

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАПОВ ОРГАНОГЕНЕЗА АДОНИСА ЛЕТНЕГО (*ADONIS AESTIVALIS*L.) КАК ИСТОЧНИКА АСТАКСАНТИНА

**А.А. Сиротин,
В.И. Дейнека,
С.С. Сиротина**

Белгородский
государственный
университет

Россия, 308015, г.Белгород,
ул. Победы, 85

E-mail: sirotin@bsu.edu.ru

Изложены результаты исследования Адониса летнего (*Adonis aestivalis* L.) – однолетнего цветкового растения семейства Лютиковых (*Ranunculaceae*), в лепестках которого обнаружено высокое содержание астаксантина. Разработаны основные приемы возделывания данной культуры. Определена динамика накопления астаксантина в цветках разного возраста. Впервые исследованы этапы органогенеза Адониса летнего по методике Ф.М. Куперман. Дано описание основных этапов органогенеза. Определен оптимальный метод предпосевной подготовки семян данного растения. Область применения обусловлена использованием Адониса летнего как технической культуры – источника сырья для производства астаксантина.

Ключевые слова: Адонис летний, астаксантин, технология выращивания, этапы органогенеза, типы покоя семян.

Введение

Физиологически активные вещества содержатся во многих растениях, и возможность медицинского использования различных видов растений часто определяется степенью их изученности. По мере роста наших знаний увеличивается и число растений, используемых в медицине.

С каждым годом увеличивается число лекарственных препаратов, изготавливаемых из растительного сырья. Однако, запасы сырья в природе заметно сократились [7]. В связи с этим очевидна необходимость культивирования и изучения лекарственных растений, как одного из путей сохранения биоразнообразия растительных ресурсов. Одним из немногих сухопутных растений с высоким содержанием астаксантина – сильнейшего антиоксиданта - на сегодняшний день является Адонис летний (*Adonis aestivalis* L.) [11].

До настоящего времени Адонис летний культивируется как цветочный однолетник. Целью нашего исследования является изучение Адониса летнего для выяснения возможности выращивания его как источника астаксантина и извлечения его в промышленных масштабах, как альтернативу морской микроводоросли гематоккоккус (*Hematococcus pluvialis*), являющейся основным сырьем, дающим этот антиоксидант [12].

Таким образом, основными задачами исследования являются:

- 1) изучение биологии адониса летнего *Adonis aestivalis* L.;
- 2) изучение возможности использования адониса летнего в качестве источника астаксантина;
- 3) разработка элементов технологии выращивания адониса летнего.

Объект и методы исследования

Объектом нашего исследования является Адонис летний (*Adonis aestivalis* L.) семейства Лютиковых (*Ranunculaceae*) рода Адонис (*Adonis*).

Родина адониса – умеренные районы Евразии. Известно около 20 видов, распространенных в умеренном поясе, Евразии и в Северной Африке, произрастающих по сухим открытым местам; в СНГ – 17 видов, преимущественно в южных районах, в степных и лесостепных районах Европейской части, в Сибири, на Кавказе.

А. летний (*A. aestivalis*) или «Уголек в огне» встречается на юге европейской части России, Кавказе, юге Западной Сибири и в Средней Азии (кроме пустынь и высокогорий), Западной Европе [2].

В течение 2006-2008 гг. нами исследована возможность культивирования данного вида как источника астаксантина и извлечения его в промышленных масштабах



как посевом семян с разными способами подготовки, так и рассадным методом в разные сроки.

При постановке эксперимента из множества видов опытов нами был выбран мелкоделяночный, многофакторный единичный лабораторно-полевой опыт. Мы остановились на стандартном методе и систематическом размещении в трехкратной повторности. Опыт проводился на дачном участке с выщелоченным черноземом.

В настоящей работе мы использовали семена декоративной формы А. летнего (сорт «Огонек», ООО «Семена НК», Россия). При изучении рассадного метода выращивания посев был произведен сухими семенами в защищенном грунте в 4 срока с недельным интервалом [6]. При изучении влияния разных способов подготовки семян А. летнего нами исследовано три варианта: контроль – посев сухими семенами и 2 опытных варианта – с прогревом семян в течение 21 дня при температуре +30°C и 21-дневной стратификацией при +5°C [9].

