

Агрочоведение и агроэкология

УДК:581.132:631.8

DOI 10.31857/S2500262724020091 EDN GSTNCO

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОСЕВОВ И СЕКВЕСТРАЦИЯ АТМОСФЕРНОГО УГЛЕРОДА КЛЕВЕРОМ ЛУГОВЫМ И ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕЙ В СЕВООБОРОТЕ**Н. Е. Завьялова**, доктор биологических наук, **Д. Г. Шишков**, мл. научный сотрудник,
Д. Р. Сафуллина, мл. научный сотрудник*Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН,
614532, Пермский край, с. Лобаново, ул. Культуры, 12
E-mail: nezavyalova@gmail.com*

Цель исследований – оценить интенсивность поглощения световой энергии культурами севооборота в течение вегетационного периода и определить количество атмосферного углерода, поглощенного в процессе фотосинтеза. В длительном стационарном опыте изучали поглощение фотосинтетически активной радиации (ФАР) посевами клевера лугового 2 года пользования и яровой пшеницей в вариантах без удобрений и при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$. Для оценки интенсивности поглощения световой энергии использовали показатели содержания хлорофилла А, хлорофилла В и каротина, которые служат фоторецепторами-пигментами фотосинтеза у высших растений. Наиболее активный период поглощения ФАР листьями клевера лугового отмечали с фазы стеблевания до цветения, сумма хлорофилла А и В в листьях составляла 11,08...14,32 мг/г сухой массы, каротина – 2,2...3,3 мг/г сухой массы. В процессе фотосинтеза содержание углерода в листьях клевера варьировало в интервале 40,4...45,5 %. Содержания основных продуктов фотосинтеза – сахаров снижалось с 9,8 % в фазе стеблевания до 3,4 % в период формирования семян. Наиболее интенсивно процесс фотосинтеза яровой пшеницы проходил в период от фазы кушения до начала созревания, содержание хлорофилла составляло 9,14...11,90 мг/г сухой массы, каротина было в 2,5...4,3 раза ниже. Больше всего сахаров отмечали в начале выхода в трубку: без удобрений – 15,3 %, при внесении NPK по 60 кг д.в./га – 17,2 %. Количество углерода, поглощенного посевами клевера лугового в процессе фотосинтеза за вегетационный период в зависимости от вариантов опыта, составляло 2,26...2,42 т/га (8,09...8,66 т/га CO_2), яровой пшеницы – 1,49...1,93 т/га (5,33...6,90 т/га CO_2).

PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF CROPS AND SEQUESTRATION OF ATMOSPHERIC CARBON BY MEADOW CLOVER AND SPRING WHEAT IN CROP ROTATION**N. E. Zavyalova, D. G. Shishkov, D. R. Safullina***Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences,
614532, Permskii krai, s. Lobanovo, ul. Kul'tury, 12
E-mail: nezavyalova@gmail.com*

The purpose of the research is to estimate the intensity of absorption of light energy by crop rotation crops during the growing season and determine the amount of atmospheric carbon absorbed during photosynthesis. In a long-term stationary experiment, the absorption of photosynthetically active radiation (FAR) by crops of meadow clover for 2 years of use and spring wheat in variants without fertilizers and when applying $N_{60}P_{60}K_{60}$ was studied. Chlorophyll A, chlorophyll B and carotene, which serve as photoreceptors-pigments of photosynthesis in higher plants, were used to assess the intensity of absorption of light energy. The most active period of absorption of HEADLIGHTS by meadow clover leaves was noted from the stalking phase to flowering, the amount of chlorophyll A and B in the leaves was 11.08...14.32 mg/g dry weight, carotene – 2.2...3.3 mg/g dry weight. During photosynthesis, the carbon content in clover leaves varied in the range of 40.4...45.5 %. The content of the main products of photosynthesis, sugars, decreased from 9.8 % in the stalking phase to 3.4 % during seed formation. The most intensive process of photosynthesis of spring wheat took place during the period from the tillering phase to the beginning of maturation, the chlorophyll content was 9.14...11.90 mg/g dry weight, carotene was 2.5...4.3 times lower. Most sugars were noted at the beginning of entering the tube: without fertilizers – 15.3 %, when applying NPK of 60 kg d.v./ha – 17.2 %. The amount of carbon absorbed by meadow clover crops during photosynthesis during the growing season, depending on the experimental options, was 2.26...2.42 t/ha (8.09...8.66 t/ha CO_2), spring wheat – 1.49...1.93 t/ha (5.33...6.90 t/ha CO_2).

