

Фотосинтетическая активность листьев кукурузы в центральном агроклиматическом районе Республики Коми

Т. К. Головки, Р. В. Малышев, Г. Н. Табаленкова

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
golovko@ib.komisc.ru

Аннотация

Кукуруза – одна из основных культур современного мирового растениеводства, относится к группе теплолюбивых растений. Наблюдаемое в последние десятилетия потепление климата в Северном полушарии, появление раннеспелых и холодостойких сортов и гибридов создают предпосылки для выращивания кукурузы на зеленую массу на Севере. Нами установлено, что в условиях центрального агроклиматического района Республики Коми современные гибриды кукурузы способны накапливать 350–500 ц/га зеленой массы. При температуре +20° С и высокой освещенности листья холодостойких раннеспелых гибридов Дорка и Уральский 150 ассимилировали CO₂ со скоростью 20–25 мкмоль/м²с. Зона температурного оптимума фотосинтеза составляла +18... +28° С. Сделано заключение о способности раннеспелых и холодостойких гибридов кукурузы активно фотосинтезировать и формировать урожай зеленой массы при умеренной температуре.

Ключевые слова:

кукуруза, фотосинтез, дыхание, продуктивность, температура, холодный климат

Введение

Продуктивность является интегральным результатом всех функций растительного организма, зависит от генотипических особенностей и физиолого-биохимических свойств видов и сортов, их взаимодействия со средой. В физиологически приемлемых условиях фотосинтетический аппарат растений обеспечивает реализацию генетически детерминированной программы роста и развития, используя энергию солнечной радиации и другие ресурсы (CO₂, вода, минеральные элементы). Значительная часть территории РФ, в том числе Республика Коми, расположена на Севере в зоне рискованного земледелия [1–3]. Сельскохозяйственное производство растениеводческой продукции ограничивается здесь коротким вегетационным периодом и недостатком тепла, что определяет подбор возделываемых культур с учетом критериев соответствия их метаболизма климату. Приоритетное значение в этом

Photosynthetic activity of corn leaves in the central agro-climatic region of the Komi Republic

T. K. Golovko, R. V. Malyshev, G. N. Tabalenkova

Institute of Biology, Komi Science Centre of the Ural Branch of the
Russian Academy of Sciences,
Syktyvkar
golovko@ib.komisc.ru

Abstract

Corn is among the main crops in modern world crop production. It belongs to the group of heat-loving plants. The climate warming observed in the Northern Hemisphere in recent decades, as well as the availability of early-maturing and cold-resistant varieties and hybrids, create opportunities for growing of corn for green mass in the North. We have found that the modern corn hybrids can accumulate 350–500 centners per hectare of green mass in the central agro-climatic region of the Komi Republic. At a temperature of +20° C and the high light intensity, leaves of the cold-resistant, early-ripening hybrids Dorka and Uralskiy 150 assimilate CO₂ at a rate of 20–25 μmol/m²s. The temperature optimum for photosynthesis is +18... +28° C. The authors have concluded about the ability of early-ripening and cold-resistant corn hybrids to actively photosynthesize and yield at moderate temperatures.

Keywords:

corn, photosynthesis, respiration, productivity, temperature, cold climate

отношении имеют изучение физиолого-биохимических и экологических закономерностей формирования продуктивности, выявление особенностей продукционного процесса в условиях холодного климата.

Кукуруза – одна из основных культур современного мирового растениеводства. По валовым сборам зерна она занимает третье место в мире после пшеницы и риса. Кукуруза – растение тропического происхождения с C4-типом фотосинтеза. C4-тип углеродного метаболизма характеризуется наличием двух фотосинтетических циклов, локализованных в различных клетках листа [4]. Это обеспечивает эффективное использование растениями воды и реализацию потенциала продуктивности данной культуры в регионах с теплым засушливым климатом. В Европе кукурузу на зерно возделывают до 52° с. ш., на силос – до 60° с. ш. В полевых условиях ведущим фактором, опреде-

ляющим уровень и суточную динамику скорости ростовых процессов кукурузы, является температура. При благоприятном световом режиме и увлажнении максимальная скорость роста в условиях средней полосы России была зарегистрирована при температуре +28...+30°С [5]. Нижняя граница оптимальной зоны температур зависела от комплексного влияния факторов внешней среды и в большинстве случаев отмечена в диапазоне +20...+22°С.