На протяжении всего вегетационного периода велись фенологические наблюдения. Проводилась также визуальная оценка посевов и измерялась высота растений. Уборка урожая лепестков осуществлялась ручным способом. Агротехника выращивания – типична для ЦЧЗ. В течение всей вегетации отбирали пробы цветков для анализа пигментов в начале, в середине и в конце цветения отдельных цветков. Собранные цветки хранили при 4°C (в бытовом холодильнике в герметично закрытом сосуде) и анализировали, как правило, на следующий день. Лепестки высушивали на воздухе вне прямого доступа солнечного света [6].

Для исследования динамики накопления астаксантина в лепестках А. летнего нами использовался метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) [4]. Для экстракции астаксантина навеску сухих лепестков цветков растирали с кварцевым песком и экстрагировали ацетоном. Экстракт отделяли от твердого остатка на стеклянном фильтре и использовали для ВЭЖХ-исследований без дополнительных обработок; при спектрофотометрическом анализе пигменты реэкстрагировали в н-гексан, определяя содержание каротиноидов в пересчете на астаксантин с использованием $E_{1\%1\text{см}} = 2100$ (спектрофотометр КФК-3-01) [3].

Для определения этапов органогенеза А. летнего нами использовался морфофизиологический метод исследования, который включает систематические наблюдения за дифференциацией верхушечных меристем. Так как А. летний является типично яровой культурой, для наблюдения пробы брали не реже, чем через день, начиная с прорастания семян и до наступления V этапа; на VI–IX этапах пробы брали ежедневно, а на X–XII этапах – с интервалом в 3–5 дней [5]. При отсутствии возможности быстрого анализа взятые растения хранились в холодильнике при температуре 2...4°C, но не более трех дней. Анализ конусов нарастания проводили путем препарирования растений и определения этапа под бинокуляром.

Для выявления оптимального метода предпосевной подготовки семян А. летнего (2009 г.) был заложен лабораторный опыт – 10 вариантов по 4 повторности. В каждой повторности по 50 шт. семян: 1 вариант – импакция (ударение семян друг о друга) [8]; 2 вариант – обработка гиббереловой кислотой; 3 вариант – замачивание семян в горячей воде (+20°C), затем в холодной воде (+10°C), в трехкратной повторности; 4 вариант – обработка холодом (1 сут. - 5°C, 1 сут. +20°C, трехкратная повторность); 5 вариант – скарификация (растирание с песком) [9]; 6 вариант – стратификация (+3...5°C, 21 день); 7 вариант – прогрев (+30°C, 21 день); 8 вариант – разрушение покровов семян; 9 вариант – промывка водой (2 недели, смена воды 1-2 раза в день); 10 вариант – контроль (сухие семена без обработки) [10]. Для проращивания семян использовали чашки Петри, марлю, белую фильтровальную бумагу. Предварительно нарезанную фильтровальную бумагу стерилизовали в сушильном шкафу при температуре +130°C в течение 1 часа. Чашки Петри дезинфицировали этиловым спиртом. Марлю кипятили в воде не менее 10 мин непосредственно перед раскладкой семян на проращивание. В чашки Петри клали один-два слоя марли, увлажненной до полной влагоемкости, а сверху марлю накрывали смоченной фильтровальной бумагой. Края чашек Петри смазывали вазелином для меньшей потери влаги. Семена проращивали



в течение 60 дней. Через каждые 15 дней семена обрабатывали фунгицидом «фунги-зол» в равных количествах для каждой повторности – по 2 мл. Также обеспечивалась вентиляция семян, ежедневно на несколько секунд приоткрывали крышки чашек Петри [8].

При определении всхожести подсчитывали и удаляли с ложа семена нормально проросшие и загнившие. При подсчете всхожести учитывали нормально проросшие семена. Нормально проросшими считали семена, имеющие при проращивании нормально развитый проросток или корешок размером не менее диаметра семени [10].

При статистической обработке данных использовали разностный метод с определением критерия Стьюдента [6].

Результаты и их обсуждение

Фенологические наблюдения (табл. 1) показали существенные различия в реакции растений на срок посева.

Таблица 1

Влияние сроков посева Адониса летнего на рост и развитие растений (2006 г.)

Сроки посева	Дата посева	Дата полных всходов	Дата высадки рассады	Дата фазы цветения	Дата конца вегетации	Длительность вегетационного периода
1	10.02	28.02	17.05	3.06	20.08	163
2	17.02	8.03	14.05	9.06	27.08	182
3	24.02	12.03	21.05	23.06	10.10	232
4	3.03	18.03	28.05	7.07	4.11	231

Следует отметить длительный период посев – всходы (15-18 дней) практически не изменяющийся по срокам, и рассадный период (86 дней), что свидетельствует о медленном развитии в вегетативный период. Переход к репродуктивному периоду существенно изменяется по срокам посева. Так, период всходы – начало цветения при первом сроке посева 97 дней, при втором – сократился до 92 дней, а при третьем и четвертом – возрос до 102-110 дней.