Ключевые слова: хлорофилл, каротин, органический углерод, элементы минерального питания, клевер луговой, яровая пшеница.

Key words: chlorophyll, carotene, organic carbon, elements of mineral nutrition, meadow clover, spring wheat.

Фотосинтез – это единственный процесс, в результате которого углекислый газ из атмосферы связывается и вовлекается в природный кругооборот. При этом ежегодно аккумулируется 200 млрд т CO_2 [1]. Зеленые растения в процессе фотосинтеза образуют органические соединения (углеводы) из углекислого газа и воды с использованием энергии света, которые включаются в процессы жизнедеятельности растений. Это дает возможность управлять секвестрацией углерода [2]. Увеличение фотосинтетической активности растений приводит к наращиванию их биомассы, при этом из атмосферы удаляются излишние объемы CO_2 , повышается урожайность сельскохозяйственных культур, создаются

условия для длительного запасаания (депонирования) углерода почвой. Поглощение атмосферного углерода растениями зависит от интенсивности фотосинтеза, который активнее протекает у культур с большей ассимиляционной поверхностью листьев [3]. Изучение продуктивности и содержания углерода в тканях растений позволяет оценить их секвестрационный потенциал [4].

Уровень секвестрации углерода во многом зависит от фотосинтетической способности трав. Например, объемы секвестрации естественным травостоем варьируют в пределах 2,2...2,5 т/га в год [5]. Примерно 40 % территории суши покрыто травянистыми растениями, в них содержится до 30 % глобальных запасов

почвенного углерода [6]. Для травянистой растительности и сельскохозяйственных культур продукционная эффективность хлорофилла составляет 300 кг С/кг хлорофилла в год [2]. С учетом урожайных данных Росстата первичная продукция фотосинтеза посевов сельскохозяйственных культур, выраженная через углерод, в среднем составляет 5,25 т С/га/год [6].

Карбоновая тематика связана со снижением темпов роста концентрации парниковых газов в приземном слое атмосферы [4]. Одно из направлений смягчения парникового эффекта – накопление и депонирование атмосферного углерода в почве. В связи с этим большой интерес представляет изучение возможностей бобовых и злаковых трав аккумулировать углерод из атмосферы и накапливать его в почве.

Цель исследований – выявить фотосинтетическую и углерод секвестрирующую способность яровой пшеницы и клевера лугового в севообороте.

Методика. Исследования проводили в длительном стационарном эксперименте, заложенном на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве опытного поля «Пермского НИИСХ» – филиала ПФИЦ УрО РАН в 1978 г. в восьмипольном севообороте со следующим чередованием культур: чистый пар, озимая рожь, картофель, пшеница, клевер 1 г. п., клевер 21 г. п., ячмень, овес. Агрохимическая характеристика пахотного слоя опытного участка: рН_{KCl} – 5,6; гидролитическая кислотность по Каппену – 2,0, сумма поглощенных оснований по Каппену – 21,0 смоль(экв)/100 г почвы, содержание гумуса по Тюрину – 2,12 %, подвижных форм фосфора и калия (по Кирсанову) – соответственно 175 и 203 мг/кг почвы. Минеральные удобрения вносили под зерновые культуры и картофель, на клевере изучали последствие. В опыте использовали мочевину или аммиачную селитру, суперфосфат и хлористый калий. Известь вносили перед закладкой опыта в дозе 1,0 Нг. Органические удобрения не использовали. Общая площадь делянки – 120 м², учетная – 76,4 м². Опыт заложен в 2-х полевых закладках, размещение вариантов рендомизированное.

