

УДК 574.2:58.009

**МОРФО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
MELILOTUS OFFICINALIS (FABACEAE, MAGNOLIOPSIDA)
В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

С. А. Дубровная, Л. З. Хуснетдинова, Н. К. Аттобрах

*Казанский федеральный университет
Россия, 420008, Казань, Кремлевская, 18
E-mail: sdubrovnaya@inbox.ru*

Поступила в редакцию 27.06.2019 г., после доработки 12.11.2019 г., принята 24.01.2020 г.

*Дубровная С. А., Хуснетдинова Л. З., Аттобрах Н. К. Морфо-физиологическая и экологическая характеристика *Melilotus officinalis* (Fabaceae, Magnoliopsida) в условиях Республики Татарстан // Поволжский экологический журнал. 2020. № 2. С. 151 – 164. DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-2-151-164>*

Исследована изменчивость морфологической структуры надземных вегетативных и генеративных органов *Melilotus officinalis* в экотонных сообществах лесостепной зоны, лесной зоны Республики Татарстан и на нарушенном участке лесной зоны, а также проведена оценка содержания аскорбиновой кислоты в различных частях растений в данных местобитаниях. Было выявлено, что реализация морфо-физиологического потенциала растений определялась условиями ботанико-географических зон. Растения донника лекарственного, произрастающие на черноземных почвах в условиях экотонных сообществ лесостепной зоны, отмечались более высокими показателями «общая биомасса», «биомасса листьев», «биомасса соцветий» по сравнению с растениями из сходных сообществ, сформированных на серых почвах лесной зоны. В условиях экотонных сообществ лесостепной зоны содержание аскорбиновой кислоты во всех частях растения также было выше. Растения *M. officinalis*, существующие в условиях нарушенного почвенного слоя и сниженной конкуренции с другими травянистыми видами, характеризовались максимальной реализацией био-морфологического потенциала при низком показателе коэффициента вариации (C_v), что отражает большую однородность выборки. У растений в экстремальных условиях отмечали резкое увеличение концентрации аскорбиновой кислоты во всех частях, что можно рассматривать в качестве важного механизма адаптации вида к существованию в условиях резкого перепада температуры субстрата. Наряду с увеличением генеративного периода важным компонентом адаптации вида являлась низкая взаимосвязь между показателем «биомасса соцветий» и концентрацией аскорбиновой кислоты в соцветиях, «биомасса соцветий» и концентрацией аскорбиновой кислоты в листьях, что отражало стабильный процесс формирования генеративной системы донника. Все ценопопуляции характеризовались неполночленным онтогенетическим спектром с абсолютным максимумом на растениях средневозрастного онтогенетического состояния (95%).

Ключевые слова: *Melilotus officinalis*, морфо-физиологическая адаптация, аскорбиновая кислота.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-2-151-164>

ВВЕДЕНИЕ

Изучение биологии видов, характеризующихся широким ареалом распространения, представляет значительный интерес, поскольку позволяет выявить защитно-приспособительные реакции организма, затрагивающие физиологические и морфологические процессы адаптации, выявить популяционные механизмы, обеспечивающие устойчивое существование вида в сообществе. Донник лекарственный (*Melilotus officinalis* (L.) Pall., 1776) широко распространен на территории Республики Татарстан (РТ), является типичным растением нарушенных местообитаний, произрастает на песчаных и щебенистых почвах, где характеризуется максимальной реализацией биомассы и в короткий временной интервал формирует чистые заросли. Отмечается, что способность донника к освоению новых территорий, обусловлена огромным запасом устойчивости к изменяющимся условиям окружающей среды, высокой физиологической пластичностью (Баширова, 2006; Jasicka-Misiak et al., 2017; Liu et al., 2018).

Цель исследования – выявление морфо-физиологических механизмов адаптации *M. officinalis*, обуславливающие его существование в экологически различающихся условиях.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объект исследования. Объектами исследования были ценопопуляции донника лекарственного. Донник – евроазиатский вид с широкой экологической валентностью. Сбор материала проводили в различных районах РТ. Краткая характеристика районов исследования представлена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика районов исследования
Table 1. Characterization of selected districts

Район исследования	Показатели		
	Высота н.у.м., м	Средняя температура воздуха января/июля, °С	Годовое кол-во осадков, мм
<i>Дрожжановский.</i> Район западной Предволжской лесостепи. Район выщелоченных черноземов на элювиях нижнемеловых и юрских пород (преимущественно глин). Почва – глинистые и тяжело-глинистые черноземы	240	-13.5°С/+19.5	440–460
<i>Бавлинский.</i> Район юго-восточной Закамской лесостепи – район с сильным развитием черноземных почв на пермской плите. Почва – маломощные черноземы	350	-14.5°С/+19.5	420–440
<i>Зеленодольский.</i> Северный район елово-пихтовых смешанных лесов – район подзолистых почв на элювии пермских пород. Почвы – серые и светло-серые суглинистые	150–155	-13.5°С/+18.5	440–460
<i>Лаишевский.</i> Южный район елово-пихтовых смешанных лесов. Почвы – серые лесные	150	-13.5°С/+19.0	420–440
<i>Верхне-Услонский.</i> Западный предволжский район широколиственных лесов. Почвы – серые и светло-серые суглинистые	183	-13.5°С/+19.0	440–460

Исследовались ценопопуляции в следующих сообществах.

Местообитание 1. Дрожжановский район. Участок расположен между сельскохозяйственными угодьями и проселочной дорогой, характеризовался целостным травянистым покровом.