Сложилось мнение, что условия центрального и южного агроклиматических районов Республики Коми (59–62 с. ш.) не пригодны для выращивания кукурузы. Опыты по ее возделыванию, проведенные в середине прошлого столетия, позволили установить некоторые особенности роста растений и сделать вывод о возможности получения достаточно высоких урожаев зеленой массы (до 500 ц/га и более), а в благоприятные годы и початков молочно-восковой спелости [6]. Однако культура не получила распространения из-за риска потери урожая в годы с холодным летом. Наблюдаемое в последние десятилетия заметное потепление климата в Северном полушарии, появление раннеспелых и холодостойких сортов и гибридов, использование современных технологий создают условия для выращивания кукурузы на зеленую массу в Сибири [7, 8] и на европейском северо-востоке России [9, 10]. За последние полвека сумма температур >10°С в центральном агроклиматическом районе РК возросла на 200°С, а продолжительность вегетации – почти на неделю. По прогнозам, к 2080 г. лето на территории республики может потеплеть на 6–7°С. Это создает условия для экспансии зоны возделывания кукурузы для получения зеленой массы на Севере.

Предварительное экологическое сортоиспытание в 2016–2017 гг. семи сортообразцов и гибридов кукурузы современной селекции подтвердило возможность получения в центральном агроклиматическом районе РК в среднем 350 ц/га зеленой массы хорошего качества [9, 11]. При этом величина урожая колебалась в зависимости от генотипа и погодных условий в пределах 240–770 ц/га. За три года (2018–2020) средняя продуктивность надземной массы гибрида кукурузы Дорка составила 355 ц/га [10], что сопоставимо со средними урожаями кукурузы, возделываемой на силос, по РФ [12].

Фотосинтез является основой продукционного процесса, но систематических исследований фотосинтетической деятельности кукурузы на территории республики практически не проводилось. Актуальность таких исследований обусловлена необходимостью изучения физиологических основ урожайности кукурузы в условиях холодного климата, характеристики устойчивости сортов и гибридов, их пригодности для использования в северном растениеводстве.

Цель работы – изучение фотосинтеза листьев двух холодостойких и раннеспелых гибридов кукурузы Дорка и Уральский 150.

Материалы и методы

Растения гибридов кукурузы Дорка и Уральский 150 выращивали на опытном участке Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Почва опытного участка подзолистая, средней степени окультуренности. Для характеристики сезонных изменений фотосинтетической активности измеряли скорость CO_2 -обмена в средней части завершивших рост листьев верхнего яруса гибрида Дорка в открытой системе с помощью ИК-газоанализатора (LI-7000, США) при температуре +20°С и плотности потока фотосинтетически активной радиации (ФАР) от 0 до 1600 мкмоль квантов/м²с. В качестве источника света использовали систему красных (максимум при 634 нм) и синих (максимум при 447 нм) светодиодов в соотношении 11 : 1. Листья отделяли от растения и сразу же помещали в термостатируемую листовую камеру для измерения поглощения CO_2 на свету и выделения CO_2 в темноте. Биологическая повторность – 6–7, для каждой повторности использовали свежее отобранный лист. Измерения осуществляли в фазы пяти (первая декада июля), десяти (третья декада июля) листьев и в фазу выметывания метелки (третья декада августа). Для характеристики влияния температуры на фотосинтез кукурузы использовали простой гибрид Уральский 150. Определения проводили в наиболее теплом месяце – июле (среднесуточная температура – +17–18°С) в фазе пяти-семи листьев при температуре +10, 20, 30 и 40°С и плотности потока фотосинтетически активной радиации (ФАР) от 0 до 1600 мкмоль квантов/м²с по вышеуказанной схеме.

Зависимость фотосинтеза от освещенности описывали уравнением Михаэлиса-Ментен с модификациями [13, 14]:

$$P_n = [aI / (I + b)] - R_d \quad (1),$$

где P_n – скорость нетто-фотосинтеза; R_d – скорость темнового дыхания; I – интенсивность ФАР; a и b – константы.

Результаты и их обсуждение

Определения CO_2 -газообмена при температуре +20°С, близкой к среднесуточной в июле, показали, что фотосинтетическая активность листьев гибрида кукурузы Дорка возрастала с увеличением интенсивности ФАР (рис. 1 и 2). Наибольшую скорость видимого поглощения CO_2 (P_n) регистрировали при интенсивности ФАР 1600 мкмоль квантов/м²с. У молодых растений (фаза четырех-пяти листьев) величина P_n составляла около 14 мкмоль CO_2 /м²с. У зрелых сформировавшихся растений этот показатель был на 40 % меньше, что свидетельствует о снижении способности листьев верхнего яруса использовать свет высокой интенсивности.