Фотосинтетическую активность клевера лугового и пшеницы яровой изучали в шестой ротации восьмипольного севооборота в 2023 г. в двух закладках полевого опыта в следующих вариантах: без удобрений – контроль; N₆₀P₆₀K₆₀. Содержание С_{орг} в почве определяли методом бихроматного окисления с титриметрическим окончанием, углерода в растительных образцах – на элементном анализаторе Elementary Vario ElCub.

Поскольку интенсивность фотосинтеза зависит от количества хлорофилла в листьях, то в качестве универсального показателя для оценки потенциальной возможности культур поглощать фотосинтетически активную радиацию (ФАР) использовали содержание хлорофилла А, хлорофилла В и каротина – фоторецепторных пигментов фотосинтеза у высших растений.

Растительные образцы отбирали в шестикратной полевой повторности. Содержание хлорофилла в листьях растений определяли по действующей методике [7], легкостворимые углеводы (сахара) – по ГОСТ 26176-2019, клетчатку – по ГОСТ 31675-2-12, жир – по ГОСТ 13496.15-1016, каротин – по ГОСТ 13496.17. Количество азота, фосфора и калия в растениях определяли в воздушно-сухих размолотых образцах после мокрого озelenения: общего азота – по методу Кьельдаля (ГОСТ 13496.4-93), общего фосфора – спектрофотометрическим методом (ГОСТ 28902-91), общего калия – пламенно-

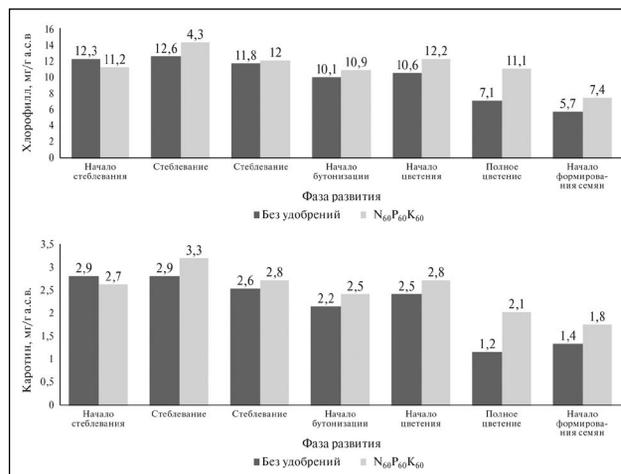


Рис. 1. Содержание хлорофилла и каротина в листьях клевера лугового.

фотометрическим методом (ГОСТ 30504-97). Урожайность яровой пшеницы учитывали сплошным методом, клевера – площадочным методом.

Результаты и обсуждение. Поглощение атмосферного углерода растениями зависит от интенсивности процессов фотосинтеза, который более активно протекает у бобовых культур с высокой ассимиляционной поверхностью листьев [8, 9]. Интенсивность накопления хлорофилла в его листьях составила 11,08...14,32 мг/г сухой массы (рис. 1). Наличие клубеньков на корневой системе бобовых способствует не только поглощению молекулярного азота, но и усиливает процесс аккумуляции растениями углекислого газа из атмосферы [8]. Высокая облиственность бобовых культур способствует увеличению ассимилирующей поверхности и сопровождается усилением процесса фотосинтеза. Площадь листовой поверхности клевера лугового в межфазный период бутонизация-цветение составляет 89 тыс. м²/га [10].

