



## Формирование урожая и качество зеленой массы кукурузы в условиях центрального агроклиматического района Республики Коми

© 2021. Г. Н. Табаленкова, Е. В. Силина, О. В. Дымова , И. В. Далькэ, Т. К. Головки

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, г. Сыктывкар, Российская Федерация

*В полевом опыте на площади 100 м<sup>2</sup> исследовали влияние погодных условий на формирование и химический состав зеленой массы раннеспелого трёхлинейного гибрида кукурузы Дорка МГТ при выращивании в центральном агроклиматическом районе Республики Коми. Результаты трех сезонов вегетации (2018-2020 гг.) показали, что в условиях северного Нечерноземья при сумме активных температур свыше 10 °С (САТ<sub>10</sub>) около 1500 °С и величине гидротермического коэффициента (ГТК) около 2 растения кукурузы способны формировать до 56,5 т/га зеленой массы. Снижение САТ<sub>10</sub> на 30 % и умеренное выпадение осадков (ГТК = 2,3) приводило к пропорциональному уменьшению урожайности зеленой массы. В сезон вегетации с обильным выпадением осадков (ГТК = 4) эффективность реализации продукционного потенциала растений кукурузы значительно падала, о чем свидетельствует снижение урожайности более чем в 4 раза. Средняя за 3 года урожайность зеленой массы составила 35,5 т/га. Не выявили существенного влияния условий вегетации на содержание в биомассе растений основных химических элементов и питательных веществ (сахаров, протеина). Скорость видимого фотосинтеза листьев растений достигала 13-14 мкмоль СО<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup>с) в период интенсивного вегетативного роста (фаза пяти листьев) и снижалась при переходе к генеративному развитию (фаза вымётывания метелки). В целом полученные данные свидетельствуют о возможности выращивания в условиях центрального агроклиматического района Республики Коми раннеспелого гибрида кукурузы Дорка МГТ для получения качественного зеленого корма и силосования.*

**Ключевые слова:** Zea mays L., рост, биомасса, урожайность, минеральный состав, аминокислоты, холодный климат

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (тема №ГР АААА-А17-1170330110038-7) и проекта Комплексной программы УрО РАН (тема №18-4-4-20). Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Табаленкова Г. Н., Силина Е. В., Дымова О. В., Далькэ И. В., Головки Т. К. Формирование урожая и качество зеленой массы кукурузы в условиях центрального агроклиматического района Республики Коми. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(5):689-697. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.689-697>

Поступила: 28.06.2021 Принята к публикации: 14.09.2021 Опубликована онлайн: 27.10.2021

## Crop formation and green mass quality of maize under the conditions of central agroclimatic region of Komi Republic

© 2021. Galina N. Tabalenkova, Ekaterina V. Silina, Olga V. Dymova , Igor V. Dalke, Tamara K. Golovko

Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russian Federation

*In the field experiment on the area of 100 m<sup>2</sup> the impact of weather conditions on green mass formation and chemical composition of early ripe three-line maize hybrid DorkaMGT grown in the central agroclimatic region of the Komi Republic was studied. According to the data of three vegetation seasons (2018-2020), the maize plants can form up to 56.5 t/ha green mass in the northern non-black earth region with the sum of average daily active temperatures over 10 °C (GDD<sub>10</sub>) of about 1500 °C and a hydrothermal coefficient (HTC) of about 2. The decrease in GDD<sub>10</sub> of 30 % and moderate precipitation (HTC = 2.3) resulted in a proportional decrease in green mass yield. During the growing season with abundant precipitation (HTC = 4), the production potential efficiency of maize plants fell significantly as evidenced by a decrease in yield by more than 4 times. The average yield of green mass over 3 years was 35.5 t/ha. No significant effects of vegetation conditions on the content of basic chemical elements and nutrients (sugars, protein) in plant biomass have been revealed. The rate of visible photosynthesis of maize leaves reached 13-14 μmol CO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>s) during the period of intensive vegetative growth (phase of five leaves) and decreased during the transition to generative development ("heading of panicle" phase). In general, the data obtained indicate the possibility of growing early ripe maize hybrid Dorka MGT in the central agroclimatic region of the Komi Republic to obtain high-quality green feed and silage.*

**Keywords:** Zea mays L., growth, biomass, yield, mineral composition, amino acids, cold climate

**Acknowledgments:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the IB FRC Komi SCUBRAS (themeNo. AAAA-A17-117033010038-7) and the Project of the Integrated Program of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. 18-4-4-20).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review this work.

**Conflict of interest:** the authors declared no conflict of interest.

**For citation:** Tabalenkova G. N., Silina E. V., Dymova O. V., Dalke I. V., Golovko T. K. Crop formation and green mass quality of maize under conditions of central agroclimatic region of Komi Republic. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*=Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(5):689-697. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.689-697>

Received: 28.06.2021

Accepted for publication: 14.09.2021

Published online: 27.10.2021

Специализация сельскохозяйственного производства на Севере и спектр возделываемых культур ограничиваются низкой теплообеспеченностью и коротким вегетационным периодом, бедностью и повышенной кислотностью почв. Наблюдаемое в последние два десятилетия в центральных и южных районах Республики Коми потепление климата привело к увеличению суммы активных температур выше 10 °C (САТ<sub>10</sub>) с 1400 до 1560 °C, а продолжительность вегетационного периода со среднесуточными температурами выше 10 °C увеличилась с 88 до 95 дней [1]. Это создает условия для расширения ассортимента культивируемых растений, повышения продуктивности и эффективности растениеводства.