Полученные данные хорошо описывались уравнением (1) ($r = 0,97$), позволяющим оценить максимальную величину видимого поглощения CO_2 ($P_{n_{\max}}$) и интенсивность ФАР, при которой скорость поглощения CO_2 достигает 50 % $P_{n_{\max}}$. Как видно из табл. 1, величина $P_{n_{\max}}$ (коэффициент «а» в уравнении (1)) листьев молодых растений гибрида Дорка может достигать 24 мкмоль CO_2 /м²с, что на 40 % выше, чем получено нами при 1600 мкмоль квантов/м²с. Интенсивность ФАР, при которой возможно достижение

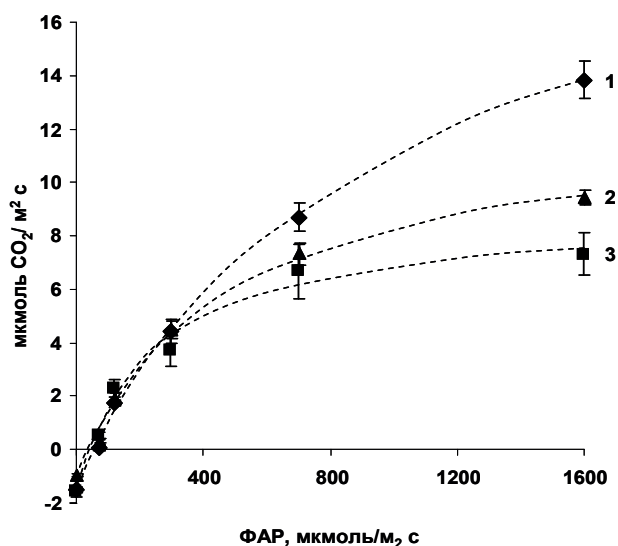


Рисунок 1. Зависимость CO_2 -газообмена листьев верхнего яруса гибрида кукурузы Дорка от освещенности в разные сроки вегетации: 1 – фаза 5 листьев; 2 – фаза 10 листьев; 3 – фаза выметывания метелки. Условные обозначения. Здесь и на рис. 2: пунктиром обозначены кривые по модели [13, 14].

Figure 1. Light dependence of CO_2 -gas exchange of the upper leaves of Dorka hybrid corn at different periods of vegetation: 1 – the phase of five leaves; 2 – the broom sweeping phase; 3 – the phase of ten leaves.

Key. Here and in Figure 2: The dotted lines indicate the curves according to the model [13, 14].

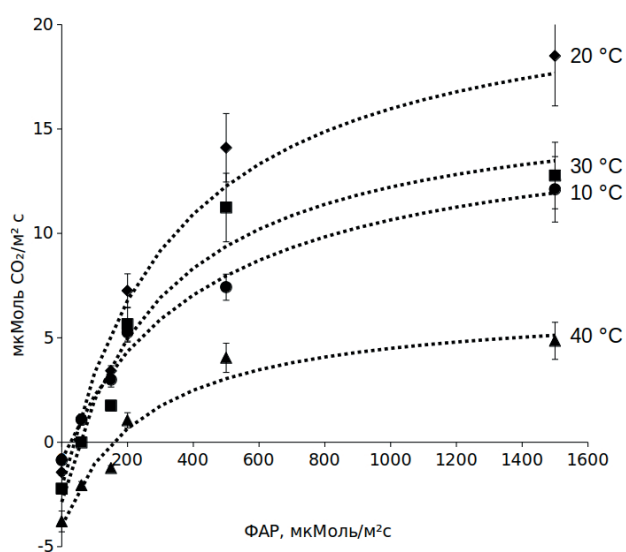


Рисунок 2. Зависимость CO_2 -газообмена листьев верхнего яруса гибрида кукурузы Уральский 150 от освещенности при разной температуре.

Figure 2. Light dependence of CO_2 -gas exchange of the upper leaves of Uralskiy 150 hybrid corn at different temperatures.

50 % $P_{n_{\max}}$ (коэффициент «b» в уравнении (1)), составляет около 1000 мкмоль квантов/м²с, что свидетельствует о высокой требовательности молодых растений к освещенности. На более поздних этапах развития растений (кривые 2 и 3) полученные по модели величины $P_{n_{\max}}$ были заметно (в два раза) ниже. Прямые определения и данные моделирования показывают, что с возрастом растений способность листьев верхнего яруса эффективно использовать свет высокой интенсивности для ассимиляции CO_2 снижается, и выход световой кривой фотосинтеза на плато осуществляется при более низкой освещенности. Возможно,

Таблица 1
Параметры кривых CO_2 -газообмена листьев верхнего яруса кукурузы сорта Дорка по модели [13, 14]

Table 1
Parameters of CO_2 -gas exchange curves in the upper-tier leaves of the Dorka hybrid corn according to the model [13, 14]

Фаза развития	a, мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$	b, мкмоль квантов /м ² с	Rd, мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$
5 листьев	23,8±1,0 ^a	902±83 ^a	1,5±0,1 ^a
10 листьев	10,5±0,6 ^b	244±42 ^b	1,6±0,2 ^a
Выметывание метелки	13,6±0,6 ^b	463±52 ^c	1,0±0,1 ^b

Примечание. Здесь и в табл. 2: разными буквенными символами обозначены достоверные различия.