Табл. 1. Массовая доля жира, клетчатки и сахара в листьях, %

Фаза отбора	Вариант	Жир	Клетчатка	Сахар
Клевер луговой				
Начало стеблевания	без удобрений	3,7±0,6	12,5±1,6	9,8±1,2
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,6±0,6	8,8±1,4	9,4±1,2
Стеблевание	без удобрений	4,4±0,6	11,3±1,5	5,7±0,9
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,6±0,6	11,1±1,5	4,5±0,8
Стеблевание	без удобрений	4,4±0,6	10,3±1,4	5,9±0,9
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,6±0,6	11,4±1,5	6,8±1,0
Начало бутонизации	без удобрений	4,3±0,6	10,3±1,4	7,0±1,0
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,3±0,6	9,7±1,4	6,1±0,9
Начало цветения	без удобрений	4,3±0,6	10,5±1,4	5,3±0,9
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,4±0,6	11,5±1,5	5,7±0,9
Полное цветение	без удобрений	4,2±0,6	13,2±1,6	3,9±0,8
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,3±0,6	13,9±1,6	4,3±0,8
Начало формирования семян	без удобрений	4,0±0,6	11,7±1,5	4,1±0,8
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,0±0,6	9,5±1,4	3,4±0,7
Пшеница				
Кущение	без удобрений	3,9±0,6	18,0±1,8	14,2±1,6
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,8±0,6	18,0±1,8	12,4±1,4
Начало выхода в трубку	без удобрений	3,6±0,6	19,5±1,9	15,3±1,7
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,1±0,6	18,7±1,9	17,2±1,8
Выход в трубку	без удобрений	5,8±0,7	20,5±1,9	14,9±1,6
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	6,3±0,7	19,7±1,9	10,7±1,3
Колошение	без удобрений	6,9±0,7	21,2±2,0	8,3±1,1
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	7,5±0,7	21,2±2,0	7,2±1,0
Начало созревания	без удобрений	8,6±0,9	19,8±1,9	10,0±1,2
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	8,3±0,8	22,4±2,0	10,4±1,2
Молочная спелость	без удобрений	8,6±0,8	38,4±2,8	4,3±0,8
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	7,4±0,7	35,2±2,7	4,1±0,8

Со вступления в фазу стеблевания и до начала цветения клевера содержание хлорофилла в листьях находилось примерно на одном уровне, затем наблюдалось его снижение до 5,7 мг/г сухой массы. Аналогичная тенденция выявлена для вспомогательного пигмента – каротина, содержание которого в период стеблевания – цветения было максимальным в опыте и составило 2,2...3,3 мг/г сухой массы. Содержание углерода в листьях клевера практически не менялось в течение всего периода вегетации и находилось на уровне 40,4...45,5 %.

Содержание основных продуктов фотосинтеза – сахаров в листьях клевера лугового снижалось с 9,8 % в период стеблевания до 3,4 % к началу формирования семян (табл. 1). В процессе биосинтеза в растениях происходит трансформация простых углеводов в более сложные соединения. Содержание клетчатки в период вегетации в листьях клевера изменялось незначительно от 8,8 до 13,93 %, что связано с их постоянным обновлением. Количество жира в листьях клевера практически не менялось в зависимости от фазы развития растений.

Площадь листовой поверхности листьев пшеницы яровой намного ниже, чем у клевера лугового, и составляет по данным [11] от 6,1 до 29, 7 тыс. м²/га. Наиболее интенсивно накопление хлорофилла листьями пшеницы происходило с фазы кущения до начала созревания и составляло 9,14...11,90 мг/г сухой массы (рис. 2). Вертикальное расположение листьев пшеницы способствовало поглощению ФАР на уровне близком к посевам клевера лугового. Резкое падение содержания хлорофилла отмечали в фазе молочной спелости. Количество каротина в листьях пшеницы в течение вегетационного периода было в 2,5...4,3 раза ниже, чем сумма хлорофилла А и В. Содержание углерода практически не менялось и находилось на уровне 40,4...43,9 %.