Кукуруза (*Zeamays* L.) – растение с C4 типом фотосинтеза, который эффективен в условиях теплого климата. Для роста и развития растений кукурузы требуется определенное количество тепла, которое может быть выражено в виде суммы активных температур – САТ<sub>10</sub> [2, 3]. Прорастание семян кукурузы возможно при минимальной температуре 8-10 °C [4], всходы в фазе «два листа» выдерживают кратковременные заморозки до -2 °C. Прирост вегетативной массы кукурузы начинается при температурах выше +10 °C, но наиболее благоприятны для роста и развития растений в период «всходы-выбрасывание метелок» среднесуточные температуры 20...23 °C. Для успешного культивирования скороспелых сортов необходимо, чтобы САТ<sub>10</sub> составляла 1800-2000 °C.

Кукурузу выращивают не только на зерно, но и для получения зеленой массы. По данным FAOSTAT<sup>1</sup>, мировое производство зеленой массы кукурузы в 2019 г. составило 8,3 млн т, а посевы занимали более 1 млн га. Кукурузный силос ценится из-за высокого содержания полезных веществ, сахаров, белка, каротина, витаминов, минеральных элементов.

Попытки выращивания кукурузы в Республике Коми были предприняты в середине прошлого века [5]. Однако культура не получила распространения из-за риска потери урожая в годы с холодным летом. В настоящее время появление новых раннеспелых гибридов и более холодоустойчивых сортов способствовало продвижению кукурузы в районы Сибири и Нечерноземья, где ее выращивают для получения сочных кормов [6, 7, 8]. Около десятка сортов и гибридов кукурузы недавно было испытано в Институте агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УРО РАН. Опыты показали, что продуктивность зеленой массы исследованных сортообразцов составляла в среднем 300 ц/га, а у некоторых достигала 400 ц/га [1].

Актуальность исследований продукционного процесса кукурузы в условиях средне-таежной зоны обусловлена необходимостью выявления наиболее общих физиологических взаимосвязей между параметрами фотосинтетического аппарата, метаболизмом и накоплением биомассы растений. Это позволит объяснить многие закономерности функционирования растительного организма и формирования продуктивности в условиях северного Нечерноземья для получения урожая зеленой массы.

**Цель исследований** – изучить влияние теплообеспеченности вегетационного периода на формирование и качество зеленой массы раннеспелого трёхлинейного гибрида кукурузы Дорка МГТ при выращивании в центральном агроклиматическом районе Республики Коми.

**Материал и методы.** Опыты проводили в 2018-2020 гг. на базе Института биологии ФИЦ Коми НЦ УРО РАН. В качестве объекта использовали раннеспелый трёхлинейный гибрид Дорка МГТ, характеризующийся на начальных этапах быстрым ростом, холодо- и засухоустойчивостью и включенный в Госреестр по Восточно-Сибирскому региону для выращивания на силос<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org> (дата обращения: 20.04.2021).

<sup>2</sup>Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорты растений (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 516 с.

Площадь опытного участка (опытная и учетная) составляла 100 м<sup>2</sup>. По данным агрохимического анализа, почва участка типичная среднеокультуренная с низким естественным плодородием. Содержание гумуса – 4,5 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 320 мг/кг, K<sub>2</sub>O – 209 мг/кг, Ca<sub>обм.</sub> – 115 ммоль/кг, Mg<sub>обм.</sub> – 28 ммоль/кг, Na<sub>обм.</sub> – 0,46 ммоль/кг, рН<sub>водн.</sub> – 6,8.

Семена кукурузы высевали вручную в гряды на глубину 6 см с шагом 0,15 м; расстояние между рядами – 0,7 м, норма высева – 6 штук семян на 1 м<sup>2</sup>. Перед севом вносили минеральные удобрения в дозе N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> д. в./га. Посев семян проводили с учетом погодных условий весеннего периода: в 2018 г. – 20 июня, 2019 г. – 31 мая, 2020 г. – 15 июня. Всходы появлялись спустя 18-20 дней, цветение метелок отмечали через 45-50 дней после полных всходов. Для характеристики накопления биомассы отбирали рандомизированно по 10-15 типичных растений, разделяли на органы, образцы взвешивали и высушивали при 105 °С. Уборку проводили через 84, 67 и 70 суток после посева в 2018, 2019 и 2020 гг. соответственно. Урожайность зелёной массы кукурузы (т/га) была рассчитана на основании данных по накоплению сырой надземной биомассы (г/на растение).

Содержание общего азота и углерода определяли с помощью элементного CHNS-O анализатора «EA-1110» (Чехия) в лиофильно высушенном материале. Для определения в растительных пробах содержания калия, кальция, фосфора и магния использовали метод оптической эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на приборе «SPECTRO CIROS-CCD» (Германия). Пробы предварительно минерализовали 65%-ой HNO<sub>3</sub> в присутствии H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Аминокислотный состав сухой биомассы определяли на аминокислотном анализаторе «AAA T-339» (Чехия) после гидролиза навески в 6н HCl при 105 °С в течение 24 ч.

