

ДИНАМИКА ОТНОСИТЕЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ НОВЫХ СОРТОВ СОИ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ В ЦЧР РФ

Е.В. ГОЛОВИНА, доктор сельскохозяйственных наук,
ORCID ID: 0000-0002-7012-8267, E-mail: kat782010@mail.ru
О.В. ЛЕУХИНА, аспирант, E-mail: oxana_leukhina@mail.ru

ФГБНУ ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР, г. ОРЕЛ

Количественное содержание и качественный состав пигментов, изменение их соотношения в ассимиляционных органах – важные и чувствительные показатели физиологических процессов, которые характеризуют гомеостаз растений. Температурный режим и количество осадков относятся к основным факторам среды, оказывающих влияние на состояние пигментного комплекса, а также на скорость депонирования углерода и продуктивность биоценоза. Механизмы трансформации на уровне первичных фотосинтетических реакций преобразования энергии в растениях сои в зависимости от температуры и влагообеспеченности изучены недостаточно. В 2020-2022 гг. в полевом опыте исследовались: сорта сои Лидер 1; Л-10, Л-171 селекции ФНЦ ЗБК и канадские сорта Амадеус, Асука, Нордика. Содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях определяли в фазу цветения и налива бобов. В благоприятных условиях (высокие влагообеспеченность и температура) фотосинтетический аппарат новых сортов сои проявляет высокую физиологическую активность, образуя в листьях максимальное количество Хла+b. Во влажные годы со значениями ГТК=2,1-2,3 количество суммы хлорофиллов и каротиноидов выше, чем в засушливее годы с ГТК=1,4 на 83% и 38% соответственно. Увеличение содержания пигментов при низкой инсоляции способствует эффективному использованию световой энергии, что является проявлением адаптации растений сои к абиотическим факторам. Изменение соотношения пигментов свидетельствует о компенсаторных механизмах, направленных на стабилизацию фотосинтетической активности растений. Фотосинтетический аппарат сои сохраняет высокую эффективность в период налива бобов, что подтверждается значительной (до 10,6 мг/г сухого вещества) концентрацией суммы хлорофиллов. Выявлены сортовые различия по накоплению фотосинтетических пигментов: по 3-х летним данным наибольшее количество зеленых пигментов наблюдалось в фазу цветения у сорта Амадеус: Хла – 6,4 мг/г сухого вещества, Хlb – 5,3 мг/г сухого вещества, каротиноидов – у линии Л-10 – 2,0 мг/г сухого вещества. Сорта зарубежной селекции превосходят отечественные сорта по содержанию Хла+b в среднем на 17%. Таким образом, трансформация пигментного комплекса в зависимости от погодных условий позволяет растениям сои поддерживать уровень фотосинтеза на оптимальном уровне.

Ключевые слова: соя, пигменты, адаптивность, абиотические факторы.

Для цитирования: Головина Е.В., Леухина О.В. Динамика относительного содержания фотосинтетических пигментов в листьях растений новых сортов сои при возделывании в ЦЧР РФ. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2023; 4(48):27-33. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-4-27-33

DYNAMICS OF RELATIVE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN LEAVES OF PLANTS OF NEW SOYBEAN VARIETIES UNDER CULTIVATION IN THE CENTRAL BLACK EARTH REGION OF THE RUSSIAN FEDERATION

