

УДК 181.19:582.76

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ЗАПАСНЫХ УГЛЕВОДОВ В СЕМЕНАХ ИНВАЗИОННОГО ВИДА *ACER NEGUNDO* И АБОРИГЕННОГО ВИДА *ACER TATARICUM* В СВЯЗИ С ИХ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ В БИОЦЕНОЗАХ

© 2024 г. М. В. Семенова[®], В. В. Кондратьева, А. Г. Куклина,
Л. С. Олехнович, Т. В. Воронкова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, ул. Ботаническая, 4, Москва, 127276 Россия

[®]E-mail: lab-physiol@mail.ru

Поступила в редакцию 22.06.2023 г.

После доработки 19.09.2023 г.

Принята к публикации 20.09.2023 г.

Изучали изменения в содержании различных фенолкарбоновых кислот (ФКК) – хлорогеновой (ХК), кофейной (КК), феруловой (ФК), а также суммы флавоноидов и запасных углеводов (моносахаридов, полисахаридов и крахмала) в тканях зародышей семян *Acer tataricum* и *Acer negundo* (аборигенный и инвазивный виды, соответственно) при их хранении с октября по март (холодная камера, $t^{\circ} = +5^{\circ}\text{C}$, влажность 80%). Отмечен значительный рост содержания ХК и отсутствие КК в декабре–январе у аборигенного вида с длительным периодом покоя. У инвазивного вида *A. negundo*, не имеющего периода покоя, уровень ХК также увеличился, но был в десять раз ниже, чем у *A. tataricum*, при этом идентифицирован высокий уровень КК. По содержанию флавоноидов аборигенный вид *A. tataricum* в десять раз превосходит инвазивный *A. negundo*. Содержание углеводов у *A. tataricum* составляло около 40%, а в тканях зародышей семян *A. negundo* около 15% и не менялось в течение всего периода хранения. Обсуждается динамика содержания фенольных соединений и форм запасных углеводов, их связь с активацией метаболических процессов и протекторных антистрессовых механизмов в период холодного хранения семян и конкурентоспособностью в биоценозах.

Ключевые слова: *Acer tataricum*, *Acer negundo*, семена, инвазивный вид, фенолкарбоновые кислоты, флавоноиды, запасные углеводы

DOI: 10.31857/S1026347024040092, **EDN:** VHGVQR

Массовое распространение инвазивных видов растений приводит к ряду проблем в природных биоценозах и существенно влияет на экономику региона (Виноградова и др., 2022). В связи с этим изучение агрессивных инвазивных видов, их взаимодействия с аборигенными видами становится все более актуальным.

На территории России встречается около 20 аборигенных видов клена (*Acer* L., *Sapindaceae*). В европейской части страны произрастают: *A. tataricum* L., *A. pseudoplatanus* L., *A. campestre* L., *A. platanoides* L.

Естественный ареал клена татарского *A. tataricum* L. (секция *Ginnala*) в основном расположен в черноземной полосе европейской части России. Он используется в озеленении, изредка дичает.

Одним из активно распространяющихся видов является клен ясенелистный – *Acer negundo* L. (секция *Negundo*), естественный ареал которого находится

в Северной Америке. Он приспособился к различным почвенно-климатическим условиям и расселился от Калининграда до Владивостока (Виноградова и др., 2022). В европейской части России *A. negundo* стал опасным инвазивным видом, вытесняющим аборигенную флору. Он успешно произрастает в густонаселенных районах, проникая в природоохранные зоны. *A. negundo* отличается устойчивостью к биогенным и абиогенным стрессам. Реализация функций агрессивного инвазивного генотипа закрепляется в ходе микроэволюции и сопровождается сложными физиологическими процессами, происходящими в семенах (Виноградова и др., 2022).

Плоды *A. negundo* и *A. tataricum* – крылатки, состоящие из двух крылышек с одним семенем в каждом, созревают в августе – октябре, но осыпаются только в начале вегетации, т. е. остаются на дереве до весны. Семена у обоих видов клена без эндосперма.