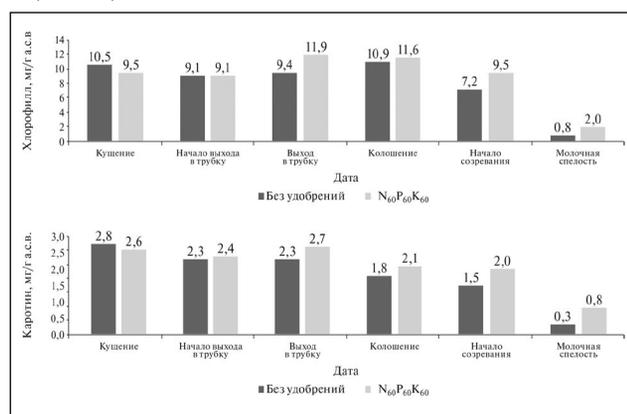


Рис. 2. Содержание хлорофилла и каротина в листьях яровой пшеницы.

Уровень минерального питания растений влияет на содержание фотосинтетических пигментов и вследствие этого на интенсивность фотосинтеза и аккумуляцию CO₂. Проведенные в полевых условиях исследования на клевере луговом и яровой пшенице выявили несущественные различия между содержанием хлорофилла и каротина в вариантах с внесением минеральных удобрений и без их использования, что связано с засушливым периодом вегетации культур и последствием удобрений на клевере.

Наибольшее суммарное содержание сахаров отмечали в фазе начала выхода в трубку пшеницы: без удобрений – 15,3 %, при внесении NPK по 60 кг д.в./га – 17,2 % (см. табл. 1). При этом другие исследователи

отмечали максимальное содержание сахаров в растениях пшеницы в фазе кущения [12].

Растения используют сахара для синтеза высокомолекулярных органических соединений, в частности, белков, жиров и углеводов. Резкое снижение содержания сахара в листьях пшеницы в фазе молочной спелости (в 2,3...2,5 раз), по сравнению с началом созревания, свидетельствует об использовании сахаров на формирование трудногидролизуемых углеводов (клетчатка) и жиров. Внесение минеральных удобрений в дозе N₆₀P₆₀K₆₀ привело к снижению содержания сахара в листьях пшеницы во все фазы ее роста, кроме фазы «начало выхода в трубку». Количество клетчатки в листьях пшеницы к фазе формирования зерна возросло, по сравнению с началом созревания, в 2,1 раза, жира – в 2,3 раза. Минеральные удобрения не оказали значимого влияния на величины этих показателей, различия по вариантам опыта наблюдали только в фазе молочной спелости зерна.

Наибольшее содержание азота в листьях клевера лугового (2,9...3,9 %) отмечали в период стеблевания – полное цветение (рис. 3а). Достоверные различия по вариантам опыта отмечали только в фазе полного цветения клевера: N₆₀P₆₀K₆₀ – 3,4 %, без удобрений – 2,9 %. Содержание фосфора в листьях клевера постепенно убывало с 0,7 % в фазе начала стеблевания до 0,3 % при формировании семян. Достоверных различий по вариантам опыта не выявлено. Для калия наблюдали аналогичную тенденцию постепенного снижения к концу вегетации, при этом в варианте с применением минеральных удобрений содержание K₂O в листьях клевера лугового было несколько выше, чем без удобрений, однако различия не всегда были доказуемы.

Листья яровой пшеницы до фазы молочной спелости характеризовались высоким содержанием азота (2,6...3,4 %), при этом значимые различия между вариантами были выявлены только в начале выхода в трубку, когда на фоне внесения N₆₀P₆₀K₆₀ оно было