E.V. Golovina, O.V. Leukhina

Abstract: *The quantitative content and qualitative composition of pigments, changes in their ratio in assimilatory organs are important and sensitive indicators of physiological processes that characterize plant homeostasis. Temperature regime and precipitation are among the main environmental factors influencing the state of the pigment complex, as well as the rate of carbon deposition and biocenosis productivity. The mechanisms of transformation at the level of primary photosynthetic reactions of energy conversion in soybean plants depending on temperature and moisture availability are insufficiently studied. In 2020-2022, soybean varieties Leader 1, L-10, L-171 of the FSC LGC breeding and Canadian varieties Amadeus, Asuka, Nordica were studied in a field experiment. The content of chlorophylls and carotenoids in leaves was determined in the phase of flowering and bean filling. Under favorable conditions (high water availability and temperature), the photosynthetic apparatus of new soybean varieties shows high physiological activity, forming the maximum amount of Chla+b in leaves. In wet years with values of hydrothermal coefficient (HTC) = 2.1-2.3, the amount of the sum of chlorophylls and carotenoids is higher than in drier years with HTC = 1.4 by 83% and 38%, respectively. An increase in pigment content at low insolation promotes the efficient use of light energy, which is a manifestation of the adaptation of soybean plants to abiotic factors. A change in the ratio of pigments indicates compensatory mechanisms aimed at stabilizing the photosynthetic activity of plants. The photosynthetic apparatus of soybeans remains highly efficient during the bean filling period, which is confirmed by a significant (up to 10.6 mg/g dry matter) concentration of the total chlorophylls. Varietal differences in accumulation of photosynthetic pigments were revealed: according to 3-year data, the highest amount of green pigments was observed in the flowering phase in the Amadeus variety: Chla - 6.4 mg/g dry matter, Chlb - 5.3 mg/g dry matter, carotenoids - in the L-10 line 2.0 mg/g dry matter. Foreign breeding varieties surpass domestic varieties in Chla+b content by an average of 17%. Thus, the transformation of pigment complex depending on weather conditions allows soybean plants to maintain photosynthesis at the optimal level.*

Keywords: soybean, pigments, adaptability, abiotic factors.

Введение

Фотосинтез зеленых растений обеспечивает введение в биосферные процессы солнечной энергии, тем самым определяя масштабы, состав и саму возможность существования жизни на Земле. Фотосинтетические пигменты – главные фоторецепторы клетки, ответственные за поглощение, преобразование и использование световой энергии, которые играют важную роль в процессе фотосинтеза на всех уровнях его организации: от молекулярного до экосистемного и биосферного [1, 2].

Динамика структурно-функциональной организации пигментного комплекса хлоропластов листьев в зависимости от внешних условий представляет собой проявление адаптации фотосинтетического аппарата к действию изменяющихся условий среды [3]. Соотношения $X_{л a}/X_{л b}$ и хлорофиллов и каротиноидов являются индикатором воздействия стрессоров различной напряженности на растительный организм [4, 5]. В связи с этим количественное содержание и качественный состав пигментов, изменение их соотношения в ассимиляционных органах – важные и чувствительные показатели физиологических процессов, которые характеризуют гомеостаз растений.

Следует отметить, что в ЦЧР РФ в структуре пигментного аппарата сои наблюдается преобладание количества хлорофиллов в светособирающих комплексах (ССК) по сравнению с фотосистемами [6], что свидетельствует о высокой светопоглощающей способности хлоропластов листьев сои.

Температурный режим и количество осадков относятся к основным факторам среды, оказывающих влияние на состояние пигментного комплекса, а также на скорость депонирования углерода и продуктивность биоценоза. Механизмы трансформации на уровне

первичных фотосинтетических реакций преобразования энергии в растениях сои в зависимости от температуры и влагообеспеченности изучены недостаточно.

Цель исследований – изучение динамики содержания и соотношения хлорофиллов и каротиноидов в листьях новых сортов сои в связи с адаптацией к абиотическим факторам.