Семена *A. tataricum*, хотя и адаптированы к сезонным климатическим изменениям, к моменту опадения плодов, еще не достигают физиологической зрелости. Они обладают выраженным состоянием покоя и нуждаются в длительной стратификации (до 200 дней). Всхожесть семян сохраняется в течение 2–3 лет (Воронина и др., 2021).

Семена *A. negundo* уже в начале августа содержат максимальное количество запасных питательных веществ и готовы к прорастанию (Бугрова, 2014). По данным исследований М.И. Седаевой и А.И. Лобанова (Седаева, Лобанов, 2018) потенциальная жизнеспособность семян *A. negundo* достигает до 96%; у *A. tataricum* – 91%.

В отечественной литературе сведений о биохимических особенностях *A. negundo* и *A. tataricum* очень мало. Обсуждаются различные гипотезы, объясняющие способность видов к быстрой адаптации и последующей натурализации в новых местах обитания (Виноградова и др., 2010). Сравнительное изучение физиологических процессов в отдельных органах натурализующихся инвазионных и аборигенных видов одного таксона позволяет глубже понять адаптационные особенности их метаболизма (Kupchan *et al.*, 1971; Inoue *et al.*, 1992; Zhao, Cheng 1998; Veselkin *et al.*, 2019). В многоступенчатом адаптационном механизме у растений значительную роль играют фенолкарбоновые кислоты (ФКК), присутствующие в тканях в виде сложных эфиров, а также моносахариды и полисахариды (Dixon, Paiva, 1995; Zhao, Zou, 2002; Boudet, 2007; Pourcel *et al.*, 2007). Процессы метаболизма в семенах инвазионных и аборигенных видов в связи с их конкурентоспособностью исследованы недостаточно. Анализ специфики накопления фенольных соединений и углеводов в зародышах семян этих видов остается актуальным.

Цель данного исследования – сравнить динамику содержания вторичных метаболитов и запасных углеводов в семенах аборигенного вида *A. tataricum* и инвазионного *A. negundo* в период холодного хранения и оценить их конкурентоспособность в биоценозах. Задача изучения – проанализировать изменения содержания фенолкарбоновых кислот, суммы флавоноидов и различных форм углеводов (моносахаридов, полисахаридов и крахмала) в тканях зародышей семян двух видов кленов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования. Семена аборигенного *A. tataricum* и инвазионного вида *A. negundo* собраны на территории памятника природы “Участок русла реки Суры” (53.725283° с.ш.; 45.495777° в.д.) в окрестностях пос. Луговой Лунинского района Пензенской области в сентябре 2022 г. Для сбора образцов выбирали по 5 деревьев, растущих рядом

в одном биотопе прирусловой поймы. Из среднего яруса каждого дерева собирали зрелые семена и помещали в холодильную камеру при температуре +5°C и влажности 80%. Ежемесячно с октября по март для биохимического исследования выделяли зародыши из 30–40 семян обоих видов. Анализы выполняли на свежем материале. Перед каждым анализом визуально оценивали качество семян (%) обоих видов, отбраковывая семена с повреждениями и пораженные болезнями.