Интенсивность CO<sub>2</sub>-газообмена и транспирации в средней части отделенного листа определяли с помощью ИК-газоанализатора LI-7000 («LI-COR», США) при температуре 20 °С и плотности светового потока от 0 до 1600 мкмоль квантов/(м<sup>2</sup>с). В качестве источника света использовали матрицу на основе

красных (максимум при 634 нм) и синих (максимум при 447 нм) светоизлучающих диодов в соотношении 1:11. Зависимость скорости нетто-фотосинтеза (Фв) от интенсивности света анализировали, как описано в работах [9, 10].

Оценку метеорологических условий вегетационного сезона проводили на основе показателей суммы среднесуточных температур воздуха выше +10 °С (САТ<sub>10</sub>) и гидротермического коэффициента увлажнения Г. Т. Селянинова (ГТК)<sup>3</sup>, характеризующего отношение суммы осадков в мм за период с температурами выше +10 °С к сумме температур за то же время. Для расчета САТ<sub>10</sub> и ГТК использовали данные гидрометеорологической станции г. Сыктывкар<sup>4</sup> (индекс ВМО 23804).

Результаты обрабатывали статистически в программе Statistica 10 (StatSoft Inc., США). Все расчеты проводили при заданном уровне значимости  $P \leq 0.05$ . В таблицах и на рисунках представлены средние арифметические значения и их стандартные ошибки.

**Результаты и их обсуждение.** Годы проведения исследований отличались по температурному режиму и количеству осадков. Наиболее прохладным и влажным был вегетационный период 2019 г., сравнительно теплыми и сухими выдались 2018 и 2020 гг. (табл. 1). Для сезона 2018 г. характерны наиболее высокие значения САТ<sub>10</sub> и низкие ГТК. В 2020 г. количество дней со среднесуточной температурой воздуха более 10 °С было на 10 % больше, чем в среднем за базовый период, в 2019 г. таких дней было на 5 % меньше. Сезон 2019 г. отличался высоким значением ГТК, что было больше связано с количеством осадков, чем с температурой. При близких значениях САТ<sub>10</sub> величина ГТК в 2019 г. была в 2 раза больше, чем в 2020 г.

Скорость линейного роста растений кукурузы зависела от погодных условий сезона вегетации. В теплом и умеренно сухом 2020 г. высота растений была в 2 раза больше, чем в более прохладном и влажном 2019 г. (рис.). При этом темпы прироста растений в течение первых недель после всходов были низкими в оба года, что вероятно обусловлено ограниченным поступлением тепла в июне. Среднесуточная температура воздуха в этот

<sup>3</sup>Селянинов Г. Т. Мировой агроклиматический справочник. Л.: Гидрометеиздат, 1937. 420 с.

<sup>4</sup>«Расписание Погоды». [Электронный ресурс]. URL: <https://rp5.ru> (дата обращения 26.04.2021).

период была немного выше +13 °С. Фаза 2-3 листьев считается критической для формирования урожая зеленой массы, так как на данном этапе происходит дифференциация

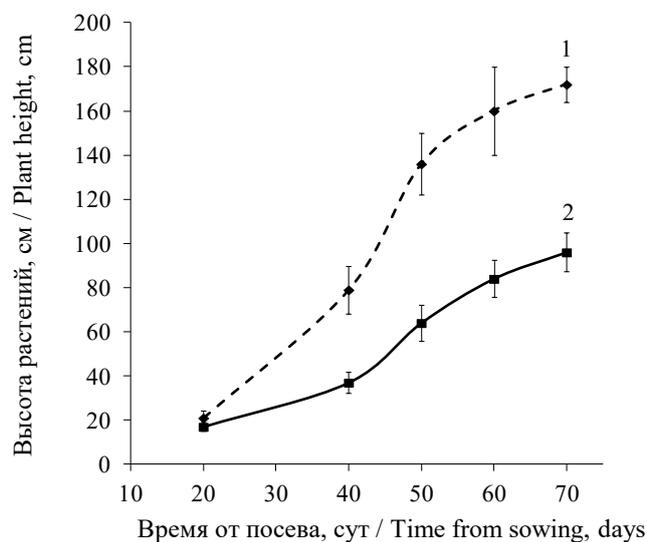
зачаточного стебля. Интенсивный рост растений в высоту у кукурузы наблюдался с фазы 9-11 листьев и достигал максимума в период выметывания метелок.