Материалы и методы исследований

В 2020-2022 гг. в полевом опыте исследовались сорт сои Лидер 1; селекции ООО «АСТ» (г. Курск) Л-10, Л-171 селекции ФНЦ ЗБК и канадские сорта Амадеус, Асука, Нордика. Перед посевом семена обрабатывались ризоторфином, содержащим штамм ризобий 634а. Площадь деланки 10,0 м², повторность 4-х кратная. Норма высева семян сои 600 тыс. всхожих семян/га. Содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях определяли в фазу цветения и налива бобов (*Методические указания. Сравнительная оценка фотосинтетической способности сельскохозяйственных растений по фотохимической активности хлоропластов / Сост.: М.И. Зеленский, Г.А. Могилева. Л., 1980. – 36 с.*) на спектрофотометре СФ-2000 в спиртовой вытяжке по оптической плотности при длинах волн 649 нм и 665 нм (хлорофиллы) и 470 нм (каротиноиды). Концентрацию пигментов рассчитывали по формулам [7].

Годы исследований отличались неравномерным распределением осадков и тепла в течение вегетации. 2020 г. – наиболее влажный из 3-х лет испытаний. В период цветения количество осадков превышало норму на 40 мм. Температура во время цветения и налива бобов была в пределах нормы. В 2021 г. в июле – августе (фазы цветения и налива бобов) наблюдались следующие погодные условия: температура выше среднегодовой на 3-5°C; количество осадков ниже нормы в фазу цветения на 30 мм, в налив бобов – на 13 мм. В 2022 г. в генеративный период (цветение – налив бобов) сложились благоприятные для сои погодные условия: температура выше нормы на 2-3°C, увлажнение достаточное.

Результаты и их обсуждение

Эффективное производство сои при продвижении ее в Центральные регионы России обусловлено в первую очередь экологической пластичностью и стабильностью культуры [8]. Успешная адаптация растительного организма к климатическим условиям во многом зависит от способности ассимиляционного аппарата и в частности пигментного комплекса адекватно менять структурные параметры, приспособляясь к различным внешним условиям, и является важнейшей характеристикой устойчивости растений [9]. Работу фотосинтетического аппарата характеризуют не только абсолютные значения содержания пигментов, но и их соотношение, которое определяет взаимодействие реакционных центров и светособирающего комплекса.

Изменение концентрации пигментов зависит от многих внешних факторов, особенно от интенсивности освещения, уровня обеспеченности влагой и теплом, а также от стадии развития растительного организма [10]. В 2020 году в фазу цветения сложились условия идеальные для сои: повышенные влажность и температура. В этом году отмечено максимальное количество Хл $a+b$ 14,1 мг/г сухого вещества в среднем по сортам, что объясняется высокой физиологической активностью фотосинтетического аппарата в благоприятных условиях (табл. 1). В 2021 году в период цветения количество осадков ниже нормы на 14 мм, сумма эффективных температур выше на 83°C. Содержание Хл $a+b$ составило 10,2 мг/г сухого вещества. В 2022 году сумма эффективных температур ниже среднегодовой на 33°C, влагообеспеченность выше нормы: концентрация Хл $a+b$ снизилась до 6,0 мг/г сухого вещества. Количество каротиноидов в 2020 и 2021 годах составило 1,7 мг/г сухого вещества, в 2022 году ниже на 41% – 1,0 мг/г сухого вещества.

Анализ полученных данных выявил сортовые различия по накоплению фотосинтетических пигментов в фазу цветения (табл. 1). В среднем за 3 года сумма хлорофиллов варьировала от 9,2 мг/г сухого вещества у сорта Лидер 1 до 11,7 мг/г сухого вещества у сорта Амадеус. По 3-х летним данным наибольшее количество зеленых пигментов наблюдалось у сорта Амадеус: Хл a – 6,4 мг/г сухого вещества, Хл b – 5,3 мг/г сухого вещества, каротиноидов – у линии Л-10 2,0 мг/г сухого вещества. Максимальная

концентрация Хл *a* отмечена в 2020 году у сорта Амадеус 8,1 мг/г сухого вещества, Хл *b* – у сорта Нордика 8,3 мг/г сухого вещества, каротиноидов – у линии Л-10 2,5 мг/г сухого вещества.

