

## Характеристика пигментного фонда листьев у линий томата кистевидного морфотипа

В.Н. Кавцевич, А.В. Деревинский

Учреждение образования «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка»

Перспективным направлением селекции овощеводства в Республике Беларусь является создание адаптированных к условиям Беларуси кистевых (кластерных) гибридов томата, которые выгодно отличаются тем, что их плоды можно убирать целыми плодоносящими кистями, а не отдельными плодами.

Цель работы – оценить эффективность функционирования фотосинтетического аппарата у группы линий томата с кистевидным морфотипом плодовой кисти и наметить пути использования их потенциала в селекционных программах.

**Материал и методы.** Определение содержания фотосинтетических пигментов проводили спектрофотометрическим методом. Расчет содержания пигментов в мг/г сырой биомассы листа осуществляли на ЭВМ IBM, применяя пакеты программы ГНУ «ИБ и КИ НАН Б». Исходным материалом служили шесть высокопродуктивных линий томата кистевидного морфотипа отечественной и зарубежной селекции: L52-1, L52-2 (Педро), L53-1, L53-2 (Харцфойер), L69 (Адам) и L73-1 (Старт).

**Результаты и их обсуждение.** Установлено наличие достоверных различий между линиями по содержанию фотосинтетических пигментов: хлорофиллу а (ХЛа), хлорофиллу b (ХЛb), каротиноидам, сумме (ХЛа+ХЛb) и соотношению пигментов (ХЛа/ХЛb) и (ХЛа+ХЛb/каротиноиды) в листовом аппарате растений томата. Выделены линии с высоким содержанием в листьях растений хлорофилла а и хлорофилла b – L69, L52-2 и L52-1, а также каротиноидов – линия L53-1. Между пигментами, их суммами и соотношениями в реакционных центрах фотосинтетических систем установлено наличие 10 тесных прямых и 4 обратных взаимозависимостей, что может ускорить отбор по сопряженным признакам.

**Заключение.** Были проведены испытания содержания биохимических показателей в вегетативной сфере растений линий томата кистевидного морфотипа в условиях защищенного грунта. Оценены взаимосвязи между фотосинтетическими пигментами, их суммами и соотношениями.

**Ключевые слова:** томат, хлорофилл, каротиноиды.

## Characteristic of Leaf Pigment Fund of Cohosh Morphotype Tomato Line

V.N. Kavtsevich, A.V. Derevinski

Educational establishment «Belarusian State Pedagogical M. Tank University»

The perspective direction of selection of vegetable growing in the Republic of is creation of the cohosh (cluster) hybrids of a tomato adapted for conditions of Belarus which are favourably distinct by the fact that they can be picked up as whole fructifying bunches, but not separate fruits.

The purpose of our work was to estimate efficiency of functioning of the photosynthetic apparatus of the group of lines of a tomato with a clustery morphotype of the fruit brush and to plan ways of using their potential in selection programs.

**Material and methods.** Definition of the content of photosynthetic pigments was carried out by the spectrophotometric method. Calculation of the pigment content in mg/g of crude leaf biomass was carried out on the IBM COMPUTER, using GNU program packages of «IB i KI of NAN B». As initial material six highly productive lines of the tomato of clustery morphotype of domestic and foreign selection served: L52-1, L52-2 (Pedro), L53-1, L53-2 (Hartsfoyer), L69 (Adam) u L73-1 (Start).

**Findings and their discussion.** Presence of reliable distinctions between the lines according to the content of photosynthetic pigments is established: a chlorophyll and (HLa), chlorophyll of b (HLb), carotinoids, sum of (HLa+HLb) and ratio of pigments: (HLa/HLb) and (HLa+HLb /carotinoids) in the leaf apparatus of tomato plants. Lines with the high contents in leaves of a chlorophyll and b chlorophyl – L69, L52-2 and L52-1, and also carotinoids – L53-1 line, are extracted. Between pigments, their sums and ratios in the reaction centers of photosynthetic systems existence of 10 close straight lines and 4 return interdependences that can accelerate selection on the interfaced signs is established.