Местообитание 2. Бавлинский район. Ценопопуляция донника приурочена к участку типчаково степно-разнотравного луга, примыкающего к грунтовой дороге. Проектное покрытие травянистого яруса 70%.

Местообитание 3. Зеленодольский район. Сбор растений проводили на участке вдоль автомобильного полотна, где растения произрастали на обнаженных суглинках, образовавшихся в процессе срезки естественного грунта в ходе строительства. Проектное покрытие травянистого яруса 30%. На трансекте были представлены растения донника лекарственного, редкие экземпляры других рудеральных видов.

Местообитание 4. Лаишевский район. Зарастающий участок пашни, прилегающий к грунтовой дороге. Травянистый покров восстановлен. Проектное покрытие травянистого яруса 90%.

Местообитание 5. Верхне-Услонский район. Участок экотонного сообщества, расположенный между широколиственным лесом и проселочной дорогой. Проектное покрытие травянистого яруса 100%.

Для морфо-физиологического анализа во всех ценопопуляциях было собрано 25 – 30 растений средневозрастного генеративного онтогенетического состояния. При анализе растений учитывали число побегов возобновления, общую массу соцветий (W_G), массу листьев (W_L), общую массу надземных побегов (W), массу осевых органов (стеблей). На основе полученных данных определяли аллометрические показатели: репродуктивное усилие (RE) = W_G/W , фотосинтетическое усилие (LWR) = W_L/W , вес осевых органов на общую биомассу побега (Кашин и др., 2015).

Определение календарного возраста растений проводили на основе анатомических срезов главного корня (Schweingruber, Poschlod, 2005). Поперечные срезы делали на 1 – 1.5 см ниже корневой шейки. Определение календарного возраста было возможно благодаря хорошо выраженной дифференциации весенней и осенней ксилемы корня. Ранее возможность определения календарного возраста по анатомическим срезам корней *Astragalus propinquus* (Schischk.) отмечалась Е. В. Алексеевой, Б. Б. Базаровой (2009).

В работе были использованы основные популяционно-онтогенетические подходы (Ценопопуляция растений..., 1976). Для анализа структуры ценопопуляции закладывали временные трансекты 20×1 м.

Количественное определение содержания аскорбиновой кислоты в тканях проводили согласно методике (Сибгатуллина и др., 2011). Сырье для определения аскорбиновой кислоты в виде целых растений и отдельных органов (листья, соцветия, стебли, корни) сушили до воздушно-сухого состояния при температуре не выше 40°C и упаковывали в бумажные мешки.

При отсутствии нормального распределения выборки оценивали медиану (Me). Для оценки однородности выборки ценопопуляций учитывали коэффициент вариации (C_V). Для проверки гипотезы о равенстве генеральных средних двух независимых выборок использовали непараметрический критерий Уилконсона –

Манна – Уитни. Проводили оценку коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Статистическую обработку данных выполняли в пакетах программ MS Excel 2000 (Microsoft Corp.) и Statistica 6.0 (Statsoft Inc., OK, USA).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что максимальная реализация биоморфологического потенциала донника отмечалась в условиях нарушенного сообщества Зеленодольского района, что обусловлено формированием в данных условиях многопобеговых растений (табл. 2). Число побегов возобновления на одной особи достигало 11, средний показатель также был высокий – 7.5. В условиях восстановленного травянистого покрова зоны хвойно-широколиственных (местообитание 4) и широколиственных лесов (местообитание 5) максимальное число побегов не превышало 4-5, несколько выше был данный показатель в зоне лесостепи (местообитания 1 и 2). Максимальное развитие побегов в условиях хорошо освещенных и нарушенных сообществ определялось биологической природой вида. И. В. Кирпичевым (1998) в ходе исследования было показано, что у растений донника почки возобновления, формирующие зону кущения и обеспечивающие весеннее отрастание, образовывались на самых ранних этапах онтогенеза, когда у проростка все органы являлись зародышевыми. Закладка почек в пазухе простого листа, образующих в некоторых случаях второй ярус в зоне кущения, приходилась на ювенильный период, при этом максимальная реализация данного процесса отмечалась в условиях высокой освещенности.

При анализе данных «общая биомасса», «биомасса осевых органов», «биомасса листьев» и «биомасса соцветий» максимальные показатели также отмечались в условиях нарушенного сообщества Зеленодольского района, что связано с характерным для вида индетерминантным типом апикального нарастания побегов (Туркова, 2015).

Анализ коэффициента вариации (C_v) выявил высокую изменчивость особей ценопопуляций по всем показателям вегетативной и генеративной сферы. Наименьшая изменчивость (более однородная выборка) отмечалась в ценопопуляции Зеленодольского района, где донник рос в условиях сниженной конкуренции с другими травянистыми видами. Растения, произрастающие в условиях относительно целостных растительных сообществ лесной зоны (местообитания 4, 5), а также лесостепной зоны (местообитания 1, 2), характеризовались высокой изменчивостью по всем показателям.

Сравнение выборок между ценопопуляциями выявило статистически значимые различия по большему числу признаков, что может говорить о влиянии эколого-ценотических условий на реализацию биологического потенциала особей. В пределах одной ботанико-географической зоны реализация морфологического потенциала имела сходную тенденцию (см. табл. 2). В биотопах лесостепной зоны (местообитания 1, 2) и лесной зоны (местообитания 4, 5) растения несущественно различались между собой. В условиях лесостепной зоны ценопопуляции донника характеризовались более мощными растениями по сравнению с растениями из лесной зоны. Показатели «биомасса соцветий», «биомасса листьев», «общая биомасса» в несколько раз превышали аналогичные показатели растений лесной зоны.