Хл *b* обладает защитной функцией и оказывает экранирующее действие на фотосинтетически активный Хл *a* в условиях высокой солнечной инсоляции. Соотношение Хл *a*/Хл *b* в 2020 и 2021 годах в фазу цветения в среднем по сортам составило 1,1 (рис. 1). В 2022 году в этот период сложились наиболее прохладные и влажные условия за 3 года (ГТК=2,9): соотношение Хл *a*/Хл *b* значительно выше, чем в предыдущие годы – в среднем 2,5. То есть в 2020 и 2021 годах большая часть пигментов содержалась в светособирающем комплексе (ССК), а в 2022 году – в реакционных центрах (РЦ) фотосистем. Таким образом, в 2022 году с наиболее низкой инсоляцией в период цветения сорта сои активнее перерабатывали световую энергию в продукты фотосинтеза.

Доля каротиноидов в общем фонде пигментов у сортов селекции ФНЦ ЗБК в 2020-2021 годах выше, чем у сортов канадской селекции в среднем на 55% (рис. 2). Так соотношение Хл *a+b*/каротиноиды в 2020 году в фазу цветения у сорта Амадеус достигало 14,5, у Нордики – 11,4, у сорта Асука – 8,1. У сорта Лидер 1, линий Л-10 и Л-171 отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам составило 5,0-7,9. В 2022 году вариабельность доли каротиноидов у сортов различной селекции снизилась. Соотношение зеленых и желтых пигментов у всех сортов сои находилось на уровне 5,8-7,0.

Изменение содержания пигментов в различных условиях влагообеспеченности является проявлением адаптации растений сои к абиотическим факторам. В неблагоприятных условиях содержание хлорофиллов уменьшалось значительно, чем каротиноидов.

Повышение доли каротиноидов может указывать на снижение эффективности утилизации световой энергии, так как одна из основных функций каротиноидов – тушение излишков энергии, которые РЦ фотосистем не способны преобразовать. Но изменение соотношения пигментов в сторону увеличения каротиноидов может быть связано и с адаптацией фотосинтетического аппарата сортов сои северного экотипа, как растений короткого дня, к изменению интенсивности солнечного света и более продолжительному периоду светового дня.

Таблица 1

Содержание пигментов в листьях сортов сои, мг/г сухого вещества. Фаза цветения

| Сорт | Хл <i>a</i> | | | | Хл <i>b</i> | | | | Хл <i>a + b</i> | | | | каротиноиды | | | |
|-----------|-------------|---------|---------|-----------|-------------|---------|---------|-----------|-----------------|----------|---------|-----------|-------------|---------|---------|-----------|
| | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | \bar{x} | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | \bar{x} | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | \bar{x} | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | \bar{x} |
| Амадеус | 8,1 | 6,4 | 4,8 | 6,4 | 7,9 | 5,7 | 2,2 | 5,3 | 16,0 | 12,1 | 7,0 | 11,7 | 1,1 | 2,0 | 1,0 | 1,4 |
| Асука | 7,0 | 3,3 | 3,9 | 4,7 | 6,8 | 6,8 | 1,6 | 5,1 | 13,8 | 10,1 | 5,5 | 9,8 | 1,7 | 0,8 | 0,9 | 1,1 |
| Нордика | 7,6 | 4,3 | 3,8 | 5,2 | 8,3 | 5,7 | 1,5 | 5,2 | 15,9 | 10,0 | 5,3 | 10,4 | 1,4 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| Лидер 1 | 7,1 | 6,0 | 3,9 | 5,7 | 5,9 | 3,5 | 1,5 | 3,6 | 12,9 | 9,4 | 5,4 | 9,2 | 1,7 | 2,2 | 1,0 | 1,6 |
| Л-10 | 6,8 | 6,1 | 4,5 | 5,8 | 5,8 | 4,2 | 1,8 | 3,9 | 12,6 | 10,3 | 6,4 | 9,8 | 2,5 | 2,4 | 1,0 | 2,0 |
| Л-171 | 7,4 | 5,0 | 4,3 | 5,6 | 6,1 | 4,0 | 1,8 | 4,0 | 13,5 | 9,0 | 6,1 | 9,5 | 1,7 | 1,7 | 0,9 | 1,4 |
| \bar{x} | 7,3±0,4 | 5,2±1,2 | 4,2±0,4 | | 6,8±1,1 | 5,0±1,3 | 1,7±0,3 | | 14,1±1,5 | 10,2±1,1 | 6,0±0,7 | | 1,7±0,5 | 1,7±0,7 | 1,0±0,1 | |
| CV, % | 6,0 | 23,0 | 10,0 | | 16,0 | 26,0 | 15,0 | | 11,0 | 11,0 | 11,0 | | 28,0 | 42,0 | 6,0 | |

