

Продуктивность и состав биомассы кукурузы в условиях центрального агроклиматического района Республики Коми

Г. Н. Табаленкова¹, О. В. Дымова¹, Т. К. Головки¹

¹ Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар, Россия

✉ E-mail: tabalenkova@ib.komisc.ru

Аннотация. Цель. Специализация сельскохозяйственного производства и спектр возделываемых культур в Республике Коми характеризуются низкой теплообеспеченностью, коротким вегетационным периодом, бедностью и повышенной кислотностью почв, что определяет подбор культивируемых растений. Для развития и повышения эффективности северного растениеводства приоритетное значение имеют расширение ассортимента возделываемых культур за счет новых сортов и гибридов, адаптированных к холодному климату. За последние два десятилетия в центральном агроклиматическом районе Республики Коми продолжительность периода с температурой выше +10 °С увеличилась с 88 до 95 дней, сумма активных температур возросла от 1400 до 1560 °С, что позволяет расширить ассортимент возделываемых кормовых культур, в том числе и за счет новых сортов кукурузы. Для решения этой задачи было проведено изучение продуктивности и содержания питательных веществ в биомассе кукурузы при выращивании в центральном агроклиматическом районе Республики Коми. **Методы.** В качестве объекта использовали сорт Дорка – раннеспелый трехлинейный гибрид, отличающийся на начальных этапах быстрым ростом, холодо- и засухоустойчивостью. Деляночный опыт был заложен на площади 100 м², участок расположен вблизи г. Сыктывкара. В биомассе кукурузы определяли содержание пигментов, растворимых углеводов, элементный и аминокислотный состав. **Результаты.** Установлено, что при позднем сроке посева (20 июня), который был обусловлен холодным и влажным вегетационным периодом, и при сумме эффективных температур менее 1800 °С современный сорт Дорка способен сформировать 564 ц/га зеленой массы и 106 ц/га сухой массы. Содержание протеина в сухой биомассе составляло 15,6 %, растворимых углеводов – 200 г/кг, каротиноидов – 140 мг/кг, аминокислот – 52 г/кг, из них незаменимых – 18,7 г/кг. Биомасса кукурузы богата кальцием и магнием. **Научная новизна.** С учетом тенденции к потеплению климата кукуруза может оказаться полезной в качестве селекционного материала и занять свое место при расширении ассортимента возделываемых кормовых культур в центральном и южном агроклиматических районах Республики Коми.

Ключевые слова: кукуруза, продуктивность, зеленая масса, минеральный состав, каротиноиды, сахара, аминокислоты.

Для цитирования: 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. № 03 (194). С. 57–65. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-194-3-57-65.

Дата поступления статьи: 24.01.2020.

Постановка проблемы (Introduction)

Значительная часть территории РФ, в том числе Республика Коми, расположена на Севере в зоне рискованного земледелия [1, с. 5]. Специализация сельскохозяйственного производства на Севере и спектр возделываемых культур ограничиваются низкой теплообеспеченностью и коротким вегетационным периодом, бедностью и повышенной кислотностью почв, что определяет подбор культивируемых растений. Почвенно-климатические условия центрального и южного агропроизводственных округов Республики Коми, расположенных в подзоне южной и средней тайги европейского Северо-Востока России, позволяют успешно выращивать картофель, овощи, зерновые культуры (овес, ячмень, рожь). Современные принципы образования высокопродуктивных агроценозов включают максимально эффективное использование условий среды и потенциала культур. Формирование продуктивности северных агроценозов определяется своеобразием по-

чвенно-климатических факторов и степенью адаптированности сортов. Для развития и повышения эффективности северного растениеводства приоритетное значение имеют расширение ассортимента возделываемых культур за счет новых сортов и гибридов, адаптированных к холодному климату, в том числе и кукурузы.

Кукуруза (*Zea mays* L.) – однолетнее однодомное разнополюе перекрестноопыляемое растение семейства злаковых (Poaceae). Родина кукурузы – Центральная и Южная Америка, где ее возделывают с древнейших времен. В Старом Свете кукуруза появилась в XV–XVI вв. Селекция кукурузы прошла длительный период развития. В настоящее время кукуруза – это хлебная и кормовая культура, занимающая по посевной площади третье место в мире (после пшеницы и риса). Высокая продуктивность этой культуры, определяющаяся С4-типом фотосинтеза и интенсивными ростовыми процессами, обусловила ее широкое использование в пищевых и кормовых целях.

