

## 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.8:633.15

### СОДЕРЖАНИЕ И СООТНОШЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В РАСТЕНИЯХ КУКУРУЗЫ

Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш, А. А. Грачёва, С. М. Зенькова

*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

#### ВВЕДЕНИЕ

Кукуруза – универсальная зерновая культура с высоким продуктивным и адаптивным потенциалом, которая, благодаря своей пластичности, способна эффективно использовать почвенно-климатические факторы, хорошо отзываться прибавкой урожая на улучшение водного и пищевого режимов почвы, общего агротехнического состояния посевов. Эта культура обладает уникальным комплексом признаков, принципиально отличающим её от других растений семейства мятликовых: принадлежность к классу С4 (лучшее использование солнечной энергии), своеобразная раздельнополость, при которой мужское и женское соцветия закладываются на побегах с разной динамикой развития, широкая генетически обусловленная вариация по самым различным признакам, являющаяся резервом для адаптации культуры в большом диапазоне условий. Именно такое сочетание признаков определило в XX столетии ведущую роль кукурузы как главного источника дешевой концентрированной обменной энергии. И по этому показателю она вне конкуренции среди других полевых кормовых культур [1–4].

Кукуруза достаточно требовательна к агротехнике её возделывания и, особенно, к условиям минерального питания. Её высокая отзывчивость на удобрения прежде всего связана с тем, что она как высокоурожайная культура много потребляет и активно извлекает из почвы большое количество питательных веществ.

Поступление основных элементов питания в растения – это физиологический процесс, связанный с жизнедеятельностью всего растения в целом. Каждому этапу роста и развития растений соответствует своя, оптимальная концентрация питательного раствора, которая сильно варьирует и изменяется в различные периоды онтогенеза растений. И изучение динамики основных элементов питания в растениях в течение онтогенеза под действием разного уровня питания позволяет устанавливать их потребность в питательных веществах в ту или иную фазу развития, таким образом воздействуя на формирование урожая. В своё время известный советский учёный почвовед и агрохимик Вера Владимировна Церлинг [5] отмечала, что «получить планируемый урожай хорошего качества можно только тогда, когда известно, что требуется растению на каждом этапе формирования урожая».

Поступление элементов питания в корни зависит не только от концентрации элемента в почвенном растворе, но и от многих других факторов, в том числе взаимодействия элементов (антагонизм или синергизм ионов), комплекса складывающихся условий теплообеспеченности и увлажнения в течение вегетационного периода, сортовых особенностей культуры.

Особенный интерес представляет изучение динамики поглощения элементов питания и формирование урожая зерна кукурузы, возделываемой на дерново-подзолистых почвах с содержанием подвижных соединений фосфора и калия выше оптимальных значений.

Цель исследований – установить динамику содержания азота, фосфора и калия в растениях кукурузы по основным фазам развития культуры, их соотношения и параметры накопления в зависимости от складывающихся погодных условий и уровня минерального питания высоко окультуренной дерново-подзолистой суглинистой почвы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования проводили в стационарном опыте РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области, заложенном в 2020 г. на дерново-подзолистой суглинистой почве.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя (в среднем): pH 6,2, содержание гумуса – 2,0 %, подвижных соединений фосфатов – 1076 и калия – 344, меди – 3,0, бора – 0,8, цинка – 2,9 мг/кг почвы. Согласно агрохимическим грациям почв Беларуси по степени кислотности, изучаемая почва относится к близким к нейтральным со средним содержанием гумуса, повышенным – калия, очень высоким – фосфатов. Содержание меди – среднее, бора – высокое, цинка – низкое [6].

Опытная культура – кукуруза зернового направления F1 Фродо. Предшественник – яровая пшеница. Опыт был заложен в трёх полях. Схема опыта включала 10 вариантов в 4-кратной повторности. Общий размер делянки – 36,0 м<sup>2</sup> (6,0 м × 6,0 м).

Соломистый навоз в дозе 60 т/га был внесен осенью 2020, 2021 и 2022 гг. Минеральные удобрения (карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) применяли в основное внесение, кроме того азотные (карбамид) согласно схеме опыта – в подкормку в фазу 4–6 листьев кукурузы.

В качестве некорневой подкормки в посевах кукурузы применяли: микроудобрение МикроСтим-Цинк, Бор (м/у) – в фазе 4–6 листьев (2 л/га), органоминеральное удобрение Форкроп Голден 10–14–4 (ОМУ) – в фазах 6–8 и 8–10 листьев (1,5 + 1,5 л/га) и регулятор роста растений Агропон С (РР) – в фазе 6–8 листьев (0,02 л/га).

Форкроп Голден 10–14–4 – жидкое органоминеральное удобрение, биостимулятор. Содержит помимо азота, фосфора и калия также магний, марганец, бор и цинк, свободные аминокислоты растительного происхождения и специфически природные активаторы. Применение удобрения в стрессовых погодных условиях, а также в течении вегетативного роста и цветения способствует увеличению урожайности и улучшению качества продукции [7].

Биостимулятор растений Агропон С представляет собой прозрачный бесцветный водно-спиртовой раствор. Этот препарат биологического происхождения, содержит сбалансированный комплекс фитогормонов ауксиновой, цитокининовой природы, аминокислот, углеводов, жирных кислот, микроэлементов. Является высокоэффективным биостимулятором роста растений широкого спектра действия, продукт биотехнологического выращивания грибов-эпифитов, выделенных из корневой системы лекарственных растений. Повышает устойчивость растений к стрессовым факторам (высоким и низким температурам, засухе, фитотоксическому действию пестицидов), повышает урожай и улучшает качество растительной продукции [8].