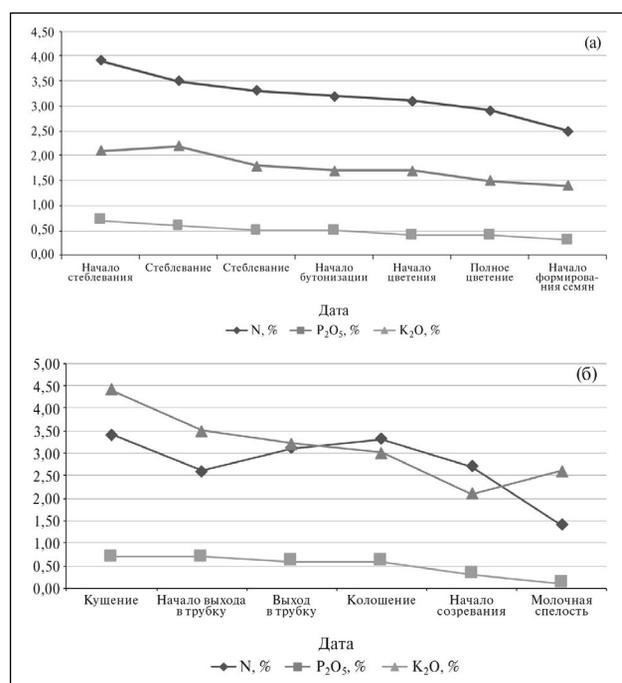


Рис. 3. Содержание элементов минерального питания в листьях, % от воздушно сухой массы: а) клевер луговой; б) яровая пшеница.

больше, чем в варианте без удобрений, на 0,4 %. Содержание калия в листьях пшеницы при использовании минеральных удобрений варьировало от 2,3 до 5,3 %, без удобрений – от 2,1 до 4,4 %. Значимые различия были выявлены в фазы кущение – выход в трубку. В фазе начала созревания пшеницы отмечали наименьшее содержание калия по вариантам опыта – 2,1...2,7 %. Содержание фосфора по вариантам опыта и фазам развития растений изменялось незначительно и находилось в интервале 0,5...0,7 % (рис. 3б).

Концентрация основных элементов минерального питания в сухой биомассе изучаемых культур перед уборкой зависела от анализируемой части и вида растения (табл. 2). Содержание азота в зеленой массе клевера не зависело от условий минерального питания и находилось на уровне 1,95...2,16 %. в пожнивно-корневых остатках клевера оно было в 1,4...1,6 раза меньше, чем в зеленой массе. По количеству фосфора в зеленой массе и ПКО растения клевера по вариантам опыта практически не различались. Содержание калия в зеленой массе было в 1,4...1,6 раз выше, чем в ПКО, а в варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ – в 1,3 больше, чем без удобрений.

Табл. 2. Элементы питания в различных частях растений перед уборкой, % от воздушно сухой массы

Вариант	Часть растения	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Клевер луговой, без удобрений	зеленая масса	1,95±0,17	0,31±0,06	1,70±0,19
	ПКО	1,38±0,22	0,25±0,04	1,24±0,15
Клевер луговой, $N_{60}P_{60}K_{60}$	зеленая масса	2,16±0,49	0,31±0,12	2,21±0,33
	ПКО	1,35±0,11	0,28±0,06	1,40±0,15
Пшеница яровая, без удобрений	солома	1,31±0,16	0,34±0,05	1,64±0,17
	ПКО	0,53±0,09	0,13±0,02	1,10±0,24
Пшеница яровая, $N_{60}P_{60}K_{60}$	зерно	1,70±0,12	0,29±0,04	0,52±0,04
	солома	1,57±0,11	0,33±0,04	2,00±0,47
	ПКО	0,67±0,15	0,17±0,04	1,39±0,22
	зерно	2,20±0,38	0,37±0,06	0,60±0,05

Результаты анализа различных частей пшеницы свидетельствуют, что максимальное в опыте содержание азота в зерне накапливалось при внесении минеральных удобрений – 2,20 %, калия было больше в соломе, фосфора – в зерне и соломе. Использование минеральных удобрений способствовало увеличению содержания азота и калия в зерне, соломе и ПКО пшеницы. Накопление азота в зеленой массе клевера было выше, чем в соломе яровой пшеницы, в 1,4...1,5 раз, в пожнивно-корневых остатках клевера – в 2,0...2,6 раза больше, по сравнению с ПКО пшеницы.

