

УДК 502.55:577.3

**ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЗМА ОДУВАНЧИКА ЛЕКАРСТВЕННОГО
В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ
АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

**CHARACTERISTIC FEATURES OF TARAXACUM OFFICINALE METABOLISM
UNDER THE CONDITIONS OF ATMOSPHERE POLLUTION CAUSED
BY MOTOR TRANSPORT**

Г. В. Воробьев¹, А. Ю. Алябьев², Т. П. Якушенкова¹, К. К. Ибрагимова¹

G. V. Vorobyev¹, A. Y. Alyabyev², T. P. Yakushenkova¹, K. K. Ibragimova¹

¹ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань

²Казанский институт биохимии и биофизики Казанского научного центра РАН, г. Казань

Аннотация. Морфологические формы одуванчика лекарственного проявляют различия в уровне энергетического обмена и интенсивности фотосинтеза. Форма с повышенными значениями этих показателей (*T. off. f. dahlstedtii*) была более устойчива к загрязнению атмосферы автомобильным транспортом.

Abstract. The morphological forms of *Taraxacum officinale* show the gap in power exchange and photosynthesis intensity. The form with the high parameters (*T. off. f. dahlstedtii*) was more resistant to the atmosphere pollution caused by motor transport.

Ключевые слова: одуванчик лекарственный, фотосинтез, дыхание, тепловыделение, загрязнение атмосферы.

Keywords: *Taraxacum officinale*, photosynthesis, breath, heat emission, atmosphere pollution.

Актуальность исследуемой проблемы. Сопrotивляемость растений антропогенным стрессорам определяется их возможностями модифицировать метаболические процессы, что позволяет в полной мере реализовать свой эволюционно-адаптационный потенциал. Одуванчик лекарственный широко используется в качестве тест-объекта экологических исследований. Адаптивные возможности популяций одуванчика оцениваются по жизнеспособности семенного потомства [5], по уровню сопряженности морфометрических признаков [1], по степени перекисидации мембранных липидов [6].

В настоящем исследовании сделана попытка выявить метаболические различия, определяющие адаптационный потенциал одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* s.l.) двух морфологических форм (*T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme*) городских ценопопуляций.

Материал и методика исследований. В качестве объекта исследований был выбран одуванчик лекарственный *Taraxacum officinale* Wigg. s.l. – семейство Asteraceae Dumort. (Compositae Giseke), род *Taraxacum officinale* Wigg. Одуванчик – факультативный апомикт. В пределах вида различают большое количество апомиктических разновидностей – микро-

видов, биотипов меньшего размера, имеющих морфологические отличия, утративших способность к перекрестному опылению и существующих в одних биотопах. В практической систематике с определенной долей условности такие группы приравниваются к «нормальным» амфимиكتическим видам. Жизненная форма, структура однолетних и многолетних органов у всех микровидов комплекса *Taraxacum officinale* Wigg. s.l. одинаковы. Одуванчик – многолетний травянистый стержнекорневой факультативно корнеотпрысковый поликарпик с симподиальной системой вегетативных побегов [2]. Биотипы различаются формой и степенью рассеченности листовой пластинки, долей и их зубцов. Нами определены две морфологические формы: одуванчик Дальштедта (*T. off. f. dahlstedtii* Lindb. fil.) и одуванчик гребенчатовидный (*T. off. f. pectinatiforme* Lindb. fil.), которые хорошо различимы на генеративной стадии онтогенеза. Известно, что данные морфологические формы на популяционном уровне проявляют различия в устойчивости к химическому загрязнению среды [1].

Для исследований использовали растения молодого генеративного (q_1) онтогенетического состояния, которые отбирали с пробных площадок размером 10×40 м, поделенных на три участка. Ценопопуляция № 1 рассматривалась в качестве условно-контрольной: она расположена на опушке смешанного леса, находящегося в 7 км от города и в 0,1 км от проселочной дороги (район пос. Усады). Ценопопуляции № 2 и 3 – газоны, расположенные вблизи регулируемых перекрестков на ул. Татарстан и Горьковское шоссе соответственно.

Расчет выбросов автотранспорта в районе регулируемого перекрестка произведен согласно методике определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов (утверждена приказом Госкомэкологии России от 16 февраля 1999 года № 66). Согласно этим расчетам ценопопуляцию № 2 можно отнести к загрязненной, а № 3 – к сильно загрязненной (табл. 1).