Дозы удобрений под кукурузу и схема опыта представлена в таблицах 1–5.

В ходе исследований проводили фенологические наблюдения с отметкой дат наступления фаз развития растений кукурузы: всходы, 4–6, 8–10 листьев, цветение, молочная и полная спелость зерна. В течение вегетации растений осуществлялся мониторинг за динамикой температуры воздуха и количеством выпавших осадков.

При учете урожайности зерна с каждой делянки опытного участка проводили отбор растительных образцов для определения содержания сухого вещества (высушиванием в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С) и содержания элементов питания. В растительных образцах из одной навески после мокрого озоления по методу ЦИНАО (1976) определяли содержание: общего азота – фотоколориметрически (индофенольным методом) (ГОСТ 13496.4-93) и фосфора – (ванадомолибдатным методом) (ГОСТ 26657-85); калия – на пламенном фотометре (ГОСТ 30504-97).

Гидротермические условия вегетационных периодов в годы проведения исследований существенно различались. Начало вегетации кукурузы 2021 и 2022 гг. характеризовалось избыточным увлажнением (115–175 % нормы осадков) на фоне оптимальных и/или повышенных температур, сменяемых в фазе 8–10 листьев – начало цветения в течение 20 (2021 г.) – 43 (2022 г.) дней засушливыми условиями, которые вплоть до уборки урожая сменялись обильными дождями с пониженным температурным фоном. В погодных условиях вегетации кукурузы 2023 г. распределение осадков происходило кардинально наоборот: межфазные периоды посев – 8–10 листьев и молочная – полная спелость проходили в засушливых условиях с повышенными температурами воздуха, а в период 8–10 листьев – начало молочной спелости отмечено избыточное выпадение осадков (165–192 % нормы) на фоне оптимальных или повышенных температур. Таким образом, процесс формирования конечной продукции (зерна) с определенными характеристиками качества происходил на фоне складывающихся погодных условий, что отразилось в различиях накопления элементов питания, их поглощения и нарастания надземной части кукурузы (биомассы сухого вещества).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Усвоение элементов питания культурами зависит от многих факторов как внутренних, так и внешних. Прежде всего, каждое растение испытывает потребность в определенном наборе химических соединений, который связан с типом культуры, фазой ее развития и индивидуальными особенностями. В течение вегетационного периода потребность и степень усвоения одного и того же элемента сильно отличаются. На уровень потребления элементов питания растениями существенное влияние оказывают складывающиеся гидротермические условия.

Кукуруза, в отличие от других зерновых культур, потребляет питательные вещества на протяжении всего периода вегетации (вплоть до уборки). Это связано с тем, что нарастание биомассы длится до полной спелости зерна при постоянном оттоке питательных веществ из вегетативной массы в зерно. Кукуруза в этот период усваивает около 12 % азота и фосфора от необходимого количества [9].

Анализ данных по содержанию основных элементов питания в растительной массе свидетельствует о существенных изменениях показателей по этапам роста и развития кукурузы. В начальный период вегетации больше всего растения кукурузы накапливали калий – 5,11–5,63 %. К фазе молочной спелости содержание элемента снизилось по опыту более чем в 3 раза. В динамике азота в биомассе кукурузы

установлено максимальное его содержание (4,02–4,36 %) в начальные фазы со снижением к фазе молочной спелости зерна в 3 раза (1,11–1,56 %). Содержание фосфора в растениях кукурузы – наименьшее среди основных элементов питания (0,64–1,17 %) и менее всего изменялось в течение вегетации при снижении в среднем по опыту в 1,8 раза от фазы 4–6 листьев (максимальные показатели) к фазе молочной спелости зерна (табл. 1–3).

Таблица 1

**Динамика содержания общего азота в сухой массе растений кукурузы, среднее за 2021–2023 гг., %**

Вариант	Фаза онтогенеза			
	4–6 листьев	8–10 листьев	цветение	молочная спелость
Контроль (без удобрений)	3,75	2,69	1,53	1,11
Соломистый навоз (CH), 60 т/га – Фон	4,02	2,82	1,40	1,13
Фон + N <sub>60</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у)'	4,23	2,92	1,60	1,44
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у)'	4,28	3,11	1,61	1,51
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у + PP)'	–	3,02	1,50	1,49
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)"	–	3,08	1,74	1,47
Фон + N <sub>120</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у)'	4,36	3,20	1,70	1,56
Фон + N <sub>90</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у)'	4,16	3,08	1,68	1,48
N <sub>90</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у + PP)'	–	2,88	1,55	1,36
Фон + N <sub>90</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)"	–	3,01	1,58	1,47
HCP <sub>05</sub>	0,20	0,16	0,07	0,06
Оптимальные значения*	3,3–4,0	3,0–3,6	1,3–1,7	1,0–1,5

\* оптимальное содержание азота в нормальных условиях согласно В. В. Церлинг [5].

Таблица 2

**Динамика содержания фосфора в сухой массе растений кукурузы, среднее за 2021–2023 гг., %**

Вариант	Фаза онтогенеза			
	4–6 листьев	8–10 листьев	цветение	молочная спелость
Контроль (без удобрений)	1,09	1,08	0,92	0,56
Соломистый навоз (CH), 60 т/га – Фон	1,04	0,99	0,69	0,51
Фон + N <sub>60</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у)'	1,10	0,99	0,86	0,69
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у)'	1,12	1,06	0,81	0,63
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у + PP)'	–	1,10	0,84	0,64
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)"	–	1,11	0,96	0,71
Фон + N <sub>120</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у)'	1,17	1,09	0,91	0,77
Фон + N <sub>90</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у)'	1,15	1,09	0,84	0,65
N <sub>90</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у + PP)'	–	1,14	0,83	0,63
Фон + N <sub>90</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)"	1,04	1,03	0,82	0,64
HCP <sub>05</sub>	0,06	0,05	0,06	0,06
Оптимальные значения*	0,7–1,2	0,7–1,0	0,5–0,7	0,4–0,6

\* оптимальное содержание фосфора в нормальных условиях согласно В. В. Церлинг [7].