Анализ фенолкарбоновых кислот (ФКК). Анализ проводили методом ВЭЖХ, модифицированным в лаборатории физиологии и биохимии растений ГБС РАН. Навеску зародышей семян массой 0.1 г заливали 80% этанолом и помещали на магнитную мешалку на 1 ч в холодильник (при температуре 3–5°C). Процедуру повторяли три раза. Объединенный экстракт фильтровали и упаривали досуха на ротационном испарителе при температуре 40°C. Сухой остаток растворяли в 1 мл 96% этанола. Экстракт очищали методом тонкослойной хроматографии на силиколовых пластинках в восходящем токе растворителя БУВ: н-бутанол, уксусная кислота и вода (в соотношении 6:1:2). Внешним стандартом были синтезированные аналоги хлорогеновой (ХК), кофейной (КК), феруловой (ФК) кислот (фирма Serva, Германия). Пятно с ФКК счищали с пластинок, элюировали в 2 мл 96% этанола при температуре +5°C, элюат сливали и упаривали досуха. Идентификацию и количественное определение ФКК проводили на изократической системе “Стайер” (Россия) методом ВЭЖХ на колонке с обращенной фазой RP-18, жидкая фаза: ацетонитрил, вода и уксусная кислота (в соотношении 50:50:1). Идентификацию ФКК проводили при длине волны 254 нм. Все образцы брали в 5-кратной аналитической повторяемости.

Анализа суммы флавоноидов. Для анализа использовали реактив Фолина-Чокальтеу (Денисенко и др., 2015). Навеску зародышей семян массой 1 г гомогенизировали с добавлением 70% этанола, центрифугировали при 2000 г и надосадочную жидкость доводили водой до объема 25 мл. Из полученного раствора отбирали аликвоты для определения фенольных соединений. В колбе на 25 мл смешивали исследуемый раствор, 0.3 мл реактива, 3 мл 20% Na_2CO_3 и доводили объем до метки. Светопоглощение растворов измеряли через 20 мин при длине волны 720 нм. Сумму флавоноидов определяли по градуировочному графику, построенному ранее, используя спектрофотометр Spekol 300. Для приготовления раствора сравнения в колбе на 25 мл смешивали 3 мл 20% раствора Na_2CO_3 и 0.3 мл реактива Фолина, затем доводили до метки 70% этанолом. Результаты приведены в пересчете на кверцетин.

Анализ состава запасных углеводов. Анализ проводили колориметрическим методом (Минеев,

2001). Навеску семян массой 1 г гомогенизировали с добавлением дистиллированной воды, затем центрифугировали при 2000 г и надосадочную жидкость доводили водой до объема 25 мл, отбирали аликвоты в 3-х повторностях для определения моносахаридов. Для определения полисахаридов и крахмала применяли кислотный гидролиз. Далее в пробирке смешивали аликвоту исследуемого раствора с 3 мл насыщенного раствора пикриновой кислоты и 3 мл 20% раствора Na_2CO_3 , помещали в кипящую водяную баню на 30 мин, затем переносили в колбу на 25 мл и доводили до метки дистиллированной водой. Моносахариды, полисахариды и крахмал количественно определяли по градуировочному графику, построенному ранее, на спектрофотометре Spekol 300 (Минеев, 2001). Для приготовления раствора сравнения в колбе на 25 мл смешивали 3 мл насыщенного раствора пикриновой кислоты, 3 мл 20% раствора Na_2CO_3 и доводили до метки дистиллированной водой. Результаты приведены в пересчете на глюкозу.

Статистический анализ. Определение среднего значения показателей (М) и стандартного отклонения ($\pm\text{SEM}$) выполняли в Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Во время созревания семян происходит превращение различных органических веществ, при этом основными формами запасных веществ являются крахмал, жиры и белки. По преобладающей форме запасных веществ семена разделяют на крахмалистые и маслянистые. Семена *A. negundo* можно

отнести к маслянистым т. к. по литературным данным уже в начале осени более половины массы семян *A. negundo* составляют запасные питательные вещества, в том числе углеводы 6.8%, жиры — 29.5%, белки — 7.5% (Бугрова, 2014). В нашем исследовании сумма запасных сахаров в семенах *A. negundo* составляла в среднем 15% от массы зародыша и практически не менялась с октября по март. При этом преобладали моно- и полисахариды. Значимое количество крахмала отмечено только в октябре и ноябре.