Таблица 1

Удельные значения выбросов автомобилей в зоне регулируемого перекрестка
(в г/мин, среднее ± SD, n=4)

| Популяция, г/мин | ул. Татарстан | ул. Горьковское шоссе |
|---|---------------|-----------------------|
| СО | 6248 ±93 | 16120±192 |
| NO _x (в расчете на NO ₂) | 203±5.2 | 399±2.9 |
| СН | 542±9.2 | 1353±18.2 |
| SO ₂ | 32±0.74 | 68±0.49 |
| Формальдегид | 4.8±0.13 | 8.8±0.08 |
| Свинец | 6.8±0.09 | 18.36±0.22 |
| Бенз(а)пирен | 0.0044±8.E-5 | 0.0105±0.0001 |

Собранные семена хранили в бумажных пакетах при комнатной температуре в сухом месте. Определяли энергию прорастания на 7-е сутки проращивания выполненных семян, отличающихся по цвету семенной оболочки. Для характеристики одного участка популяции проращивали в двух повторностях по 50 семян в чашке Петри на отстоянной водопроводной воде.

Интенсивность фотосинтеза (ассимиляции CO₂) регистрировали портативной системой измерения газообмена GFS–3000 (Heinz Walz GmbH, Германия). Средние значения интенсивности ассимиляции CO₂ получены от 10 молодых генеративных растений (q_1) в расчете на массу сырых листьев. Фиксировали световые кривые фотосинтеза в лабораторных условиях.

Тепловыделение регистрировали дифференциальным темновым микрокалориметром LKB-2277 (Bio Activity Monitor, Швеция). Для определения тепловыделения усредненную от трех растений навеску корней (30–40 мг) помещали в калориметрическую ампулу объемом 3 см^3 с 1 см^3 отстоявшейся водопроводной водой. Время термостатирования образца до начала измерений – 30 минут. Рабочий диапазон чувствительности усилителя – 100 мкВ. Измерения проводились при температуре 30 °С. Одна биологическая повторность – три ампулы. Средние значения были рассчитаны от трех биологических повторностей.

Дыхательный газообмен регистрировали манометрическим методом в аппарате Варбурга. Навеску отсеченных корней по 150 мг от трех растений в трех повторностях помещали в сосудики Варбурга и после 10-минутного термостатирования измеряли потребление кислорода при температуре 30 °С. Средние значения были рассчитаны от трех биологических повторностей.

Результаты исследований и их обсуждение. Исследуемые морфологические формы одуванчика лекарственного проявляют различия в стратегии выживания. У *T. dahlstedtii* проявляется защитная компонента в онтогенетической стратегии выживания, а у *T. pectinatiforme* – комбинированная стрессово-защитная компонента [1]. Тип стратегии был определен из уровня сопряженности морфометрических признаков. На уровне физиологических процессов исследуемые морфологические формы проявляют различия в интенсивности дыхания и тепловыделения корней в зависимости от загрязненности. Эти показатели были существенно ниже у форм, произраставших в условиях ул. Горьковское шоссе (сильное загрязнение), а при сравнении двух форм более низкие показатели были у *T. off. f. pectinatiforme*.

Известно, что резкое снижение тепловыделения при экстремальном засолении в 500 мМ NaCl является защитной реакцией клетки и сопряжено с защитным торможением метаболизма [3]. При существующей конкуренции за метаболическую энергию между процессами повреждения и репарации торможение метаболизма способствует сдвигу соотношения в направлении использования энергии на репарацию [8]. Рассчитать количество этой энергии можно, сделав некоторые преобразования. Образующуюся при дыхании энергию ($E_{\text{дых.}}$) оценивали по изменению энтальпии на нмоль потребленного для окисления субстрата O_2 [10], используя коэффициент, равный 455 мкВт/нмоль. Полученное преобразование дает возможность определить количество сохраненной при дыхании энергии (ΔH) [4], которую рассчитывали как разность между общим количеством энергии, образовавшейся при окислении дыхательного субстрата ($E_{\text{дых.}}$), и потерями энергии в форме тепла (рис. 1).

На рис. 1 представлены зависимости энергии, образующейся в результате окисления дыхательного субстрата ($E_{\text{дых.}}$) и ΔH , от уровня загрязненности атмосферы автотранспортом. Для *T. off. f. dahlstedtii* характерен более высокий уровень как $E_{\text{дых.}}$, так и ΔH во всех исследованных ценопопуляциях. Достоверно различимы ($P < 0.001$) величины ΔH у одуванчика гребенчатовидного условно-контрольной ценопопуляции и ценопопуляции № 3. Не достоверны различия ΔH между *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme* ценопопуляций № 2 и 3. Можно отметить рост $E_{\text{дых.}}$ одуванчика гребенчатовидного ($P < 0.053$) в условиях ценопопуляции № 2. Представление об изменении затрачиваемой на жизнедеятельность энергии дает отношение $\Delta H/E_{\text{дых.}}$ (рис. 2).