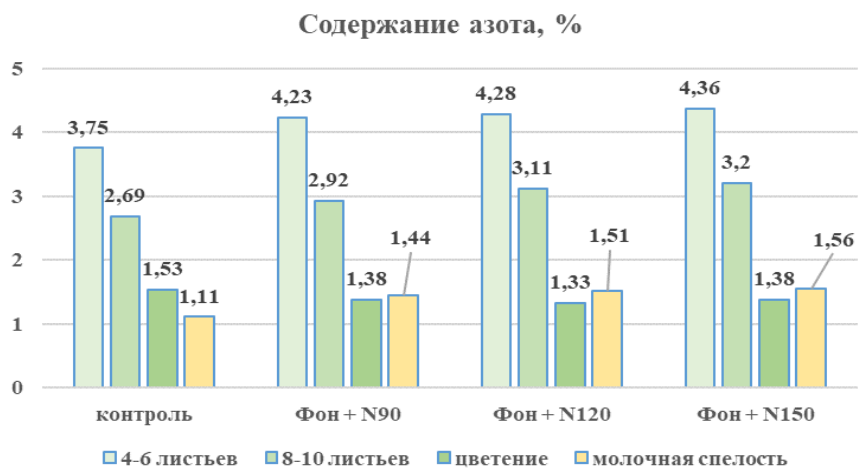
**Динамика содержания калия в сухой массе растений кукурузы,  
среднее за 2021–2023 гг., %**

Вариант	Фаза онтогенеза			
	4–6 листьев	8–10 листьев	цветение	молочная спелость
Контроль (без удобрений)	5,11	5,40	2,77	1,67
Соломистый навоз (СН), 60 т/га – Фон	5,38	5,25	2,47	1,57
Фон + N <sub>60</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у)'	5,63	5,24	2,58	1,59
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у)'	5,49	5,45	2,85	1,65
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у + РР)'	–	5,70	2,56	1,74
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)''	–	5,62	2,74	1,65
Фон + N <sub>120</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у)'	5,19	5,26	2,59	1,69
Фон + N <sub>90</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у)'	5,33	5,08	2,64	1,66
N <sub>90</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у + РР)'	5,38	5,40	2,69	1,58
Фон + N <sub>90</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)''	5,63	5,34	2,57	1,75
НСР <sub>05</sub>	0,25	0,26	0,14	0,09
Оптимальные значения*	3,2–4,0	3,1–3,9	1,4–1,9	0,9–1,4

\* оптимальное содержание калия в нормальных условиях согласно В. В. Церлинг [5].

Данные анализа химического состава биомассы растений кукурузы, отобранной по основным фазам в течение вегетации, свидетельствуют, что их показатели не всегда соответствовали таковым оптимальным, предложенным В. В. Церлинг [5]. В контрольном варианте содержание азота составило 3,75 %, 2,69 %, 1,53 % и 1,11 % в фазах 4–6, 8–10 листьев, цветения и молочной спелости соответственно.

Применение возрастающих суммарных доз азотных удобрений (N<sub>90-150</sub>) в комплексе с микроудобрением способствовало повышению концентрации общего азота в биомассе кукурузы уже с начальных фаз роста и развития и на протяжении вегетации (табл. 1, рис. 1).



**Рис. 1.** Влияние возрастающих доз азота на содержание элемента в растительной массе кукурузы в течение вегетации, %

В вариантах с применением как полного ( $N_{90+30}P_{20}K_{60}$ ), так и только азотного ( $N_{90+30}$ ) минерального удобрения в комплексе с некорневыми подкормками посевов микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор и регулятором роста растений Агропон С или органоминеральным удобрением Форкроп Голден 10–14–4 содержание азота (среднее по 4 вариантам) в фазе 8–10 листьев соответствовало нижней границе оптимума (3,0 %), при оптимальных показателях в фазах цветения (1,59 %) и молочной спелости кукурузы (1,45 %) (рис. 2).

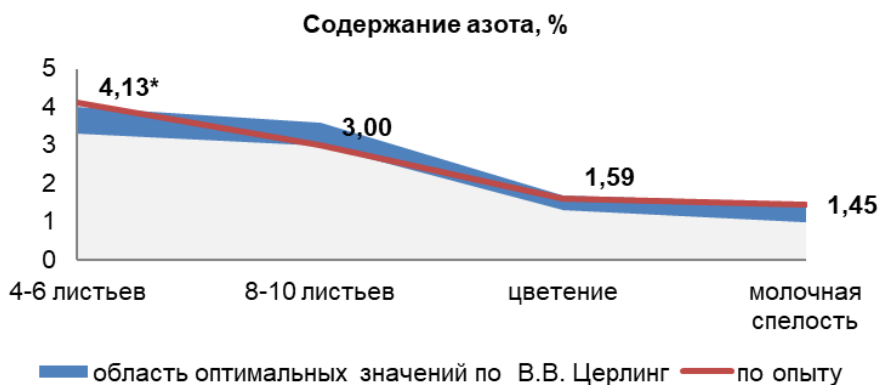


Рис. 2. Содержание азота в биомассе кукурузы в зависимости от фазы вегетации, % при применении РР и ОМУ (среднее из 4 вариантов); \* показатель содержания элемента в фазу 4–6 листьев взят как среднее значение фоновых вариантов

В динамике фосфора в контрольном варианте содержание элемента соответствовало оптимальным показателям (согласно В. В. Церлингу) в фазах 4–6 (1,09 %) и молочной спелости (0,56 %) кукурузы; в фазах 8–10 листьев и цветения показатели были выше оптимальных (1,08 % и 0,92 % соответственно). Исключение из системы удобрения фосфорных удобрений не оказало существенного влияния на изменение содержания фосфора в растительной массе (табл. 2).