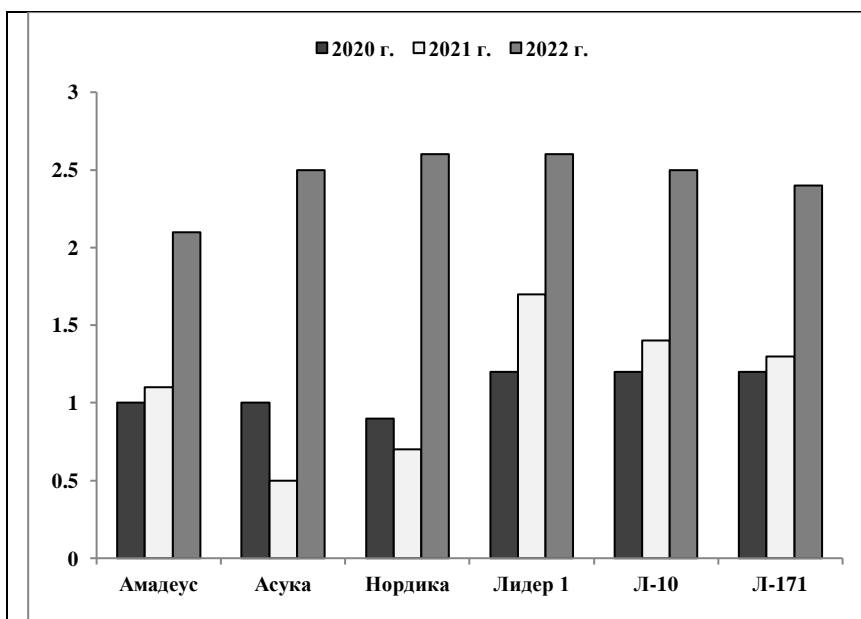


Рис. 1. Соотношение Хл *a*/Хл *b*, фаза цветения

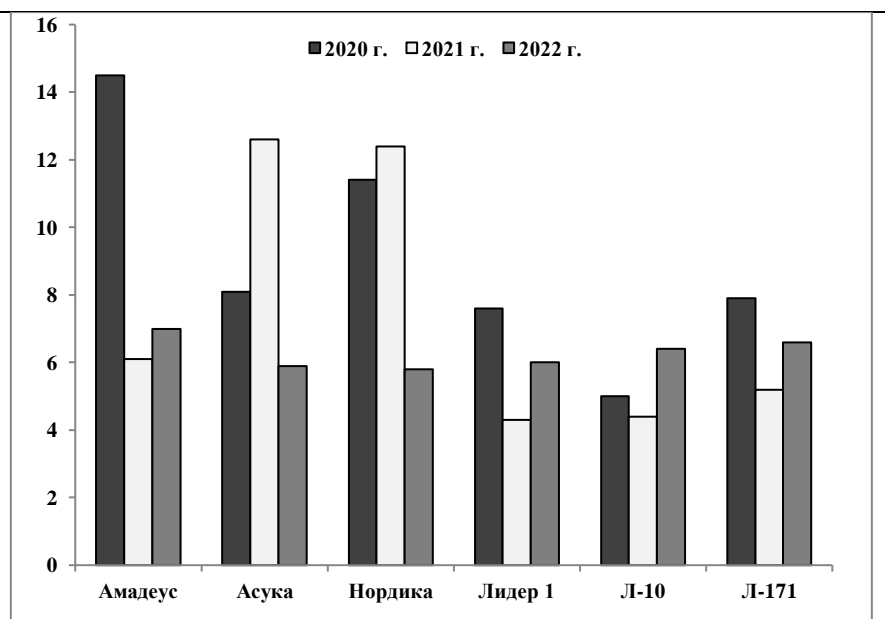


Рис. 2. Соотношение Хл *a+b* / каротиноиды, фаза цветения

В фазу налива бобов, когда функциональная направленность растения сконцентрирована на формировании плодов, прослеживается зависимость ГТК и количества пигментов (рис. 3, 4). Во влажные 2020 и 2022 годы со значениями ГТК 2,3 и 2,1 количество суммы хлорофиллов и каротиноидов выше, чем в засушливом 2021 году с ГТК=1,4 на 83% и 38% соответственно.