Кукуруза – одна из самых высокоурожайных и теплолюбивых сельскохозяйственных культур. Прорастание семян возможно при минимальной температуре 8–10 °С, всходы в фазе «два листа» выдерживают кратковременные заморозки до –2 °С. Прирост вегетативной массы кукурузы начинается при температурах выше +10 °С. Осенью процессы накопления сырой массы заканчиваются при температурах ниже +12 °С. Наиболее благоприятны для роста и развития растений в период «всходы – выбрасывание метелок» среднесуточные температуры 20–23 °С. Важными критериями для оценки пригодности местности для выращивания кукурузы являются среднесуточные температуры за период с мая по сентябрь или сумма эффективных температур за этот период. Сумма среднесуточных активных температур, необходимых для нормального развития растений кукурузы скороспелых сортов, равна 1800–2000 °С, среднеспелых и позднеспелых сортов – 2300–2600 °С. Продуктивность кукурузы зависит не только от ее генетического потенциала, но и от реализации потенциала продуктивности в различных почвенно-климатических условиях, поэтому сейчас большее значение уделяется адаптивной селекции [2, с. 665]. Условием стабильного производства кукурузы на зерно и зеленую массу в северных регионах России является создание ультраанних холодостойких гибридов, способных выдерживать температуру почвы ниже биологического минимума [3, с. 26]. В настоящее время ежегодно обновляются сведения по сортам и гибридам кукурузы, прошедшим государственное испытание, включенным в Государственный реестр селекционных достижений и допущенным к использованию [4, с. 27, 28]. Сведения о потенциальной урожайности, устойчивости к вредителям, болезням, качестве семян кукурузы разной группы спелости позволяют подбирать оптимальные сорта и гибриды кукурузы [5, с. 15]. В результате селекции зона выращивания кукурузы на силос и зерно за последнее время существенно продвинулась на север. Это позволяет распространить культуру в регионы с коротким и сравнительно прохладным вегетационным периодом [2, с.665; 6, с.54,56]. В последнее время на всей территории России наблюдаются агроклиматические изменения, связанные с глобальным потеплением климата [7, с. 7, 66]. В центральном агроклиматическом районе Республики Коми за последние два десятилетия наблюдаются существенные изменения погодно-климатических условий: увеличилась продолжительность периода с температурой свыше +10 °С с 88 до 95 дней, сумма активных температур возросла от 1400 до 1560 °С [8, с. 22].

В связи с этим целью работы было изучение продуктивности и содержания питательных веществ в биомассе кукурузы при выращивании в центральном агроклиматическом районе Республики Коми.

Методология и методы исследования (Methods)

Опыты проводили в 2018 г. на базе Института биологии Коми НЦ УрО РАН (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН) близ г. Сыктывкара (61°67' с. ш., 50°83' в. д.). В качестве объекта использовали сорт Дорка – раннеспелый трехлинейный гибрид, отличающийся на начальных этапах быстрым ростом, холодо- и засухоустойчивостью. Сорт Дорка включен в Госреестр по Восточно-Сибирскому региону на си-

лос. Для агрохимической характеристики почвы определяли содержание подвижного фосфора и обменного калия по Кирсанову, $pH_{вод.}$ – ионометрически.

Растения кукурузы выращивали на опытном участке площадью 100 м² с типичной подзолистой среднекультурной почвой, содержание P_2O_5 составляло 320 мг/кг, K_2O – 209 мг/кг, $pH_{водный}$ – 6,8. Семена высевали вручную в гряды (высота до 10 см) на глубину 6 см с шагом 0,15 м, расстояние между рядами – 0,7 м, норма высева – 6 шт/м². Из-за холодной сырой погоды в мае и в первой декаде июня посев проводили 20 июня.

Для характеристики накопления биомассы отбирали рандомизированно по 10–15 типичных растений, разделяли на органы, образцы взвешивали и высушивали при 105 °С.

Содержание пигментов в листьях определяли в ацетоновой вытяжке на спектрофотометре UV-1700 (фирма Шимадзу, Япония) при длинах волн 662 и 644 нм – хлорофиллы, 478 нм – каротиноиды. Состав каротиноидов анализировали методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), как описано в работе [9, с. 521]. Определение содержания водорастворимых низкомолекулярных углеводов выполняли в лиофильно-высушенном материале спектрофотометрическим методом по колориметрированию избытка щелочного раствора гексацианоферрата (III) калия после реакции с редуцирующими сахарами. Содержание углерода и общего азота определяли с помощью элементного CHNS-O анализатора (EA-1110, Италия), минеральные элементы – методом оптической эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на приборе SPECTRO CIROS-CCD после минерализации проб 65-процентной HNO_3 в присутствии H_2O_2 . Аминокислотный состав сухой биомассы определяли на аминокислотном анализаторе AAA T-339 (Чехия) после гидролиза навески в 6 н HCl при 105 °С в течение 24 ч.

В таблицах представлены средние арифметические значения и их стандартные ошибки.

Результаты (Results)

Вегетационный период 2018 г. был сравнительно прохладным и влажным. Среднемесячная температура мая (5,1 °С) и начала июня (7,1 °С) была на 2 °С ниже средне-многолетней. За вегетационный период осадков выпало на 20 % больше, чем по среднемноголетним данным. Следует отметить, что кукуруза относится к светолюбивым растениям короткого дня. Продолжительный световой день, характерный для климата Республики Коми, способствует удлинению вегетационного периода кукурузы, а лимитирующим фактором его продолжительности является температура.

Период от посева семян до появления первых всходов составил 18 дней. Цветение метелок наступало через 60 дней после полных всходов. К фазе цветения метелок кукуруза образовала 10–11 листьев, высота растения составляла более 2 м и заметно превышала высоту растений данного сорта в вегетационный период 2017 г. [8, с. 21]. К уборке кукуруза сорта Дорка в расчете на растение накапливала до 1143 г сырой и 230 г сухой биомассы (таблица 1).

