

Кумаков В. А. Роль листьев разных ярусов в наливе колоса яровой пшеницы // Труды Гродн. СХИ. 1954. Вып. 1. С. 43–58.

Кумаков В. А. Физиологическое обоснование моделей сортов пшеницы. М. : Агропромиздат, 1985. 270 с.

Мокроносов А. Т. Интеграция функций роста и фотосинтеза // Физиология растений. 1983. Т. 34, вып. 5. С. 868–880.

Степанов С. А., Ивлева М. В., Касаткин М. Ю. Физиологическое значение листьев главной почки зародыша зерновки пшеницы // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2012. Т. 12, вып. 2. С. 57–60.

УДК 633.11:[581.14+581.132]

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПИГМЕНТНЫХ СИСТЕМ ПО ЭЛЕМЕНТАМ МЕТАМЕРОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

М. Ю. Касаткин, Е. Л. Гагаринский

Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского

410012, Саратов, ул. Астраханская, 83

E-mail: kasatkinmy@info.sgu.ru

Изучалось содержание пигментов и их распределение в проростках яровой мягкой пшеницы в богарных условиях. Изменения в количественном и качественном составе пигментов по зонам органа указывают на специфику их ростовой активности. Сравнительный анализ пигментов разных метамеров позволяет предположить разную физиологическую зрелость подсистем каждого метамера.

Ключевые слова: рост, фотосинтетические пигменты, пшеница.

SPECIFIC FEATURES OF PIGMENT DISTRIBUTION ON SPRING WHEAT METAMERS

M. Y. Kasatkin, E. L. Gagarinsky

Studied the content of pigments and their distribution in seedlings of spring wheat in rainfed conditions. Changes in the quality and quantity of pigments in the zones of the body indicate the specificity of their growth activity. Comparative analysis of different pigments metameres suggests different physiological maturity subsystems each metamer.

Key words: growth, photosynthetic pigments, wheat.

Изучение пластичности фотосинтетического аппарата, его способности приспосабливаться к изменяющимся внешним условиям являются важной основой для оценки состояния растений в современных физиологических исследованиях. Одним из самых информативных и наиболее распространенных критериев для этих целей является определение количественного содержания и состава пигментов. Указанные показатели могут значительно варьировать в зависимости от интенсивности и качества света и особенностей структурно-функциональных характеристик органов в тот или иной период онтогенеза. Изучение распределения пигментов в хлорофиллсодержащих органах растения позволит проследить особенности развития фотосинтетического аппарата и получить более детальную характеристику физиологического состояния всего растения (Артамонов, 1986; Шахов, 1993).

Целью данной работы явилось изучение специфики распределения фотосинтетических пигментов в целом растении.

Для реализации поставленной цели были определены следующие задачи: 1) изучить зональное распределение пигментов в органе; 2) определить особенности содержания пигментов между элементами одного метамера; 3) исследовать различия пигментов фотосинтетического аппарата между разными метамерами растения.

Материал и методика

Исследования проводились на кафедре микробиологии и физиологии растений Саратовского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского. Объектом изучения являлись сорта яровой мягкой (*Tr. aestivum*) пшеницы саратовской селекции: Альбидум 31, Белянка, Добрыня, Фаворит. Сорта пшеницы были получены из лаборатории генетики и цитологии НИИ СХ Юго-Востока (Саратов). Определение фотосинтетических пигментов проводилось по общепринятой методике двухволновым методом на спектрофотометре Leki SS2109UV. Результаты исследований подвергались статистической обработке по Б. А. Доспехову (1985) в табличном процессоре Excel пакета MS Office 2010.

Результаты и их обсуждение

Распределение пигментов в элементах метамера побега оказалось сорто- и зонспецифичным. В частности, для листовой пластинки флагового листа в период цветения отмечено как уменьшение содержания

хлорофилла *a* к основанию листа (сорт Фаворит), так и его увеличение (сорта Добрыня, Беянка). Сорт Альбидум 31 имел максимальную концентрацию указанного пигмента в средней части листовой пластинки. По содержанию хлорофилла *b* наблюдалось иное распределение: минимальные количества пигмента приходились на среднюю часть листа. Исключение составлял лишь сорт Добрыня, у которого минимальное содержание хлорофилла *b* отмечалось в апикальной части листовой пластинки (табл. 1). Максимумы содержания каротиноидов приходились на среднюю часть листа у сортов Альбидум 31 и Добрыня (табл. 2). У сортов Беянка и Фаворит концентрация жёлтых пигментов монотонно нарастала и уменьшалась к базальной части листа соответственно. Соотношение хлорофиллов к каротиноидам было максимальным в верхней части флагового листа у сортов Альбидум 31 и Беянка (см. табл. 2). У остальных сортов данный показатель был максимальным в нижней части листовой пластинки.

Таблица 1

Содержание хлорофиллов в листовой пластинке флагового листа в период цветения пшеницы, мг/г сырой массы

| Сорт | Верхняя часть | | Средняя часть | | Нижняя часть | |
|-------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | Хл. <i>a</i> | Хл. <i>b</i> | Хл. <i>a</i> | Хл. <i>b</i> | Хл. <i>a</i> | Хл. <i>b</i> |
| Альбидум 31 | 2,58±0,08 | 1,55±0,04 | 2,86±0,07 | 0,81±0,02 | 2,06±0,05 | 1,03±0,02 |
| Беянка | 2,83±0,09 | 1,57±0,04 | 2,37±0,06 | 0,86±0,03 | 3,35±0,06 | 1,04±0,03 |
| Добрыня | 2,36±0,07 | 0,76±0,03 | 3,04±0,09 | 1,24±0,04 | 3,27±0,05 | 1,63±0,04 |
| Фаворит | 3,24±0,08 | 1,14±0,04 | 2,62±0,05 | 0,81±0,01 | 2,67±0,03 | 1,03±0,03 |

Таблица 2

Содержание каротиноидов в листовой пластинке флагового листа в период цветения пшеницы, мг/г сырой массы

| Сорт | Верхняя часть | | Средняя часть | | Нижняя часть | |
|-------------|---------------|-----------|---------------|-----------|--------------|-----------|
| | Кар. | Хл./Кар. | Кар. | Хл./Кар. | Кар. | Хл./Кар. |
| Альбидум 31 | 0,72±0,03 | 5,74±0,09 | 1,08±0,02 | 3,57±0,03 | 0,75±0,01 | 3,77±0,05 |
| Беянка | 0,77±0,02 | 5,71±0,06 | 0,87±0,01 | 3,66±0,03 | 1,09±0,02 | 4,33±0,07 |
| Добрыня | 0,93±0,04 | 3,36±0,03 | 1,01±0,02 | 4,25±0,05 | 0,92±0,01 | 5,3±0,05 |
| Фаворит | 1,27±0,04 | 3,46±0,04 | 1,05±0,01 | 3,29±0,02 | 0,86±0,01 | 4,28±0,02 |

Для влагалища флагового листа минимальное содержание хлорофилла *a* и хлорофилла *b* отмечено нами в его базальной части (табл. 3). Количество каротиноидов либо достоверно не изменялось на всём протяжении органа (у сортов Альбидум 31, Белянка), либо плавно снижалась к основанию (табл. 4). Доля каротиноидов в общем количестве пигментов фотосинтетического аппарата была максимальной в верхней части влагалища флагового листа у сортов Альбидум 31 и Фаворит. У сорта Добрыня наибольший количественный вклад жёлтых пигментов по отношению к хлорофиллам отмечался в средней части исследуемого органа. Сорт Белянка по соотношению хлорофиллов к каротиноидам в верхней части влагалища почти в 2,5 раза превышал аналогичные показатели у других изученных сортов в этом же участке органа.

Таблица 3

Содержание хлорофиллов в листовом влагалище флагового листа в период цветения пшеницы, мг/г сырой массы

| Сорт | Верхняя часть | | Средняя часть | | Нижняя часть | |
|-------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | Хл. <i>a</i> | Хл. <i>b</i> | Хл. <i>a</i> | Хл. <i>b</i> | Хл. <i>a</i> | Хл. <i>b</i> |
| Альбидум 31 | 1,08±0,01 | 0,43±0,01 | 1,21±0,03 | 0,54±0,02 | 1,15±0,02 | 0,57±0,03 |
| Белянка | 1,53±0,02 | 1,11±0,02 | 1,63±0,05 | 1,21±0,02 | 0,96±0,01 | 0,35±0,02 |
| Добрыня | 1,41±0,04 | 0,62±0,01 | 1,17±0,02 | 0,49±0,02 | 0,71±0,01 | 0,38±0,01 |
| Фаворит | 1,71±0,05 | 0,64±0,02 | 1,82±0,04 | 1,05±0,03 | 0,99±0,03 | 0,55±0,01 |