**Conclusion.** Tests of the quantitative contents of biochemical indicators in the vegetative sphere of plants of the tomato lines of clustery morphotype in the conditions of the protected soil were carried out. Interrelations between photosynthetic pigments, their sums and ratios are estimated.

**Key words:** tomato, chlorophyll, carotinoids.

Современное развитие производства томата направлено на использование новых технологических сортов/гибридов, обладающих как высоким потенциалом продуктивности, так и отличными пищевыми показателями, отвечающими требованиям потребителя. Перспективным направлением является создание кистевых (кластерных) гибридов, которые выгодно отличаются от других тем, что их можно убирать целыми плодоносящими кистями, а не отдельными плодами. При этом они имеют ряд положительных характеристик: растения формируют плотные кисти, несущие плоды одинакового размера (100–150 г), ярко-красного цвета, устойчивые к растрескиванию, хорошо хранящиеся при комнатной температуре [1]. Разработка селекционных программ, направленных на выведение гибридов томата кистевидного морфотипа, адаптированных к условиям Беларуси, – это перспективное направление, которое требует создания научных подходов. Особое место занимает оценка исходного материала на наличие в ее составе доноров высокой продуктивности и вкусовых качеств, отличного биохимического состава, устойчивости к неблагоприятным условиям среды, болезням и вредителям.

Основу метаболизма растений составляет совокупность реакций фотосинтеза, являющегося основным источником органических веществ. Будучи тесно связанным с процессами пластического и энергетического обменов, фотосинтез во многом определяет урожайность и продуктивность растений. Эффективность функционирования фотосинтетического аппарата растений определяется количеством, состоянием, активностью хлорофиллов, каротинов, ксантофиллов. Особую роль играют хлорофиллы, принимающие участие в преобразовании энергии квантов света в электрохимическую энергию связей в молекулах органических соединений. Каротиноиды не только участвуют в поглощении света в качестве дополнительных пигментов, но и защищают молекулы хлорофилла от необратимого фотоокисления. Руководствуясь данными о количестве хлорофилла, экспериментатор может судить о потенциальных возможностях растений формировать биологический урожай. Согласно литературным данным, такой подход широко используется как в селекции растений, так и для характеристики высокопродуктивных культур [2].

Цель работы – оценить эффективность функционирования фотосинтетического аппарата у группы линий томата с кистевидным морфотипом плодовой кисти и наметить пути использования ее потенциала в селекционных программах.

**Материал и методы.** Определение содержания фотосинтетических пигментов проводили следующим образом. Экстрагировали пигменты общепринятым методом 99,5% ацетоном [6]. Объектом исследования были листья из среднего яруса растений. Из средней пробы отбирали по 3 сегмента листа. Высечки делали из средней части листовой пластинки пробочным сверлом ( $d = 4$  мм) в трехкратной повторности. Массу высечек определяли на торсионных весах Waga Torsyina – WT (Польша), после чего осуществляли экстракцию пигментов. Спектры поглощения полученных растворов выявляли на спектрофотометре «Uvikon – 931» (Германия). Контролем служил растворитель.

Расчет содержания фотосинтетических пигментов в ацетоновых экстрактах проводили по следующим формулам [7]:

$$Ca = 9,784 \times E_{662} - 0,99 \times B_{644},$$

$$Cb = 21,426 \times E_{644} - 4,65 \times E_{662},$$

$$C(a+b) = 5,134 \times E_{662} + 20,436 \times E_{644},$$

$$Cscar = 4,695 \times E_{440,5} - 0,268 \times (Ca + Cb),$$

где

$Ca$  – концентрация ХЛа, (мкг/мл);

$Cb$  – концентрация ХЛb, (мкг/мл);

$C(a+b)$  – концентрация суммы хлорофиллов ХЛа и ХЛb, (мкг/мл);

$Cscar$  – концентрация каротиноидов, (мкг/мл);

$E_{662}$  – экстинция при длине волны 662 нм;

$E_{644}$  – экстинция при длине волны 644 нм;

$E_{440,5}$  – экстинция при длине волны 440,5 нм.