Note. Here and in Table 2: Different letter symbols indicate true differences.

что такая реакция была обусловлена переходом растений к генеративному развитию.

Дыхание листьев кукурузы варьировало в пределах 1,0–1,5 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ и составляло от 6 до 15 % максимальной величины нетто-фотосинтеза. Следует заметить, что нетто-фотосинтез листьев кукурузы, возделываемой в более теплом климате, например, на севере Италии, достигал 40 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ [15], что почти вдвое выше величин, полученных нами для изученных гибридов.

На рис. 2 приведены данные, характеризующие влияние температуры на световую зависимость CO_2 -газообмена листьев гибрида кукурузы Уральский 150. Максимальное нетто-поглощение было зарегистрировано при температуре +20 °C. Более низкие и высокие температуры снижали нетто-ассимиляцию, особенно заметно в области высокой плотности потока радиации. Причем, температура +10 °C слабее влияла на процесс ассимиляции, чем температура +40 °C. Проведенные нами ранее модельные эксперименты с выдерживанием растений гибрида Дорка в течение ночи при +6 °C показали более слабое последствие пониженной температуры на фотосинтез, чем на дыхание листьев [16]. Эти данные свидетельствуют о способности раннеспелых холодостойких гибридов поддерживать сравнительно высокую функциональную активность при умеренных температурах.

Аппроксимация экспериментальных данных уравнением Михаэлиса-Ментен [13, 14] подтвердила наблюдаемые закономерности. Максимальные величины нетто-ассимиляции отмечены при температуре +20 °C. Супероптимальная температура +40 °C снижала величину $P_{n_{\max}}$ в два раза. Высокие температуры активировали темновое выделение CO_2 (величина Rd), связанное с дыханием. Учитывая тот факт, что локализованный в клетках мезофилла листьев фермент фосфоенолпируваткарбоксилаза (ФЕПК) имеет более высокое сродство к диоксиду углерода, чем рибулезобифосфаткарбоксилаза (РБФК), восстанавливающая CO_2 , выделенный при декарбоксилировании C4-кислот в клетках, окружающих проводящие пучки, мы сочли возможным оценить величину gross-фотосинтеза (Pg) листьев как сумму $P_{n_{\max}}$ (величина «a» в уравнении (1)) и Rd. Полученные таким способом величины Pg существенно не повлияли на характер зависимости фотосинтетической активности от температуры. Можно отметить незначительное сокращение разницы между

величинами фотосинтеза, измеренными при +20° и +40° С. Если доля $Pn_{\max}$ (величина «а» в уравнении (1)) при +40° С составляла 44 % от величины $Pn_{\max}$ при +20° С, то разница между соответствующими величинами Pg была меньше из-за повышения темнового дыхания.

Экспериментально измеренные величины нетто-поглощения CO_2 при разной температуре и умеренной плотности потока ФАР (см. рис. 2), аппроксимировали уравнением параболы (рис. 3, табл. 2). Статистические показатели свидетельствуют об удовлетворительном соответствии экспериментальных данных модели. Используя уравнение (1), можно найти точки перехода кривой через ось x (т. е. нули функции). Эти значения представляют собой температуры, при которых $Pn=0$. В области низких положительных температур величина x равна 3,29, а в области высоких – 42,94. Следовательно, температуры, близкие к +3,3 и +43° С, можно рассматривать как критические для нетто-фотосинтеза листьев кукурузы. О способности кукурузы сохранять положительный газообмен при низких

положительных температурах свидетельствуют полученные нами ранее данные [17]. Скорость фотосинтеза листьев молодых растений гибрида Уральский 150 при +6° С составляла около 2 мкмоль CO_2 /м²с. Оптимальными для нетто-поглощения CO_2 считаются температуры, при которых скорость Pn снижается не более чем на 10-15 % от наибольшей величины на кривой, описывающей температурную зависимость данного показателя. На кривой (рис. 3) зона температурного оптимума Pn довольно широкая и находится в пределах +18...+28° С.