Растения первого срока посева вегетировали 163 дня, так как были подвержены длительной засухе. Растения второго срока посева, также подвергшиеся действию длительной августовской засухи, вегетировали 182 дня, тогда как третий и четвертые сроки посева позволили удлинить период вегетации до 232 и 231 дня соответственно, т.е. вплоть до заморозков в -8...-9°C. При этом растения четвертого срока сева цвели до заморозков, что обеспечило цветение А. летнего, а также возможность сбора лепестков с 2.06 по 4.11.06 года, т.е. в течение 155 дней.

Продукция атаксантина определяется числом цветков на гектаре и содержанием данного вещества в лепестках. В свою очередь, число цветков в значительной степени зависит от ветвления стебля и активности ростовых процессов.

При рассадном методе выращивания цветение в первой группе началось 2 июня, а 9 июня, 23 июня и 2 июля - в последующих группах, что позволило увеличить период цветения до 4 ноября в четвертой группе.

С одного растения было собрано за период июнь - конец августа при рассадном способе выращивания от 18 до 68 цветков в зависимости от срока высадки рассады. Средняя масса лепестков одного цветка составила 0.042 ± 0.005 г, т.е. накопление атаксантина на один цветок составило в среднем 400 ± 50 мкг в летние месяцы. Это позволило при рассадном методе выращивания растений получить около от 1 до 3.5 г атаксантина с 1 м².

Содержание атаксантина в цветках А. летнего изменяется в достаточно широких пределах [5]. Так, концентрация атаксантина оказалась достаточно высокой: 0.011 ± 0.005 для цветков, собранных в начале цветения растений (17 июня), 0.012 ± 0.003 (13 июля), 0.018 ± 0.004 (19 сентября), но заметно снижалась при сборе цветков в более



поздние сроки – 0.005 ± 0.002 г на 1 г свежих лепестков. При этом обнаружено увеличение доли астаксантина по мере развития цветка – от 0.008 ± 0.002 в начале цветения до 0.011 ± 0.003 г на 1 г свежих лепестков в конце цветения отдельных цветков.

Таблица 2

Влияние сроков посева и внесения полного минерального удобрения на продукцию астаксантина (2006 г.)

Сроки посева	Количество цветков на 1 раст., шт.	Средняя масса лепестков с 1 цветка, мг	Масса лепестков, кг/га	Продукция астаксантина, кг/га	t
1	43.9	0.0452	233.23	2.57	1.22
2	28.4	0.0452	154.04	1.69	4.03**
3	18.7	0.0452	101.42	1.12	6.7**
4	68	0.0452	368.83	4.05	5.8**

Примечание: $t_{теор.}(0.95) = 2.10$ и $t_{теор.}(0.99) = 2.88$, Общая ошибка опыта = 6.75%.
*- существенно на уровне 0.95; ** - существенно на уровне 0.99.

Как видно из данных таблицы 2, при урожае лепестков от 101.42 до 368.83 кг на га в зависимости от варианта опыта при среднем содержании астаксантина 1100 мг%, общий урожай его колеблется от 1.12 кг на га (при 3 сроке посева) до 4.05 кг на га (при 4-ом сроке посева). При статистической обработке данных разностным методом мы получили следующие данные: аналогично числу цветков при равных массе лепестков и содержании астаксантина в них общий сбор данного вещества с единицы площади достоверно снизился на 65% и 43.5% при 2-ом и 3-ем сроках посева относительно контроля, и достоверно повысился на 71% при 4-ом сроке посева.

Таким образом, выращивание А. летнего в 4 срока посева позволяет получать сырье для получения астаксантина в течение периода с начала июня до осенних заморозков.

В эксперименте 2007-2008 гг. нами определялись полевая всхожесть и энергия прорастания семян. Первые всходы появились на 15 день, а массовые всходы на 31 день и продолжали появляться до 26 апреля, т.е. до 43 дня от посева в 2007 г. и до 45 дня в 2008 г. соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Влияние способов подготовки семян Адониса летнего на полевую всхожесть (шт.) (2007-2008 гг.)