Таблица 1
Накопление сырой и сухой биомассы растениями кукурузы сорта Дорка

Дата	Листья	Стебли с влагалищами листьев	Корни	Метелка	Початок	Целое растение
Сырая масса, г/растение						
18.07	10,7 ± 2,3	10,8 ± 3,0	3,2 ± 0,9	Отсутствует		24,7 ± 5,8
12.09	173,1 ± 25,4	608,2 ± 88,6	202,3 ± 30,3	11,2 ± 4,4	148,8 ± 88,6	1143,6 ± 161,9
Сухая масса, г/растение						
18.07	1,4 ± 0,3	0,8 ± 0,2	0,4 ± 0,1	Отсутствует		2,6 ± 0,6
12.09	45,0 ± 6,6	109,5 ± 15,9	52,2 ± 7,8	5,6 ± 2,2	16,7 ± 9,9	229,0 ± 32,1

Table 1
Accumulation of fresh and dry biomass by corns plants cv. Dorka

Date	Leaves	Stems with leaf sheath	Roots	Panicle of maize	Ear of corn	Whole plant
Fet weight g/plant						
18.07	10.7 ± 2.3	10.8 ± 3.0	3.2 ± 0.9	Is absent		24.7 ± 5.8
12.09	173.1 ± 25.4	608.2 ± 88.6	202.3 ± 30.3	11.2 ± 4.4	148.8 ± 88.6	1143.6 ± 161.9
Dry weight, g/plant						
18.07	1.4 ± 0.3	0.8 ± 0.2	0.4 ± 0.1	Is absent		2.6 ± 0.6
12.09	45.0 ± 6.6	109.5 ± 15.9	52.2 ± 7.8	5.6 ± 2.2	16.7 ± 9.9	229.0 ± 32.1

Наибольшую долю (53 %) в биомассе целого растения составляли стебли с листовыми влагалищами, на долю листьев приходилось около 15 %, початков – 13 % и корней – 18 % сухой биомассы целого растения. Основную функцию создания пластических веществ, необходимых для роста и образования урожая, несут сформированные листья. По нашим данным [8, с. 22], кукуруза по фотосинтетической активности не уступает традиционным культурам, которые выращиваются в условиях центрального агроклиматического района Республики Коми.

Содержание сухого вещества перед уборкой зеленой массы составляло в листьях 26 %, стеблях с влагалищами листьев – 18 %, початках – 11 %. Несмотря на поздний из-за холодной погоды посев, к уборке (середина сентября) посев кукурузы сформировал 564 ц/га зеленой массы и 106 ц/га сухой массы.

Достижения в селекции и технологии выращивания кукурузы поставили ее в ряд наиболее продуктивных и технологичных культур. Кукуруза получила широкое распространение как силосная культура, питательная ценность которой во многом определяется накоплением в хозяйственно-полезной массе минеральных веществ, аминокислот и углеводов. Основную массу сухого вещества растений образует органическое вещество, состоящее из органогенных элементов: углерода, водорода, кислорода и азота. Кукуруза является азотофилом. В первые недели после всходов темпы роста растений были низкие, прирост за неделю составлял 5–7 см. По данным [10, с. 52–53], в начальный период развития растения усиленно поглощают азот, обеспечивая его накопление в запас для использования в период интенсивного роста. Азот является необходимым элементом для формирования ассимиляционной поверхности и обеспечения ее функциональной активности. Содержание азота в листьях кукурузы сорта Дорка составляло 27 мг/г сухой массы, или 48 % от содержания азота в надземной массе, в стеблях – соответственно 8 мг/г и 35 % (таблица 2).

В расчете на надземную массу целого растения в кукурузе содержалось свыше 2,5 г азота, или 15,6 % сырого протеина, что сопоставимо с результатами других авторов [11, с. 40; 12, с. 156]. Значительная часть азотистых соединений была представлена белковым азотом. Наибольшая концентрация белкового азота (около 16 мг/г сухой массы) отмечена в листьях. Его концентрация в стеблях с влагалищами листьев была в 5 раз меньше. Содержание углерода изменялось незначительно и составляло в среднем 440 мг/г сухой массы. Основная доля углерода приходилась на стебли с влагалищами листьев (таблица 2).

В надземной массе кукурузы содержится в среднем около 6 % золы. К уборке урожая надземная масса кукурузы накапливала около 4 г/растение основных макроэлементов – кальция, калия, магния и фосфора (таблица 2). Анализ распределения этих элементов в целом растении показал, что большая часть Са приходится на листья, тогда как Р, Mg и особенно К – на стебли с влагалищами листьев. Это обусловлено высокой концентрацией данных элементов и значительной долей органов в общей биомассе растения.