Закключение

В условиях центрального агроклиматического района РК раннеспелые и холодостойкие гибриды кукурузы накапливают за вегетацию 350-500 ц/га зеленой массы благодаря способности поддерживать сравнительно высокую фотосинтетическую активность при умеренной температуре. На примере двух гибридов кукурузы выявлены закономерности изменения видимого фотосинтеза листьев в зависимости от освещенности и температуры. Показано, что при температуре +20° С и близкой к полной солнечной интенсивности света кукуруза способна ассимилировать со скоростью 20-25 мкмоль CO_2 /м²с. Зона температурного оптимума фотосинтеза находится в пределах +18...+28° С.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Агробιοлогические исследования на европейском Северο-Востоке / И. В. Забoева, И. Н. Хмелинин, В. А. Безносиков [и др.]: научные доклады Коми НЦ УрО РАН; вып. 240. – Сыктывкар, 1990. – 24 с.
2. Агροэкологические и агробιοлогические ресурсы Республики Коми / Т. К. Головки, В. А. Безносиков, В. П. Мишуров [и др.] // Вестник Коми НЦ УрО РАН. – 2003. – Вып. 23. – С. 134-142.
3. Табаленкова, Г. Н. Продукционный процесс культурных растений в условиях холодного климата / Г. Н. Табаленкова, Т. К. Головки. – СПб.: Наука, 2010. – 231 с.
4. Эдвaдс, Дж. Механизмы С3- и С4-растений: механизмы и регуляция / Дж., Эдвaдс, Д. Уокер. – М.: Мир, 1986. – 598 с.
5. Шевелуха, В. С. Рост растений и его регуляция в онтогенезе / В. С. Шевелуха. – М.: Колос, 1992. – 598 с.
6. Вавилов, П. П. Некоторые особенности роста и развития кукурузы в северных районах ее возделывания / П. П. Вавилов, Е. С. Болотова // Труды Коми филиала АН СССР. – 1961. – № 11. – С. 57-69.
7. Дёмин, Е. А. Влияние минеральных удобрений и сроков посева на урожайность зеленой массы кукурузы в лесостепной зоне Зауралья / Е. А. Дёмин, Д. В. Ерёмин // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2020. – № 10. – С. 27-33. – DOI: 10.36718/1819-4036-2020-10-27-33
8. Урожайность и питательная ценность кукурузы и их смесей для заготовки сочных кормов в условиях центральной Якутии / Е. С. Пестерева, С. А. Павлова,

Таблица 2

Параметры кривых CO_2 -газообмена листьев верхнего яруса гибрида кукурузы Уральский 150 по модели [13, 14]

Table 2

Parameters of CO_2 -gas exchange curves in the upper-tier leaves of the Uralskiy 150 hybrid corn according to the model [13, 14]

Температура, °С	a, мкмоль CO_2 /м ² с	b, мкмоль квантов /м ² с	Rd, мкмоль CO_2 /м ² с	Pg, мкмоль CO_2 /м ² с
10	16,5±1,4 ^a	437±116 ^a	0,83±0,6 ^a	17,3±2,0 ^a
20	24,4±1,9 ^b	347±86 ^a	2,1±0,9 ^b	26,5±2,8 ^c
30	19,6 ±1,9 ^c	301±91 ^a	2,9±0,9 ^b	22,5±2,8 ^c
40	10,7±0,9 ^d	259±73 ^a	4,0±0,5 ^c	14,7±1,4 ^b

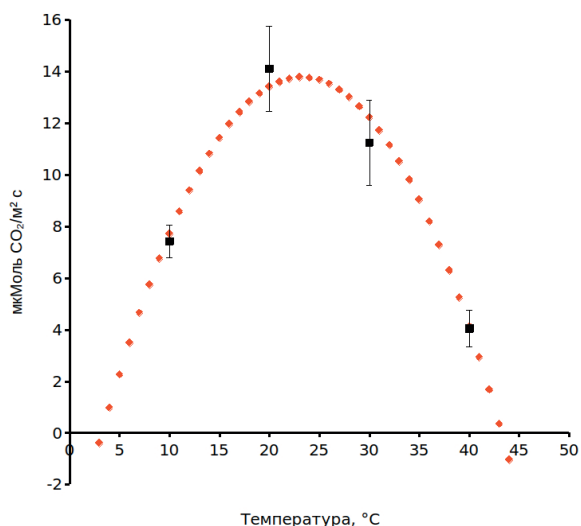


Рисунок 3. Зависимость CO_2 -газообмена листьев верхнего яруса гибрида кукурузы Уральский 150 от температуры при плотности потока ФАР 500 мкмоль квантов/м²с.