*Таблица 1 – Погодные условия вегетационных сезонов 2018-2020 гг. в сравнении со средними многолетними показателями за период 1990-2020 гг. (ГМС Сыктывкар, индекс ВМО 23804) /*

*Table 1 – Weather conditions of the growing seasons 2018-2020 in comparison with the average long-term indicators for the period of 1990-2020 (GMS Syktvykar, WMO index 23804)*

Месяц / Month	Средние многолетние значения (1990-2020 гг.) / Long-term average values (1990-2020)		2018 г.		2019 г.		2020 г.	
	T, °C	осадки, мм / precipitation, mm	T, °C	осадки, мм / precipitation, mm	T, °C	осадки, мм / precipitation, mm	T, °C	осадки, мм / precipitation, mm
Май / May	9,0	53	8,1	80	10,9	84	10,2	66
Июнь / June	14,2	72	13,5	75	13,6	94	13,8	41
Июль / July	17,5	70	19,4	91	15,4	134	20,0	58
Август / August	14,0	80	14,5	51	11,4	111	13,7	71
CAT <sub>10</sub> май-август / GDD <sub>10</sub> may-august	-		1483		1024		1037	
Количество осадков, мм / Precipitation, mm	275		297		423		236	
Количество дней с T <sub>ср</sub> > 10 °C / Number of days T > 10 °C	107		104		101		118	
ГТК за вегетацию / HTC for the growing season	-		2,0		4,1		2,3	

Примечание: CAT<sub>10</sub> – сумма активных температур, T – среднесуточная температура воздуха, ГТК – гидротермический коэффициент / Notes: GDD<sub>10</sub> – Growing degree-day, T – the average daily air temperature, HTC – hydrothermal coefficient.



*Рис. Динамика линейного роста растений кукурузы (гибрид Дорка МГТ): 1 – 2019 г., 2 – 2020 г. /*

*Fig. Dynamics of linear growth of maize plants (hybrid Dorka MGT): 1 – 2019, 2 – 2020*

Кукуруза – светолюбивое растение короткого дня. Быстрее всего зацветает при продолжительности дня 8-9 ч. При фотопериоде более 12-14 ч фаза вегетативного роста удлиняется. В районе исследований, где продолжительность светлой части суток в июне-

июле свыше 18 ч, цветение метелок отмечали через 45-50 дней после полных всходов.

Погодные условия вегетации оказали существенное влияние на накопление биомассы растений. Как видно из данных таблицы 2, в период уборки сырая биомасса растений

различалась в разы: в 2018 г. превышала 1000 г, в 2019 г. была в 7 раз меньше. Основная часть биомассы (53-68 %) приходилась на стебли (с влагалищами листьев). Доля корней в общей биомассе растения варьировала от 10 (в 2019 г. и 2020 г.) до 18 % (в 2018 г.). Листья составляли

от 15 % (в 2018 г. и 2020 г.) до 34 % (2019 г.). Независимо от года проведения опытов и срока уборки зеленой массы количество листьев было равно  $10 \pm 0,2$  шт/растение. Початки образовались только в 2018 г., их вклад в общую биомассу составил 13 %.

**Таблица 2 – Накопление сырой и сухой биомассы растениями кукурузы (гибрид Дорка МГТ), г/растение /**

**Table 2 – Accumulation of fresh and dry biomass by maize plants (hybrid Dorka MGT), g/plant**

Год / Year	Листья / Leaves	Стебли с влагалищами листьев / Stems with leaf sheaths	Корни / Roots	Метелка / Panicle of maize	Початок / Ear of corn	Целое растение / Whole plant
Сырая масса / Raw weight						
2018	173,1 $\pm$ 25,4	608,2 $\pm$ 88,6	202,3 $\pm$ 30,3	11,2 $\pm$ 4,4	148,8 $\pm$ 88,6	1143 $\pm$ 161,9
2019	55,6 $\pm$ 1,2	89,5 $\pm$ 4,1	16,3 $\pm$ 1,2	-	-	161,4 $\pm$ 14,2
2020	128,7 $\pm$ 7,5	547,2 $\pm$ 67,8	104,8 $\pm$ 11,0	15,6 $\pm$ 2,2	-	796,3 $\pm$ 82,8
Сухая масса / Dry weight						
2018	45,0 $\pm$ 6,6	109,5 $\pm$ 15,9	52,2 $\pm$ 7,8	5,6 $\pm$ 2,2	16,7 $\pm$ 9,9	229,0 $\pm$ 32,1
2019	8,6 $\pm$ 0,2	6,6 $\pm$ 0,3	1,2 $\pm$ 0,1	-	-	16,4 $\pm$ 1,4
2020	24,3 $\pm$ 1,4	62,0 $\pm$ 8,6	18,8 $\pm$ 1,9	3,2 $\pm$ 0,4	-	108,3 $\pm$ 10,5

Урожайность надземной зеленой массы в 2018, 2019 и 2020 гг. составила 56,5, 8,7 и 41,5 т/га соответственно. Средняя на три года урожайность составляла 35,5 т/га. При этом количество биомассы пожнивных остатков в почве (корни) равнялось 6,4 т/га и сильно варьировало в зависимости от года (от 0,9 до 12,0 т/га). Урожай зеленой массы кукурузы, полученные в центральном агроклиматическом районе Республики Коми, сопоставимы со средними урожаями по РФ<sup>5</sup>.

Погодные условия оказали существенное влияние на накопление сухого вещества в растениях. Оводненность органов растений возрастала с увеличением ГТК. При уборке растений в более дождливом 2019 г. листья и стебли содержали в 1,5-2,5 раза меньше сухого вещества, чем в 2018 и 2020 гг. В опытах, проведенных в условиях Тюменской обл., между суммой атмосферных осадков и урожайностью зеленой массы кукурузы показана положительная корреляционная связь средней степени ( $r = 0,43-0,48$ ) [11].