МОРФО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В пределах одной ботанико-географической зоны реализация биологического потенциала определялась особенностью фитоценотической обстановки (местообитание 3). В условиях лесной зоны на обнаженных почвах растения донника характеризовались максимальными показателями, что может быть связано с отсутствием конкуренции за ресурсы (Aarssen, 2015). Показатель «биомасса соцветий» составил 3.26, «биомасса листьев» – 2.68, «общая биомасса» – 52.8.

Таблица 2. Морфометрические показатели *Melilotus officinalis* в различных местообитаниях
Table 2. Morphometric indicators of *Melilotus officinalis* in various habitats

Район исследования	Показатели					
	Median	Min	Max	Lower Quartile	Upper Quartile	C _T
Число побегов возобновления						
Дрожжановский	2	1	4	1	3	47.95
Бавлинский	3	1	6	2	4	42.77
Зеленодольский	7.5	4	11	5.25	9.75	38.41
Лаишевский	2	1	5	1	2	41.49
Верхне-Услонский	1	1	4	1	2	35.27
1/3***; 1/5***; 2/3***; 2/4***; 2/5***; 3/5***; 4/5**						
Биомасса соцветий						
Дрожжановский	2.26	0.46	7.41	1.55	4.95	70.29
Бавлинский	1.04	0.19	4.33	0.97	2.58	73.58
Зеленодольский	3.26	0.99	4.98	2.12	4.25	45.97
Лаишевский	0.31	0.01	0.82	0.07	0.57	79.15
Верхне-Услонский	0.20	0.04	1.04	0.11	0.32	89.64
1/2*; 2/3*; 3/4 ***; 1/4 ***; 2/4***; 2/5***; 3/5***; 1/5 ***						
Биомасса листьев						
Дрожжановский	0.93	0.19	2.85	0.46	1.82	71.62
Бавлинский	0.91	0.33	1.58	0.76	1.09	35.92
Зеленодольский	2.68	1.54	4.66	2.29	3.01	37.36
Лаишевский	0.35	0.01	2.2	0.17	0.83	94.88
Верхне-Услонский	0.20	0.04	1.04	0.11	0.32	89.63
1/3***; 1/4***; 1/5***; 2/3***; 4/5*; 2/4***; 3/4***; 3/5***						
Общая биомасса						
Дрожжановский	16.72	2.14	33.15	8.40	26.06	63.47
Бавлинский	7.08	3.16	33.04	7.05	19.31	76.15
Зеленодольский	52.8	31.49	64.22	49.11	60.71	22.24
Лаишевский	2.27	0.06	12.36	1.23	5.01	95.56
Верхне-Услонский	1.41	0.32	8.02	0.63	3.22	96.12
1/3***; 1/4 ***; 1/5 ***; 2/3 ***; 2/4***; 3/4***; 2/5***; 3/5***						
Биомасса осевых органов						
Дрожжановский	11.99	1.44	24.23	6.126	19.79	65.27
Бавлинский	5.28	2.39	27.49	4.917	15.16	81.81
Зеленодольский	47.29	26.36	57.08	42.59	54.87	23.90
Лаишевский	1.71	0.04	10.06	0.86	3.85	96.51
Верхне-Услонский	0.92	0.12	6.44	0.32	2.39	98.60
1/3***; 1/4 ***; 1/5 ***; 2/3 ***; 2/4***; 2/5***; 3/4***; 3/5***						

Примечание. Показаны статистически значимые сравнения: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$; 1/2 – парные сравнения.

Note. Statistically significant comparisons: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$; 1/2 – paired comparisons.

Анализ аллометрических данных показал (табл. 3), что практически во всех местообитаниях распределение пластических веществ имело сходный характер и убывало в следующем порядке: осевые органы, репродуктивные органы, ассимиляционные органы. Только в одном местообитании (Лаишевский район) показатель «фотосинтетическое усилие» был выше, чем показатель «репродуктивное усилие». Распределение пластических веществ особей ценопопуляций донника в пределах различных ботанико-географических зон и сообществ различной степени наружности оставалось достаточно стабильным, что отмечалось и для других видов (Bartušková et al., 2015; Skarpaas et al., 2016; Husáková et al., 2018).

Таблица 3. Аллометрические показатели *Melilotus officinalis*

Table 3. Allometric indicators *Melilotus officinalis*

Район исследования	Показатели		
	Фотосинтетическое усилие	Вес стеблей на общую биомассу побега	Репродуктивное усилие
Дрожжановский	0.06	0.74	0.19
Бавлинский	0.07	0.79	0.13
Зеленодольский	0.05	0.89	0.06
Лаишевский	0.16	0.76	0.09
Верхнеуслонский	0.11	0.72	0.17

Анализ онтогенетической структуры не выявил разницы между ценопопуляциями. Онтогенетическая структура изученных ценопопуляций имела сходный характер. Формировались одно-

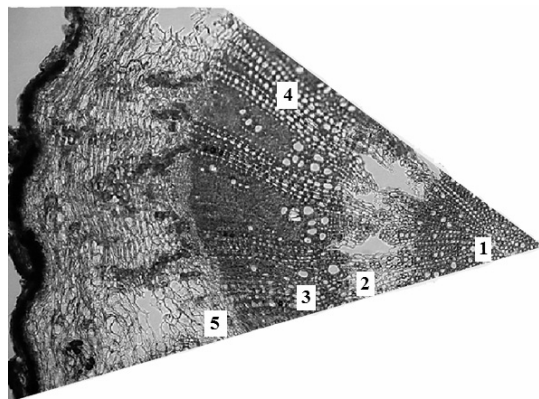


Рис. 1. Фрагмент анатомического среза двулетнего корня донника лекарственного: 1 – сосуды ксилемы первого года, 2 – граница прироста ксилемы первого года, 3 – ксилема второго года, 4 – многослойные сердцевидные лучи, 5 – кора