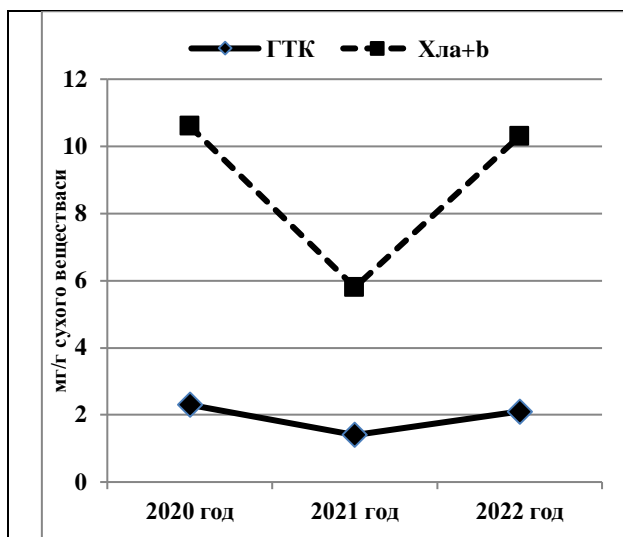


Рис. 3. Содержание Хл a+b, фаза налива бобов

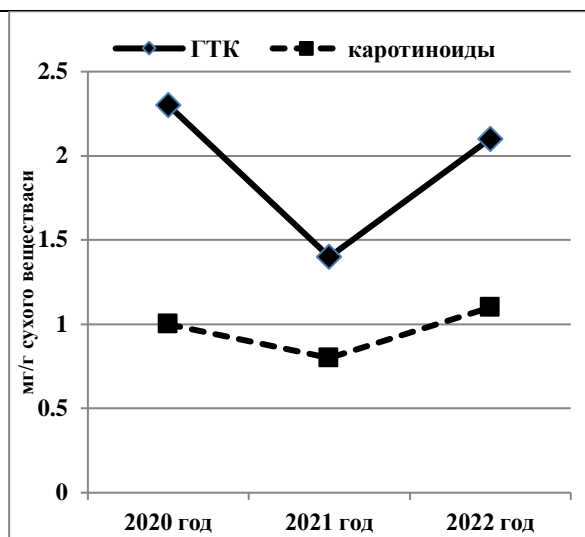


Рис. 4. Содержание каротиноидов, фаза налива бобов

Фотосинтетический аппарат сои сохраняет высокую физиологическую активность в период налива бобов. Содержание Хл a+b в листьях в среднем по сортам составило 10,3-10,6 мг/г сухого вещества в 2020 и 2022 годах (табл. 2). В засушливом 2021 году с высокой солнечной инсоляцией количество суммы хлорофиллов ниже почти в 2 раза – 5,8 мг/г сухого вещества.