Качество хозяйственно полезной части биомассы зависит от содержания в ней питательных веществ и биологически ценных

соединений. Основную массу сухого вещества растений образует органическое вещество, состоящее из органогенных элементов: углерода, водорода, кислорода и азота. Мы не выявили существенного эффекта погодных условий на концентрацию основных элементов в надземной массе кукурузы, в таблице 3 приведены усредненные данные за все годы исследований. Содержание азота в листьях было вдвое выше, чем в стеблях, следовательно, они накапливали больше протеина. Содержание протеина в расчете на надземную массу целого растения варьировало от 2,5 % (в 2019 г.) до 15,6 % (в 2018 г.), что обусловлено в основном различиями в продуктивности. В среднем за 3 года выход протеина с урожаем зеленой массы составил 525 кг/га. Листья сильнее обогащены кальцием и магнием, но мало отличаются от стеблей по содержанию калия и фосфора. Содержание углерода в листьях и стеблях составляло в среднем 43 %. Генеративные органы (метелка) содержали примерно столько же азота, магния и фосфора, что и листья. Однако с учетом их вклада в биомассу не играли существенной роли в качестве источника полезных веществ.

<sup>5</sup> Урожайность кукурузы на корм – всего (вес зеленой массы в 2016 году, ц/га). Росстат. [Электронный ресурс]. 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).

Таблица 3 – Содержание элементов минерального питания и аминокислот в надземной массе кукурузы (гибрид Дорка МГТ)  
Table 3 – The content of mineral nutrition elements and amino acids in the above-groundmass of maize plants (hybrid Dorka MGT)

Показатель / Indicator	Листья / Leaves	Стебли с влагалищами листьев / Stems with leaf sheaths	Метелка / Panicle of maize
<i>Элементы минерального питания, мг/г сухой массы*/ Mineral nutrition elements, mg/g of dry mass</i>			
N	28,1±5,4	14,1±5,4	23,5±4,5
Ca	6,1±1,9	4,0±0,1	3,4±0,1
Mg	2,0±0,2	1,1±0,1	2,1±0,1
K	22,3±10	24,0±8,0	17±1,4
P	4,4±1,6	3,1±0,7	4,5±0,1
<i>Аминокислоты, % от суммы аминокислот**/ Amino acids, % from the sum of amino acids</i>			
Дикарбоновые / Dicarbon	24,5±2,6	29,7±2,8	23,4±2,4
Моноаминомонокарбоновые / Monoaminomonocarboxylic	35,1±3,7	35,7±3,6	31,3±3,2
Оксиаминокислоты / Oxy-amino acids	10,0±1,2	8,0±0,8	10,2±0,9
Основные / Basic amino acids	12,7±1,1	9,1±1,1	12,7±1,3
Ароматические / Aromatic	10,7±1,4	12,1±1,3	9,2±1,0
Серосодержащие / Sulfur-containing	1,5±1,3	1,3±0,9	1,1±0,2
Иминокислота / Iminoic acid	5,5±4,9	4,1±4,3	12,1±1,0

\*Средние данные за 2018-2020 гг.; \*\* средние данные за 2018-2019 гг. /

\*Average data for 2018-2020; \*\*Average data for 2018-2019

Биомасса кукурузы хорошо сбалансирована по аминокислотному составу. По данным, полученным нами в 2018 г. и 2019 г., в надземной массе было обнаружено 17 аминокислот, среди них преобладающими были моноаминодикарбоновые (аспарагиновая и глютаминовая) и моноаминомонокарбоновые кислоты (глицин, аланин, валин, изолейцин, лейцин) (табл. 3). Сумма аминокислот в сухой надземной массе колебалась в пределах 9-10 г/растение, около 40 % из них составляли незаменимые аминокислоты, что сопоставимо с произрастающими в регионе кормовыми злаками [12]. При использовании биомассы на силос большое значение имеет содержание в ней углеводов. По нашим данным, к уборке урожая в зеленой массе кукурузы содержалось до 36 г растворимых сахаров, из которых более 50 % составляют моносахара [13]. Выход углеводов с урожаем определялся количеством сформировавшейся надземной массы.

Как уже отмечалось, кукуруза относится к видам с С4 типом фотосинтеза. Такие растения хорошо приспособлены к теплу, засуш-

ливому климату и отличаются от С3-видов умеренного климата высокой фотосинтетической продуктивностью. Наши данные показали, что в условиях Севера максимальные значения скорости видимого фотосинтеза (Фв) листьев растений в период интенсивного вегетативного роста (фаза пяти листьев) составляли около 13 мкмоль СО<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup>с) (табл. 4). При переходе к генеративному развитию (фаза выметывания метелок) фотосинтетическая активность была ниже на 23 %, несмотря на значительное увеличение удельной поверхностной плотности листьев (УППЛ). В пересчете на единицу сухой массы скорость Фв листьев в фазу вегетативного роста составляла более 60 мг СО<sub>2</sub>/(г ч), а в фазу появления метелки – около 25 мг СО<sub>2</sub>/(г ч). Такие величины Фв ранее были отмечены нами для листьев картофеля – типичного С3-растения, культивируемого на Севере [13]. Сравнительно низкая фотосинтетическая активность листьев кукурузы при культивировании на Севере обусловлена недостатком тепла для эффективного функционирования фермента фосфоенолпируваткарбоксилазы

(ФЕП-карбоксилазы) в клетках мезофилла. Как известно, температурный оптимум ФЕП-карбоксилазы на 10-15 °С выше, чем температурный оптимум основного фотосинтетического фермента рибулезобифосфаткарбоксилазы. Следует отметить также, что низкой фотосин-

тетической активности листьев соответствовало сравнительно небольшое накопление фотосинтетических пигментов. По полученным нами данным [13], содержание хлорофиллов составляло в среднем 2,9 мг/г, каротиноидов – не превышало 0,7 мг/г сухой биомассы.