Данных о составе запасных веществ в семенах *A. tataricum* в литературе не обнаружено. В нашем исследовании в семенах *A. tataricum* сумма углеводов составила до 40% от массы зародыша, представленных, в основном, моносахаридами. Содержание крахмала было менее 25% от суммы запасных сахаров. Оно оставалось относительно стабильным в течение всего периода наблюдений и снизилось к марту (рис. 1). Очевидно, *A. tataricum* по составу запасных веществ семян близок к клену серебристому (*Acer saccharinum* L., секция *Rubra*), происходящему из Северной Америки. Семена *A. saccharinum* содержат до 62% углеводов (Бугрова, 2014), так же, как и у *A. tataricum* опадают весной, а для их проращивания требуется длительная холодная стратификация.

Фенолкарбоновые кислоты, активно участвующие в ростовых и протекторных механизмах, часто находятся в растениях в виде сложных эфиров. Так, наиболее распространенная ХК является сложным эфиром КК и хинной кислоты. Она формирует устойчивость растений к поражению фитопатогенными грибами, является регулятором ростовых процессов (Дейнека и др., 2008). Однако собственно ХК обладает слабой активностью, наиболее

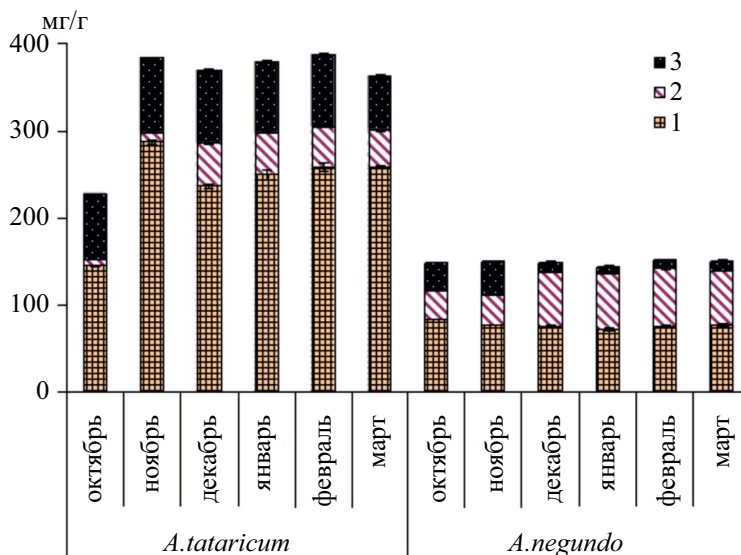


Рис. 1. Динамика содержания запасных сахаров в семенах *Acer tataricum* и *Acer negundo* в период холодного хранения: 1 — моносахара, 2 — полисахариды, 3 — крахмал, мг/г воздушно-сухой массы.

Таблица 1. Содержание ФКК в тканях зародышей семян *Acer tataricum* и *A. negundo*, мкг/г

Дата	<i>Acer tataricum</i>			
	ХК	КК	ФК	КК/ХК
Октябрь	1.58 ± 0.18	0.82 ± 0.05	нет	0.52
Ноябрь	40.24 ± 2.27	нет	3.83 ± 0.33	нет
Декабрь	252.84 ± 5.89	нет	6.62 ± 0.55	нет
Январь	182.75 ± 5.89	нет	4.25 ± 0.32	нет
Февраль	44.40 ± 1.05	нет	2.27 ± 0.64	нет
Март	0.49 ± 0.05	нет	0.07 ± 0.02	нет
	<i>Acer negundo</i>			
	ХК	КК	ФК	КК/ХК
Октябрь	1.61 ± 0.16	0.94 ± 0.08	нет	0.58
Ноябрь	1.41 ± 0.11	0.96 ± 0.05	нет	0.68
Декабрь	2.69 ± 0.25	0.77 ± 0.07	0.11 ± 0.02	0.3
Январь	2.54 ± 0.24	0.99 ± 0.01	0.21 ± 0.03	0.4
Февраль	1.23 ± 0.17	0.57 ± 0.02	0.03 ± 0.01	0.48
Март	1.71 ± 0.24	0.44 ± 0.03	0.12 ± 0.02	0.26