Аминокислоты содержатся во всех тканях растений. Они играют важную роль в обмене веществ, многие из них служат активаторами ферментов и витаминов. Состав аминокислот влияет на качество кормов. Их недостаток вызывает серьезные заболевания животных. Исследования показывают, что отсутствие или недостаток незаменимых аминокислот в корме приводит к нарушению обмена веществ. Содержание белковых аминокислот в листьях кукурузы было в 5 раз выше, чем в стеблях с влагалищами листьев (таблица 3). Азот аминокислот составлял соответственно 57 и 34 % общего азота этих органов. В надземной биомассе кукурузы нами выявлено 17 аминокислот, из них цистин и метионин в следовых количествах. Надземные органы кукурузы отличались высоким содержанием моноаминодикарбоновых кислот (аспаргиновая, глутаминовая) и моноаминомонокарбоновых кислот (глицин, аланин,

Таблица 2

Содержание элементов минерального питания в надземной массе кукурузы сорта Дорка

Часть растения	N	C	Ca	Mg	K	P
мг/г сухой массы						
Листья	27,0 ± 3	433 ± 15	8,3 ± 2,5	2,2 ± 0,7	13 ± 5	4,5 ± 1,4
Стебли с влагалищами листьев	8,2 ± 0,9	431 ± 15	1,4 ± 0,4	1,0 ± 0,3	14 ± 6	2,4 ± 0,7
Метелка	20,3 ± 2,2	459 ± 16	3,4 ± 1,0	2,0 ± 0,6	16 ± 6	4,5 ± 1,3
Початок	19,3 ± 2,1	428 ± 15	0,9 ± 0,3	1,4 ± 0,4	17 ± 7	4,0 ± 1,2
мг/растение						
Листья	1215 ± 278	19485 ± 3312	373 ± 164	99 ± 44	585 ± 304	203 ± 91
Стебли с влагалищами листьев	898 ± 143	47194 ± 8023	153 ± 68	109 ± 49	1533 ± 858	263 ± 113
Метелка	114 ± 50	2570 ± 1079	19 ± 12	11 ± 7	90 ± 68	25 ± 17
Початок	322 ± 220	7148 ± 4431	15 ± 12	23 ± 20	284 ± 280	67 ± 59
Вся надземная масса	2549	76397	560	242	2492	558
Доля минеральных элементов в надземной массе растения, %						
Листья	48	26	67	40	24	36
Стебли с влагалищами листьев	35	62	27	45	62	48
Метелка	5	3	3	5	4	4
Початок	12	9	3	10	10	12

± Δ – границы интервала абсолютной погрешности при P = 0,95.

Table 2

The content of mineral nutrition elements and carbon in the above-ground part of maize plants cv. Dorka

Part of the plant	N	C	Ca	Mg	K	P
mg/g dry weight						
Leaves	27.0 ± 3	433 ± 15	8.3 ± 2.5	2.2 ± 0.7	13 ± 5	4.5 ± 1.4
Stems with leaf sheath	8.2 ± 0.9	431 ± 15	1.4 ± 0.4	1.0 ± 0.3	14 ± 6	2.4 ± 0.7
Panicle of maize	20.3 ± 2.2	459 ± 16	3.4 ± 1.0	2.0 ± 0.6	16 ± 6	4.5 ± 1.3
Ear of corn	19.3 ± 2.1	428 ± 15	0.9 ± 0.3	1.4 ± 0.4	17 ± 7	4.0 ± 1.2
mg/plant						
Leaves	1215 ± 278	19485 ± 3312	373 ± 164	99 ± 44	585 ± 304	203 ± 91
Stems with leaf sheath	898 ± 143	47194 ± 8023	153 ± 68	109 ± 49	1533 ± 858	263 ± 113
Panicle of maize	114 ± 50	2570 ± 1079	19 ± 12	11 ± 7	90 ± 68	25 ± 17
Ear of corn	322 ± 220	7148 ± 4431	15 ± 12	23 ± 20	284 ± 280	67 ± 59
Total above-ground mass	2549	76397	560	242	2492	558
The part of mineral nutrition elements in above-ground mass plants, %						
Leaves	48	26	67	40	24	36
Stems with leaf sheath	35	62	27	45	62	48
Panicle of maize	5	3	3	5	4	4
Ear of corn	12	9	3	10	10	12

± Δ – absolute error interval limit at R = 0.95

валин, лейцин, изолейцин). На эти аминокислоты в метелках и стеблях приходилось соответственно 54 и 65 % суммы всех аминокислот. В метелках отмечена высокая доля (12 %) аминокислоты – пролина. По способности к синтезу в организме человека и животных аминокислоты разделяются на заменимые (глицин, серин, аланин, аспарагиновая кислота, аспарагин, глутаминовая кислота, глутамин, пролин), условно заменимые (аргинин, гистидин, тирозин, цистеин) и незаменимые (валин, лейцин, изолейцин, треонин, лизин, триптофан, фенилаланин, метионин). Доля незаменимых аминокислот в процентах от суммы всех аминокислот составляла от 31 % в стеблях с влагалищами листьев до 39 % в листьях. По содержанию аминокислот, в том числе и незаменимых, надземная масса кукурузы не уступает, а в отдельных случаях превышает распространенные в регионе кормовые злаки [1, с. 165].

С продуктивностью растений связано содержание пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) и их состояние в листьях. Растения являются главным и единственным природным источником этих соединений для травоядных животных. Как известно, животные организмы не способны синтезировать желтые пигменты – каротиноиды, которые служат важными регуляторами метаболизма и являются основой зрительных пигментов, ответственных за восприятие света и различение цветов у животных. Из них наиболее известным является β-каротин – провитамин А [13, с. 18–20]. Так, в зерне кукурузы может содержаться от 0 до 4.6 мкг/г β-каротина [14, с. 47–48].

Согласно нашим данным, содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях кукурузы сильно зависело от возраста растений (таблица 4).