Расчет содержания пигментов в мг/г сырой биомассы листа проводили на ЭВМ IBM, применяя пакет программ, разработанных сотрудниками лаборатории прикладной биофизики и биохимии ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси».

В качестве исходного материала было использовано шесть высокопродуктивных линий кистевидного морфотипа, отобранных из сортов отечественной и зарубежной селекции, которая служила контролем: L52-1, L52-2 (Pedro), L53-1, L53-2 (Hartsfoyer), L69 (Адам) и L73-1 (Старт).

Родительские сорта и гибриды выращивали по агротехнике, принятой в тепличных хозяйствах. Способ посадки ленточный: расстояние между растениями в ряду 40 см, между рядами – 60 см, между лентами – 80 см, уход за растениями проводился в соответствии с рекомендациями по выращиванию томата в защищенном грунте, повторность опыта трехкратная [5].

**Результаты и их обсуждение.** В табл. 1 представлены средние данные накопления фотосинтетических пигментов, их сумм и соотношений в листьях томата у растений, выращенных в условиях защищенного грунта.

Таблица 1

**Содержание хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов, а также их сумм и соотношений в листьях томата (мг/г сырой массы)**

| Линии томата     | ХЛа   | ХЛb   | Каротиноиды | ХЛа+ХЛb | ХЛа/ХЛb | ХЛа+ХЛb/каротиноиды |
|------------------|-------|-------|-------------|---------|---------|---------------------|
| L73-1 (контроль) | 0,859 | 0,282 | 0,285       | 1,141   | 2,74    | 3,81                |
| L69              | 0,973 | 0,353 | 0,287       | 1,326   | 2,71    | 4,37                |
| L52-2            | 0,994 | 0,355 | 0,310       | 1,349   | 2,81    | 4,34                |
| L52-1            | 0,963 | 0,335 | 0,286       | 1,298   | 2,83    | 4,65                |
| L53-2            | 0,798 | 0,285 | 0,297       | 1,083   | 2,75    | 3,59                |
| L53-1            | 0,466 | 0,270 | 0,347       | 0,736   | 1,72    | 2,17                |

Таблица 2

**Результаты дисперсионного анализа содержания хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листьях растений у шести линий томата**

| Дисперсия | Степени свободы | Средние квадраты (ХЛа) | Средние квадраты (ХЛb) | Средние квадраты (каротиноиды) | F <sub>факт.</sub>                               | F <sub>0,5</sub> |
|-----------|-----------------|------------------------|------------------------|--------------------------------|--|------------------|
| линий     | 5               | 0,119*                 | 0,004*                 | 0,002*                         | 11,87 (ХЛа)<br>7,428 (ХЛb)<br>4,55 (каротиноиды) | 3,11             |
| ошибки    | 12              | 0,010                  | 0,0006                 | 0,0004                         | —  | —                |
| общая     | 17              | —                      | —                      | —                              | —  | —                |

Примечание: \* обозначает достоверность средних квадратов.

Таблица 3

**Результаты дисперсионного анализа содержания суммы хлорофиллов *a* и *b*, соотношения их между собой, а также соотношения хлорофиллов и каротиноидов в листьях растений у шести линий томата**

| Дисперсия | Степени свободы | Средние квадраты (ХЛа+ХЛb) | Средние квадраты (ХЛа/ХЛb) | Средние квадраты (ХЛа+ХЛb/каротиноиды) | F <sub>факт.</sub>  | F <sub>0,5</sub> |
|-----------|-----------------|----------------------------|----------------------------|--|---|------------------|
| линий     | 5               | 0,161*                     | 0,55*                      | 2,42*                                  | 17,9 (ХЛа+ХЛb)<br>9,49 (ХЛа/ХЛb)<br>35,19 (ХЛа+ХЛb/каротиноиды) | 3,11             |
| ошибки    | 12              | 0,009                      | 0,06                       | 0,07                                   | —   | —                |
| общая     | 17              | —                          | —                          | —                                      | —   | —                |

Результаты дисперсионного анализа содержания фотосинтетических пигментов (табл. 2), их сумм и соотношений (табл. 3) в листьях томата позволили установить, что  $F_{факт.} > F_{0,5}$ , таким образом, между вариантами опыта имеются существенные различия на 5%-ном уровне значимости.