Fig. 1. Photomicroscopy of a transverse section of a biennial root of *Melilotus officinalis*: 1 – first-year-old xylem vessels, 2 – growth zones of the first-year-old xylem, 3 – second-year-old xylem, 4 – multiseriate medullary rays, 5 – cortex

вершинные онтогенетические спектры с максимумом на растениях средневозрастного онтогенетического состояния (до 95%). Все спектры характеризовались неполноценностью из-за отсутствия старых генеративных растений и растений постгенеративного периода, что позволяет предположить, что для донника характерен сокращенный онтогенез. Омирание растений после плодоношения, вероятно, способствует снижению конкуренции между особями вида.

Большая часть растений формировали генеративные побеги в двулетнем возрасте (рис. 1). Анализ анатомической структуры показал, что ксилема корня представлена механическими толсто-

разного диаметра. В течение сезона изменялся как диаметр сосудов, так и интенсивность образования механических волокон. Интенсивное формирование сосудов отмечалось в начале вегетационного сезона. В ксилеме хорошо выражены многослойные сердцевидные лучи. Клетки сердцевидных лучей крупные. Интенсивный рост побега в сезоне, вероятно, был причиной разрушения целостности слоев сердцевидных лучей предыдущего (первого) год, что наблюдается и в других работах (Sheikh et al., 2016). Кора многослойная. Элементы флоэмы собраны группами и окружены кристаллоносной обкладкой. Ближе к периферии клетки коры сдавлены. Перидерма представлена многослойными опробованными клетками.

У незначительной части цветущих растений (15%) идентифицировалось три годичных прироста корня. Такие растения характеризовались незначительным приростом ксилемы первого года (рис. 2). Тот факт, что продолжительность жизни донника может быть больше двух лет, отмечали и другие авторы (Жукова и др., 2007).

Важным защитным механизмом, обеспечивающим поддержание гомеостаза и способствующим выживанию особей в экологически различных местообитаниях, является пластичность физиологических процессов. Для донника лекарственного выявлен широкий спектр биологически активных веществ, в том числе и наличие аскорбиновой кислоты (Бубенчикова, Дроздова, 2004), которая, участвуя во всех окислительно-восстановительных процессах в растительном организме, способствовала повышению сопротивляемости организма к неблагоприятным факторам внешней среды, в частности высокому освещению, недостатку почвенной влаги (Harris, Karmas, 1975; Smirnoff, Wheeler, 2000; Lee, Kader, 2000; Zhang, 2013; Amira, Abdul Qados, 2014; Mekki et al., 2015; Zhang et al., 2018; Fargoq et al., 2020). Проведенные исследования показали, что практически во всех местообитаниях максимальное количество аскорбиновой кислоты отмечалось в листьях. Во всех частях растений в условиях лесостепной зоны концентрация аскорбиновой кислоты была значительно выше, по сравнению с растениями, произрастающими в лесной зоне РТ. Вы-

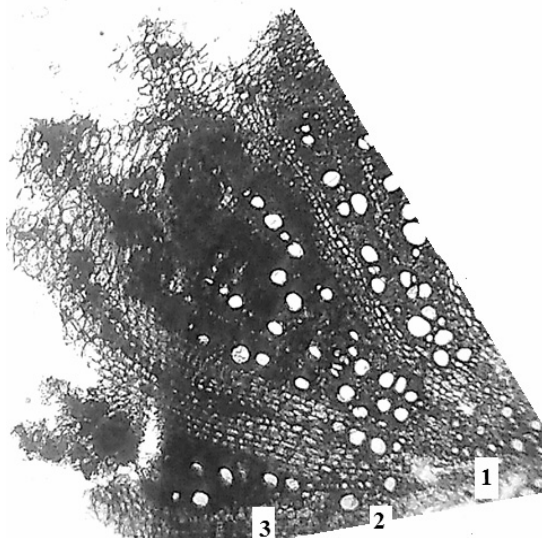


Рис. 2. Фрагмент анатомического среза ксилемы трехлетнего корня донника лекарственного: 1 – ксилема первого года, 2 – ксилема второго года, 3 – ксилема третьего года

Fig. 2. Photomicroscopy of a transverse section of a three-year-old root of *Melilotus officinalis*: 1 – first-year-old xylem vessels, 2 – second-year-old xylem, 3 – third-year-old xylem

сокий показатель содержания аскорбиновой кислоты изучаемых растений естественных сообществ отмечался в Бавлинском районе, который характеризовался более континентальным климатом. В условиях луговых сообществ лесной зоны концентрация аскорбиновой кислоты была невысокой и соответствовала данным, полученным в условиях Московской области (Щемелинина, Сорокина, 2017). В то же время необходимо отметить существенное увеличение концентрации аскорбиновой кислоты в условиях нарушенного сообщества Зеленодольского района (табл. 4).