В вариантах с применением полного минерального или только одного азотного удобрения в комплексе с некорневыми подкормками посевов микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор и регулятором роста растений Агропон С или органоминеральным удобрением Форкроп Голден 10–14–4 содержание фосфора в фазах 8–10 листьев, цветения и молочной спелости зерна было высоким и составило в среднем 1,10, 0,86 и 0,66 % (рис. 3).

На всех этапах развития культуры содержание калия соответствовало высокому уровню как в варианте без удобрений, так и с изучаемыми системами удобрения. Содержание калия в контрольном варианте составило 5,11 %, 5,40 %, 2,77 % и 1,67 % в фазах 4–6, 8–10 листьев, цветения и молочной спелости соответственно. Исключение из системы удобрения калия обусловило снижение содержания элемента в растительной массе на 0,16–0,37 % до фазы цветения, в дальнейшем содержание элемента выравнивалось (табл. 3).

В вариантах с применением минеральных удобрений в комплексе с некорневыми подкормками посевов микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор и регулятором роста растений Агропон С или органоминеральным удобрением Форкроп Голден

10–14–4 содержание калия в фазах 8–10 листьев, цветения и молочной спелости зерна составило в среднем 5,51 %, 2,64 % и 1,68 % (рис. 4).

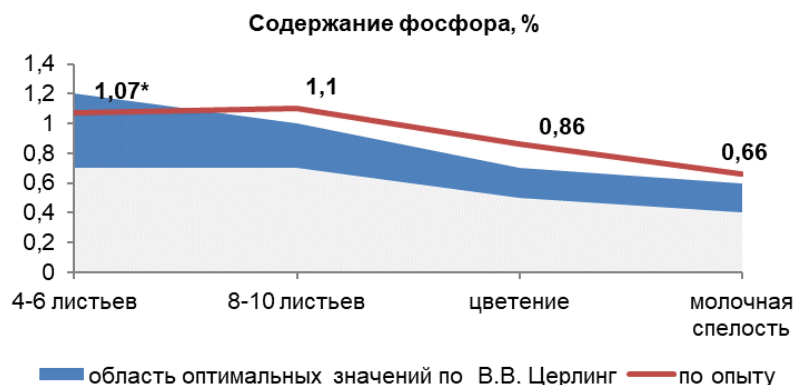


Рис. 3. Содержание фосфора в биомассе кукурузы в зависимости от фазы вегетации, % при применении РР и ОМУ (среднее из 4 вариантов);\* показатель содержания элемента в фазу 4–6 листьев взят как среднее значение фоновых вариантов

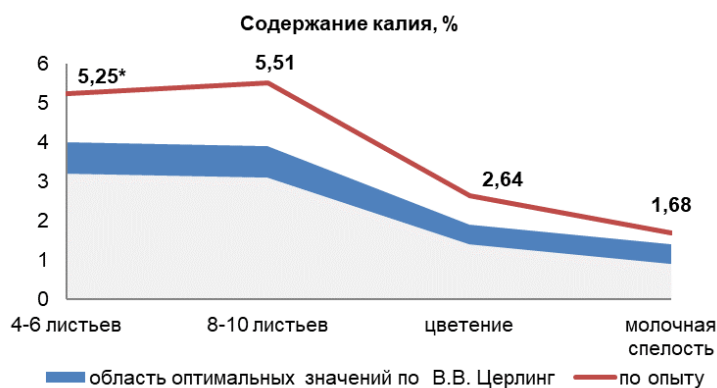


Рис. 4. Содержание калия в биомассе кукурузы в зависимости от фазы вегетации, % при применении РР и ОМУ (среднее из 4 вариантов);\* показатель содержания элемента в фазу 4–6 листьев взят как среднее значение фоновых вариантов

Двукратные некорневые подкормки посевов кукурузы органоминеральным удобрением Форкроп Голден 10–14–4 в фазах 6–8 и 8–10 листьев на фоне полного минерального удобрения способствовали усилению накопления в растениях азота в фазе цветения (+0,13 %) и фосфора – в фазах цветения и молочной спелости (+0,08–0,15 %) (табл. 1).

Каких-либо определенных закономерностей в динамике содержания элементов питания в вариантах с применением регулятора роста растений Агропон С не отмечено (табл. 1).

Существенным фактором, определяющим уровень продуктивности кукурузы, наряду с обеспеченностью ее элементами питания, являются также гидротермические



условия, складывающиеся на протяжении периода вегетации культуры. В связи с чем зависимость урожайности только от одного фактора (уровня минерального питания) невысокая. Так, результаты исследований российских учёных [9–11] свидетельствуют, что при одинаковом содержании элементов питания в растениях кукурузы, выращиваемых при оптимальной и недостаточной влагообеспеченности, урожай сухой надземной биомассы этой культуры вследствие дефицита влаги уменьшался в 2,6 раза, а недостаток тепла в первый период вегетации кукурузы в 3 раза снижал ее продуктивность.