На рис. дано графическое представление полученных результатов исследований по содер-

жанию хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов, а также суммарному содержанию хлорофиллов, соотношению их между собой и соотношению суммы хлорофиллов к каротиноидам в листьях томата у шести линий кистевидного морфотипа.

Для оценки существенности частных различий и группировки линий томата по содержанию хлорофиллов, каротиноидов, сумм и соотноше-

ний фотосинтетических пигментов были вычислены  $HCP_{05\%}$  в относительных величинах (табл. 4–5). Это позволило установить, что относительно содержания в листьях хлорофилла *a* линии L69, L52-1, L52-1 и L53-2 входят в одну группу – I и несущественно отличаются от контроля, линия L53-1 существенно уступает контролю по количеству выявленного в ней пигмента (-46,652%) и выходит за пределы  $HCP_{05\%}$  более чем в 2 раза (группа II).

В отношении хлорофилла *b* (табл. 4) удалось объединить линии в две группы: линии L69, L52-2 и L52-1, входящие в группу I, превосходили контроль (отклонения выходили за пределы  $HCP_{05\%}=14,1$ ), а линии L53-2 и L53-1 несущественно отличались от контрольной линии (группа II).

Анализ различий между линиями по содержанию в листьях каротиноидов позволил выделить только линию L53-1, превосходившую контроль на 22,08% (группа I), остальные линии не превы-

сили порога  $HCP_{05\%}=10,6$  и поэтому разместились в одной с контролем группе II (табл. 4).

В отношении суммы хлорофиллов *a* и *b* получены результаты, которые свидетельствуют о том, что между линиями имеются различия, на основании чего они объединены в три группы (табл. 5). Линии L69, L52-2 образуют первую группу, их отклонения выходят за пределы  $HCP_{05\%}$ , линии L52-1, L53-2 и L73-1 попали во вторую группу, их отклонения не отличаются от  $HCP_{05\%}$ , а линия L53-1 – в третью, так ее отклонения от контроля превысили  $HCP_{05\%}$  более чем в два раза ( $35,071/14,59 = 2,40$ ).

Что касается соотношения хлорофиллов *a* и *b* и отношения суммы хлорофиллов *a* и *b* к каротиноидам, то в соответствии со значением  $HCP_{05\%}$  и по первому, и по второму показателю линии попали в две группы. Причем все линии, за исключением L53-1, находятся на одном уровне с контролем и составляют группу I (табл. 5).

Таблица 4

**Оценка частных различий между линиями томата по содержанию фотосинтетических пигментов и группировка линий**

| Линии томата     | Хлорофилл <i>a</i>          |          | Хлорофилл <i>b</i>          |          | Каротиноиды                 |          |
|------------------|-----------------------------|----------|-----------------------------|----------|-----------------------------|----------|
|                  | отклонение от стандарта (%) | группа   | отклонение от стандарта (%) | группа   | отклонение от стандарта (%) | группа   |
| L73-1 (контроль) | –                           | контроль | –                           | контроль | –                           | контроль |
| L69              | 13,533                      | I        | 22,54                       | I        | 2,32                        | II       |
| L52-2            | 16,026                      | I        | 23,18                       | I        | 8,51                        | II       |
| L52-1            | 12,346                      | I        | 16,88                       | I        | 2,10                        | II       |
| L53-2            | -7,241                      | I        | 0,85                        | II       | 6,63                        | II       |
| L53-1            | -46,652*                    | II       | -3,85                       | II       | 22,08                       | I        |
| $HCP_{05\%}$     | 21,13                       | –        | 14,1                        | –        | 10,6                        | –        |