Вариант	повторность	2007 г.	%	t	2008 г.	%	t
Контроль (сухие семена)	1	31	51		23	38	
	2	32	53		27	45	
	3	34	56		27	45	
	среднее	32	53		26	43	
Прогрев при +30°C, 21 день	1	39	65		35	58	
	2	35	58		37	62	
	3	37	62		34	57	
	среднее	37	62	3.28*	35	59	4.32*
Стратификация при +5°C, 21 день	1	48	82		58	96	
	2	54	90		49	81	
	3	53	88		54	90	
	среднее	52	87	13.15**	54	89	7.41**

Примечание: Посеяно по 60 семян;
 $t_{теор.}(0.95) = 3.18$ и $t_{теор.}(0.99) = 5.8$; Общая ошибка опыта = 6.75%.
* - существенно на уровне 0.95; ** - существенно на уровне 0.99.

Как видно из данных таблицы 3, в контроле полевая всхожесть оказалась довольно низкой и составила от 38 до 56% в зависимости от условий года. Исследован-



ные способы подготовки семян к посеву повысили полевую всхожесть на 37% (в 2007 г.) и 89% (в 2008 г.), соответственно. Менее значительное повышение показал прогрев семян при 30°C: в 2007 г. – на 15%, а в 2008 г. – на 35%. Максимальное повышение полевой всхожести дала стратификация семян А. летнего и составила 87% в 2007 г. и 89% в 2008 г. При этом абсолютный рост полевой всхожести оказался максимальным в 2008 и составил 88% по сравнению с контролем. Статистическая обработка цифровых данных показала высокую достоверность разницы обоих вариантов с контролем на уровне 0.95 и даже на уровне 0.99.

При определении влияния способов подготовки семян А. летнего на продукцию атаксантина нами получены следующие данные. Среднее количество растений на 1 м² в 2007 г. составило от 4.96 шт. до 5.60 шт., тогда как в 2008 г. – от 5.25 шт. до 6.25 шт. (табл. 4). Разница объясняется тем, что в 2007 г. цветение Адониса летнего пришлось на период длительной засухи, что привело к гибели части опытных растений.

Таблица 4

Влияние способов подготовки семян Адониса летнего на продукцию атаксантина (2007, 2008 гг.)

Вариант	Показатели					t
	Среднее кол-во растений на 1 м ² , шт.	Средняя масса лепестков, 1 растение, г	Сбор лепестков г/м ²	Среднее содержание атаксантина в лепестках, %	Сбор атаксантина г/м ²	
2007 г.						
Контроль (сухие семена)	5.60	1.176	6.585	1.1	0.0724	
Прогрев при 30°C, 21 день	6.40	1.680	10.725	1.1	0.1182	11.4**
Стратификация при +5°C, 21 день	4.92	2.604	12.811	1.1	0.1409	26.1**
2008 г.						
Контроль (сухие семена)	5.25	1.344	7.056	1.1	0.0835	
Прогрев при 30°C, 21 день	5.65	1.722	9.729	1.1	0.1070	10.64**
Стратификация при +5°C, 21 день	6.25	2.688	16.880	1.1	0.1856	29.4**

Примечание: t табл.(0.95) = 2.13 и t табл. (0.99) = 2.97; Общая ошибка опыта в 2007 г. 4.95%, в 2008 г. 5,85%.

- существенно на уровне 0.95; ** - существенно на уровне 0.99.

Необходимо отметить, что каждый боковой побег у Адониса летнего заканчивается цветком. Число боковых побегов в обоих опытных вариантах оказалось в 1.5-2 раза больше контроля, особенно в варианте со стратификацией семян. Возросла также суммарная длина боковых побегов в этих вариантах в 1.5–1.7 раза относительно контроля.

Как видно из данных таблицы 4, в 2007 г. при урожае лепестков от 65.8 до 128.1 кг/га в зависимости от варианта опыта при среднем содержании атаксантина 1100 мг%, общий сбор его колеблется от 0.724 кг/га (в контрольном варианте) до 1.409 кг/га (при стратификации). Статистическая обработка основных данных по продукции атаксантина показала, что общий сбор данного вещества с единицы площади достоверно повысился на 63.5 % при прогреве семян, и на 94.5% при стратификации семян относительно контроля.