Сорта зарубежной селекции в налив бобов превосходят отечественные сорта по содержанию Хл a+b в среднем за 3 года на 23%. Максимальное количество Хл a+b отмечено у сорта Асука 10,9 мг/г сухого вещества и у линии Л-10 9,1 мг/г сухого вещества.

Таблица 2

Содержание Хл a + b в листьях сортов сои, мг/г сухого вещества. Фаза налива бобов

| Сорт | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | \bar{x} |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|-----------|
| Амадеус | 11,4 | 5,5 | 11,8 | 9,6 |
| Асука | 13,7 | 6,7 | 12,3 | 10,9 |
| Нордика | 10,8 | 6,7 | 9,6 | 9,0 |
| \bar{x} по канадским сортам | 12,0 | 6,3 | 11,2 | 9,8 |
| Лидер 1 | 7,4 | 4,5 | 7,8 | 6,6 |
| Л-10 | 8,9 | 6,1 | 12,4 | 9,1 |
| Л-171 | 11,4 | 5,3 | 7,9 | 8,2 |
| \bar{x} по сортам селекции ФНЦ ЗБК | 9,2 | 5,3 | 9,4 | 8,0 |
| \bar{x} | 10,6 | 5,8 | 10,3 | |
| CV, % | 21,0 | 15,0 | 21,0 | |

Заключение

В благоприятных условиях (высокие влагообеспеченность и температура) фотосинтетический аппарат новых сортов сои проявляет высокую физиологическую активность, образуя в листьях максимальное количество Хл a+b. Во влажные годы со значениями ГТК=2,1-2,3 количество суммы хлорофиллов и каротиноидов выше, чем в засушливые годы с ГТК=1,4 на 83% и 38% соответственно. Увеличение содержания пигментов при низкой инсоляции способствует эффективному использованию световой энергии, что является проявлением адаптации растений сои к абиотическим факторам. Изменение соотношения пигментов свидетельствует о компенсаторных механизмах,

направленных на стабилизацию фотосинтетической активности растений. Фотосинтетический аппарат сои сохраняет высокую эффективность в период налива бобов, что подтверждается значительной (до 10,6 мг/г сухого вещества) концентрацией суммы хлорофиллов. Выявлены сортовые различия по накоплению фотосинтетических пигментов: по 3-х летним данным наибольшее количество зеленых пигментов наблюдалось в фазу цветения у сорта Амадеус: Хл a – 6,4 мг/г сухого вещества, Хл b – 5,3 мг/г сухого вещества, каротиноидов у линии Л-10 – 2,0 мг/г сухого вещества. Сорта зарубежной селекции превосходят отечественные сорта по содержанию Хл $a+b$ в среднем на 17%.

Таким образом, трансформация пигментного комплекса в зависимости от погодных условий позволяет растениям сои поддерживать уровень фотосинтеза на оптимальном уровне.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по Гранту 075-15-2021-546.