активна КК, являющаяся ее производным. В связи с этим более корректно оценивать воздействие ФКК на устойчивость растений к биогенным и абиогенным стрессам по соотношению КК/ХК (Meng *et al.*, 2013). В наших исследованиях выявлена отрицательная корреляция между соотношением КК/ХК и степенью поражения патогеном (Каштанова и др., 2021). Защитные функции оксикоричных кислот отмечены в экспериментах с листьями *Urtica dioica* L., клеточные стенки которых утолщаются и препятствуют проникновению токсичных веществ (Бобина и др., 2021). В растениях часто присутствует феруловая кислота, которая входит в состав лигнина, участвует в метаболизме свободных радикалов, блокирующих активные формы кислорода, в тканях растений. ФК, как правило, представлена в виде гликозида (Blum, Rebbeek, 1989; Dixon, Paiva, 1995).

В тканях зародыша обоих видов клена в течение всего периода наблюдений идентифицировали ХК и ФК, а у *A. negundo* – еще и КК (табл. 1).

Динамика этих фенольных соединений с октября по март существенно не отличалась у аборигенного и инвазионного видов. В октябре уровень ХК почти одинаков у обоих видов. В этот период и у *A. negundo* и у *A. tataricum* идентифицирована КК, а ФК не найдена в тканях зародышей обоих видов клена.

В декабре-январе у аборигенного вида с длительным периодом покоя уровень ХК возрастает в сотни раз по сравнению с исходным, достигая максимума, а затем снижается в марте, при этом КК не обнаружена.

У *A. negundo*, не имеющего периода покоя, содержание ХК также растет в декабре-январе, а в остальные месяцы существенно не меняется, при этом отмечается высокий уровень КК, снижающийся к марту. Максимальное соотношение КК/ХК

отмечено в ноябре и феврале, т. е. при вхождении в период отрицательных температур и при подготовке к весенней вегетации в естественных условиях. Уровень ФК на порядок выше у *A. tataricum*, максимум содержания ее в тканях клеток зародыша, как и ХК, в декабре-январе. Вероятно, в семенах *A. negundo*, не имеющих периода покоя идут активные метаболические процессы по подготовке к быстрому прорастанию при возникновении подходящих условий и ФКК использовались для включения ростовых процессов и запуска протекторных антистрессовых механизмов.

В наших лабораторных опытах семена *A. negundo* прорастали и в январе, и в феврале, и в марте, образуя жизнеспособные проростки, тогда как у *A. tataricum* семена не прорастали в марте, после 5 месяцев стратификации (Кондратьева и др., 2023). Выявлено, что количество полноценных семян с неповрежденным зародышем у *A. negundo* выше, чем у семян *A. tataricum* в период хранения при температуре +5°C (табл. 2).

Несмотря на то, что общее содержание ХК за изученный период в зародышах семян *A. tataricum* превосходило более чем в 100 раз уровень ХК у *A. negundo*, активный метаболит, КК, отсутствовал. Вероятно, без специфических внешних условий (стратификация) запуск ростовых и протекторных механизмов у *A. tataricum* происходит медленней, чем у *A. negundo*, семена долго не прорастают и проростки теряют преимущество при конкурентной борьбе за выживание и распространение в биоценозе.