Табл. 3. Урожайность (среднее по двум закладкам за 6 ротаций севооборота) и аккумуляция углерода за вегетационный период

Вариант	Часть растения	Урожайность, т/га	Содержание углерода, %	Накопление углерода, т/га	Аккумуляция углерода и CO ₂ , т/га	
					C	CO ₂
Клевер луговой						
Без удобрений	зеленая масса	2,3±0,4	42,0±0,19	0,97	2,26	8,09
	ПКО	3,2±0,6	40,4±0,35	1,29		
$N_{60}P_{60}K_{60}$	зеленая масса	2,4±0,7	43,5±0,33	1,05	2,42	8,66
	ПКО	3,4±0,5	40,6±0,26	1,37		
Пшеница яровая						
Без удобрений	солома	1,3±0,7	44,3±0,28	0,57	1,49	5,33
	ПКО	0,9±0,6	41,7±0,60	0,36		
	зерно	1,3±0,8	42,8±0,38	0,56		
$N_{60}P_{60}K_{60}$	солома	1,9±0,9	42,0±0,30	0,80	1,93	6,90
	ПКО	1,1±0,5	40,4±0,72	0,44		
	зерно	1,6±0,6	42,0±0,56	0,69		

Фотосинтез – ведущий фактор формирования урожая возделываемых культур. Основной показатель продуктивности растений – накопление сухой массы. С учетом средней урожайности культур за шесть ротаций восьмипольного севооборота посевы клевера лугового аккумулировали за вегетационный период в варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ 2,42 т/га углерода, или 8,66 т/га углекислого газа, что в 1,07 раза больше, чем без применения удобрений. Улучшение условий минерального питания оказывало большее влияние на секвестрацию атмосферного углерода посевами яровой пшеницы: аккумуляция углекислого газа из атмосферы достигала 1,93 т/га углерода, или 6,90 т/га CO₂ при 1,49 т/га C (5,33 т/га CO₂) в варианте без удобрений (табл. 3).

В варианте без удобрений содержание органического углерода в почве к концу 5 ротации севооборота уменьшилось на 13 %, внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ способствовало поддержанию величины этого показателя на уровне близком к исходному (1,28 %) [13]. Минеральные удобрения в последствии на клевере луговом не оказали значимого влияния на урожайность культуры и накопление пожнивно-корневых остатков, количество ПКО после уборки клевера лугового 2 года пользования составило в среднем за год 3,2...3,4 т/га. Урожайность зерна яровой пшеницы в варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ составила в среднем 1,6 т/га, соломы – 1,9 т/га, что соответственно в 1,2 и 1,5 раз выше, чем в варианте без удобрений. По количеству ПКО различия были несущественными.

Выводы. Наиболее активно процесс фотосинтеза в посевах клевера лугового протекает в период стеблевания – начало цветения, содержание хлорофилла составило 11,1...14,3 мг/г сухой массы. Для яровой пшеницы сумма хлорофилла А и В в период кущение – начало созревания составила 9,1...11,9 мг/г сухой массы. Содержание каротина в листьях растений было в 3...4 раза ниже, чем хлорофилла, динамика его изменения в различные периоды роста культур была аналогичной динамике хлорофилла.

Содержание углерода в листьях растений в период вегетации практически не менялось и составляло 40,4...43,5 %. Концентрация сахаров в листьях клевера лугового уменьшилась с 9,4 в фазе стеблевания до 3,4 % в фазе формирования семян, яровой пшеницы – с 15,3 в фазе выхода в трубку до 4,1 % в фазе молочной спелости, уровень клетчатки в листьях возрастал соответственно от 8,8 до 13,2 % и с 18,0 до 38,4 %. Содержание жира в листьях клевера и пшеницы имело тенденцию к росту с увеличением биологической продуктивности растений.