Таблица 3

Содержание аминокислот в надземной массе кукурузы, сорта Дорка

Аминокислоты	Листья	Стебли с влагалищами листьев	Метелка	Початок
мг/г сухой массы				
Аспаргиновая	12,6 ± 2,0	2,4 ± 0,4	9,6 ± 1,5	7,4 ± 1,2
Треонин	6,0 ± 1,0	0,8 ± 0,1	4,2 ± 0,7	2,8 ± 0,44
Серин	5,6 ± 0,8	0,9 ± 0,1	4,3 ± 0,6	3,1 ± 0,44
Глутаминовая	15,4 ± 2,0	4,1 ± 0,5	9,8 ± 1,3	13,3 ± 1,7
Пролин	6,5 ± 2,0	0,9 ± 0,3	10,3 ± 3,2	3,2 ± 1,0
Глицин	6,6 ± 1,1	1,1 ± 0,2	4,6 ± 0,7	3,5 ± 0,6
Аланин	10,2 ± 1,9	2,6 ± 0,5	6,6 ± 1,3	6,2 ± 1,2
Цистеин	0,6	0,1	0,3	0,4
Валин	6,7 ± 0,9	1,3 ± 0,2	4,7 ± 0,7	3,8 ± 0,5
Метионин	1,3	0,1	0,5	0,3
Изолейцин	5,5 ± 0,7	0,8 ± 0,1	3,5 ± 0,4	2,7 ± 0,3
Лейцин	11,6 ± 1,5	1,8 ± 0,2	6,9 ± 0,9	5,7 ± 0,7
Тирозин	5,4 ± 1,1	1,8 ± 0,4	3,8 ± 0,8	3,9 ± 0,8
Фенилаланин	6,6 ± 1,1	0,9 ± 0,1	3,8 ± 0,6	3,6 ± 0,6
Гистидин	2,1 ± 0,4	0,3 ± 0,1	1,6 ± 0,3	1,0 ± 0,2
Лизин	6,8 ± 1,1	1,0 ± 2	5,4 ± 0,9	2,8 ± 0,4
Аргинин	6,0 ± 1,1	0,8 ± 0,2	3,8 ± 0,7	2,5 ± 0,5
Сумма аминокислот	115,4	21,7	83,7	66,1
Сумма незаменимых аминокислот	44,5	6,70	29,0	21,7
мг/растение				
Сумма аминокислот	5193	2376	469	1104
Сумма незаменимых аминокислот	2003	734	162	362,4

± Δ – границы интервала абсолютной погрешности при P = 0,95.

Table 3

Amino acid content in the above-ground part of maize plants cv. Dorka

Amino acids	Leaves	Stems with leaf sheath	Panicle of maize	Ear of corn
mg/g dry weight				
Aspartic	12.6 ± 2.0	2.4 ± 0.4	9.6 ± 1.5	7.4 ± 1.2
Threonine	6.0 ± 1.0	0.8 ± 0.1	4.2 ± 0.7	2.8 ± 0.44
Serine	5.6 ± 0.8	0.9 ± 0.1	4.3 ± 0.6	3.1 ± 0.44
Glutamic	15.4 ± 2.0	4.1 ± 0.5	9.8 ± 1.3	13.3 ± 1.7
Proline	6.5 ± 2.0	0.9 ± 0.3	10.3 ± 3.2	3.2 ± 1.0
Glycine	6.6 ± 1.1	1.1 ± 0.2	4.6 ± 0.7	3.5 ± 0.6
Alanine	10.2 ± 1.9	2.6 ± 0.5	6.6 ± 1.3	6.2 ± 1.2
Cysteine	0.6	0.1	0.3	0.4
Valine	6.7 ± 0.9	1.3 ± 0.2	4.7 ± 0.7	3.8 ± 0.5
Methionine	1.3	0.1	0.5	0.3
Isoleucine	5.5 ± 0.7	0.8 ± 0.1	3.5 ± 0.4	2.7 ± 0.3
Leucine	11.6 ± 1.5	1.8 ± 0.2	6.9 ± 0.9	5.7 ± 0.7
Tyrosine	5.4 ± 1.1	1.8 ± 0.4	3.8 ± 0.8	3.9 ± 0.8
Phenylalanine	6.6 ± 1.1	0.9 ± 0.1	3.8 ± 0.6	3.6 ± 0.6
Histidine	2.1 ± 0.4	0.3 ± 0.1	1.6 ± 0.3	1.0 ± 0.2
Lysine	6.8 ± 1.1	1.0 ± 2	5.4 ± 0.9	2.8 ± 0.4
Arginine	6.0 ± 1.1	0.8 ± 0.2	3.8 ± 0.7	2.5 ± 0.5
Total content amino acids	115.4	21.7	83.7	66.1
Total content of the essential amino acids	44.5	6.70	29.0	21.7
mg/plant				
Total content amino acids	5193	2376	469	1104
Total content of the essential amino acids	2003	734	162	362.4

± Δ – absolute error interval limit at R = 0.95.