Как видно из данных таблицы 4, в 2008 г. при урожае лепестков от 70.5 до 168.8 кг/га в зависимости от варианта опыта и среднем содержании атаксантина 1100 мг%, общий сбор его колеблется от 0.835 кг/га (в контрольном варианте)

до 1.856 кг/га (при стратификации). Цветки А. летнего накапливают по 400 ± 50 мкг астаксантина в летние месяцы, что позволяет получать до 2 кг/га этого биологически активного вещества с 1 м² посева.

Нами исследованы этапы органогенеза А. летнего, в том числе формирования продуктивных органов.

I этап органогенеза. Из инициальных клеток промеристемы формируется конус нарастания с первичными зачатками органов будущего побега. Период от образования группы инициальных клеток до появления зародышевой почки протекает на материнском растении в процессе формирования семян.

II этап органогенеза. Формирование вегетативной сферы узлов с зачатками листьев, междоузлий стебля. На II этапе развиваются ассимилирующие зачатки листьев (листовые примордии). У Адониса летнего они чешуевидные, дифференцированы на лопасти в связи с многократной рассеченностью листовой пластинки во взрослом состоянии (рис. 1А).

III этап органогенеза. У Адониса летнего III этап органогенеза не наблюдается т.к. III этап - это формирование оси соцветия [5], а у данного вида соцветия отсутствуют.

IV этап органогенеза. Наступление и течение IV этапа морфологически не определяется, т.к. на этом этапе происходит ветвление осей генеративных побегов, т.е. образование соцветия и заложение цветковых бугорков [5]. Адонис летний не имеет соцветия, поэтому на данном этапе происходит внутривертешечная дифференциация конуса нарастания в органы цветка.

V этап органогенеза. На V этапе у Адониса летнего происходит формирование и внепочечная дифференциация цветков. Закладываются тычинки, пестики и покровные органы цветка (рис. 1Б).

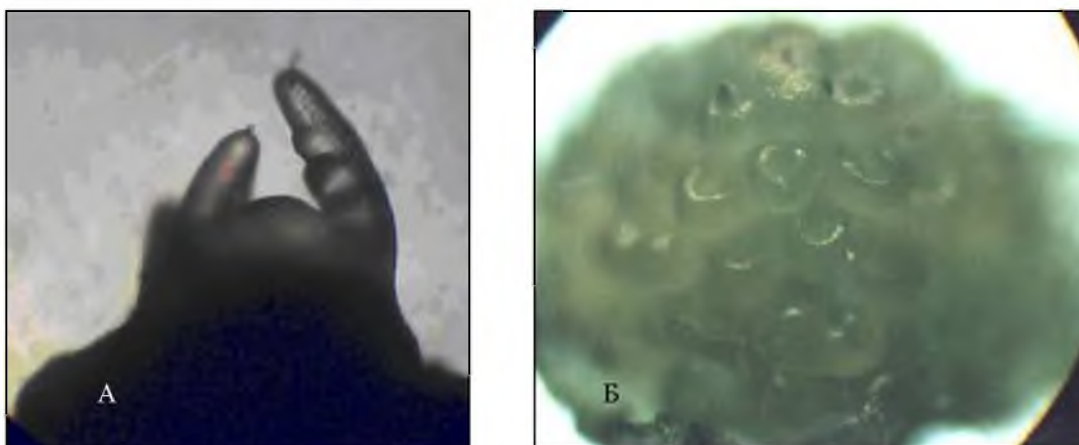


Рис. 1. Этапы органогенеза Адониса летнего: А – II этап; Б – V этап

VI этап органогенеза – микро- и макроспорогенез. На этом этапе в микроспорангиях микроспорофилла из каждого микроспороцита в результате 2-х делений мейоза образуются тетрада микроспор с гаплоидным набором хромосом в каждой (рис. 2А).

VII этап органогенеза – формирование мужского и женского гаметофитов. На данном этапе происходит формирование пыльцевых мешков, вытягивание тычиночных нитей, а также образование двухядерной пыльцы (вегетативное и генеративное ядра).

VIII этап органогенеза. У А. летнего VIII этап подразделяется на 2 подэтапа: VIIIа – созревание пыльцевых зерен и зародышевого мешка (завершение гаметогенеза); формирование околоцветника, начало окрашивания тычинок, удлинение тычиночных нитей. VIIIб – окрашивание околоцветника и сплошное окрашивание пыльцевых мешков, дальнейшее удлинение тычиночных нитей (рис. 2Б).