Условные обозначения. Пунктиром обозначена кривая аппроксимации экспериментальных данных уравнением параболы $y = -0,03467914x^2 + 1,603938x + -4,888032$, где y – скорость нетто-поглощения CO_2 , x – температура ($R^2=0,93$; $F=20,9$; $p=0,153$).

Figure 3. The dependence of CO_2 -gas exchange in the upper-tier leaves of the Uralskiy 150 hybrid corn on the temperature at a PAR flux density of 500 μ mol quanta/m²s.

Key. The dotted line represents the approximation of the experimental data by the parabolic equation $y = -0,03467914x^2 + 1,603938x + -4,888032$, where y is the net CO_2 absorption rate and x – the temperature ($R^2 = 0.93$; $F = 20.9$; $p = 0.153$).

- Г. Е. Захарова [и др.] // Аграрная наука. – 2018. – № 9. – С. 54–56.
9. Growth of plants and productivity of corn in a cold climate / T. K. Golovko, I. V. Dalke, G. T. Shmorgunov [et al.] // Agrarnaya nauka [Agricultural Science]. – 2019. – Vol. 45, № 3. – P. 251–255. – DOI: 10.3103/S1068367419030078
 10. Формирование урожая и качество зеленой массы кукурузы в условиях центрального агроклиматического района Республики Коми / Г. Н. Табаленкова, Е. В. Силина, О. В. Дымова [и др.] // Аграрная наука Северо-Востока. – 2021. – Т. 22, № 5. – С. 689–697. – DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.5.689-697
 11. Табаленкова, Г. Н. Продуктивность и состав биомассы кукурузы в условиях центрального агроклиматического района Республики Коми / Г. Н. Табаленкова, О. В. Дымова, Т. К. Головки // Аграрный вестник Урала. – 2020. – № 3 (194). – С. 57–65. – DOI: 10.32417/1997-4868-2020-194-3-57-65
 12. Урожайность кукурузы на корм – всего (вес зеленой массы) в 2016 году, ц/га // Агровестник. – URL: <https://agrovesti.net/lib/industries/forage/urozhajnost-kukuruzy-na-korm-vsego-ves-zelenoj-massy-v-2016-godu-ts-ga.html>. (дата обращения: 20.04.2021).
 13. Fitting net photosynthetic light-response curves with Microsoft Excel – a critical look at the models / F. de A. Lobo, M. P. Barros, H. J. Dalmagro [et al.] // Photosynthetica. – 2013– Vol. 51 (3). – P. 445–456. – DOI: 10.1007/s11099-013-0045-y
 14. Кайбейянен, Э. Л. Параметры световой кривой фотосинтеза у *Salix dasyclados* и их изменение в ходе вегетации / Э. Л. Кайбейянен // Физиология растений. – 2009. – Т. 56, № 4. – С. 490–499.
 15. Effects of water stress on gas exchange of field grown *Zea mays* L. in Southern Italy: an analysis at canopy and leaf level / L. Vitale, P. D. Tommasi, C. Arena [et al.] // Acta Physiologiae Plantarum. – 2007. – Vol. 29, № 4. – P. 317–326. – DOI: 10.1007/s11738-007-0041-6
 16. Фотосинтетическая активность листьев и продуктивность раннеспелого гибрида кукурузы Дорка в условиях Северного Нечерноземья / Т. К. Головки, Г. Н. Табаленкова, Р. В. Малышев [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2025. – № 2. – С. 5–13.
 17. Влияние ночного охлаждения растений кукурузы на про-/антиоксидантный метаболизм, фотосинтез и дыхание листьев / Т. К. Головки, Е. В. Силина, Р. В. Малышев [и др.] // Физиология растений. – 2025. – Т. 22, № 1. – С. 16–25.
- ## References
1. Agrobiologicheskie issledovaniya na evropejskom Severo-Vostoke [Agro-biological research in the European North-East] / I. V. Zaboeva, I. N. Khmelinin, V. A. Beznosikov [et al.]: nauchnye doklady Komu NC UrO RAN ; vyp. 240 [Scientific Reports of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences ; Iss. 240]. – Syktyvkar, 1990. – 24 p.
 2. Agroekologicheskie i agrobiologicheskie resursy Respubliki Komi [Agro-ecological and agrobiological resources of the Komi Republic] / T. K. Golovko, V. A. Beznosikov, V. P. Mishurov [et al.] // Bulletin of the Komi SC UB RAS. – 2003. – Iss. 23. – P. 134–142.
 3. Tabalenkova, G. N. Produkcionnyj process kul'turnyh rastenij v usloviyah holodnogo klimata [Production process of cultivated plants in cold climate] / G. N. Tabalenkova, T. K. Golovko. – Saint-Petersburg : Nauka, 2010. – 231 p.
 4. Edvads, J. Mekhanizmy S3- i S4-rastenij: mekhanizmy i reguljacija [Mechanisms of C3 and C4 plants: mechanisms and regulation] / J. Edvads, D. Walker. – Moscow : Mir, 1986. – 598 p.
 5. Shevelukha, V. S. Rost rastenij i ego reguljacija v ontogeneze [Plant growth and its regulation in ontogenesis] / V. S. Sheveluxa. – Moscow : Kolos, 1992. – 598 p.
 6. Vavilov, P. P. Nekotorye osobennosti rosta i razvitiya kukuruzy v severnyh rajonah ee vozdevlyaniya [Some features of corn growth and development in the northern regions of its cultivation] / P. P. Vavilov, E. S. Bolotova // Materials of the Komi Branch of the USSR Academy of Sciences]. – 1961. – № 11. – P. 57–69.
 7. Demin, E. A. Vliyanie mineral'nyh udobrenij i srokov poseva na urozhajnost' zelyonoy massy kukuruzy v leso-stepnoj zone Zaural'ja [Effect of mineral fertilisers and sowing dates on the yield of green mass of corn in the forest-steppe zone of the Trans-Urals] / E. A. Demin, D. V. Eremina // Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University. – 2020. – № 10. – P. 27–33. – DOI: 10.36718/1819-4036-2020-10-27-33
 8. Urozhajnost' i pitatel'naya cennost' kukuruzy i ih smesej dlya zagotovki sochnykh kormov v usloviyah central'noj Yakutii [Yield and nutritional value of corn and its mixtures for the production of succulent fodder in central Yakutia] / E. S. Pestereva, S. A. Pavlova, G. E. Zakharova [et al.] // Agrarnaya nauka [Agricultural Science]. – 2018. – № 9. – P. 54–56.
 9. Growth of plants and productivity of corn in a cold climate / T. K. Golovko, I. V. Dalke, G. T. Shmorgunov [et al.] // Agrarnaya nauka [Agricultural Science]. – 2019. – Vol. 45, № 3. – P. 251–255. – DOI: 10.3103/S1068367419030078
 10. Formirovanie urozhaya i kachestvo zelenoj massy kukuruzy v usloviyah central'nogo agroklmaticheskogo rajona Respubliki Komi [Crop formation and quality of corn green mass in the central agro-climatic region of the Komi Republic] / G. N. Tabalenkova, E. V. Silina, O. V. Dymova [et al.] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka [Agricultural Science of the European North-East]. – 2021. – Vol. 22, № 5. – P. 689–697. – DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.5.689-697
 11. Tabalenkova, G. N. Produktivnost' i sostav biomassy kukuruzy v usloviyah central'nogo agroklmaticheskogo rajona Respubliki Komi [Productivity and composition of corn biomass in the central agro-climatic region of the Komi Republic] / G. N. Tabalenkova, O. V. Dymova, T. K. Golovko // Agrarnyj vestnik Urals [Agrarian Bulletin of the Urals]. –