Таблица 5

**Оценка частных различий между линиями томата по сумме и соотношению фотосинтетических пигментов и группировка линий**

| Линии томата     | $XLa+XLb$                   |          | $XLa/XLb$                   |          | $XLa+XLb/$<br>каротиноиды   |          |
|------------------|-----------------------------|----------|-----------------------------|----------|-----------------------------|----------|
|                  | отклонение от стандарта (%) | группа   | отклонение от стандарта (%) | группа   | отклонение от стандарта (%) | группа   |
| L73-1 (контроль) | –                           | контроль | –                           | контроль | –                           | контроль |
| L69              | 15,949                      | I        | -1,00                       | I        | 14,53                       | I        |
| L52-2            | 17,968                      | I        | 3,73                        | I        | 13,91                       | I        |
| L52-1            | 13,556                      | II       | 0,93                        | I        | 21,99                       | I        |
| L53-2            | -5,047                      | II       | -3,09                       | I        | -5,82                       | I        |
| L53-1            | -35,071                     | III      | -39,67                      | III      | -42,83                      | III      |
| $HCP_{05\%}$     | 14,59                       | –        | 16,56                       | –        | 12,20                       | –        |

**Взаимосвязи между фотосинтетическими пигментами, их суммами и соотношениями, выраженные в коэффициентах линейной парной корреляции ( $r$ )**

|                     | ХЛа   | ХЛb   | Каротиноиды | ХЛа+ХЛb | ХЛа/ХЛb | ХЛа+ХЛb/каротиноиды |
|---------------------|-------|-------|-------------|---------|---------|---------------------|
| ХЛа                 | 1     |       |             |         |         |                     |
| ХЛb                 | 0,81* | 1     |             |         |         |                     |
| Каротиноиды         | 0,82* | -0,40 | 1           |         |         |                     |
| ХЛа+ХЛb             | 1,00* | 0,87* | -0,77*      | 1       |         |                     |
| ХЛа/ХЛb             | 0,94* | 0,58* | -0,89*      | 0,90*   | 1       |                     |
| ХЛа+ХЛb/каротиноиды | 0,98* | 0,81* | -0,83*      | 0,98*   | 0,92*   | 1                   |

Для установления тесноты связи между анализируемыми параметрами у исследуемой группы линий были вычислены парные коэффициенты линейной корреляции (табл. 6).

Как свидетельствуют полученные коэффициенты корреляции ( $r$ ), практически между всеми параметрами фотосинтетического аппарата имеются достаточно тесные взаимозависимости. Положительные корреляции установлены между 10 параметрами: между ХЛа, с одной стороны, и ХЛb (0,81), суммой ХЛа+ХЛb (1,00), соотношениями ХЛа/ХЛb (0,94) и ХЛа+ХЛb/каротиноиды (0,98), с другой стороны; между ХЛb, с одной стороны, и суммой ХЛа+ХЛb (0,87), соотношениями ХЛа/ХЛb (0,58) и ХЛа+ХЛb/каротиноиды (0,81), с другой стороны; между суммой ХЛа+ХЛb, с одной стороны, и соотношением ХЛа/ХЛb (0,9) и ХЛа+ХЛb/каротиноиды (0,98), с другой стороны; соотношением ХЛа/ХЛb, с одной стороны, и соотношениями ХЛа+ХЛb/каротиноиды (0,92), с другой стороны. Все высокие достоверные коэффициенты корреляции свидетельствуют о том, что они находятся в причинной связи и увеличение одного из них влечет за собой увеличение сопряженного с ним признака. Наряду с прямыми связями имеются и обратные, о чем говорят отрицательные коэффициенты корреляции. Всего обнаружено четыре такого рода зависимости: между ХЛа, с одной стороны, и каротиноидами (-0,82), с другой стороны; между каротиноидами, с одной стороны, и суммой ХЛа+ХЛb (-0,77), соотношениями ХЛа/ХЛb (-0,89) и ХЛа+ХЛb/каротиноиды (-0,83), с другой сторо-

ны. Отрицательные значения коэффициентов корреляции свидетельствуют о том, что увеличение первого показателя приводит к уменьшению второго, связанного с ним показателя. Например, при увеличении содержания хлорофилла количество каротиноидов будет уменьшаться.