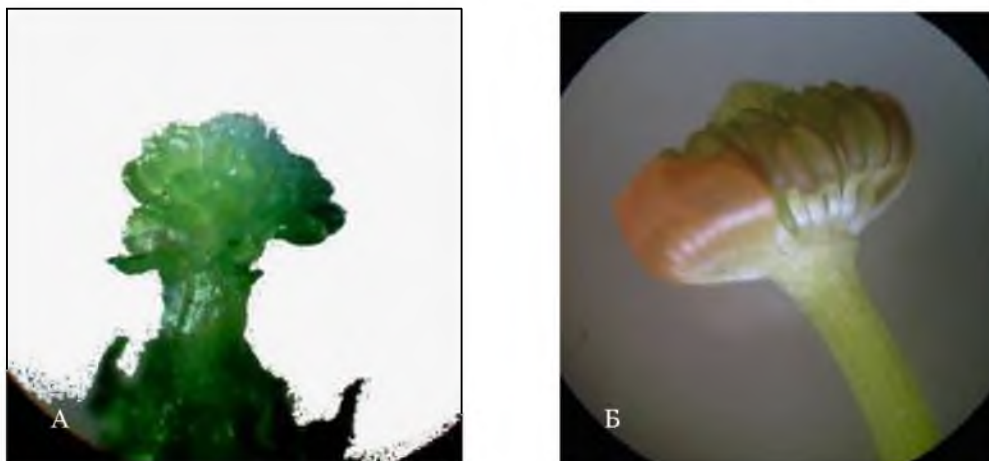


Рис. 2. Этапы органогенеза Адониса летнего: А – VI этап; Б – VIIIб подэтап

IX этап органогенеза – цветение, оплодотворение, образование зиготы. Перенос пыльцы осуществляется при помощи насекомых (энтомофилия). Попавшие на рыльце пыльцевые зерна начинают прорастать через 4-5 мин и уже через 15-20 мин можно наблюдать начало вращивания пыльцевого зерна в ткань рыльца (образование пыльцевой трубки) (рис. 3А).

X этап органогенеза – формирование семени, развитие и интенсивный рост плода до достижения им окончательных размеров.

XI этап органогенеза – накопление питательных веществ в плодах и семенах. Плоды у Адониса летнего (*Adonis aestivalis* L.) на этом этапе накапливают питательные вещества, которые поступают из других органов растения. Морфологически семена приобретают окончательные признаки – трехгранную форму с крючком (рис. 3Б).



Рис. 3. Этапы органогенеза Адониса летнего: А – IX этап; Б – XI этап

XII этап органогенеза – превращение питательных веществ в запасные и резкое снижение содержания воды в плодах и семенах. Продолжается синтез белков и крахмала, семена приобретают бурю окраску, склонны к осыпанию (рис. 4).

К концу данного этапа влажность семян падает до 10-15 %, детерминируется их масса и выполненность, на покровах семян формируются устьица, что является редко встречающимся морфологическим признаком цветковых растений (рис. 5).

У однолетних растений, в том числе у Адониса летнего, после цветения и плодоношения не остается жизнеспособных побегов или почек возобновления – они отмирают со всем растением. Таким образом, завершается большой жизненный цикл.



Рис. 5. XII этап органогенеза Адониса летнего

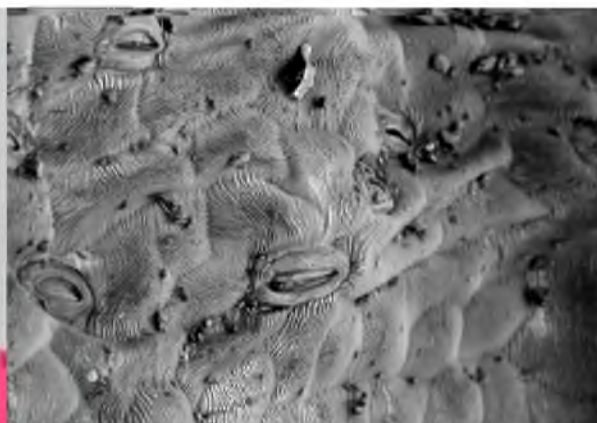


Рис. 6. Устьичный аппарат зрелых семян Адониса летнего *Adonis aestivalis* L.

В результате постановки лабораторного эксперимента по выбору оптимального метода предпосевной подготовки семян Адониса летнего нами получены следующие результаты (табл. 5).

Таблица 5
Выбор оптимального метода предпосевной подготовки семян Адониса летнего (2009 г.)