С формированием протекторных антистрессовых механизмов связаны наиболее часто встречающиеся в растениях фенольные соединения – флавоноиды (Pourcel *et al.*, 2007). Среди этих

Таблица 2. Визуальная оценка качества зародыша в семенах *A. negundo* и *A. tataricum* при холодном хранении, %

Месяц	<i>A. negundo</i>	<i>A. tataricum</i>
Октябрь	100	100
Ноябрь	100	95
Декабрь	96	75.5
Январь	90	78.2
Февраль	92	60.5
Март	94	70.4

Таблица 3. Динамика содержания суммы флавоноидов в семенах *A. tataricum* и *A. negundo* в период холодного хранения, мг/г воздушно-сухой массы

Дата	<i>A. tataricum</i>	<i>A. negundo</i>
Октябрь	163.5 ± 11.2	2.11 ± 0.08
Ноябрь	22.2 ± 1.3	2.33 ± 0.09
Декабрь	22.4 ± 0.5	2.72 ± 0.09
Январь	23.7 ± 0.7	2.61 ± 0.09
Февраль	23.5 ± 0.6	2.62 ± 0.12
Март	22.3 ± 1.2	3.92 ± 0.19

многофункциональных соединений выделяют семь групп, различающихся по химическому строению и свойствам, участвующих в окислительно-восстановительном метаболизме (Волинец, 2013; Загоскина, 2018). Флавоноиды, по-видимому, играют значительную роль в процессе созревания семян. Высокая антиоксидантная активность обнаружена как в водных, так и в спиртовых экстрактах из молодых листьев, женских и мужских цветков *A. negundo* (Виноградова и др., 2022). В цветках *A. negundo* содержатся флавоноиды, обладающие антиоксидантной активностью, а в зрелых плодах их уровень в 3 раза ниже, чем в зеленых (Куклина, Цыбулько, 2020). Значительные отличия выявлены нами между семенами *A. negundo* и *A. tataricum* по содержанию флавоноидов. В семенах *A. negundo* уровень флавоноидов стабильный и невысокий по сравнению с *A. tataricum* с октября по март (табл. 3). В семенах *A. tataricum* наибольшее количество флавоноидов отмечено в октябре. В ноябре их содержание резко снизилось в это же время значительно возросло количество моносахаридов. В тот же период, в ноябре зафиксировано поражение семян *A. tataricum* кленовым долгоносиком-семяедем ~ до 30%. Поскольку флавоноиды часто находятся в растительных тканях в форме гликозидов, возможно, при расходовании активной части молекулы на метаболические процессы высвобождаются моносахара, пополняющие фонд запасных углеводов. В дальнейшем с ноября по март сумма флавоноидов в семенах *A. tataricum* оставалась стабильной (табл. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты нашего исследования показали, что семена аборигенного вида *A. tataricum*, имеющего продолжительный период покоя и нуждающиеся в длительной стратификации, отличаются высоким уровнем ФКК, флавоноидов и запасных углеводов (преимущественно моносахаридов). Но в них не идентифицирована КК – наиболее активный метаболит, в сравнении с ХК.

Установлено, что инвазионный *A. negundo* по сравнению с аборигенным *A. tataricum* отличается рядом преимуществ, способствующих лучшим конкурентным возможностям. Его семена, не требуют стратификации, до весеннего периода они сохраняют хорошую доброкачественность и высокую жизнеспособность. В осенне-зимний период в семенах *A. negundo* отмечен низкий уровень ХК и ФК, флавоноидов и запасных углеводов, но высокий уровень КК.

Возможно, в семенах *A. negundo*, не имеющих периода покоя, ростовые и протекторные механизмы активны в течение всего осенне-зимнего периода благодаря комплексу вторичных метаболитов и запасных веществ. При появлении благоприятных условий температуры и влажности семена *A. negundo* быстро прорастают, образуют дружные всходы и занимают свободные участки в биоценозе, препятствуя росту и развитию аборигенных растений.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена по теме Государственного задания ГБС РАН № 075-00745-22-01 “Инвазионные растения России: инвентаризация, биоморфологические особенности и эффективные методы контроля расселения”, № госрегистрации 122042600141-3. Благодарим Министерство Науки и Высшего образования РФ за поддержку ЦКП “Гербарий ГБС РАН”, грант 075-15-2021-678.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны инженеру О.Л. Ениной за помощь в подготовке образцов к анализу и первичную обработку результатов исследования.