Таблица 4
Содержание зеленых и желтых пигментов в листьях кукурузы сорта Дорка

Дата	Хлорофиллы	Каротиноиды	β-каротин
мг/г сухой массы			
18.07	11,57 ± 0,87	2,03 ± 0,30	0,84 ± 0,09
12.09	2,95 ± 0,47	0,55 ± 0,08	0,03 ± 0,01
мг/растение			
18.07	16,2	2,8	1,2
19.09	132,3	24,8	1,4

Table 4
The content of the green and yellow pigments in the maize leaves cv. Dorka

Date	Chlorophylls	Carotenoids	β-carotin
mg/g dry weight			
18.07	11.57 ± 0.87	2.03 ± 0.30	0.84 ± 0.09
12.09	2.95 ± 0.47	0.55 ± 0.08	0.03 ± 0.01
mg/plant			
18.07	16.2	2.8	1.2
19.09	132.3	24.8	1.4

Таблица 5
Содержание растворимых сахаров в надземной массе кукурузы сорта Дорка

Части растения	Моносахара	Дисахара	Сумма сахаров
мг/г сухой массы			
Листья	33 ± 7	21 ± 4	54 ± 10
Стебли с влагалищами листьев	126 ± 4	130 ± 4	256 ± 9
Початок	245 ± 9	79 ± 14	324 ± 35
мг/г сырой массы			
Листья	9 ± 2	5 ± 1	14 ± 2
Стебли с влагалищами листьев	23 ± 1	24 ± 1	47 ± 2
Початок	28 ± 1	9 ± 2	37 ± 4
г/растение			
Листья	1,5	0,9	2,4
Стебли с влагалищами листьев	13,8	14,3	28,1
Початок	4,1	1,3	5,4
Вся надземная масса	19,4	16,5	35,9

Table 5
The content of the soluble sugars in the above-ground part of maize plants cv. Dorka

Part of the plant	Monosaccharides	Disaccharides	Total sugar content
mg/g dry weight			
Leaves	33 ± 7	21 ± 4	54 ± 10
Stems with leaf sheath	126 ± 4	130 ± 4	256 ± 9
Ear of corn	245 ± 9	79 ± 14	324 ± 35
mg/g wet weight			
Leaves	9 ± 2	5 ± 1	14 ± 2
Stems with leaf sheath	23 ± 1	24 ± 1	47 ± 2
Ear of corn	28 ± 1	9 ± 2	37 ± 4
g/plant			
Leaves	1.5	0.9	2.4
Stems with leaf sheath	13.8	14.3	28.1
Ear of corn	4.1	1.3	5.4
Total above-ground biomass	19.4	16.5	35.9

Несмотря на снижение концентрации (в четыре раза), к уборке зеленой массы листья кукурузы (в расчете на одно растение) накапливали 132 мг хлорофиллов и около 25 мг каротиноидов, среди которых на долю β -каротина приходилось 6 %. По-видимому, уменьшение доли β -каротина обусловлено понижением температуры воздуха к осени (сентябрь). В целом, по накоплению пигментов кукуруза сопоставима с культивируемыми в Коми однолетними и многолетними злаковыми растениями [1, с. 155], но несколько уступает растениям кукурузы из южных регионов [15, с. 289, 292].

Ценной составной частью биомассы кормовых растений, особенно при использовании на силос, являются углеводы. По физиологическому значению углеводы представляют собой активные метаболиты, запасные и структурные вещества. Наши данные показывают, что к уборке урожая в зеленой массе кукурузы содержалось до 36 г растворимых сахаров (таблица 5). Большую их часть (54 %) составляли моносахара (глюкоза + фруктоза). Наибольшее количество сахаров содержали стебли с влагалищами листьев.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Итак, в регионе с ограниченной теплообеспеченностью (сумма эффективных температур менее 1800 °С) кукуруза сорта Дорка способна сформировать 560 ц/га зеленой массы с высокой питательной ценностью, что свидетельствует о ее пригодности для использования в качестве зеленого корма и силосования. С учетом тенденции к потеплению климата кукуруза может оказаться полезной в качестве селекционного материала и занять свое место при расширении ассортимента возделываемых кормовых культур в центральном и южном агроклиматических районах Республики Коми.

Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена в рамках тем НИР «Физиология и стрессоустойчивость фотосинтеза растений и пойкилогидрических фотоавтотрофов в условиях Севера» № ГР АААА-А17-117033010038-7 и проекта Комплексной программы УрО РАН «Фототрофные организмы как компонент живой природы и индикатор климатических изменений» (№ 18-4-4-20).