Варианты	Не нормально проросшие, загнившие, не проросшие семена		Нормально проросшие семена		t
	количество	доля, %	количество	доля, %	
1	17	34	33	66	6.84**
2	8	16	42	84	11.65**
3	20	40	30	60	5.74**
4	17	34	33	66	6.14**
5	8	16	42	84	11.08**
6	6	12	44	90	13.82**
7	6	12	44	88	12.23**
8	24	48	26	52	2.05
9	26	52	24	48	1.43
10	27	54	23	46	1.40

Примечание: в 1 повторности 50 семян; t теор. (0.95) = 2.45 и t теор. (0.99) = 3.71; Общая ошибка опыта = 5.25%.

* - существенно на уровне 0.95; ** - существенно на уровне 0.99.

рианты, т.е. 84%, 84%, 90% и 88% соответственно.

Следовательно, семена Адониса летнего после сухого хранения в течение трех месяцев находятся в состоянии физиологического неглубокого покоя (В1), который обусловлен физиологически слабым механизмом торможения.

Статистическая обработка цифровых данных показала высокую достоверность разницы всех вариантов с контролем на уровне 0.95 и даже на уровне 0.99, кроме 8 и 9 вариантов. Поскольку критерий Стьюдента фактический между 8 и 9 вариантами и

Из данных таблицы 11 видно, что из 10 исследованных вариантов 8 и 9 варианты показали самый низкий процент всхожести: 52% и 48% из-за массового поражения семян грибами. В 8 варианте, при разрушении покровов, и в 9 варианте, при длительной промывке водой, наблюдалось сильное поражение грибом. Это произошло, на наш взгляд, из-за сильного разрушения околоплодника, что создало благоприятные условия для развития грибов предположительно рода *Rhizobium*. 1, 3 и 4 варианты показали средний процент всхожести: 68%, 60% и 66% соответственно, т.е. можно сказать, что данные методы предпосевной обработки семян Адониса летнего не являются оптимальными.

Наиболее высокий процент всхожести семян Адониса летнего показали 2, 5, 6 и 7 ва-



контролем составляет 2.05 и 1.43 соответственно, что меньше $t_{0.95}$ и $t_{0.99}$, то разность считать достоверной нельзя.

Варианты 6 и 7 испытаны нами в полевом эксперименте в 2007 и 2008 гг., и получены аналогичные результаты, соответствующие данным лабораторного эксперимента.

Таким образом, можно сделать вывод, что 2, 5, 6 и 7 варианты опыта, а именно обработку гиббереловой кислотой, скарификацию (растирание с песком), стратификацию ($+3^{\circ}\dots+5^{\circ}\text{C}$, 21 день) и прогрев ($+30^{\circ}\text{C}$, 21 день) можно считать наиболее оптимальными из всех нами апробированных способов предпосевной подготовки семян Адониса летнего.

Эти способы подготовки можно рекомендовать при выращивании Адониса летнего как технической (лекарственной) культуры с целью извлечения астаксантина из лепестков для производства на его основе лекарственных препаратов.

Заключение

В настоящее время исследования растений, обладающих лечебными и стимулирующими свойствами, являются актуальными.

Астаксантин извлекается в промышленных масштабах из микроводоросли гематококкус, однако содержится в некоторых сухопутных растениях, а именно в наибольшей концентрации – в лепестках Адониса летнего (*Adonis aestivalis* L.), который до настоящего времени культивировался как цветочный однолетник.

Исследованиями G. Hussein (2005 г.) обнаружено высокое содержание астаксантина в данном растении, что подтверждено нашими исследованиями, и оно изменяется в зависимости от степени развития цветка.

В полевом мелкоделяночном эксперименте в течение трех лет (2006-2008 гг.) нами исследована возможность выращивания адониса летнего рассадным и безрассадным способом, изучено влияние сроков посева, а также различных способов подготовки семян на рост и развитие растений, продуктивность лепестков и семян.

В лабораторном эксперименте (2008-2009 гг.) изучены этапы органогенеза Адониса летнего и подобраны оптимальные способы предпосевной подготовки семян данной культуры.

Изучена биология А. летнего, а именно:

- изучено влияние сроков посева на рост, развитие и продуктивность растений;
- исследованы этапы органогенеза Адониса летнего по методике Ф.М. Куперман.