СОБЛЮДЕНИЕ
ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бобина Е. А., Шишорина Л. А., Дьякова Н. А. Влияние антропогенного воздействия на накопление оксикоричных кислот в листьях крапивы двудомной, собранной в урбаноценозах Воронежской области // Смоленский медицинский альманах. 2021. № 1. С. 48–51.
- Бугрова, К. В. Доброкачественность и всхожесть семян клена ясенелистного и клена Гиннала // Научное творчество молодежи — лесному комплексу России: материалы X Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов; ред. С. В. Залесов [и др.]. — Екатеринбург: УГЛУ. 2014. Ч. 2. С. 22–24.
- Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Хорун Л. В. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды в экосистемах Средней России. М.: ГЕОС. 2010. 512 с.
- Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Костина М. В. Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.): морфология, биология и оценка инвазивности. М.: Т-во науч. изданий КМК. 2022. 218с.
- Вольнец А. П. Фенольные соединения в жизнедеятельности растений. Минск: Беларусская наука. 2013. 283с.
- Воронина В. П., Долмонега М. А., Зарубина А. В. Биологические особенности видов рода клен (*Acer*) на урбанизированных почвах Нижнего Поволжья // Вестн. Бурят. гос.с.-х. акад. им. В. Р. Филиппова. Улан-Удэ. 2021. N 2(63). С. 69–76. <https://doi.org/10.34655/bgsha.2021.63.2.010>
- Дейнека В. И., Хлебников В. А., Сорокопудов В. Н., Анисимович И. П. Хлорогеновая кислота плодов и листьев некоторых растений семейства Berberidaceae // Химия растительного сырья. 2008. № 1. С. 57–61.
- Денисенко Т. А., Вишник А. Б., Цыганок Л. П. Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу // Аналитика и контроль. 2015. Т. 19. № 4. С. 373–380. <https://doi.org/10.15826/analitika.2015.19.4.012>.
- Загоскина Н. В. Фенольные соединения: функциональная роль в растениях. М.: ИФР РАН, 2018. 443 с.
- Каштанова О. А., Ткаченко О. Б., Кондратьева В. В., Олехнович Л. С., Воронкова Т. В. Устойчивость таксонов конского каштана *Aesculus* к каштановой минирующей моли *Cameraria ohridella* // Субтропическое и декоративное садоводство. 2021. Вып. 79. С. 153–163. <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2021-79>
- Кондратьева В. В., Семенова М. В., Олехнович Л. С., Воронкова Т. В., Енина О. Л. Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) как фактор воздействия на растительность речной поймы, физиологический аспект// Теоретические и прикладные аспекты организации проведения и использования мониторинговых наблюдений. Материалы международной научной конференции. Минск. 2023 С. 216–218.
- Куклина А. Г., Цыбулько Н. С. Фитохимический анализ генеративных органов и листьев *Acer negundo* и *A. platanoides* // Вестник ТвГУ. Серия “Биология и экология”. 2020. Вып. 1 (57). С. 139–148.
- Минеев В. Г. Определение растворимых углеводов фотометрически с пикриновой кислотой (модификация Соловьева) // Практикум по агрохимии. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ. 2001. С. 419–422.
- Седаева М. И., Лобанов А. И. Фенология и репродуктивная способность растений рода *Acer* L. в дендрарии Института леса им. В. Н. Сукачева (Красноярск) // Hortus Botanicus. 2018. Т. 13. С. 260–272.
- Blum U., Rebbeek J. Inhibition and recovery of cucumber roots given multiple treatments of ferulic acid in nutrient culture // J. Chem. Ecol. 1989. V. 15. P. 917–928.
- Boudet A.-M. Evolution and current status of research in phenolic compounds // Phytochemistry. 2007. V. 68. P. 2722–2735.
- Dixon R. A., Paiva N. L. Stress-induced phenylpropanoid metabolism // Plant Cell. 1995. V. 7. P. 1085–1097.
- Inoue T., Sakurai N., Nagai S. Studies on the constituents of Aceraceae plants (X). Isolation of flavonoid glycosides and a cerebroside from the leaves of *Acer negundo* // Shoyakugaku Zasshi. 1992. V. 46. № 3. P. 261–264.
- Kupchan S. M., Takasugi M., Smmith R. M., Steyn P. S. Tumor inhibitors. LXII. Structures of acerotin and acero-cin. Novel triterpene ester aglycones from the tumor inhibitory saponins of *Acer negundo* (maple) // Journal of Organic Chemistry. 1971. V. 36. P. 1972–1976. <https://doi.org/10.1021/jo00813a028>
- Meng S., Cao J., Feng Q., Peng J., Hu, Y. Roles of chlorogenic acid on regulating glucose and lipids metabolism: a review // Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM, 2013. V. 2013. Article ID801457, 11 p. <http://doi.org/10.1155/2013/801457>
- Pourcel L., Routaboul J. M., Cheynier V., Lepiniec L., Debeaujon I. Flavonoid oxidation in plants: from biochemical properties to physiological functions // Plant Sci. 2007. V. 12. № 1. P. 29–36.
- Veselkin D. V., Kuyantseva N. B., Chashchina O. E., Mumber A. G., Zamshina G. A. Molchanova D. A. Levers of leaf damage by phyllophages in invasive *Acer nungundu* and native *Betula pendula* and *Salix caprea* // Russian Journal Ecology. 2019. V. 50. №.6. P. 511–516. <https://doi.org/10.1134/S1067413619060134>
- Zhao L., Cheng X. Comparative Analysis on Water Soluble Phenolic Substances in Male and Female Plant Leaves of *Acer negundo* L. // J. of Xinjiang Agricultural University. 1998. V. 3. P. 229–232.
- Zhao H. J., Zou Q. Protective effects of exogenous antioxidants and phenolic compounds on photosynthesis of wheat leaves under high irradiance and oxidative stress // Photosynthetica. 2002. V.40. P. 523–527.