Литература

1. Дымова О.В., Головки Т.К. Фотосинтетические пигменты в растениях природной флоры таежной зоны европейского северо-востока России // Физиология растений. – 2019. – Т. 66. – №3. – С. 198-206.
2. Шавнин С.А., Юсупов И.А., Марина Н.В. и др. Сезонные изменения содержания хлорофиллов и каротиноидов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зоне влияния теплового поля газового факела // Физиология растений. – 2021. – Т. 68. – № 3. – С. 315-325.
3. Тишкина Е.А., Семкина Л.А., Григорьев А.А. Экологическая пластичность пигментного комплекса хвои в горных и равнинных ценопопуляциях можжевельника обыкновенного // Лесоведение. – 2021. – № 4. – С. 354-362.
4. Brown S.B., Houghton J.D., Hendry G.A.F. Chlorophyll breakdown // In: Scheer H. (Ed.) Chlorophylls. Boca Raton: CRC Press, – 1991. – P. 465-489.
5. Hendry G.A.F., Price A.H. Stress indicators; chlorophylls and carotenoids // In: Hendry G.A.F., Grime J.P. (Ed.) Methods in comparative plant ecology. London: Chapman and Hall, – 1993. – P. 148-152.
6. Головина Е.В., Зотиков В.И. Продукционный процесс и адаптивные реакции к абиотическим факторам сортов сои северного экотипа в условиях Центрально-Черноземного региона РФ. – Орел: Картуш, – 2019. – С. 28-40.
7. Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents // Biochem Soc Trans. – 1983. – V. 11 – N 5. –P. 591–592.
8. Агаркова С.Н., Новикова Н.Е., Беляева Р.В., Головина Е.В., Беляева Ж.А., Цуканова З.Р., Митькина Н.И. Особенности формирования продуктивности и адаптивных реакций у сортов зернобобовых культур с рецессивными аллелями генов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, – 2016. – Т. 177. – В. 2. – С. 22-39.
9. Головина Е.В. Эколого-генетическая изменчивость содержания пигментов в листьях сортов сои северного экотипа // Зернобобовые и крупяные культуры, – 2019. – № 3 (31). – С. 74-79. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11117
10. Афанасьева Л.В. Физиолого-биохимическая адаптация лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb. к условиям городской среды // Сибирский лесной журнал. – 2018. – № 3. – С. 21-29.

References

1. Dymova O.V., Golovko T.K. Photosynthetic pigments in plants of the natural flora of the taiga zone of the European North-East of Russia // *Fiziologiya rastenii*. 2019. - V. 66. - N3. - Pp. 198-206. (In Russian)
2. Shavnin S.A., Yusupov I.A., Marina N.V. et al. Seasonal changes in the content of chlorophylls and carotenoids in the pine needles (*Pinus sylvestris* L.) in the zone of influence of the gas plume heat field // *Fiziologiya rastenii*. 2021. - V. 68. - N 3. - Pp. 315-325. (In Russian)
3. Tishkina E.A., Semkina L.A., Grigor'ev A.A. Ecological plasticity of the pigment complex of needles in mountain and lowland cenopopulations of common juniper // *Lesovedenie*. 2021. - N 4. - Pp. 354-362. (In Russian)
4. Brown S.B., Houghton J.D., Hendry G.A.F. Chlorophyll breakdown // In: Scheer H. (Ed.) Chlorophylls. Boca Raton: CRC Press, 1991. - P. 465-489.
5. Hendry G.A.F., Price A.H. Stress indicators; chlorophylls and carotenoids // In: Hendry G.A.F., Grime J.P. (Ed.) Methods in comparative plant ecology. London: Chapman and Hall, 1993. Pp. 148-152.
6. Golovina E.V., Zotikov V.I. Production process and adaptive reactions to abiotic factors of soybean varieties of the northern ecotype in the conditions of the Central Black Earth region of the Russian Federation. - Orel: Kartush Publ., 2019. - Pp. 28-40. (In Russian)
7. Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents // *Biochem Soc Trans*. 1983. - V. 11 - N 5. -Pp. 591-592.
8. Agarkova S.N., Novikova N.E., Belyaeva R.V., Golovina E.V., Belyaeva Zh.A., Tsukanova Z.R., Mit'kina N.I. Features of the formation of productivity and adaptive reactions in varieties of leguminous crops with recessive gene alleles // *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii*, 2016. - V. 177. - Iss. 2. - Pp. 22-39. (In Russian)
9. Golovina E.V. Ecological and genetic variability of pigment content in leaves of soybean varieties of the northern ecotype // *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2019. - N 3 (31). - Pp. 74-79. (In Russian)
10. Afanas'eva L.V. Physiological and biochemical adaptation of the Siberian larch *Larix sibirica* Ledeb. to urban conditions // *Sibirskii lesnoi zhurnal*. 2018. - N 3. - Pp. 21-29. (In Russian)