Изучена возможность использования Адониса летнего в качестве источника астаксантина:

- с одного растения, в зависимости от способа выращивания (рассадный и безрассадный) и климатических условий года (2006-2008 гг) было собрано от 18 до 68 цветков;
- средняя масса лепестков одного цветка составила 0.042 ± 0.005 г, т.е. накопление астаксантина на один цветок составило в среднем 400 ± 50 мкг;
- это позволило при рассадном методе выращивания растений получить от пределах 1 до 3.5 кг/га астаксантина, и несколько ниже при безрассадном методе выращивания растений – от 1.4 до 2 кг/га.

Разработаны элементы технологии выращивания Адониса летнего:

- апробированы рассадный и безрассадный способы выращивания культуры;
- апробированы различные способы подготовки и сроки посева семян;
- выращивание адониса летнего в 4 срока посева дает возможность получать сырье для получения астаксантина в течение периода с начала июня до осенних заморозков;
- определены оптимальные способы предпосевной подготовки семян;
- высокое содержание астаксантина в лепестках адониса летнего *Adonis aestivlis* L. позволяет извлекать его в промышленных объемах.

Таким образом, Адонис летний является перспективной технической культурой, которая позволит получать сырье для извлечения астаксантина в промышленных масштабах.

Список литературы

1. Агаханянц О. Е. Ботаническая география СССР: учебное пособие для пед. институтов по спец. «Биология» и «География». – Минск: Высшая школа, 1986. – 175 с.
2. Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений СССР. – М.: Наука, 1985. – С. 250 - 420.
3. Дейнека В.И., Сиротин А.А., Дейнека Л.А., Шаркунова Н. А. Сезонная динамика накопления астаксантина в лепестках *Adonis aestivalis* L. при выращивании в условиях черноземной зоны России (г. Белгород) // Растительные ресурсы. – 2007. – Вып. 4. – С.75-82.
4. Поиск новых растительных источников ксантофиллов / Дейнека В.И., Шаркунова Н.А., Третьяков М.Ю., Сиротина С.С., Лиманская И.Н. и др. // Научные ведомости БелГУ.- 2008.-№3(43).- С. 44 – 49.
5. Куперман Ф.М., Ржанова Е.И. Биология развития культурных растений: учеб. пособие. – М.: Высш. школа, 1982. – 343с.
6. Маисейченко В.Ф., Трифонова М.Ф. Основы научных исследований в агрономии – М.: Колос, 1996. – 387 с.
7. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности. – М.: Логос, 2002. – 264с.
8. Николаева М.Г. Физиология глубокого покоя семян. – Л.: Мир, 1967. – 206 с.
9. Николаева М.Г., Ляшук С.Ф. Значение температуры и аэрации в регулировании первичного и вторичного покоя семян // Роль температуры и фитогормонов в нарушении покоя семян. – Л: Мир, 1981. – С. 6–32.
10. Попцов А. В. Представление о типе нормального (незатрудненного) прорастания и значение его при изучении биологии прорастания семян интродуцентов / Качество семян в связи с условиями их формирования при интродукции. – Новосибирск, 1971. – С. 96–105.
11. Сиротин А.А., Сиротина Л.В., Сиротина С.С. Интродукция адониса летнего как источника астаксантина // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – №2. – С. 31-34.
12. Higuers-Ciajara I., Felix-Valenzuela L., Goycoolea F.M. Astaxanthin: A Review of its Chemistry and Application // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. – 2006. – Vol. 46. – P. 185-196.

WORKING OUT OF CULTIVATION TECHNOLOGY ELEMENTS' AND RESEARCH OF DEVELOPMENT STAGES OF THE SUMMER ADONIS (*ADONIS AESTIVALIS*L.) AS A SOURCE OF ASTAXANTHINE

**A.A. Sirotin, V.I. Deineka,
S.S. Sirotina**

*Belgorod State University
Pobedy Str., 85, Belgorod,
308015, Russia*

E-mail: sirotin@bsu.edu.ru

The object of the research is an annual floral plant Ranunculaceae the *Adonis aestivalis* L. in petals of which high concentration of astaxanthin is revealed. The basic receptions of cultivation of the given culture are developed. Dynamics of accumulation astaxanthin in flowers of different age is defined. For the first time the stages of the *Adonis aestivalis* L. development were studied by a technique of F.M. Kuperman. The description of the basic stages of development is given. The scope is caused by the use of the *Adonis aestivalis* L. as a commercial crop - the source of raw material for manufacture astaxanthin.

Keywords: *Adonis aestivalis* L., astaxanthin, technology of cultivation, stages of development.