**Таблица 4 – Показатели фотосинтетической активности листьев кукурузы гибрида Дорка МГТ в разные фазы развития растений (2020 г.) / Table 4 – Indicators of photosynthetic activity of maize leaves of hybrid Dorka MGT at different stages of plant development (2020)**

Фаза развития / Development phase	Фв макс. / Pn max	ДТ / Rd	СКП / LCP	КВ / QE	УППЛ, г/дм <sup>2</sup> / LSM, g/m <sup>2</sup>
	мкмоль CO <sub>2</sub> /(м <sup>2</sup> с) / μmol CO <sub>2</sub> /(m <sup>2</sup> s)		мкмоль квантов/(м <sup>2</sup> с) / μmol quanta/(m <sup>2</sup> s)		
5 листьев / 5 leaves	13,5±0,3 <sup>a</sup>	1,6±0,0 <sup>a</sup>	53±3 <sup>a</sup>	0,030±0,002 <sup>a</sup>	0,26±0,01 <sup>a</sup>
Выметывание метелки / Heading of panicles	10,0±0,3 <sup>b</sup>	1,1±0,1 <sup>b</sup>	40±3 <sup>b</sup>	0,029±0,003 <sup>a</sup>	0,61±0,02 <sup>b</sup>

Примечание: Фв макс. – максимальная скорость видимого фотосинтеза, ДТ – скорость темнового дыхания, СКП – световой компенсационный пункт, КВ – квантовый выход Фв, УППЛ – удельная поверхностная плотность листьев. Разными латинскими буквами (а, б) обозначены статистически значимые различия между однородными группами /

Note: Pn max – is the maximum rate of net photosynthesis, R<sub>D</sub> – is the rate of dark respiration, LCP – is the light compensation point, QE – is the quantum yield of net photosynthesis, LSM – is the leaf specific mass. Different Latin letters (a, b) indicate statistically significant differences between groups.

Скорость темнового дыхания листьев составляла 11-12 % от видимого фотосинтеза. Переход от выделения к поглощению CO<sub>2</sub> наблюдался при плотности светового потока ФАР 40-50 мкмоль квантов/м<sup>2</sup>с (эквивалентно 10-12 Вт/м<sup>2</sup>). Квантовый выход Фв, характеризующий количество световой энергии, необходимой для ассимиляции 1 мкмоль CO<sub>2</sub>, составил 0,03 мкмоль квантов. Скорость транспирации листьев не превышала 0,9 ммоль H<sub>2</sub>O/м<sup>2</sup>с, а эффективность использования воды на фотосинтез снижалась в течение вегетации от 15 до 9 ммоль CO<sub>2</sub>/моль H<sub>2</sub>O.

**Закключение.** На севере Нечерноземья в центральном агроклиматическом районе Республики Коми при САТ<sub>10</sub> около 1500 °С раннеспелый гибрид кукурузы Дорка МГТ формировал до 56,5 т/га зеленой массы, что сопоставимо (по данным Росстата за 2016 г.) с урожайностью в среднем по Российской Федерации. Снижение САТ<sub>10</sub> на 30 % при умеренном выпадении осадков приводило к пропорциональному уменьшению урожай-

ности зеленой массы. В сезон вегетации с обильным выпадением осадков и двукратным увеличением ГТК эффективность реализации продукционного потенциала кукурузы значительно падала, о чем свидетельствует снижение урожайности более чем в 4 раза. Средняя за три года (2018-2020 гг.) урожайность составляла 35,5 т/га. Не выявили существенного влияния условий вегетации на содержание в биомассе растений основных химических элементов и питательных веществ. Выход с 1 га протеина, сахаров, минеральных элементов коррелировал с урожайностью зеленой массы. В целом, по содержанию сухого вещества и составу биомассы гибрид кукурузы Дорка МГТ сравним с продуктивностью наиболее используемых в сельскохозяйственном производстве кормовых трав. Следовательно, в центральном агроклиматическом районе РК при САТ<sub>10</sub> ниже 1600 °С возможно выращивание кукурузы для получения качественного зеленого корма и силосования.