Библиографический список

1. Табаленкова Г. Н., Головки Т. К. Продукционный процесс культурных растений в условиях холодного климата. СПб.: Наука, 2010. 231 с.
2. Ильин В. С., Логинова А. М., Губин С. В., Гетц Г. В. Кукуруза в Сибири. Успехи селекции // АПК России. 2016. Т. 23. № 3 С. 664–668.
3. Сотченко В. С., Горбачева А. Г., Панфилов А. Э., Ветошкина И. А., Казакова Н. И. Урожай и уборочная влажность зерна гибридов кукурузы в разных экологических условиях в зависимости от сроков посева // Кормопроизводство. 2019. № 4. С. 26–31.
4. Фильчугина Е. Я., Рогатина Н. С., Сыроежина Н. С., Маринин Н. И., Новгородская И. О., Терентьева О. В. Новые сорта и гибриды кукурузы и сорговых культур, рекомендованные к возделыванию в хозяйствах Российской Федерации с 2019 года // Кукуруза и сорго. 2019. № 3. С. 27–35.
5. Елисеев С. Л., Елисеев А. С. Вызревание зерна кукурузы в северных районах кукурузосеяния // Пермский аграрный вестник. 2015. № 1 (9). С. 11–18.
6. 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. С. 54–56.
7. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год. М., 2017. 70 с.
8. Головки Т. К., Дальке И. В., Шморгунов Г. Т., Триандофилов А. Ф., Тулинов А. Г. Рост растений и продуктивность кукурузы в холодном климате // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. № 2. С. 19–23. DOI: 10.31857/S2500-26272019219-24.
9. Dymova O., Khristin M., Miszalski Z., Kornas A., Strzalka K., Golovko T. Seasonal variations of leaf chlorophyll-protein complexes in the wintergreen herbaceous plant *Ajuga reptans* L. // Functional Plant Biology. 2018. Vol. 45 (5). Pp. 519–527. DOI: 10.1071/FP17199.
10. Иванова З. А., Нагудова Ф. Х. Прирост сухого вещества и продуктивность гибридов кукурузы в зависимости от удобрений // Успехи современного естествознания. 2016. № 7. С. 51–55.
11. Титова В. И., Баранов А. И., Белоусова Е. Г. Использование сапропеля при выращивании кукурузы на серых лесных почвах нижегородской области // Агрохимия. 2019. № 1. С. 36–41. DOI: 10.1134/S0002188119010137.
12. Schiavon M., Macolino S., Leinauer B., Ziliotto U. Seasonal Changes in Carbohydrate and Protein Content of Seeded Bermudagrasses and Their Effect on Spring Green-Up // Journal of Agronomy and Crop Science. 2016. Vol. 202. Pp. 151–160. DOI: 10.1111/jac.12135.
13. Eggersdorfer M., Wyss A. Carotenoids in human nutrition and health // Archives of Biochemistry and Biophysics. 2018. Vol. 652. Pp. 18–26. DOI: 10.1016/j.abb.2018.06.001.
14. Changan S., Chaudhary D.P., Kumar S., Kumar B., Kaul S., Guleria S., Jat S. L., Singode A., Tufchi M., Langan S., Yadav O. P. Biochemical characterization of elite maize (*Zea mays*) germplasm for carotenoids composition // Indian Journal of Agricultural Sciences. 2017. Vol. 871. No. 1. Pp. 46–50.
15. Fieta-Soriano E., Diaz L., Bonet E., Munne-Bosch S. Melatonin may exert a protective role against drought stress in maize // Journal of Agronomy and Crop Science. 2017. Vol. 203. Pp. 286–294.

Об авторах:

Галина Николаевна Табаленкова¹, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0002-1147-2746, AuthorID 97731; tabalenkova@ib.komisc.ru

Ольга Васильевна Дымова¹, доктор биологических наук, и. о. ведущего научного сотрудника, ORCID 0000-0003-2008-6350, AuthorID 87481

Тамара Константиновна Головкин¹, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, ORCID 0000-0002-7993-9541, AuthorID 78295

¹ Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар, Россия

Productivity and composition of maize biomass in the central agroclimatic region of the Komi Republic

G. N. Tabalenkova¹✉, O. V. Dymova¹, T. K. Golovko¹

¹ Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

✉E-mail: tabalenkova@ib.komisc.ru

Abstract. In the Komi Republic agricultural production and crops are characterized by low heat availability, short growing season, poor and acidic soil. This determines the selection of cultivated plants. In order to develop and increase the efficiency of northern crop production, expanding the range of cultivated crops through new varieties and hybrids adapted to cold climates is a priority. Over the past twenty years in the central agroclimatic region of the Komi Republic the period with temperatures above 10 °C has increased from 88 to 95 days, and the sum of active temperatures has increased from 1400 to 1560 °C. This allows to expand the range of cultivated fodder crops, including new varieties of corn. Studies on the possibility of growing of maize cultivars (*Zea mays* L.) in the central agro-climatic region of the Komi Republic were carried out. The subject of this study was the modern maize cultivar, Dorka, an early three-line hybrid characterized by rapid growth, cold and drought resistance in the initial stages of development. *Zea mays* plants were grown in a field on an area of 100 m² near Syktyvkar (61.67 N, 50.76 E). Seeds of *Zea mays* were sown late, June 20, due to cold and raw weather in May – first decade of June. At a sum of effective temperatures of less than 1800 °C the Dorka cultivar formed 564 c/ha of green (fresh) mass and 106 c/ha of dry mass. In dry biomass the content of soluble sugars consist of 200 g/kg, carotenoids was 140 g/kg, amino acids – 52 g/kg, among them essential amino acids – 18.7 g/kg. The biomass of maize cultivar, Dorka, is rich in calcium and magnesium. Thus, in terms of crop productivity and nutritional value of biomass, the maize cultivar, Dorka, is promising for cultivation in the central and southern agro-climatic regions of the Komi Republic. It is suitable for use as green feed and silting.

Keywords: maize, productivity, green mass, mineral composition, carotenoids, sugars, amino acids.

For citation: 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] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. No. 03 (194). Pp. 57–65. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-194-3-57-65. (In Russian.)

Paper submitted: 24.01.2020.

