И., Кирпичникова О.В. Растения Севера: дыхание и его связь с продукционным процессом // Физиология растений. 2009. Т. 56, № 3. С. 340-350.
12. Тамахина А.Я., Фисун М.Н. Оценка продуктивного процесса агрофитоценозов многолетних корневищных трав по КПД ФАР // Аграрная наука. 2010. №11. С. 19-21.
13. Абатуров Б.Д., Лопатин В.Н. Углеродный баланс, жизнеспособность и зональное распределение деревьев, трав и кустарников в различных условиях увлажнения // Успехи современной биологии. 2002. Т. 122. №6. С. 527-536.
14. Третьякова А.С., Куликов П.В. «Чёрный список» флоры Свердловской области // Зырянские чтения: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Курган: Курганский гос. университет, 2014. С. 222-223.
15. Панасенко Н.Н. Власк-лист флоры Брянской области // Российский Журнал Биологических Инвазий. 2014. № 2. С. 127-131.
16. Тамахина А.Я. Методические указания по оценке продукционного процесса агрофитоценозов многолетних кормовых трав по КПД ФАР. Нальчик: Изд-во КБГАУ, 2013. 20 с.

References

1. Nichiporovich A.A. O putjah povyshenija produktivnosti fotosinteza rastenij v posevah // Fotosintez i voprosy produktivnosti rastenij. M.: Izd-vo AN SSSR, 1963. S. 5-36.
2. Mirkin B.M., Naumova L.G. Osnovy obshhej jekologii. Uchebnik. M: Logos, 2003. 238 s.
3. Skerlok Dzh.M.O., Long S.P., Holl D.O. i dr. Fotosintez i bioproduktivnost': metody opredelenija. M.: VO «Agropromizdat», 1989. 449 s.
4. Tooming H.G., Guljaev B.M. Metodika izmerenij fotosinteticheski aktivnoj radiacii. M.: Nauka, 1967. 148 s.
5. Golovko T.K. Dyhanie rastenij. Fiziologicheskie aspekty. SPb.: Nauka, 1999. 214 s.
6. Musienko N.N., Ternavskij A.I. Kornevoe pitanie rastenij. Kiev: Vyshha shkola, 1989. 203 s.

7. *Kumakov V.A., Berezin B.V., Evdokimova O.A.* Produkcionnyj process v posevah pshenicy. Saratov, 1994. 202 s.
8. *Kuperman I.A., Hitrovo E.V.* Dyhatel'nyj gazoobmen kak jelement produkcionnogo processa rastenij. Novosibirsk: Nauka, Sib. otd., 1977. 184 s.
9. *Golik K.N.* Temnoe dyhanie rastenij. Kiev: Nauk. dumka, 1990. 136 s.
10. *Leina G.D., Judina O.S.* Temnoe dyhanie i nakoplenie suhoj massy mnogoletnim rastenijem serdechnikom lugovym v techenie reproduktivnogo perioda // *Fiziologija rastenij*. 1989. T. 36. S. 284-293.
11. *Semihatova O.A., Ivanova T.I., Kirpichnikova O.V.* Rastenija Severa: dyhanie i ego svjaz' s produkcionnym processom // *Fiziologija rastenij*. 2009. T. 56, № 3. S. 340-350.
12. *Tamahina A.Ja., Fisun M.N.* Ocenka produktivnogo processa agrofitocenzov mnogoletnih kornevishhnyh trav po KPD FAR // *Agrarnaja nauka*. 2010. №11. S. 19-21.
13. *Abaturov B.D., Lopatin V.N.* Uglernodnyj balans, zhiznesposobnost' i zonal'noe raspredelenie derev'ev, trav i kustarnikov v razlichnyh uslovijah uvlazhnenija // *Uspehi sovremennoj biologii*. 2002. T. 122. №6. S. 527-536.
14. *Tret'jakova A.S., Kulikov P.V.* «Chernyj spisok» flory Sverdlovskoj oblasti // *Zyrjanovskie chtenija: Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. Kurgan: Kurganskij gos. universitet, 2014. S. 222-223.
15. *Panasenko N.N.* Black-list flory Brjanskoj oblasti // *Rossijskij Zhurnal Biologicheskijh Invazij*. 2014. № 2. S. 127-131.
16. *Tamahina A.Ja.* Metodicheskie ukazanja po ocenke produkcionnogo processa agrofitocenzov mnogoletnih kormovyh trav po KPD FAR. Nal'chik: Izd-vo KBGAU, 2013. 20 s.