#### Список литературы

1. Головки Т. К., Далькэ И. В., Шморгунов Г. Т., Триандафилов А. Ф., Тулинов А. Г. Рост растений и продуктивность кукурузы в холодном климате. Российская сельскохозяйственная наука. 2019;(2):19-23. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019219-23>
2. Ahmad L., Habib Kanth R., Parvaze S., Sheraz Mahdi S. Growing Degree Days to Forecast Crop Stages. Experimental Agrometeorology: A Practical Manual. Springer, Cham. 2017. P. 95-98. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-69185-5\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69185-5_14)

3. Ерёмин Д. И., Дёмин Е. А. Агроэкологическое обоснование выращивания кукурузы на зерно в условиях лесостепной зоны Зауралья. Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. 2016;(1):6-11. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26124930>
4. Дёмин Е. А., Ерёмин Д. В. Влияние минеральных удобрений и сроков посева на урожайность зелёной массы кукурузы в лесостепной зоне Зауралья. Вестник КрасГАУ.2020;(10):27-33. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-10-27-33>
5. Вавилов П. П., Болотова Е. С. Особенности роста и развития кукурузы. Труды Коми филиала АН СССР. 1967;(16):4-25.
6. Ильин В. С., Логинова А. М., Губин С. В., Гетц Г. В. Кукуруза в Сибири. Успехи селекции. АПК России. 2016;23 (3):664-668. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27192855>
7. Пестерева Е. С., Павлова С. А., Захарова Г. Е., Кузьмина А. В., Жиркова Н. Н. Урожайность и питательная ценность кукурузы и их смесей для заготовки сочных кормов в условиях центральной Якутии. Аграрная наука. 2018;(9):54-56. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35644085>
8. Аветисян А. Т., Данилов В. П., Мудрова В. Е. Продуктивность кукурузы и основные приемы ее возделывания в условиях лесостепи Красноярского края. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2017;47 (6):57-65. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2017-6-8>
9. Кайбейнен Э. Л. Параметры световой кривой фотосинтеза у *Salix dasyclados* и их изменение в ходе вегетации. Физиология растений. 2009;56 (4): 490-499. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12449933>
10. Lobo F., de Barros M. P., Dalmagro H. J., Dalmolin A. C., Pereira W. E., de Souza E. C., Vourlitis G. L., Rodriguez Ortiz C. E. Fitting net photosynthetic light-response curves with Microsoft Excel – a critical look at the models Photosynthetica. 2013;51(3):445-456. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0045-y>
11. Лазарев А. П., Митриковский А. Я. Продуктивность зелёной массы кукурузы в зависимости от агроклиматических условий, основной обработки и предшественников. Современные проблемы науки и образования. 2014;(5):740. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22567154>
12. Табаленкова Г. Н., Головки Т. К. Продукционный процесс культурных растений в условиях холодного климата. СПб.: Наука, 2010. 231 с.
13. Табаленкова Г. Н., Дымова О. В., Головки Т. К. Продуктивность и состав биомассы кукурузы в условиях центрального агроклиматического района Республики Коми. Аграрный вестник Урала. 2020;194(3):57-65. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-194-3-57-65>

#### References

1. Golovko T. K., Dalke I. V., Shmorgunov G. T., Triandafilov A. F., Tulinov A. G. *Rost rasteniy i produktivnost' kukuruzy v kholodnom klimate*. [Growth of plants and productivity of corn in cold climate]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* = Russian Agricultural Sciences. 2019;(2):19-23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019219-23>
2. Ahmad L., Habib Kanth R., Parvaze S., Sheraz Mahdi S. Growing Degree Days to Forecast Crop Stages. *Experimental Agrometeorology: A Practical Manual*. Springer, Cham. 2017. P. 95-98. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-69185-5\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69185-5_14)
3. Eremin D. I., Demin E. A. *Agroekologicheskoe obosnovanie vyrashchivaniya kukuruzy na zerno v usloviyakh lesostepnoy zony Zaural'ya*. [Agroecological substantiation of corn cultivation in the conditions of the Trans-Urals forest-steppe zone]. *Vestnik Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta Severnogo Zaural'ya* = Bulletin of Northern Trans-Ural State Agricultural University. 2016;(1):6-11. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26124930>
4. Demin E. A., Eremina D. V. *Vliyanie mineral'nykh udobreniy i srokov poseva na urozhaynost' zelenoy massy kukuruzy v lesostepnoy zone Zaural'ya*. [The influence of mineral fertilizers and sowing terms on the yield of green mass of corn in the forest-steppe zone of the Trans-Urals]. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2020;(10):27-33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-10-27-33>
5. Vavilov P. P., Bolotova E. S. *Osobennosti rosta i razvitiya kukuruzy*. [Features of the growth and development of corn]. *Trudy Komi filiala AN SSSR*. 1967;(16):4-25. (In Russ.).
6. Il'in V. S., Loginova A. M., Gubin S. V., Getts G. V. *Kukuruza v Sibiri. Uspekhi seleksii*. [Maize in Siberia. The success of selection]. *APK Rossii* = Agro-Industrial Complex of Russia. 2016;23 (3):664-668. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27192855>
7. Pestereva E. S., Pavlova S. A., Zakharova G. E., Kuzmina A. V., Zhirkova N. N. *Urozhaynost' i pitatel'naya tsennost' kukuruzy i ikh smesey dlya zagotovki sochnykh kormov v usloviyakh tsentral'noy Yakutii*. [The yield and nutritive value of maize and their mixtures for harvesting succulent fodder in conditions of central Yakutia] *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2018;(9):54-56. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35644085>
8. Avetisyan A. T., Danilov V. P., Mudrova V. E. *Produktivnost' kukuruzy i osnovnye priemy ee vozdelvaniya v usloviyakh lesostepi Krasnoyarskogo kraya*. [Productivity of maize and basic cultivation techniques under conditions of the Krasnoyarsk forest steppe]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2017;47 (6):57-65. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2017-6-8>