Анализ содержания общего азота по годам исследования показывает, что при различиях в абсолютных значениях наблюдались общие тенденции. Наибольшие значения концентрации азота отмечены в фазу 4–6 листьев, при этом в 2021 и 2022 гг. в условиях избыточного увлажнения данные показатели были близки и составили 4,54 и 4,32 % соответственно, тогда как в засушливых условиях 2023 г. – 3,54 %. В условиях избытка влаги к фазе 8–10 листьев в 2021 г. содержание азота оставалось на высоком уровне (4,06 %), тогда как в 2022 и 2023 гг. снизилось до 2,37–2,52 % соответственно.

К началу цветения содержание общего азота в годы исследования составило 1,32–1,79 %. К фазе молочной спелости максимальное содержание общего азота в биомассе кукурузы (1,87 %) характерно для наиболее благоприятного 2021 г., наименьшее (1,04 %) – для засушливого периода 2023 г. (рис. 5).

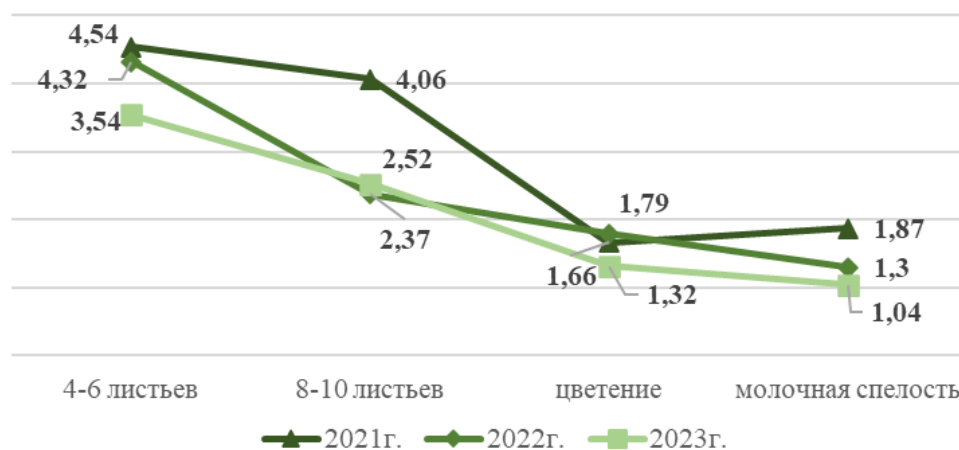


Рис. 5. Динамика содержания общего азота по основным фазам развития кукурузы по годам исследования, %

Наибольшее варьирование содержания фосфора по фазам онтогенеза кукурузы отмечено в наиболее благоприятном 2021 г., когда от фазы 4–6 листьев до фазы 8–10 листьев концентрация элемента в растениях увеличилась на 0,23 % и резко снизилась к фазе цветения на 0,49 %, что можно объяснить ростом растений и, как следствие, проявлением «эффекта разбавления». Более плавное повышение содержания фосфора до фазы 8–10 листьев-цветения (1,01–1,02 %), а затем снижения (0,71 %) к уборке характерно для условий 2022 г. (рис. 6).



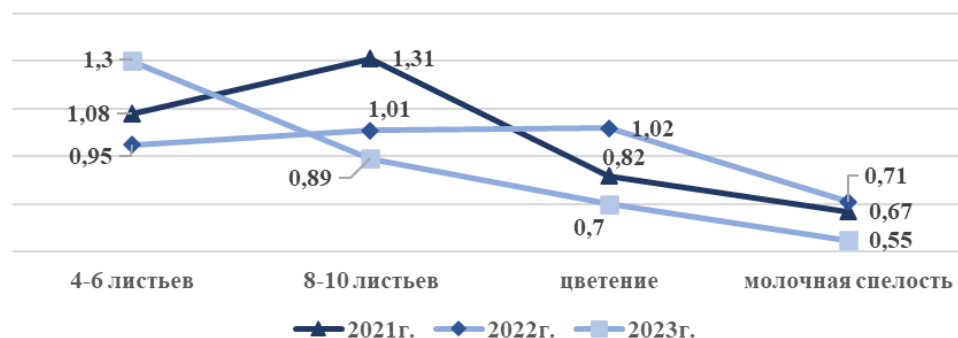


Рис. 6. Динамика содержания фосфора по основным фазам развития кукурузы по годам исследования, %

В 2023 г. в засушливых условиях с повышенными температурами от фазы 4–6 листьев до 8–10 листьев концентрация фосфора резко снизилась на 0,41 %, а затем плавно уменьшалась до уборки (рис. 6).

Ход динамики содержания калия при различном содержании элемента по годам исследования в какой-то мере подобен динамике азота с максимальными показателями в начальные фазы вегетации (4,20–6,16 %) и снижением к уборке (1,44–1,87 %) (рис. 7).

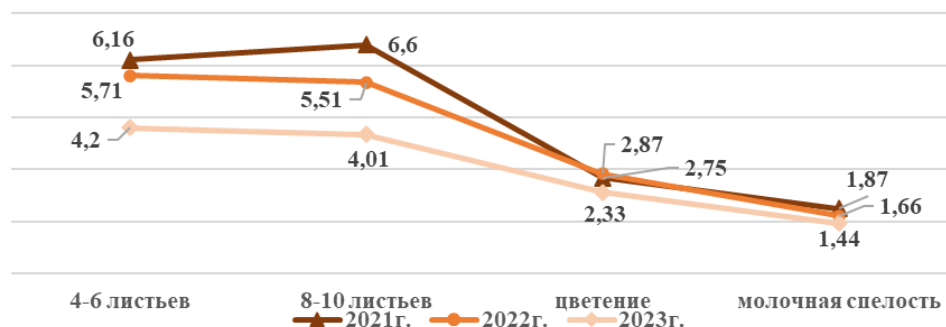


Рис. 7. Динамика содержания калия по основным фазам развития кукурузы по годам исследования, %