2020. – № 3 (194). – P. 57–65. – DOI: 10.32417/1997-4868-2020-194-3-57-65
12. Urozhajnost' kukuruzy na korm – vsego (ves zelenoj massy) v 2016 godu, c/ga [Corn yield for fodder – total (green mass weight) in 2016, kg/ha] // *Agrovestnik* [Agrarian Bulletin]. – URL: <https://agrovesti.net/lib/industries/forage/urozhajnostkukuruzy-na-korm-vsego-ves-zelenoj-massy-v-2016-godu-ts-ga.html>.
 13. Fitting net photosynthetic light-response curves with Microsoft Excel – a critical look at the models / F. de A. Lobo, M. P. Barros, H. J. Dalmagro [et al.] // *Photosynthetica*. – 2013– Vol. 51 (3). – P. 445–456. – DOI: 10.1007/s11099-013-0045-y
 14. Kajbeyajnen, E. L. Parametry svetovoj krivoj fotosinteza u *Salix dasyclados* i ih izmenenie v hode vegetacii [Parameters of the light curve of photosynthesis in *Salix dasyclados* and their change during the growing season] / E. L. Kajbeyajnen // *Fiziologiya rastenij* [Russian Journal of Plant Physiology]. – 2009. – Vol. 56, № 4. – P. 490–499.
 15. Effects of water stress on gas exchange of field grown *Zea mays* L. in Southern Italy: an analysis at canopy and leaf level / L. Vitale, P. D. Tommasi, C. Arena [et al.] // *Acta Physiologiae Plantarum*. – 2007. – Vol. 29, № 4. – P. 317–326. – DOI: 10.1007/s11738-007-0041-6
 16. Fotosinteticheskaya aktivnost' list'ev i produktivnost' rannespelogo gibrida kukuruzy Dorka v usloviyah Severnogo Nechernozem'ya [Photosynthetic activity of leaves and productivity of the early-ripening corn hybrid Dorka in the Northern Non-Chernozem Region] / T. K. Golovko, G. N. Tabalenkova, R. V. Malyshev [et al.] // *Sibirskij vestnik selskohozyajstvennoj nauki* [Siberian Bulletin of Agricultural Science]. – 2025. – № 2. – P. 5–13.
 17. Vliyanie nochnogo ohlazhdeniya rastenij kukuruzy na pro-/antioksidantnyj metabolizm, fotosintez i dyhanie list'ev [Effect of nighttime cooling of corn plants on pro-/antioxidant metabolism, photosynthesis, and leaf respiration] / T. K. Golovko, E. V. Silina, R. V. Malyshev [et al.] // *Fiziologiya rastenij* [Russian Journal of Plant Physiology]. – 2025. – Vol. 22, № 1. – P. 16–25.