Таблица 4. Содержание аскорбиновой кислоты в *Melilotus officinalis*, %

Table 4. Ascorbic acid content in *Melilotus officinalis*, %

Район исследования	Органы растений			
	лист	стебель	соцветие	корень
Дрожжановский	3.76	2.22	2.22	0.99
Бавлинский	4.22	0	3.30	0
Зеленодольский	5.15	0	3.76	0
Лаишевский	0.68	0	1.45	0
Верхнеуслонский	2.53	0	2.22	0

Вероятно, увеличение концентрации аскорбиновой кислоты связано с особенностью произрастания особей вида в условиях обнаженного субстрата, где донник является практически единственным представителем флоры. Аналогичное явление – увеличение концентрации аскорбиновой кислоты – отмечалось у растений семейства злаковые, существующих в экстремальных условиях песчаных дюн Куршской косы (Головина, 2001). В частности, при резких перепадах температуры почвогрунтов отмечался рост уровня аскорбиновой, дегидроаскорбиновой и дикетогулоновой кислот в листьях растений.

Анализ корреляционной зависимости показал наличие статистически достоверной зависимости между концентрацией аскорбиновой кислоты в листьях и показателем «биомасса листьев» ($R = 0.9$, $P = 0.03$) (рис. 3).

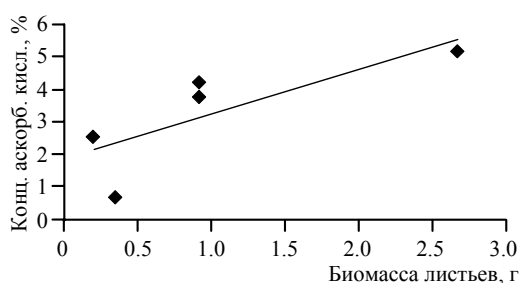


Рис. 3. Зависимость между концентрацией аскорбиновой кислоты в листьях и общей биомассой листьев *Melilotus officinalis*

Fig. 3. Correlation between the concentration of ascorbic acid in the leaves and the total biomass of the leaves in *Melilotus officinalis*

В то же время отрицательная, статистически достоверная зависимость между показателем «фотосинтетическое усилие» и концентрацией аскорбиновой кислоты ($R = -0.9$) могла быть связана со спецификой перераспределения пластических веществ в пределах организма (рис. 4), при котором больший вклад в реализацию физиологических процессов ведет к уменьшению вклада в биомассу листьев.

При анализе зависимости между концентрацией аскорбиновой

кислоты в соцветиях и показателем «биомасса соцветий», концентрацией аскорбиновой кислоты в листьях и показателем «биомасса соцветий» статистически достоверных отличий выявлено не было, что может быть связано с относительно независимым процессом формирования репродуктивных органов растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют предположить, что свойственная виду высокая пластичность физиологических процессов и морфологическая изменчивость направлены на более стабильную реализацию генеративной сферы, что чрезвычайно важно, поскольку половое размножение и семенное расселение является единственным способом распространения вида. Важным механизмом увеличения репродуктивного потенциала вида может быть увеличение генеративного периода на нарушенных участках и неполный онтогенез, что снижает конкуренцию между проростками и взрослыми особями.

1. Растения ценопопуляций лесостепной зоны характеризовались высокими показателями вегетативной и репродуктивной сферы, большей концентрацией аскорбиновой кислоты во всех частях растений.

Показатель «биомасса соцветий» варьировал в пределах 1.04 – 2.26, «Биомасса листьев» в пределах 0.91 – 0.93, «общая биомасса» – 7.08 – 16.72, содержание аскорбиновой кислоты в листьях составило 4.22 – 23.76. Показатели вегетативной и генеративной сферы растений лесной зоны в условиях частично восстановленных сообществ были значительно ниже. Показатель «биомасса соцветий» варьировал в пределах 0.2 – 0.31, «биомасса листьев» – 0.2 – 0.35, «общая биомасса» – 1.41 – 2.27, содержание аскорбиновой кислоты в листьях варьировало в диапазоне 0.68 – 2.53.

2. В условиях лесной зоны на обнаженных почвах растения донника лекарственного характеризовались максимальной реализацией биомассы и максимальной концентрацией аскорбиновой кислоты во всех частях растений. Показатель «биомасса соцветий» составил 3.26, «биомасса листьев» – 2.68, «общая биомасса» – 52.8. Содержание аскорбиновой кислоты в листьях – 5.15.

3. Высокий уровень внутрипопуляционной изменчивости (C_V) донника по всем показателям был выявлен в условиях сообществ лесостепной и лесной зоны с частично восстановленным травянистым ярусом. На нарушенном участке выборка растений отличалась меньшей изменчивостью.

4. Во всех местообитаниях аскорбиновая кислота была выявлена в генеративных органах и листьях. В условиях Дрожжановского района незначительная концентрация аскорбиновой кислоты была обнаружена в стеблях и корнях.

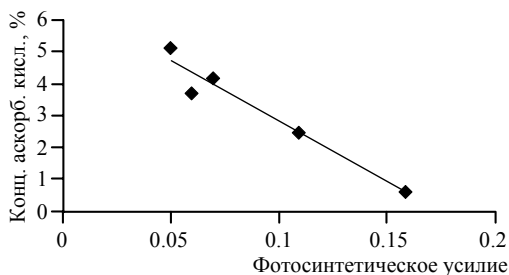


Рис. 4. Зависимость между концентрацией аскорбиновой кислоты в листьях и показателем «фотосинтетическое усилие»

Fig. 4. Correlation between the concentration of ascorbic acid in the leaves and the “photosynthetic effort” indicator

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Республики Татарстан (проект № 18-44-160015).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеева Е. В., Базарова Б. Б. Определение календарного возраста *Astragalus propinquus* Schischk. (Fabaceae) в условиях культуры // Вестн. Бурят. гос. ун-та. 2009. № 4. С. 113 – 115.