**Заключение.** Таким образом, были проведены испытания содержания биохимических показателей в вегетативной сфере растения у линий томата кистевидного морфотипа. Установлено наличие достоверных различий между линиями по фотосинтетическим пигментам хлорофиллу *a* (ХЛа), хлорофиллу *b* (ХЛb), каротиноидам, сумме (ХЛа+ХЛb) и соотношению пигментов (ХЛа/ХЛb) и (ХЛа+ХЛb/каротиноиды) в реакционных центрах листового аппарата растений томата. Однако значительного варьирования между конкретными линиями выявлено не было. В большинстве случаев линии объединялись в 1–2 группы. На этом основании можно предположить, что исследуемые линии томата вряд ли могут представлять значительный интерес в практической селекции на гетерозис по признакам, характеризующим фотосинтетический аппарат листьев растений.

Выделены линии с относительно более высоким содержанием в листьях растений хлорофилла *a* и хлорофилла *b* – L69, L52-2 и L52-1, а также каротиноидов – линия L53-1. Между пигментами, их суммами и соотношениями в реакционных центрах фотосинтетических систем установлено наличие 10 тесных прямых и 4 обратных взаимозависимостей, что может ускорить отбор по сопряженным признакам.

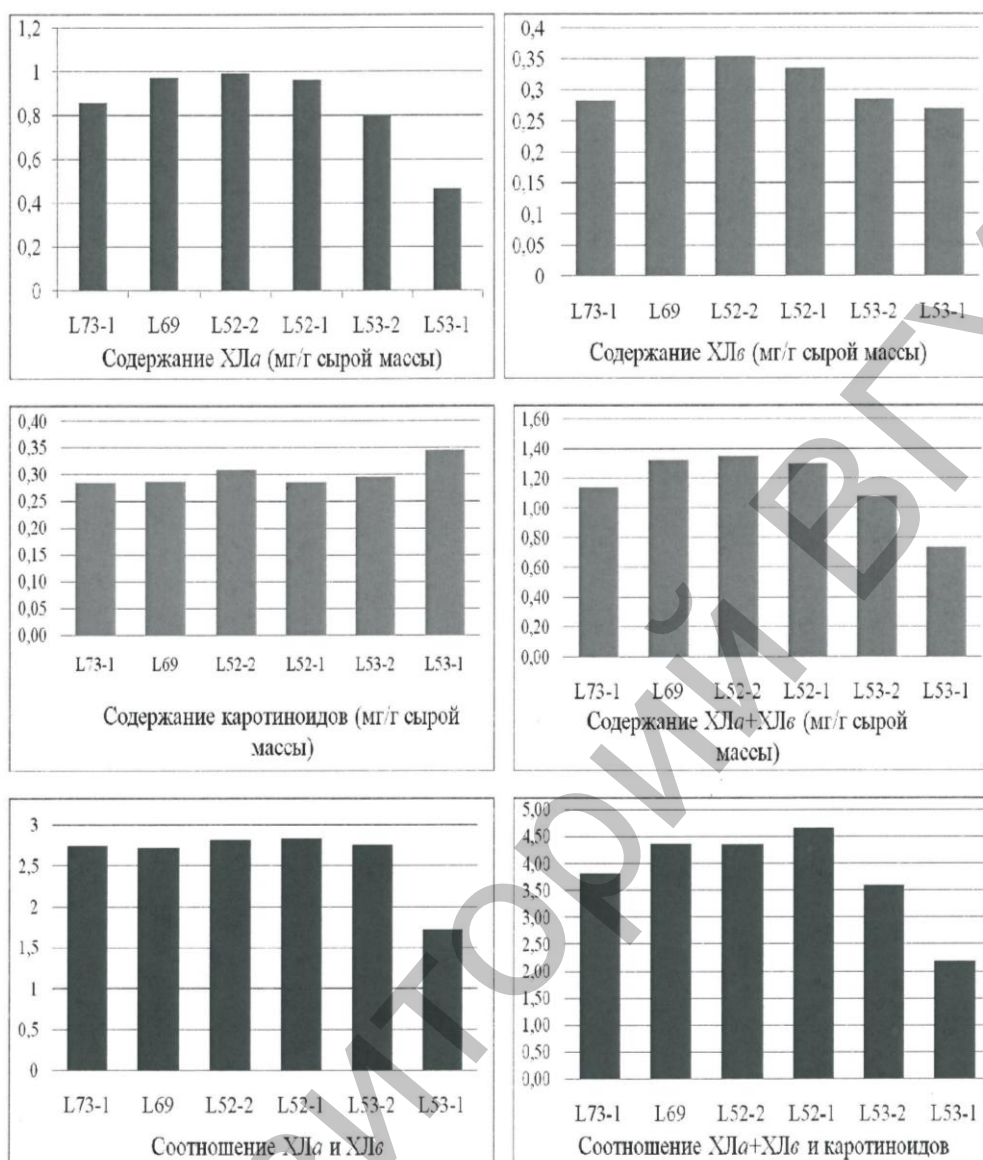


Рис. Гистограммы содержания хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов, их сумм и соотношений в листьях растений у шести линий томата.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Лазуткина, Е.А. Томаты кистевого типа в теплицах / Е.А. Лазуткина // Мир теплиц. – 1998. – № 8. – С. 22.
- Рубин, А.Б. Первичные процессы фотосинтеза и фотосинтетическая продуктивность / А.Б. Рубин, Т.Е. Кренделева, П.С. Венедиктов, Д.Н. Маторин // Сельхоз. биол. – 1984. – № 6. – С. 81–92.