Исключение установлено только для 2021 г., когда от фазы 4–6 до фазы 8–10 листьев содержание элемента возросло на 0,44 % к исходному. Для всех лет исследования характерно резкое (в 1,7–2,4 раза) снижение содержания калия к фазе цветения. В определенной степени это может быть связано с тем, что калий является элементом 3-го минимума. Посевы испытывают наибольшую потребность прежде всего в азоте и фосфоре, эффективность которых значительно усиливается при их взаимодействии, а повышение урожая под их воздействием вызывает эффект ростового «разбавления» содержания калия в растениях. Кроме того, потери калия в процессе вегетации часто обусловлены вымыванием его из растительных тканей ливневыми дождями. Поэтому, несмотря на высокое содер-

жание элемента в почве и растениях, потери в процессе вегетации исключают возможность его положительного действия на отток ассимилянтов из вегетативных органов и величину зерновой продуктивности [10, 11].

Известно, что величина урожая лимитируется элементом, который находится в минимуме, однако максимальная продуктивность может быть получена только при сбалансированном питании. Растения более чувствительны не к абсолютным количествам элементов в питательной среде, а к соотношениям их концентраций, что является устойчивой характеристикой, специфичной для каждой культуры. Проанализировав показатели соотношения между содержанием долей макроэлементов в растениях в основные фазы развития, и, сопоставив их с оптимальными значениями, предложенными В. В. Церлинг [5], можно составить представление о сбалансированности питания кукурузы этими элементами в процессе вегетации. Анализ соотношения элементов питания (процентной доли азота, фосфора и калия в сумме питательных веществ, принимаемой за 100 %), показывает, что в целом по опыту при общем высоком содержании азота его доля в сумме NPK ниже оптимальной (табл. 4).

Таблица 4

**Соотношения азота, фосфора и калия ( $N/P_2O_5/K_2O$ ) в растительной массе по основным фазам развития кукурузы (среднее за 2021–2023 гг.), %**

Вариант	Фазы онтогенеза			
	4–6 листьев	8–10 листьев	цветение	молочная спелость
Контроль (без удобрений)	38/11/51	29/12/59	29/18/53	33/17/50
Соломистый навоз (CH), 60 т/га – Фон	39/10/51	31/11/58	31/15/54	35/16/49
Фон + $N_{60}P_{20}K_{60} + (N_{30} + м/у)'$	39/10/51	32/11/57	32/17/51	39/18/43
Фон + $N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30} + м/у)'$	39/10/51	32/11/57	31/15/54	40/17/43
Фон + $N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30} + м/у + PP)'$	–	31/11/58	31/17/52	39/16/45
Фон + $N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30} + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)''$	–	31/11/57	32/18/50	38/18/43
Фон + $N_{120}P_{20}K_{60} + (N_{30} + м/у)'$	41/11/48	34/11/55	33/17/50	39/19/42
Фон + $N_{90} + (N_{30} + м/у)'$	39/11/50	33/12/55	33/16/51	39/17/44
Фон + $N_{90} + (N_{30} + м/у + PP)'$	–	31/12/57	31/16/53	38/18/44
Фон + $N_{90} + (N_{30} + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)''$	–	32/11/57	32/16/52	38/17/45
Оптимальные соотношения*	N	46–52	45–48	39–42
	P	10–12	10–12	11–13
	K	38–43	38–43	44–50

\* оптимальные соотношения азота, фосфора и калия в нормальных условиях согласно В. В. Церлинг [5].

Так, в фазу 4–6 листьев в зависимости от системы удобрения доля азота составила 39–41 %, фосфора – 10–11 %, калия – 48–51 % при оптимальном соотношении –  $N/P_2O_5/K_2O = 46–52/10–12/38–43$ , т. е. отмечается определённый дисбаланс между азотом и калием при оптимальном относительном содержании

фосфора. Увеличение доли азота при снижении доли калия ( $N/P_2O_5/K_2O = 41/11/48$ ) характерно только для варианта с максимальной дозой азотного удобрения ( $N_{120}$ ), внесенного при посеве кукурузы. К фазе 8–10 листьев доля азота еще более снизилась, а калия – повысилась, соотношение элементов  $N/P_2O_5/K_2O$  составило 31–34/11–12/55–58 при оптимальном 45–48/10–12/38–43. Отмечена тенденция увеличения доли азота при снижении доли калия ( $N/P_2O_5/K_2O = 33–34/11–12/55–58$ ) в варианте с максимальной суммарной дозой азотного удобрения ( $N_{150}$ ) в составе полного минерального удобрения и при применении только азота ( $N_{120}$ ). К фазе молочной спелости в растительной массе кукурузы соотношение азота, фосфора и калия в какой-то степени приблизилось к оптимальному. При увеличении доли азота и фосфора и снижении – калия, их соотношение составило 35–40/16–19/43–50 при оптимальном 44–48/14–16/37–42. Применение как регулятора роста растений, так и органоминерального удобрения не оказало существенного влияния на изменение соотношения элементов питания в растениях кукурузы (табл. 4).

Наиболее неуравновешенное соотношение элементов (вследствие дефицита азота и избытка калия) на протяжении всего периода вегетации характерно для варианта без удобрений. Применение соломистого навоза оказало положительное влияние на перераспределение элементов питания в растениях кукурузы с увеличение доли азота и уменьшением – фосфора (табл. 4).