Баширова Ю. Н. Популяционная изменчивость представителей семейства Fabaceae Lindl. на территории Оренбургского Приуралья : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Оренбург, 2006. 22 с.

Бубенчикова В. Н., Дроздова И. Л. Изучение состава фенольных соединений донника лекарственного методом ВЭЖХ // Хим.-фармац. журн. 2004. № 4. С. 24 – 25.

Головина Е. Ю. Система аскорбиновой кислоты доминантов флоры дюн Куршской косы : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Калининград, 2001. 23 с.

Жукова Л. А., Шестокова Э. В., Семенова Ю. Ю. Онтогенез донника желтого (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.) // Онтогенетический атлас лекарственных растений. Йошкар-Ола : Изд-во МарГУ, 2007. Т. 5. С. 96 – 101.

Кашин А. С., Крицкая Т. А., Петрова Н. А., Шилова И. В. Методы изучения ценопопуляций цветковых растений : учеб.-метод. пособие для магистров биол. фак. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2015. 127 с.

Кирпичев И. В. Биологическое обоснование приемов повышения зимостойкости и продуктивности донника : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Луганск, 1998. 34 с.

Сибгатуллина Г. В., Хаертдинова Л. Р., Гумерова Е. А., Акулов А. Н., Костюкова Ю. А., Никонорова Н. А., Румянцева Н. И. Методы определения редокс-статуса культивируемых клеток растений : учеб.-метод. пособие. Казань : Казан. (Приволжский) фед. ун-т, 2011. 61 с.

Туркова Е. В. Морфофизиологические исследования формирования продуктивности донника // Вестн. современной науки. 2015. № 11. С. 48 – 52.

Ценопопуляции растений (Основные понятия и структура) / отв. ред. А. А. Уранов, Т. И. Серебрякова. М. : Наука, 1976. 217 с.

Щемелинина Т. В., Сорокина А. А. Определение флавоноидов в траве донника лекарственного // Фармация. 2017. Т. 66, № 1. С. 26 – 28.

Aarssen L. W. Body Size and Fitness in Plants : Revisiting the Selection Consequences of Competition // Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. 2015. Vol. 17, iss. 3. P. 236 – 242.

Amira M. S., Abdul Qados. Effect of Ascorbic Acid Antioxidant on Soybean (*Glycine max* L.) Plants Grown Under Water Stress Conditions // Int. J. of Advanced Research in Biological Sciences. 2014. Vol. 1, iss. 6. P. 189 – 205.

Bartušková A., Doležal J., Janeček Š., Lanta V., Klimešová J. Changes in Biomass Allocation in Species Rich Meadow After Abandonment : Ecological Strategy or Allometry // Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. 2015. Vol. 17, iss. 5. P. 379 – 387.

Farooq A., Bukhari S. A., Akram N. A., Ashraf M., Wijaya L., Alyemeni M. N., Ahmad P. Exogenously Applied Ascorbic Acid-Mediated Changes in Osmoprotection and Oxidative Defense System Enhanced Water Stress Tolerance in Different Cultivars of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) // Plants. 2020. Vol. 9, iss. 1. P. e104.

Harris R. S., Karmas E. Effects of Agricultural Practices on the Composition of Foods // Nutritional Evaluation of Food Processing. Westport : Avi Publishing Co. Inc., 1975. P. 33 – 57.

Husáková I., Weiner J., Münzbergová Z. Species Traits and Shoot-root Biomass Allocation in 20 dry-grassland Species // J. of Plant Ecology. 2018. Vol. 11, iss. 2. P. 273 – 285.

- Jasicka-Misiak I., Makowicz E., Stanek N.* Polish Yellow Sweet Clover (*Melilotus officinalis* L.) Honey, Chromatographic Fingerprints, and Chemical Markers // *Molecules*. 2017. Vol. 22, iss. 1. P. e138.
- Lee S. K., Kader A. A.* Preharvest and Postharvest Factors Influencing Vitamin C Content of Horticultural Crops // *Postharvest Biology and Technology*. 2000. Vol. 20, № 3. P. 207 – 220.
- Liu Y. T., Gong P. H., Xiao F. Q., Shao Sh., Zhao D. Q., Yan M. M., Yang X. W.* Chemical Constituents and Antioxidant, Anti-Inflammatory and Anti-Tumor Activities of *Melilotus officinalis* (Linn.) Pall. // *Molecules*. 2018. Vol. 23, iss. 2. P. e271.
- Mekki E. D., Hussien H. A., Salem H.* Role of Glutathione, Ascorbic Acid and A-tocopherol in Alleviation of Drought Stress in Cotton Plants // *Int. J. ChemTech. Research*. 2015. Vol. 8, № 4. P. 1573 – 1581.
- Schweingruber F. H., Poschlod P.* Growth Rings in Herbs and Shrubs : Life Span, Age Determination and Stem Anatomy // *Forest Snow and Landscape Research*. 2005. Vol. 79, iss. 3. P. 195 – 415.
- Skarpaas O., Meineri E., Bargmann T., Pötsch Ch., Töpper J., Vandvik V.* Biomass Partitioning in Grassland Plants Along Independent Gradients in Temperature and Precipitation // *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 2016. Vol. 19. P. 1 – 11.
- Smirnoff N., Wheeler G. L.* Ascorbic Acid in Plants : Biosynthesis and Function // *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2000. Vol. 19, № 4. P. 267 – 290.
- Sheikh N., Desai T., Patel R.* Pharmacognostic Evaluation of *Melilotus officinalis* Linn. // *Pharmacognosy J*. 2016. Vol. 8, iss. 3. P. 239 – 242.
- Zhang Y.* Biological Role of Ascorbate in Plants // *Ascorbic Acid in Plants. Biotynthesis, Regulation and Enhancement*. New York : Springer-Verlag, 2013. P. 7 – 33.
- Zhang Y., Wei Y., Peng C.* Effects of Endogenous Ascorbic Acid on Resistance to High-temperature Stress in Excised Rice Leaves // *Photosynthetica*. 2018. Vol. 56, iss. 4. P. 1453 – 1458.