Содержание азота, фосфора и калия в листьях клевера лугового и яровой пшеницы в процессе вегетации растений снижалось. Действие и последствие минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$) не оказывало значимого влияния на накопление основных минеральных элементов. Максимальное в опыте содержание азота в листьях клевера (3,1...3,9 %) отмечено в период стеблевания – начало цветения, высокое количество калия (3,0...4,4 %) в листьях яровой пшеницы в период кущение – колошение, содержание фосфора в течение вегетации изменялось незначительно.

Наибольшее количество углерода, поглощенного в процессе фотосинтеза за вегетационный период, отмечено в варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$. Для клевера лугового оно составило 2,42 т/га (8,66 т/га CO₂), для яровой пшеницы – 1,93 т/га (6,90 т/га CO₂).

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета «Пермского НИИСХ»-филиала ПФИЦ УрО РАН.

Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Кудеяров В. Н., Заварзин Г. А., Благодатский С. А. и др. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. М.: Наука, 2007. 315 с.
2. Шарков И. Н., Антипина П. В. Некоторые аспекты углерод-секвестрирующей способности пахотных почв // Почвы и окружающая среда. 2022. Т. 5. № 2. С. 1–7. doi: 10.7868/S0002188118020011
3. Никитин С. Н. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах и динамика ростовых процессов при применении биологических препаратов // Успехи современного естествознания. 2017. № 1. С. 33–38.
4. Перспективы выращивания высокотравных растений в качестве углероддепонирующих культур / Е. П. Артемьева, В. В. Валдайских, Т. А. Радченко и др. // Аграрный вестник Урала. 2022. № 12(227). С. 2–10. doi:10.32417/1997-4868-2022-227-12-2-10.
5. Сычев В. Г., Шевцова Л. К., Мерзлая Г. Е. Исследование динамики и баланса гумуса при длительном применении систем удобрения на основных типах почв // Агрохимия. 2018. № 2. С. 3–16. doi:10.7868/S0002188118020011.
6. Кудеяров В. Н. Дыхание почв и биогенный сток углекислого газа на территории России (Аналитический обзор) // Почвоведение. 2018. № 6. С. 643–658. doi:10.1134/S1064229318060091.
7. Лобков В. Т., Наполова Г. В. Способ определения хлорофилла в растениях гречихи: Пат. 2244916 РФ. 2005. № 2. С. 1–4.
8. Эседулаев С. Т. Многолетние травы и их смеси – важнейший фактор повышения плодородия почв и продуктивности пашни в Верхневолжье // Плодородие. 2022. № 6. С. 59–63. doi: 10.25680/S19948603.2022.129.16
9. Благовещенский Г. В., Конанчук В. В., Тимошенко С. М. Углеродная секвестрация в травяных экосистемах // Кормопроизводство. 2019. № 9. С. 17–21.
10. Касанкина Н. И. Особенности фотосинтетической деятельности клевера лугового тетраплоидного в условиях Среднего Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 3 (65). С. 58–60.
11. Сульдин Д. А., Еряшев А. П., Камарихин В. Е. Фотосинтетическая деятельность и продуктивность яровой пшеницы в зависимости от сроков и кратности применения регуляторов роста и гуминовых удобрений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 31 (37). С. 49–53. doi: 10.18286/1816-4501-2018-1-49-53
12. Пасынкова Е. Н., Завалин А. А., Пасынков А. В. Содержание сахаров и общего азота в яровой пшенице по фазам вегетации как диагностических показателей функционального состояния растений // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 1. С. 8–10.
13. Васбиева М. Т., Завьялова Н. Е., Шишков Д. Г. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы при длительном применении азотных, фосфорных и калийных удобрений в условиях Предуралья // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1415–1425. doi: 10.31857/S0032180X22110132.

Поступила в редакцию 23.01.2024
 После доработки 14.02.2024
 Принята к публикации 22.03.2024