Распределение азота, фосфора и калия в различных частях кукурузы происходит неравномерно. Так, наибольшее количество общего азота сосредоточено в зерне, а на вегетативную массу приходится значительно меньше. К уборке кукурузы содержание элемента в зерне в варианте без удобрений составило 1,01 %, тогда как в листостебельной массе – 0,71, т. е. в 1,4 раза меньше. Применение систем удобрения с возрастающими дозами азота обусловило увеличение накопления элемента в зерне до 1,25–1,43 %, в листостебельной массе – до 0,85–0,93 %. Вероятно, на высоком агрофоне из-за более длительного периода вегетации растения кукурузы не успевают полностью трансформировать полученный азот в белковые соединения (табл. 5).

В период образования початка в растении кукурузы происходит перераспределение общего фосфора, основная часть которого переходит в зерно. Так, в неудобренном варианте содержание фосфора в зерне составило 0,70 %, в листостебельной массе – 0,41 %, или в 1,7 раза меньше. В наших исследованиях на почве с высоким содержанием фосфатов в вариантах с применением минеральных макро- и микроудобрений отдельно и в комплексе с органоминеральным удобрением или регулятором роста растений показатели содержания элемента в основной и побочной продукции кукурузы составили 0,70–0,83 % в зерне и 0,51–0,59 % в листостебельной массе (табл. 5).

Что касается калия, то основное количество этого элемента распределяется по стеблю и листьям, в зерно переходит лишь небольшая часть. В неудобренном варианте содержание калия в зерне кукурузы составило 0,50 %. Изменения содержания общего калия в зерне кукурузы при повышении уровня минерального питания не выявлено, данный показатель по опыту варьировал в пределах 0,51–0,55 % (табл. 5). Концентрация калия в листостебельной массе кукурузы в варианте без удобрений составила 1,70 %. По опыту данный показатель изменялся от 1,60 до 1,83 % (табл. 5).

Таблица 5

Содержание основных элементов минерального питания в основной и побочной продукции кукурузы и их долевое соотношение (среднее за 2021–2023 гг.), %

Вариант	Элементы, %						Долевое соотношение N/P/K	
	Зерно			ЛСМ*			Зерно	ЛСМ*
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
Контроль (без удобрений)	1,01	0,70	0,50	0,71	0,41	1,70	46/32/22	25/15/60
Соломистый навоз (СН), 60 т/га – Фон	1,07	0,67	0,51	0,85	0,50	1,61	48/30/22	29/17/54
Фон + N <sub>60</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у)'	1,25	0,77	0,52	0,85	0,59	1,60	49/30/21	28/19/53
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у)'	1,39	0,81	0,50	0,93	0,56	1,70	52/30/18	29/17/54
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у + РР)'	1,38	0,75	0,50	0,96	0,53	1,69	52/29/19	30/17/53
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)''	1,39	0,77	0,52	0,87	0,59	1,73	52/29/19	27/19/54
Фон + N <sub>120</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у)'	1,43	0,83	0,55	0,91	0,60	1,76	51/30/19	28/18/54
Фон + N <sub>90</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у)'	1,40	0,78	0,53	0,91	0,51	1,78	52/29/19	28/16/56
Фон + N <sub>90</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у + РР)'	1,40	0,73	0,50	0,84	0,52	1,83	52/29/19	26/16/58
Фон + N <sub>90</sub> + (N <sub>30</sub> + м/у + ОМУ)' + (ОМУ)''	1,37	0,70	0,50	0,85	0,57	1,72	53/28/19	27/18/55
Оптимальные соотношения **						N	58–61	32–36
						P	23–26	10–12
						K	15–18	53–58
НСР <sub>05</sub>	0,16	0,07	–	0,07	0,08	0,09	–	

\* листостебельная масса; \*\* оптимальные соотношения азота, фосфора и калия в нормальных условиях согласно В. В. Церлинг [5].

Применение минеральных удобрений оказало определенное влияние на увеличение концентрации элементов питания в основной и побочной продукции. По опыту возрастающие дозы азотных удобрений в комплексе с микроудобрением способствовали увеличению содержания азота в зерне кукурузы на 0,18–0,36 %, фосфора – 0,10–0,16 % при стабильном калии, в листостебельной массе азота – 0,06–0,08 %, фосфора – 0,01–0,10 % и калия – 0,09–0,17 % (табл. 5).

Согласно В. В. Церлинг [7], оптимальное соотношение элементов питания в зерне кукурузы составляет N/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/K<sub>2</sub>O = 58–61/23–26/15–18. Анализ соотношения элементов питания, показал, что в неудобренном варианте оно составило N/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/K<sub>2</sub>O = 46/32/22, т. е. наблюдался определенный избыток калия и дефицит азота и фосфора. Под влиянием систем удобрения в зерне доля азота несколько возросла, а фосфора и калия снизилась, составив N/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/K<sub>2</sub>O = 48–53/28–30/18–22 (табл. 5).

Опираясь на литературные данные, при анализе соотношения элементов питания, полученных в нашем исследовании, следует принимать во внимание тот факт, что оптимальные их показатели указаны автором для сортов кукурузы прошлого века [7]. Возможно для современных интенсивных гибридов культуры,

возделываемых на высококультурных почвах, оптимальные соотношения уже несколько иные. Тем более как указывает В. В. Церлинг, «оптимальным уровнем содержания в растениях питательных веществ считается такой, при котором получают высокий урожай хорошего качества».

В наших исследованиях максимальному уровню урожая зерна (123,2–128,9 ц/га в среднем за 3 года исследований) соответствовало соотношение элементов питания равное  $N/P_2O_5/K_2O = 52-53/28-29/19$ , т. е. максимально близкое к оптимальному (табл. 4, 5).