- Кумаков, В.А. Фотосинтетическая деятельность растений в аспекте селекции / В.А. Кумаков // Физиология фотосинтеза. – М., 1982. – С. 283–294.
- Володарский, Н.И. Использование показателей первичных реакций фотосинтеза для диагностики продуктивности яровой пшеницы / Н.И. Володарский, Е.Е. Быстрых // Докл. ВАСХНИЛ. – 1982. – № 12. – С. 628–635.
- Быков, О.Д. О возможности селекционного улучшения фотосинтетических признаков сельскохозяйственных растений / О.Д. Быков, М.И. Зеленский // Физиология фотосинтеза. – М., 1982. – С. 294–310.
- Шлык, А.А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А.А. Шлык // Биохимические методы в физиологии растений. – М.: Наука, 1971. – С. 154–170.
- Хлорофилл: сб. / А.А. Шлык, А.И. Опарин, А.А. Ничипорович [и др.]; под ред. А.А. Шлыка. – Минск: Наука и техника, 1974. – 388 с.

#### REFERENCES

- Lazutkina E.A. *Mir teplits* [Greenhouse World], 1998, 8, p. 22.
- Rubin A.B., Krendeleva T.E., Venediktov P.S., Matorin D.N. *Selkhoz. Biol.* [Agricultural Biology], 1984, 6, pp. 81–92.
- Kumakov V.A. *Fiziologiya fotosinteza* [Physiology of Photosynthesis], M., 1982, pp. 283–294.
- Volodarski N.I., Bistrikh E.E. *Dol. VASKhNIL* [Dol. VASKhNIL], 1982, 12, pp. 628–635.
- Bykov O.D., Zelenski M.I. *Fiziologiya fotosinteza* [Physiology of Photosynthesis], M., 1982, pp. 294–310.
- Shlik A.A. *Biokhicheskiye metodi v fiziologii rastenii* [Biochemical Methods in Physiology of Plants], M.: Nauka, 1971, pp. 154–170.
- Shlik A.A., Oparin A.I., Nichiporovich A.A. *Khlorofill* [Chlorophyll], Minsk: Nauka i tekhnika, 1974, 388 p.

Поступила в редакцию: 12.01.2015

Адрес для корреспонденции: e-mail: kavtsevich@yandex.ru – Кавцевич В.Н.