9. Kaybeyaynen E. L. *Parametry svetovoy krivoy fotosinteza u Salix dasyclados i ikh izmenenie v khode vegetatsii*. [Parameters of the light curve of photosynthesis in *Salix dasyclados* and their changes during the growing season]. *Fiziologiya rasteniy*. 2009;56 (4): 490-499. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12449933>

10. Lobo F., de Barros M. P., Dalmagro H. J., Dalmolin A. C., Pereira W. E., de Souza E. C., Vourlitis G. L., Rodriguez Ortiz C. E. Fitting net photosynthetic light-response curves with Microsoft Excel – a critical look at the models *Photosynthetica*. 2013;51(3):445-456. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0045-y>

11. Lazarev A. P., Mitrikovskiy A. Ya. *Produktivnost' zelenoy massy kukuruzy v zavisimosti ot agroklimaticheskikh usloviy, osnovnoy obrabotki i predshestvennikov*. [Productivity green mass corn depending on agro-climatic conditions, basic processing and predecessors]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern problems of science and education. 2014; (5):740. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22567154>

12. Tabalenkova G. N., Golovko T. K. *Produksionnyy protsess kul'turnykh rasteniy v usloviyakh kholodnogo klimata*. [The production process of cultivated plants in a cold climate]. Saint-Petersburg: *Nauka*, 2010. 231 p.

13. Tabalenkova G. N., Dymova O. V., Golovko T. K. *Produktivnost' i sostav biomassy kukuruzy v usloviyakh tsentral'nogo agroklimaticheskogo rayona Respubliki Komi*. [Productivity and composition of maize biomass in the central agroclimatic region of the Komi Republic]. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2020;194(3):57-65. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-194-3-57-65>

#### **Сведения об авторах**

**Табаленкова Галина Николаевна**, доктор биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической физиологии растений, Институт биологии Коми научный центр УрО РАН, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация, 167982, e-mail: [directorat@ib.komisc.ru](mailto:directorat@ib.komisc.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1147-2746>

**Силина Екатерина Валерьевна**, старший лаборант-исследователь лаборатории экологической физиологии растений, Институт биологии Коми научный центр УрО РАН, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Коми Республика, Российская Федерация, 167982, e-mail: [directorat@ib.komisc.ru](mailto:directorat@ib.komisc.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9632-3431>

✉ **Дымова Ольга Васильевна**, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической физиологии растений, Институт биологии Коми научный центр УрО РАН, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Коми Республика, Российская Федерация, 167982, e-mail: [directorat@ib.komisc.ru](mailto:directorat@ib.komisc.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2008-6350>, e-mail: [dymovao@ib.komisc.ru](mailto:dymovao@ib.komisc.ru)

**Далькэ Игорь Владимирович**, кандидат биол. наук, заведующий лаборатории экологической физиологии растений, Институт биологии Коми научный центр УрО РАН, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Коми Республика, Российская Федерация, 167982, e-mail: [directorat@ib.komisc.ru](mailto:directorat@ib.komisc.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5711-9916>

**Головко Тамара Константиновна**, доктор биол. наук, профессор главный научный сотрудник лаборатории экологической физиологии растений, Институт биологии Коми научный центр УрО РАН, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация, 167982, e-mail: [directorat@ib.komisc.ru](mailto:directorat@ib.komisc.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7993-9541>

#### **Information about the authors**

**Galina N. Tabalenkova**, DSc in Biology, associate professor, leading researcher, the Laboratory of Ecological Physiology of Plants, Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the UB RAS, Kommunisticheskaya st., 28, Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982, e-mail: [directorat@ib.komisc.ru](mailto:directorat@ib.komisc.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1147-2746>

**Ekaterina V. Silina**, senior research assistant, the Laboratory of Ecological Physiology of Plants, Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the UB RAS, Kommunisticheskaya st., 28, Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982, e-mail: [directorat@ib.komisc.ru](mailto:directorat@ib.komisc.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9632-3431>

✉ **Olga V. Dymova**, DSc in Biology, leading researcher, the Laboratory of Ecological Physiology of Plants, Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the UB RAS, Kommunisticheskaya st., 28, Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982, e-mail: [directorat@ib.komisc.ru](mailto:directorat@ib.komisc.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2008-6350>, e-mail: [dymovao@ib.komisc.ru](mailto:dymovao@ib.komisc.ru)

**Igor V. Dalke**, PhD in Biology, head of the Laboratory of Ecological Physiology of Plants, Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the UB RAS, Kommunisticheskaya st., 28, Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982, e-mail: [directorat@ib.komisc.ru](mailto:directorat@ib.komisc.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5711-9916>

**Tamara K. Golovko**, DSc in Biology, professor, chief researcher, the Laboratory of Ecological Physiology of Plants, Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the UB RAS, Kommunisticheskaya st. 28, Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982, e-mail: [directorat@ib.komisc.ru](mailto:directorat@ib.komisc.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7993-9541>

✉ – Для контактов / Corresponding author