Оптимальное соотношение элементов в листостебельной массе кукурузы составляет  $N/P_2O_5/K_2O = 32-36/10-12/53-58$ . В наших исследованиях в варианте без удобрений соотношение  $N/P_2O_5/K_2O$  составило 25/15/60, т. е. наблюдался дефицит азота при избытке фосфора и калия. Под влиянием удобрений соотношение  $N/P_2O_5/K_2O$  изменилось, составив по опыту 26–29/16–19/53–58. Наиболее сбалансированное соотношение элементов питания  $N/P_2O_5/K_2O = 54-55/27-29/17-18$  получено в зерне кукурузы в вариантах с применением азотного удобрения ( $N_{90+30}$ ) в комплексе с некорневыми подкормками посевов микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор и регулятором роста растений Агропон С или органоминеральным удобрением Форкроп Голден 10–14–4 (табл. 5).

## ВЫВОДЫ

Динамика поступления основных элементов питания в растения кукурузы в течение вегетации соответствует биологическим особенностям культуры. При их концентрациях, чаще превышающих оптимальный уровень, доля азота в сумме НРК ниже оптимальной. Применение возрастающих доз азотных удобрений ( $N_{90-150}$ ) повышает концентрацию общего азота и его долевое содержание в сумме питательных веществ. Наибольшие значения содержания элементов питания в растениях кукурузы отмечены в годы с достаточным количеством осадков.

Исключение из системы удобрения фосфорных удобрений не оказывает существенного влияния на изменение содержания фосфора в растительной массе, а калийных – обуславливает снижение содержания элемента в растительной массе на 0,16–0,37 % до фазы цветения с дальнейшим нивелированием концентрации элемента.

Двукратные некорневые подкормки посевов кукурузы органоминеральным удобрением Форкроп Голден на фоне полного минерального удобрения усиливают накопление в растениях азота в фазу цветения (+0,13 %), фосфора – в фазы цветения и молочной спелости +(0,08–0,15 %). Варьирования концентрации элементов питания под действием регулятора роста растений Агропон С не выявлено.

Возрастающие дозы азотных удобрений способствуют увеличению содержания азота в зерне кукурузы на 0,18–0,36 %, фосфора – 0,10–0,16 % при стабильном калии, в листостебельной массе – азота – 0,06–0,08 %, фосфора – 0,01–0,10 % и калия – 0,09–0,17 %.

Наиболее сбалансированное соотношение элементов питания  $N/P_2O_5/K_2O = 54-55/27-29/17-18$  получено в зерне кукурузы в вариантах с применением моноазота ( $N_{90+30}$ ) в комплексе с некорневыми подкормками посевов микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор и регулятором роста растений Агропон С или органоминеральным удобрением Форкроп Голден 10–14–4.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сабинин, Д. А. Физиологические основы питания растений / Д. А. Сабинин. – М. : АН СССР, 1955. – 512 с.
2. Кукуруза / Д. Шпаар, Д. Дрегер, Г. Крацис [и др.]. – Минск : ФУАинформ, 1999. – 192 с.
3. Кравченко, Р. В. Агробиологическое обоснование получения стабильных урожаев зерна кукурузы в условиях степной зоны Центрального Предкавказья: монография / Р. В. Кравченко. – Ставрополь, 2010. – 208 с.
4. Надточаев, Н. Ф. Кукуруза на полях Беларуси / Н. Ф. Надточаев ; НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – Минск : ИВЦ Минфина, 2008. – 412 с.
5. Церлинг, В. В. Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В. В. Церлинг. – М. : Наука, 1978. – 216 с.
6. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича: Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. – 276 с.
7. Интернет-магазин «Крама Геркулес: [сайт]. – Минск, 2025. – URL: <https://www.kramagerkules.by/biostimulants/tproduct/624882421961-forkrop-golden-10-14-4> (дата обращения 18.02.2025).
8. Интернет-магазин «Goods Garden»: [сайт]. – Минск, 2025. – URL: [https://goodsgarden.by/catalog/ukhod\\_zh\\_rasteniyami\\_y/regulyator\\_rosta\\_rasteniy\\_agropon\\_s](https://goodsgarden.by/catalog/ukhod_zh_rasteniyami_y/regulyator_rosta_rasteniy_agropon_s) (дата обращения 18.02.2025).
9. Усанова, З. И. Влияние расчетных доз удобрений и густоты стояния на продуктивность кукурузы, вынос и хозяйственный баланс основных элементов питания / З. И. Усанова, И. В. Шальнов, А. С. Васильев // Земледелие. – 2016. – № 3. – С. 23–26.
10. Никитишен, В. И. Минеральное питание кукурузы при взаимодействии азотного и фосфорного удобрения / В. И. Никитишен, В. И. Личко. – Агрохимия. – 2012. – № 11. – С. 9–15.
11. Никитишен, В. И. Взаимосвязи в питании кукурузы при длительном применении удобрений на серой лесной почве ополья / В. И. Никитишен, В. И. Личко. – Агрохимия. – 2014. – № 12. – С. 16–23.

THE CONTENT AND RATIO OF THE MAIN ELEMENTS  
OF NUTRITION IN CORN PLANTS

E. G. Mezentsseva, O. G. Kulesh, A. A. Gracheva, S. M. Zenkova

**Summary**

In an experiment on sod-podzolic highly cultivated loamy soil, studies were carried out to study the parameters, the ratio of the main nutrients in corn plants, their dynamics over the main phases of crop development, depending on weather conditions and the level of mineral nutrition. The most balanced ratio of nutrients in corn grain was observed when using one nitrogen fertilizer in combination with foliar fertilizing of crops with MicroStim-Zinc, Boron and plant growth regulator Agropon S or organomineral fertilizer Forkrop Golden 10–14–4.

*Поступила 21.02.25*