С. А. Дубровная, Л. З. Хуснетдинова, Н. К. Аттобрах

**Morpho-Physiological and Ecological Characteristics
of *Melilotus officinalis* (Fabaceae, Magnoliopsida) in the Conditions
of the Republic of Tatarstan**

Svetlana A. Dubrovnaya, <https://orcid.org/0000-0001-5700-4203>; sdubrovnaya@inbox.ru
Landysh Z. Khusnetdinova, <https://orcid.org/0000-0002-7867-2013>; husnetdinova.l@mail.ru
Nana K. Attobrah, <https://orcid.org/0000-0003-1226-5981>; nanaa2brah2487@yahoo.com

*Kazan Federal University
18 Kremlyovskaya St., Kazan 420008, Russia*

Received 27 June 2019, revised 12 November 2019, accepted 24 January 2020

Dubrovnaya S. A., Khusnetdinova L. Z., Attobrah N. K. Morpho-Physiological and Ecological Characteristics of *Melilotus officinalis* (Fabaceae, Magnoliopsida) in the Conditions of the Republic of Tatarstan. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2020, no. 2, pp. 151–164 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-2-151-164>

The morphological variability of the aerial vegetative and generative organs of *Melilotus officinalis* in the ecotone communities of the forest-steppe zone, the forest zone of the Republic of Tatarstan including desecrated parts of the forest zone was studied. The ascorbic acid content in various parts of the plants growing in these habitats was also analyzed. It was revealed that the realization of the morpho-physiological potential of plants was determined by the conditions of botanical-geographical zones. The sweet clover, growing on black soils under the conditions of ecotone communities of the forest-steppe zone, was found to have higher indicators of “total biomass”, “biomass of leaves”, “biomass of inflorescences”, etc., as compared to the plants from similar communities growing on gray soils of the forest zone. Under the conditions of the ecotone communities of the forest-steppe zone, the content of ascorbic acid in all parts of the plant was also higher. *Melilotus officinalis*, growing in the conditions of a desecrated soil layer, was characterized by the maximum realization of its biomorphological potential with a low value of the coefficient of variation (C_V), which reflected a stronger homogeneity of the samples. In the plants growing under extreme conditions, a sharp increase in the concentration of ascorbic acid in all parts was observed, which could be considered as an important mechanism for the adaptation of the species to survival under conditions of a sharp temperature difference of the substrate. Along with an increase in the generative period, an important component of the species adaptation was the low correlation between the indicator “biomass of inflorescences” and the concentration of ascorbic acid in inflorescences, “biomass of inflorescences” and the concentration of ascorbic acid in the leaves, which reflected the stable process of formation of the generative system of sweet clover. All coenopopulations were characterized by an incomplete ontogenetic spectrum with an absolute maximum on the plants with the middle-age ontogenetic status (95%).

Keywords: *Melilotus officinalis*, morpho-physiological adaptation, ascorbic acid.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-2-151-164>

Acknowledgments: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research and Government of the Republic of Tatarstan (project No. 18-44-160015).