References

1. Tabalenkova G. N., Golovko T. K. Produktivnyy protsess kul'turnykh rasteniy v usloviyakh kholodnogo klimata [Crops productive process in cold climate]. Saint Petersburg: Nauka, 2010. 231 p. (In Russian.)
2. Il'in V. S., Loginova A. M., Gubin S. V., Getts G. V. Kukuruza v Sibiri. Uspekhi selektsii [Maize in Siberia. The success of selection] // Agro-industrial complex of Russia. 2016. Vol. 3. No. 3. Pp. 664–668. (In Russian.)
3. Sotchenko V. S., Gorbacheva A. G., Panfilov A. E., Vetoshkina I. A., Kazakova N. I. Urozhay i uborochnaya vlazhnost' zerna gibridov kukuruzy v raznykh ekologicheskikh usloviyakh v zavisimosti ot srokov poseva [Grain yield and water content of maize hybrids as affected by climate conditions and seeding date] // Fodder production. 2019. No. 4. Pp. 26–31. (In Russian.)
4. Fil'chugina E. Ya., Rogatina N. S., Syroezhina N. S., Marinin N. I., Novgorodskaya I. O., Terent'eva O. V. [Novye sorta i gibridy kukuruzy i sorgovykh kul'tur, rekomendovannye k vozdel'yvaniyu v khozyaystvakh Rossiyskoy Federatsii s 2019 goda // Kukuruza i sorgo. 2019. No. 3. Pp. 27–35. (In Russian.)
5. Eliseev S. L., Eliseev A. S. Vyzrevanie zerna kukuruzy v severnykh rayonakh kukuruzoseyaniya [Ripening maize grain in northern zones of maize seeding] // Perm Agrarian Journal. 2015. No. 1 (9). Pp. 11–18. (In Russian.)
6. Pestereva E. S., Pavlova S. A., Zakharova G. E., Kuz'mina 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] // Agrarian science. 2018. No. 9. Pp. 54–56. (In Russian.)

7. Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2016 god [A report on climate features on the territory of the Russian Federation in 2016]. Moscow, 2017. 70 p. (In Russian.)

8. Golovko T. K., Dalke I. V., Shmorgunov G. T., Triandafilov A. F., Tulinov A. G. Rost rasteniy i produktivnost' kukuruzy v kholodnom klimate [Plants growth and productivity of corn in a cold climate] // Rossiyskaya se'skokhozyaystvennaya nauka. 2019. Vol. 45. No. 3. Pp. 251–255. DOI: 10.3103/S1068367419030078. (In Russian.)

9. Dymova O., Khristin M., Miszalski Z., Kornas A., Strzalka K., Golovko T. Seasonal variations of leaf chlorophyll-protein complexes in the wintergreen herbaceous plant *Ajuga reptans* L. // Functional Plant Biology. 2018. Vol. 45 (5). Pp. 519–527. DOI: 10.1071/FP17199.

10. Ivanova Z. A., Nagudova F. Kh. Prirost sukhogo veshchestva i produktivnost' gibridov kukuruzy v zavisimosti ot udobreniy [The increase of dry matter and productivity of maize hybrids depending on the fertilizer] // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2016. No. 7. Pp. 51–55. (In Russian.)

11. Titova V. I., Baranov A. I., Belousova E. G. Ispol'zovanie saptopelya pri vyrashchivanii kukuruzy na serykh lesnykh pochvakh Nizhegorodskoy oblasti [Assessment of saptopel application for corn cultivation on gray forest soils of the Nizhny Novgorod region] // Agrokimiya. 2019. No. 1. Pp. 36–41. (In Russian.)

12. Schiavon M., Macolino S., Leinauer B., Ziliotto U. Seasonal Changes in Carbohydrate and Protein Content of Seeded Bermudagrasses and Their Effect on Spring Green-Up // Journal of Agronomy and Crop Science. 2016. Vol. 202. Pp. 151–160. DOI: 10.1111/jac.12135.

13. Eggersdorfer M., Wyss A. Carotenoids in human nutrition and health // Archives of Biochemistry and Biophysics. 2018. Vol. 652. Pp. 18–26. DOI: 10.1016/j.abb.2018.06.001.

14. Changan S., Chaudhary D.P., Kumar S., Kumar B., Kaul S., Guleria S., Jat S. L., Singode A., Tufchi M., Langan S., Yadav O. P. Biochemical characterization of elite maize (*Zea mays*) germplasm for carotenoids composition // Indian Journal of Agricultural Sciences. 2017. Vol. 871. No. 1. Pp. 46–50.

15. Fieta-Soriano E., Diaz L., Bonet E., Munne-Bosch S. Melatonin may exert a protective role against drought stress in maize // Journal of Agronomy and Crop Science. 2017. Vol. 203. Pp. 286–294.

Authors' information:

Galina N. Tabalenkova¹, doctor of biological sciences, associate professor, leading researcher, ORCID 0000-0002-1147-2746, AuthorID 97731; tabalenkova@ib.komisc.ru

Olga V. Dymova¹, doctor of biological sciences, acting as leading researcher, ORCID 0000-0003-2008-6350, AuthorID 87481

Tamara K. Golovko¹, doctor of biological sciences, professor, principal researcher, ORCID 0000-0002-7993-9541, AuthorID 78295

¹ Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia