

## ДИНАМИКА ПИГМЕНТНОГО АППАРАТА В ЛИСТЬЯХ РЕДКИХ ВИДОВ РОДА *CITRUS* В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКОВ РОССИИ

Кулешов А. С.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр  
Российской академии наук»,  
г. Сочи, Россия, e-mail: mister.alexandr.ru@gmail.com

В статье приведены данные сезонной динамики фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a* и *b*, каротиноидов) в листьях 13 видов рода *Citrus* (*C. aurantifolia* ('Tahiti', 'Foro'), *C. limon* 'Del brasil', *C. × meyeri*, *C. × limonelloides*, *C. × bergamia*, *C. × limetta* 'Chontipico', *C. × aurantium myrtifolia* 'Cinotto', *C. × ichangensis*, *C. maxima* 'Sambokan', *C. medica* (var. *sarcodactylis*, цедрат) разных по происхождению и устойчивости. За период вегетации выявлены различия содержания хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов и динамики их накопления в листьях. Установлено, что пигментная система у данных видов цитрусовых подвержена изменению в разной степени, что зависит от генетических особенностей и условий выращивания. По динамике зелёных пигментов изучаемые виды разделились на три группы. Величина соотношения *a/b* у всех исследуемых видов находилась в пределах от 2,2 до 3,0, что соответствует величине, характерной для теневыносливых растений. По соотношению суммы хлорофиллов и каротиноидов все формы разделились на две группы.

**Ключевые слова:** род *Citrus* L., коллекция, редкие виды, хлорофилл *a* и *b*, каротиноиды.

Физиолого-биохимические характеристики ассимилирующих органов, определяющих ростовые и репродуктивные процессы, чувствительны к изменениям окружающей среды и используются для ранней диагностики состояния растений [2, 5, 10, 13]. Одним из важнейших показателей адаптивного потенциала растений в лимитирующих условиях является эффективность работы фотосинтетического аппарата, обусловленная, в том числе, и особенностями пигментного аппарата [12]. Пигментная система растений является основой для фотосинтетического преобразования солнечной энергии в энергию химических связей. Содержание хлорофиллов и каротиноидов – главных фоторецепторов клетки – является одним из показателей реакции растений на изменение гидротермических условий выращивания [1, 2, 13] и зависит от жизнедеятельности организма и его генетической природы [5].

Поэтому они могут быть использованы как физиологический показатель, характеризующий онтогенетические и возрастные особенности растений [1, 2, 10, 13, 15].

В первую очередь, количество пигментов отражает реакцию растительного организма на условия произрастания [3]. Так, сумма хлорофиллов в листьях является индикатором оптимального состояния растений [13, 18, 19]; отношение хлорофилла *a* к *b* – показатель теневыносливости растений, а отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам – основной показатель физиологического состояния растений в тех или иных условиях, а следовательно, представляет собой индикатор стресса, т. к. содержание каротиноидов, как правило, увеличивается у растений, перенесших стресс или устойчивых к нему [2, 10, 12]. Каротиноиды присутствуют в хлоропластах всех растений, а также входят в состав хромопластов. Они являются нерастворимыми в воде пигментами, которые работают в паре с хлорофиллом в процессе фотосинтеза [3]. Также каротиноиды играют важную роль в защите фотосинтетического аппарата от чрезмерного освещения, являются незаменимыми предшественниками для биосинтеза определенных гормонов, а яркие цвета каротиноидов служат мощными визуальными аттрактантами для опыления цветов и реагирующими веществами для адаптации к окружающей среде [16].

**Цель исследований** – изучить в динамике характеристику пигментного аппарата в листьях редких видов цитрусовых у растений в условиях неотапливаемой теплицы во влажных субтропиках России.

**Объекты и методы исследований.** Объектами исследований послужили 13 редких видов рода *Citrus*, а именно *C. aurantifolia* ('Tahiti', 'Foro'), *C. limon* 'Del brasil', *C. × meyeri*, *C. × limonelloides*, *C. × bergamia*, *C. × limetta* 'Chontipico', *C. × aurantium myrtifolia* 'Cinotto', *C. × ichangensis*, *C. maxima* 'Sambokan', *C. medica* (var. *sarcodactylis*, цедрат), которые выращиваются в неотапливаемой теплице, гидротермические условия которой представлены на рисунке 1. В летнее время растения притеняются нетканым материалом плотностью 15 г/м<sup>2</sup>.

Все виды находятся в коллекции ФИЦ СНЦ РАН, которая насчитывает 136 сортообразцов [6–8]. Растения вечнозелёные, пластичны, легко приспосабливаются к новым условиям выращивания [8, 9, 11].

Лабораторные анализы проводили в лаборатории физиологии и биохимии растений ФИЦ СНЦ РАН. Для исследования от каждого вида отбирали по 5 растений, с каждого растения с 2-летних побегов отбирали и анализировали по 10 листьев. Определение пигментов проводили методом Шлыка с извлечением пигментов из свежих листьев 96%-ным этанолом и использованием расчётных формул Смита и Бенитеза [14].

Концентрацию пигментов в экстракте зелёных листьев определяли на спектрофотометре ПЭ – 5400ви при длине волны для хлорофилла *a* – 665 нм, хлорофилла *b* – 649, суммы каротиноидов – 440,5 нм.

**Результаты и их обсуждение.** Для сравнительного анализа и оценки биологического потенциала исследуемых видов была изучена динамика суммарного содержания и соотношение фотосинтетических пигментов в листьях редких видов цитрусовых. Период жизни листового аппарата изучаемых вечнозелёных видов цитрусовых достигает 3 лет. Как правило, содержание хлорофилла по мере физиологического развития листа увеличивается, а затем уменьшается в процессе старения [17, 18]. Согласно данным, полученным нами, в течение периода вегетации были обнаружены различия в содержании суммы хлорофиллов, каротиноидов и их соотношению (табл. 1).

Таблица 1

**Содержание пигментов  
в листьях редких видов рода *Citrus*, мг/г**

Вариант	Σ карот.		Ca/Cb	
	M ±m	V, %	M ±m	V, %
<i>C. aurantifolia</i> ‘Tahiti’	0,36 ±0,011	3	2,54 ±0,029	1
<i>C. aurantifolia</i> ‘Foro’	0,53 ±0,034	6	2,63 ±0,121	5
<i>C. aurantifolia</i>	0,43 ±0,085	20	2,74 ±0,073	3
<i>C. limon</i> ‘Del Brasil’	0,45 ±0,039	9	2,46 ±0,164	7
<i>C. × meyeri</i>	0,39 ±0,093	24	2,71 ±0,131	5
<i>C. × limonelloides</i>	0,44 ±0,071	16	2,81 ±0,259	9
<i>C. × limetta</i> ‘Chontipico’	0,41 ±0,103	25	2,51 ±0,126	5
<i>C. × bergamia</i>	0,45 ±0,154	34	2,66 ±0,334	13
<i>C. × aurantium myrtifolia</i> ‘Cinotto’	0,42 ±0,111	26	2,70 ±0,266	10
<i>C. ichangensis</i>	0,49 ±0,079	16	2,44 ±0,108	4
<i>C. maxima</i> ‘Sambokan’	0,47 ±0,105	22	2,49 ±0,103	4
<i>C. medica</i>	0,49 ±0,076	15	2,62 ±0,067	3
<i>C. medica</i> var. <i>sarcodactylis</i>	0,56 ±0,146	26	2,48 ±0,130	5
HCP <sub>0,5</sub>	0,152		0,229	

Все изучаемые виды по динамике зелёных пигментов разделились на три группы (рис. 2). Виды *C. aurantifolia* ('Tahiti', 'Foro'), *C. aurantifolia*, *C. limon* 'Del Brasil', *C. × meyeri*, *C. limonelloides*, *C. × limetta* 'Chontipico' и *C. × aurantium myrtifolia* 'Cinotto' характеризуются низкой суммой хлорофиллов в зимний период (от 1,21 до 2,09 мг/г), а к сентябрю количество хлорофиллов увеличивается (от 1,86 до 3,01 мг/г). В связи с тем, что эти растения проявляют ремонтантность и цветут в позднеосенний период, в листьях именно в это время происходит отток синтетических процессов в сторону генеративных органов, что останавливает синтез хлорофилла.

У растений *C. × bergamia* отмечается обратная динамика – максимум хлорофиллов синтезируется в зимний период (2,62 мг/г), а минимум – осенью (1,87 мг/г).

У видов *C. × ichangensis*, *C. maxima* 'Sambokan', *C. medica* и *C. medica* var. *sarcodactylis* после зимнего максимума минимальный синтез хлорофилла отмечен в июле (от 2,19 до 2,27 мг/г), что можно объяснить воздействием стрессовых факторов: высокая температура (в пределах от 33 до 44 °С) и низкая влажность воздуха, которая в среднем не превышала 55 %, а в некоторые дни не поднималась выше 18 % (рис. 1). Как правило, субтропические вечнозелёные растения достаточно чутко реагируют именно на влажность воздуха, чем можно объяснить ингибирование синтетических процессов в ассимиляционном аппарате, сопровождаемое снижением синтеза хлорофиллов.

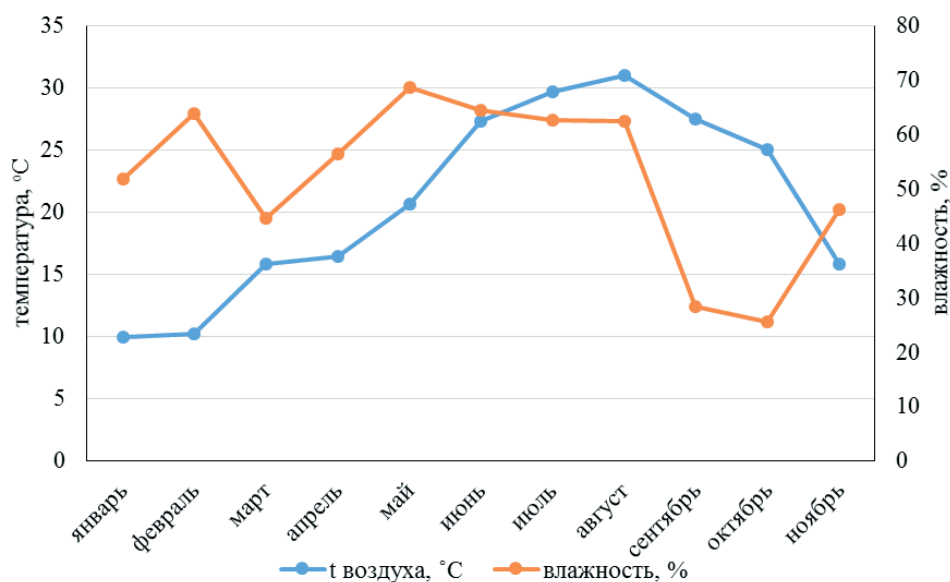


Рис. 1. Характеристика гидротермического режима места проведения опыта

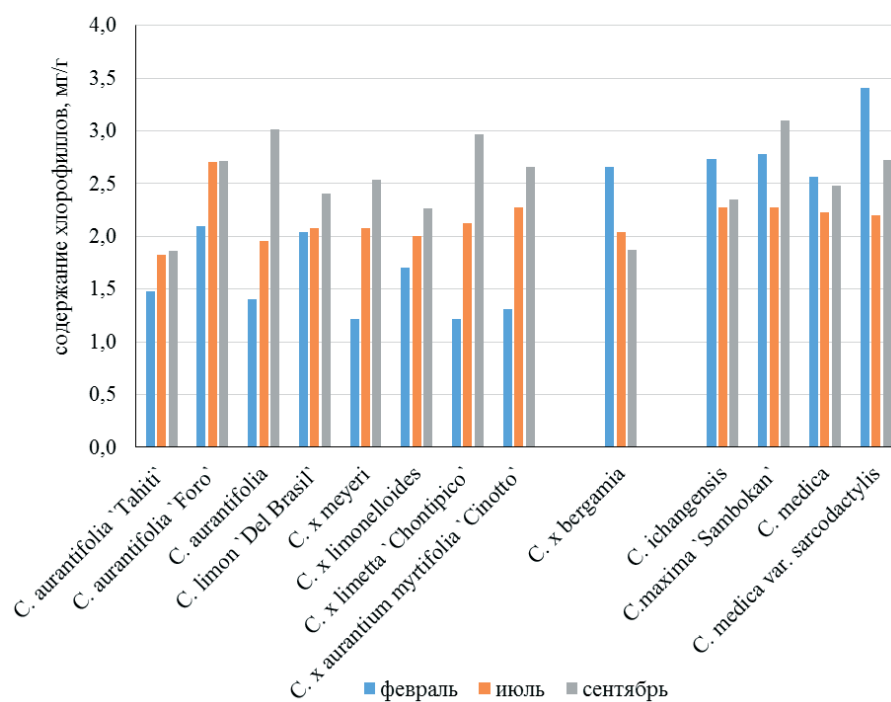


Рис. 2. Динамика суммы хлорофиллов в листьях изучаемых видов, мг/г

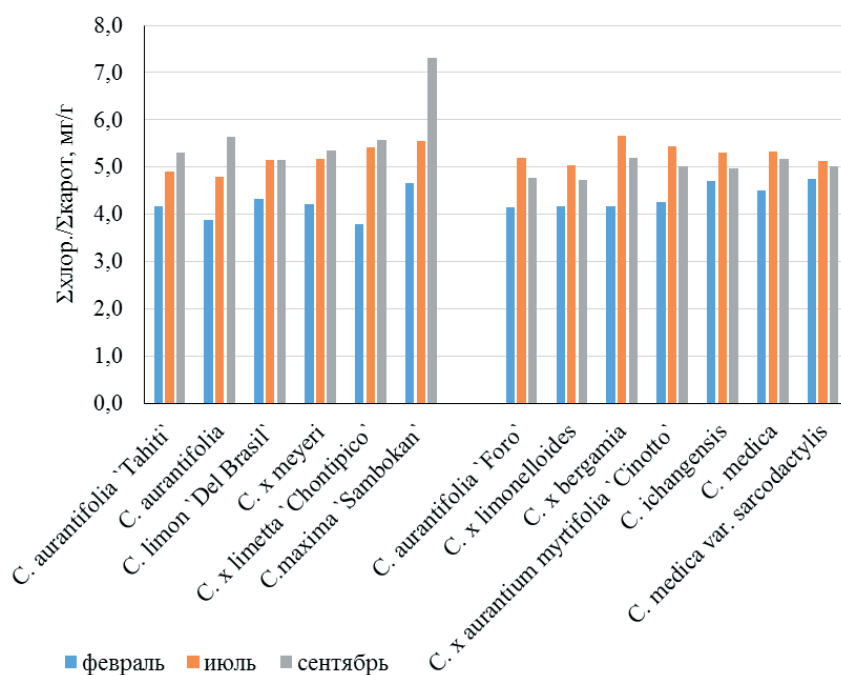


Рис. 3. Динамика соотношения  $\Sigma$  хлор./ $\Sigma$  карот. в листьях изучаемых видов, мг/г

Отношение хлорофиллов  $a$  к  $b$  является одним из определяющих факторов теневыносливости, продуктивности фотосинтеза и урожайности растений. Как правило, у большинства видов высших растений, отношение зелёных пигментов относительно постоянно и равняется в среднем 3,0 мг/г. Величина этого показателя у светолюбивых растений составляет порядка 5,6 мг/г, а у теневыносливых она близка к 2,6 мг/г [3]. Как видно из результатов, представленных в таблице 1, величина соотношения  $a/b$  у всех исследуемых видов в течение вегетационного периода соответствовала величине, характерной для теневыносливых растений, находясь в пределах от 2,2 до 3,0 мг/г. Такие показатели вполне характерны для режима выращивания данных видов в тепличных условиях, где используется затенение в летний период. В итоге, можно сказать, что у всех видов наблюдается стабильная работа фотосинтетического аппарата, коэффициент вариации находился в пределах от 1 % (у *C. aurantifolia* 'Tahiti') до 13 % (у *C. × bergamia*).

Определение отношения сумм хлорофиллов и каротиноидов важно при характеристике адаптивности, т. к. является компонентом неспецифической устойчивости растений к абиотическим факторам [10, 19]. Это отношение зависит от содержания каротиноидов, которые (как уже упоминалось в данной статье) поглощают определённые участки солнечного спектра и передают их энергию на молекулы хлорофилла, способствуя тем самым использованию того спектра, который самим хлорофиллом не поглощается. Однако важнее тот факт, что каротиноиды выполняют в листе протекторную функцию, защищая хлорофилл от разрушения на свету в процессе окисления. Определение отношения суммы хлорофиллов к каротиноидам очень чутко реагирует на изменения различных факторов среды [1, 10]. Как видно из рисунка 3, соотношение суммы хлорофиллов и каротиноидов ( $\Sigma$  хлор./ $\Sigma$  карот.) по исследуемым видам в основном было на одном уровне (в среднем от 4,29 до 5,32 мг/г).

Самая низкая величина наблюдается в зимний период у *C. × limetta* 'Chontipico' и *C. aurantifolia* (3,78 и 3,87 мг/г), наибольшее соотношение у *C. × ichangensis* и *C. medica* var. *sarcodactylis* (5,29 и 4,76 мг/г, соответственно). Анализ показал, что все формы по стрессоустойчивости к таким абиотическим факторам, как температура и относительная влажность воздуха, можно разделить на две группы (рис. 3). У *C. aurantifolia* 'Tahiti', *C. aurantifolia*, *C. × meyeri*, *C. × limetta* 'Chontipico', *C. maxima* 'Sambokan' к осени наблюдался рост отношения хлорофиллов к каротиноидам, что говорит о стрессовой ситуации у растений в зимний период, в то время как у остальных

форм наибольшее соотношение  $\Sigma$  хлор./ $\Sigma$  карот. отмечено в летний период, что предположительно свидетельствует об их устойчивости к высоким летним температурам, которые в условиях теплицы держатся высоких значений (в среднем от 32 °С в июле до 37 °С в августе).

**Заключение.** Таким образом, в течение периода вегетации у изучаемых видов были обнаружены различия в содержании суммы хлорофиллов, каротиноидов и их соотношения. Количество пигментов, как показал анализ, колеблется в зависимости от генетических особенностей и условий произрастания (температурного фактора, влажности воздуха, освещённости). Все изучаемые виды по характеру изменений в содержании пигментов разделились на три группы, а по отношению хлорофиллы/каротиноиды, как показателю стрессоустойчивости растений – на две группы.

*Публикация подготовлена в рамках реализации  
ГЗ ФИЦ СЦ РАН № 0492-2021-0008*

#### Библиографический список

1. Абильфазова Ю.С. Фотосинтетическая активность листьев мандарина в условиях влажных субтропиков Краснодарского края // European Scientific Conference. – 2017. – С. 46-49.
2. Белоус О.Г., Платонова Н.Б. Фотосинтетический аппарат карликового мандарина сорта 'Миагава-Васе' при обработках регуляторами роста // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2019. – № 68. – С. 157-164. – doi: 10.31360/2225-3068-2019-68-157-164.
3. Воробьев В.Н., Невмержицкая Ю.Ю., Хуснетдинова Л.З., Якушенкова Т.П. Практикум по физиологии растений. – Казань: Казанский университет, 2013. – 80 с.
4. Гетко Н.В., Атесленко Е.В., Бачище Т.С., Кабашникова Л.Ф. Пигментный фонд листьев *Citrus × aurantium* L. в оранжерейной культуре // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – №. 8-1(86). – С. 57-61. – doi: 10.23670/IRJ.2019.86.8.008
5. Карпова Е.А., Фершалова Т.Д. Динамика содержания пигментов в листьях *Begonia grandis* Dryander subsp. *grandis* при интродукции в Западной Сибири (г. Новосибирск) // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2016. – № 1(33). – С. 140-158. – doi: 10.17223/19988591/33/9.
6. Каталог citrusовых культур. Коллекция ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии / сост. В.М. Горшков, В.А. Фогель, Р.В. Кулян / под ред. А.В. Рындина. – Сочи: ВНИИЦиСК, 2013. – 91 с. – ISBN 978-5-904533-17-5.
7. Кулешов А.С., Кулян Р.В. Редкие виды рода *Citrus* и их использование (литературный обзор) // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2020. – № 73. – С. 51-61. – doi: 10.31360/2225-3068-2020-73-51-6.
8. Кулян Р.В. Лайм (*Citrus aurantifolia* Sw.), его сорта и гибриды в коллекции ВНИИЦиСК // Вестник Мичуринского аграрного ун-та. – 2016. – № 4. – С. 16. – ISSN 1992-2582.
9. Кулян Р.В. Формирование и изучение коллекции мандарина для селекционного использования // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. – 2019. – Т. 25. – С. 114-117. – ISSN 2587-9847.
10. Платонова Н.Б., Белоус О.Г. Фотосинтетические пигменты, как элемент формирования адаптивности растений чая // Учёные записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2019. – Т. 5. – № 3. – ISSN 2413-1725.



11. Рындин А.В., Кулян Р.В. Коллекция цитрусовых культур во влажных субтропиках России // Садоводство и виноградарство. – 2016. – № 5. – С. 24-30. – ISSN 0235-2591.
12. Титова М.С., Розломий Н.Г. Динамика фотосинтезирующей активности хвои *Picea ajanensis* и *Picea Smithiana* в условиях зелёной зоны г. Уссурийска // Живые и биокосные системы. – 2015. – № 12. – С. 4-4.
13. Тужилкина В.В. Реакция пигментной системы хвойных на длительное аэротехногенное загрязнение // Экология. – 2009. – № 4. – С. 243-248. – ISSN 1561-4212.
14. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зелёных листьев // Биохимические методы в физиологии растений. – М.: Наука, 1971. – С. 154-170.
15. Cazzonelli C.I. Carotenoids in nature: insights from plants and beyond // Functional Plant Biology. – 2011. – Т. 38. – № 11. – С. 833-847. – doi: 10.1071/FP11192.
16. Chen C., Piero A. R. L., Gmitter F. Pigments in citrus. In: Pigments in fruits and vegetables. – Springer, New York, 2015. – С. 165-187. – doi: 10.1007/978-1-4939-2356-4\_8.
17. Gogoi M., Basumatary M. Estimation of the chlorophyll concentration in seven Citrus species of Kokrajhar district, BTAD, Assam, India // Trop Plant Res. – 2018. – Т. 5. – С. 83-87. – doi: 10.22271/tpr.2018.v5.i1.012
18. Pereyra M.S. Chlorophyll content estimation in oregano leaves using a portable chlorophyll meter: relationship with mesophyll thickness and leaf age // Agronomía & Ambiente. – 2014. – Vol. 34. – No 1-2.
19. Porra R.J. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b // Photosynthesis research. – 2002. – Vol. 73. – No 1-3. – P. 149-156. – doi: 10.1023/A:1020470224740

#### THE DYNAMICS OF THE PIGMENT APPARATUS IN LEAVES OF RARE *CITRUS* SPECIES UNDER HUMID SUBTROPIC CONDITIONS OF RUSSIA

Kuleshov A. S.

Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre  
of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia,  
Sochi, Russia, e-mail: mister.alexandr.ru@gmail.com

The paper presents data on the seasonal dynamics of photosynthetic pigments (chlorophyll *a* and *b*, carotenoids) in the leaves of 13 *Citrus* species (*C. aurantifolia* ('Tahiti', 'Foro'), *C. limon* 'Del brasil', *C. × meyeri*, *C. × limonelloides*, *C. × bergamia*, *C. × limetta* 'Chontipico', *C. × aurantium myrtifolia* 'Cinotto', *C. × ichangensis*, *C. maxima* 'Sambokan', *C. medica* (var. *sarcodactylis*, zest) of different origin and resistance. During the growing season, differences in the content of chlorophylls *a* and *b*, carotenoids and the dynamics of their accumulation in leaves were revealed. It was found that the pigment system in these citrus species is subject to change at varying degrees, which depends on the genetic characteristics and growing conditions. According to the dynamics of green pigments, the studied species were divided into three groups. The value of the *a/b* ratio in all the studied species was in the range from 2.2 to 3.0, which corresponds to the value characteristic of shade-tolerant plants. By the ratio of the sum of chlorophylls and carotenoids, all forms were divided into two groups.

**Key words:** genus *Citrus* L., collection, rare species, chlorophyll *a* and *b*, carotenoids.