Таблица 4

Содержание каротиноидов в листовом влагалище флагового листа в период цветения пшеницы, мг/г сырой массы

| Сорт | Верхняя часть | | Средняя часть | | Нижняя часть | |
|-------------|---------------|------------|---------------|-----------|--------------|-----------|
| | Кар. | Хл./Кар. | Кар. | Хл./Кар. | Кар. | Хл./Кар. |
| Альбидум 31 | 0,38±0,01 | 3,94±0,07 | 0,4±0,01 | 4,38±0,05 | 0,35±0,01 | 4,85±0,03 |
| Белянка | 0,26±0,01 | 10,02±0,08 | 0,29±0,02 | 9,82±0,05 | 0,33±0,02 | 3,92±0,02 |
| Добрыня | 0,41±0,02 | 4,99±0,04 | 0,39±0,02 | 4,2±0,03 | 0,21±0,01 | 5,19±0,03 |
| Фаворит | 0,54±0,01 | 4,37±0,05 | 0,45±0,01 | 6,42±0,04 | 0,28±0,01 | 5,51±0,05 |

Изучение пигментов фотосинтетического аппарата в колосонесущем междоузлии показало значительное уменьшение их концентрации в базальной части органа у 3 сортов. Исключение составил лишь сорт Фаво-

рит, у которого минимальные концентрации всех пигментов приходились на среднюю часть колосонесущего междоузлия (табл. 5, 6). Анализ соотношения суммы хлорофиллов к каротиноидам позволяет говорить об увеличении роли жёлтых пигментов в нижней части междоузлия. Исключение составляет лишь сорт Добрыня, у которого доля каротиноидов по отношению к хлорофиллам была выше в верхней части междоузлия.

Таблица 5

Содержание хлорофиллов в колосонесущем междоузлии стебля в период цветения пшеницы, мг/г сырой массы

| Сорт | Верхняя часть | | Средняя часть | | Нижняя часть | |
|-------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | Хл. <i>a</i> | Хл. <i>b</i> | Хл. <i>a</i> | Хл. <i>b</i> | Хл. <i>a</i> | Хл. <i>b</i> |
| Альбидум 31 | 0,57±0,02 | 0,23±0,01 | 0,37±0,01 | 0,25±0,02 | 0,05±0,01 | 0,04±0,01 |
| Белянка | 0,73±0,01 | 0,38±0,01 | 0,34±0,01 | 0,18±0,02 | 0,16±0,02 | 0,08±0,01 |
| Добрыня | 0,78±0,01 | 0,3±0,01 | 0,2±0,02 | 0,14±0,02 | 0,22±0,01 | 0,16±0,02 |
| Фаворит | 0,97±0,03 | 0,59±0,02 | 0,43±0,02 | 0,33±0,02 | 0,54±0,04 | 0,37±0,03 |

Таблица 6

Содержание каротиноидов в колосонесущем междоузлии стебля в период цветения пшеницы, мг/г сырой массы

| Сорт | Верхняя часть | | Средняя часть | | Нижняя часть | |
|-------------|---------------|-----------|---------------|-----------|--------------|-----------|
| | Кар. | Хл/Кар. | Кар. | Хл/Кар. | Кар. | Хл/Кар. |
| Альбидум 31 | 0,22±0,01 | 3,64±0,03 | 0,12±0,02 | 5,05±0,08 | 0,04±0,01 | 2,6±0,03 |
| Белянка | 0,21±0,01 | 5,29±0,03 | 0,11±0,01 | 4,6±0,07 | 0,06±0,01 | 4,19±0,04 |
| Добрыня | 0,28±0,01 | 3,86±0,03 | 0,06±0,01 | 5,91±0,08 | 0,07±0,01 | 5,21±0,04 |
| Фаворит | 0,28±0,01 | 5,57±0,03 | 0,12±0,02 | 6,5±0,09 | 0,19±0,02 | 4,72±0,03 |

Сравнение зонального распределения пигментов между элементами одного метамера выявило определённые различия. Так, у тех сортов, где в листовой пластинке наблюдается градиент увеличения концентрации хлорофилла *a* к базальной части, у листового влагалища отмечается уменьшение, и наоборот. Для хлорофилла *b* такая тенденция выражена не столь характерно (см. табл. 1–4).