Благодарность (госзадание)

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Физиологические и молекулярные механизмы интеграции клеточных процессов и целостности растительного организма: фотосинтез и дыхание», номер государственной регистрации 125020301262-2.

Acknowledgements (state task)

The work was performed within the frames of the state task “Fiziologicheskie i molekulyarnye mekhanizmy integracii kletocnyh processov i celostnosti rastitelnogo organizma: fotosintez i dyhanie [Physiological and molecular mechanisms of integration of cellular processes and the whole plant organism: photosynthesis and respiration]”, state registration number 125020301262-2.

Информация об авторах:

Головко Тамара Константиновна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; <http://orcid.org/0000-0002-7993-9541> (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28; e-mail: golovko@ib.komisc.ru).

Малышев Руслан Владимирович – кандидат биологических наук, научный сотрудник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; <http://orcid.org/0000-0001-6716-6118> (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28; e-mail: malrus@ib.komisc.ru).

Табаленкова Галина Николаевна – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; <http://orcid.org/0000-0002-1147-2746> (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28; e-mail: tabalenkova@ib.komisc.ru).

About the authors:

Tamara K. Golovko – Professor, Doctor of Sciences (Biology), Chief Researcher, Institute of Biology, Komi Science Centre of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences; <http://orcid.org/0000-0002-7993-9541> (28 Kommunisticheskaya st., Syktyvkar 167982, Komi Republic, Russian Federation; e-mail: golovko@ib.komisc.ru).

Ruslan V. Malyshev – Candidate of Sciences (Biology), Researcher, Institute of Biology, Komi Science Centre of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences; <http://orcid.org/0000-0001-6716-6118> (28 Kommunisticheskaya st., Syktyvkar 167982, Komi Republic, Russian Federation; e-mail: malrus@ib.komisc.ru).

Galina N. Tabalenkova – Doctor of Sciences (Biology), Associate Professor, Leading Researcher, Institute of Biology, Komi Science Centre of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences; <http://orcid.org/0000-0002-1147-2746>; <http://orcid.org/0000-0002-7993-9541> (28 Kommunisticheskaya st., Syktyvkar 167982, Komi Republic, Russian Federation; e-mail: tabalenkova@ib.komisc.ru).

Для цитирования:

Головко, Т. К. Фотосинтетическая активность листьев кукурузы в центральном агроклиматическом районе Республики Коми / Т. К. Головко, Р. В. Малышев, Г. Н. Табаленкова // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Экспериментальная биология и экология». – 2025. – № 7 (83). – С. 109–115.

For citation:

Golovko, T. K. Fotosinteticheskaya aktivnost listyev kukuruzy v centralnom agroklimaticheskom rajone Respubliki Komi [Photosynthetic activity of corn leaves in the central agro-climatic region of the Komi Republic] / T. K. Golovko, R. V. Malyshev, G. N. Tabalenkova // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Experimental Biology and Ecology". – 2025. – № 7 (83). – P. 109–115.

Дата поступления статьи: 15.08.2025

Прошла рецензирование: 18.08.2025

Принято решение о публикации: 19.09.2025

Received: 15.08.2025

Reviewed: 18.08.2025

Accepted: 19.09.2025