REFERENCES

- Alekseeva E. V., Bazarova B. B. The Devermination of Calendar Age Astragalus propinquus Schischk. (Fabaceae) in Conditions of Culture. *Buryat State University Bulletin*, 2009, no. 4, pp. 113–115 (in Russian).
- Bashirova Yu. N. *Populatsionnaya izmenchivost' predstavitelei semeistva Fabaceae Lindl. na territorii Orenburgskogo Priural'ia* [Population Variability of Representatives of Family Fabaceae Lindl. in Terrain Orenburg Priuralja]. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Orenburg, 2006. 22 p. (in Russian).
- Bubenchikova V. N., Drozdova I. L. HPLC Analysis of Phenolic Compounds in Yellow Sweet-clover. *Khimiko-Farmatsevticheskii Zhurnal*, 2004, no. 4, pp. 24–25 (in Russian).
- Golovina E. Yu. *Sistema askorbinovoi kisloty dominantov flory diun Kurshskoi kosy* [Ascorbic Acid System of Dominants of the Dunes of the Curonian Spit]. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Kaliningrad, 2001. 23 p. (in Russian).
- Zhukova L. A., Shestokova E. V., Semenova Yu. Yu. Ontogenesis of Yellow Melilot (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.). *Ontogeneticheskii atlas lekarstvennykh rastenii* [Ontogenetic Atlas of Medicinal Plants]. Yoshkar-Ola, Izdatel'stvo Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta, 2007, vol. 5, pp. 96–101 (in Russian).
- Kirpichev I. V. *Biologicheskoe obosnovanie priemov povysheniia zimostoikosti i produktivnosti donnika* [Biological Substantiation of Methods for Increasing winter Hardiness and Productivity of Melilotus]. Thesis Diss. Dr. Sci. (Biol.). Kaliningrad, 2001. 34 p. (in Russian).
- Kashin A. S., Kritskaya T. A., Petrova N. A., Shilova I. V. *Metody izuchenii tsenopopulatsii tsvetkovykh rastenii*: Uchebno-metodicheskoe posobie dlia magistrav biologicheskogo fakul'teta [Methods of Studying Cenopopulations of Flowering Plants: Educational-Methodological Manual for Masters in Biology]. Saratov, Izdatel'stvo Saratovskogo universiteta, 2015. 127 p. (in Russian).
- Sibgatullina G. V., Khayertdinova L. R., Gumerova Ye. A., Akulov A. N., Kostyukova Yu. A., Nikonorova N. A., Rumyantseva N. I. *Methods for the Determination of Redox Status of Cultured Plant Cells*. Teaching aid. Kazan, Kazanskii (Privolzhskii) Federal'nyi universitet Publ., 2011. 61 p. (in Russian).
- Turkova E. V. Morphophysiological Studies of the Formation of Productivity of Milelotus. *Vestnik sovremennoi nauki*, 2015, no 11, pp. 48–52 (in Russian).
- Tsenopopulatsii rastenii (Osnovnye poniatia i struktura)*. Otv. red. A. A. Uranov, T. I. Serebriakova [A. A. Uranov, T. I. Serebriakova, eds. Coenopopulations of Plants (Basic Concepts and Structure)]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 217 p. (in Russian).
- Shchemelinina T. V., Sorokina A. A. Determination of Flavonoids in Yellow Sweet Clover (*Melilotus officinalis*) Herb. *Farmacy*, 2017, vol. 66, no. 1, pp. 26–28 (in Russian).
- Aarssen L. W. Body Size and Fitness in Plants: Revisiting the Selection Consequences of Competition. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2015, vol. 17, iss. 3, pp. 236–242.
- Amira M. S., Abdul Qados. Effect of Ascorbic Acid Antioxidant on Soybean (*Glycine max* L.) Plants Grown Under Water Stress Conditions. *International J. of Advanced Research in Biological Sciences*, 2014, vol. 1, iss. 6, pp. 189–205.
- Bartušková A., Doležal J., Janeček Š., Lanta V., Klimešová J. Changes in Biomass Allocation in Species Rich Meadow After Abandonment: Ecological Strategy or Allometry. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2015, vol. 17, iss. 5, pp. 379–387.

- Farooq A., Bukhari S. A., Akram N. A., Ashraf M., Wijaya L., Alyemeni M. N., Ahmad P. Exogenously Applied Ascorbic Acid-Mediated Changes in Osmoprotection and Oxidative Defense System Enhanced Water Stress Tolerance in Different Cultivars of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Plants*, 2020, vol. 9, iss. 1, pp. e104.
- Harris R. S., Karmas E. Effects of Agricultural Practices on the Composition of Foods. In: *Nutritional Evaluation of Food Processing*. Westport, Avi Publishing Co. Inc, 1975, pp. 33–57.
- Husáková I., Weiner J., Münzbergová Z. Species Traits and Shoot-root Biomass Allocation in 20 dry-grassland Species. *J. of Plant Ecology*, 2018, vol. 11, iss. 2, pp. 273–285.
- Jasicka-Misiak I., Makowicz E., Stanek N. Polish Yellow Sweet Clover (*Melilotus officinalis* L.) Honey, Chromatographic Fingerprints, and Chemical Markers. *Molecules*, 2017, vol. 22, iss. 1, pp. e138.
- Lee S. K., Kader A. A. Preharvest and Postharvest Factors Influencing Vitamin C Content of Horticultural Crops. *Postharvest Biology and Technology*, 2000, vol. 20, no. 3, pp. 207–220.
- Liu Y. T., Gong P. H., Xiao F. Q., Shao Sh., Zhao D. Q., Yan M. M., Yang X. W. Chemical Constituents and Antioxidant, Anti-Inflammatory and Anti-Tumor Activities of *Melilotus officinalis* (Linn.) Pall. *Molecules*, 2018, vol. 23, iss. 2, pp. e271.
- Mekki E. D., Hussien H. A., Salem H. Role of Glutathione, Ascorbic Acid and A-tocopherol in Alleviation of Drought Stress in Cotton Plants. *International J. ChemTech. Research*, 2015, vol. 8, no. 4, pp. 1573–1581.
- Schweingruber F. H., Poschlod P. Growth Rings in Herbs and Shrubs: Life Span, Age Determination and Stem Anatomy. *Forest Snow and Landscape Research*, 2005, vol. 79, iss. 3, pp. 195–415.
- Skarpaas O., Meineri E., Bargmann T., Pötsch Ch., Töpper J., Vandvik V. Biomass Partitioning in Grassland Plants Along Independent Gradients in Temperature and Precipitation. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2016, vol. 19, pp. 1–11.
- Smirnoff N., Wheeler G. L. Ascorbic Acid in Plants : Biosynthesis and Function. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2000, vol. 19, no. 4, pp. 267–290.
- Sheikh N., Desai T., Patel R. Pharmacognostic Evaluation of *Melilotus officinalis* Linn. *Pharmacognosy J.*, 2016, vol. 8, iss. 3, pp. 239–242.
- Zhang Y. Biological Role of Ascorbate in Plants. In: *Ascorbic Acid in Plants. Biotynthesis, Regulation and Enhancement*. New York, Springer-Verlag, 2013, pp. 7–33.
- Zhang Y., Wei Y., Peng C. Effects of Endogenous Ascorbic Acid on Resistance to High-temperature Stress in Excised Rice Leaves. *Photosynthetica*, 2018, vol. 56, iss. 4, pp. 1453–1458.