Междоузлие отличается от остальных элементов метамера устойчивым уменьшением концентрации всех фотосинтетических пигментов к своей базальной части. В особенности у сорта Альбидум 31 отмечается

и максимальное содержание каротиноидов, что проявляется как в абсолютных величинах, так и по отношению содержания жёлтых пигментов к сумме хлорофиллов (см. табл. 5, 6).

Содержание пигментов листовой пластинки у изучаемых сортов зависело также от её расположения на побеге. Хлорофилл *a* у всех сортов обнаруживает сходную тенденцию изменения по ярусам: увеличение концентрации до 5–6-го листа с последующим её снижением. При этом следует отметить, что последний (флаговый) 7-й лист у всех сортов обнаруживает одинаковую концентрацию хлорофилла *a* в пределах ошибки измерения. Такая унификация, как тенденции в изменении количества данного пигмента по метамерам, так и в абсолютном значении его содержания, указывает на стабилизацию системы первичных фотохимических реакций и поглощения энергии (Орт, Говинджи и др., 1987).

Максимальные значения концентрации хлорофилла *a* у 5–6-х листьев объясняются зрелостью их фотосинтетических систем (Кумаков, 1973). Если у нижележащих листьев уже наблюдаются процессы старения и частичного разрушения фотосинтетических пигментов, то вышележащие листья ещё находятся в фазе активного роста и, соответственно, новообразования пигментов.

О различной физиологической активности листьев можно судить по содержанию в них хлорофилла *b*. Данный пигмент обнаруживает резкие колебания своей концентрации в различных листьях у изученных сортов. По-видимому, такие колебания объясняются адаптацией физиологического состояния конкретного листа к условиям освещения, поскольку увеличение количества хлорофилла *b* рассматривается как адаптивное приспособление системы дополнительных пигментов светособирающего комплекса (Орт, Говинджи и др., 1987).

Характер изменения концентрации каротиноидов в листовой пластинке разных метамеров пшеницы полностью коррелирует с таковой для хлорофилла *a*. Очевидно, сказывается тесная ассоциация этих пигментов в фотосистемах, особенно в фотосистеме II при реализации циклического транспорта электронов (Орт, Говинджи и др., 1987).

Таким образом, проведенные исследования позволяют сказать о физиологической значимости особенностей распределения пигментов фотосинтеза в целом растении. Так, изменения в количественном и качественном составе пигментов по зонам органа указывают на ростовую активность участков слагающих его тканей. Определенные особенно-

сти в содержании пигментов между элементами одного метамера указывают на их разную цель функционирования. Если для листа она состоит преимущественно в поддержании фотосинтетических процессов на определенном уровне, то для влагалища листа целевой посылкой служит оптическое экранирование и создание определенного светового режима для формирующихся узловых и почечных структур, о чем свидетельствуют литературные данные (Virgin, 1990). Сравнительный анализ пигментов разных метамеров отражает возрастные особенности и физиологическую зрелость подсистем каждого метамера. Исходя из вышесказанного, изучение особенностей распределения пигментов в органах растения позволяет дополнить описания физиологического состояния всего растения, которые получены другими классическими методами оценки.

Список литературы

- Артамонов В. И.* Растения и чистота природной среды. М. : Наука, 1986. 172 с.
- Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта. М. : Агропромиздат, 1985. 352 с.
- Кумаков В. А.* Особенности фотосинтетического аппарата яровой пшеницы // Науч. тр. НИИ СХ Юго-Востока. 1973. Т. 33. С. 91–104.
- Фотосинтез : в 2 т. / под ред. А. Говинджи. Т. 1. М. : Мир, 1987. 728 с.
- Шахов А. А.* Фотоэнергетика растений и урожай. М. : Наука, 1993. 411 с.
- Virgin H. I.* The light-induced unrolling of the grass leaf. A study of polarity, light-piping and stimulus transmission // *Physiol. Plant.* 1990. Vol. 80, № 1. P. 143–147.

УДК 633.11:581.48:581.173.3

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РОСТА И РАЗВИТИЯ ПРОРОСТКОВ НЕКОТОРЫХ СОРТОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

В. В. Коробко, О. П. Жухарева

*Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского
410012, Саратов, ул. Астраханская, 83
E-mail: v.v.korobko@mail.ru*

В работе представлена сравнительная характеристика роста и развития проростков некоторых сортов яровой мягкой пшеницы. Для изучения особенностей