**Phenolic compounds and spare carbohydrates content dynamics
in seeds of the invasive species *Acer negundo* and the native species *Acer tataricum*
in connection with their competitiveness in biocenoses**

© 2024 M. V. Semenova[@], V. V. Kondrat'eva, A. G. Kuklina,
L. S. Olekhovich, T. V. Voronkova

Federal State Budgetary Institution of Science N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the RAS,

⁴ *Botanic Str., Moscow, 127276 Russia*

[@]*E-mail: lab-physiol@mail.ru*

Changes in the content of various phenolic carboxylic acids (FCC) – chlorogenic (HC), caffeic (CC), ferulic (FC), as well as the amounts of flavonoids and spare carbohydrates (monosaccharides, polysaccharides and starch) in the tissues of *Acer tataricum* and *Acer negundo* seed embryos (indigenous and invasive species, respectively) during their storage were studied from October to March (cold chamber, $t^{\circ} = +5^{\circ}\text{C}$, humidity 80%). There was a significant increase in the content of HC and the absence of CC in December-January in an aboriginal species with a long dormant period. In the invasive species *A. negundo*, which does not have a rest period, the level of HC also increased, but was ten times lower than in *A. tataricum*, while a high level of CC was identified. In terms of flavonoid content, the native species *A. tataricum* is ten times superior to the invasive *A. negundo*. The carbohydrate content in *A. tataricum* was about 40%, and in the tissues of *A. negundo* seed embryos about 15% and did not change during the entire storage period. The dynamics of the content of phenolic compounds and forms of spare carbohydrates, their relationship with the activation of metabolic processes and protective anti-stress mechanisms during the cold storage of seeds and competitiveness in biocenoses are discussed.

Keywords: Acer tataricum, Acer negundo, seeds, invasive species, phenolic carboxylic acids, flavonoids, spare carbohydrates