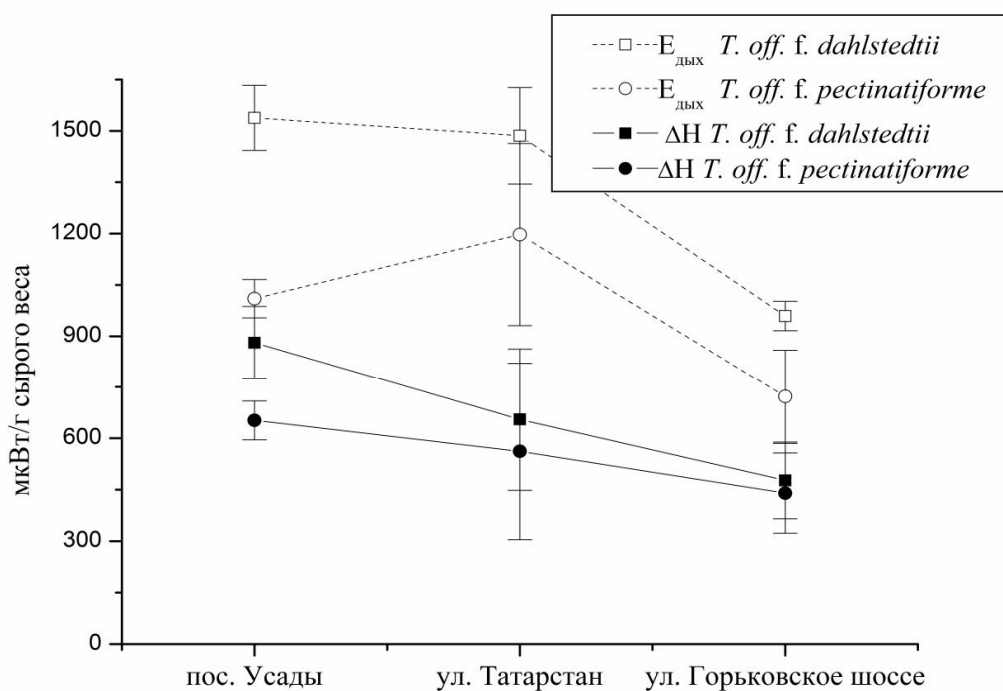


Рис. 1. Изменение $E_{дых}$ и ΔH *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme* в зависимости от загрязненности

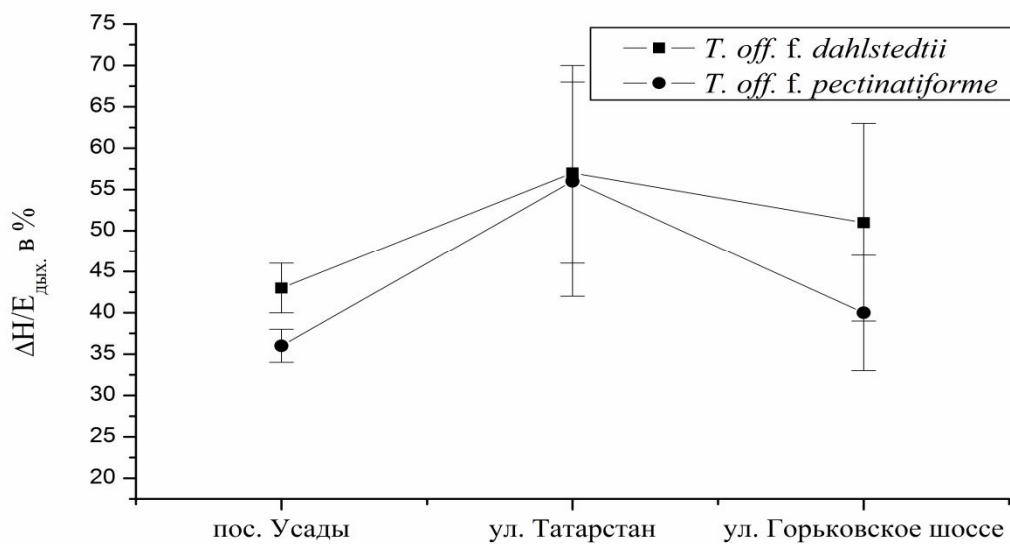


Рис. 2. Изменение затрачиваемой энергии на жизнедеятельность (в %) *T. off. f. dahlstedtii* и *T. off. f. pectinatiforme* в зависимости от загрязненности

В условно-контрольной ценопопуляции обе морфологические формы на процессы метаболизма тратят менее 50 % $E_{\text{дых.}}$, в ценопопуляции № 2 – более 55 % ($P < 0.05$). В условиях сильного загрязнения (ценопопуляция № 3) $\Delta H/E_{\text{дых.}}$ недостоверно уменьшается у *T. off. f. dahlstedtii* и достоверно уменьшается ($P < 0.01$) у *T. off. f. pectinatiforme*.

Субстрат для дыхания корней в виде сахаров поставляют фотосинтезирующие органы, которые в большей степени подвержены негативному влиянию загрязнений автомобильного транспорта. Предполагалось, что с увеличением интенсивности загрязнения будет наблюдаться пропорциональное уменьшение фотосинтетической активности. И действительно, негативная нагрузка на растения ценопопуляции № 3 в среднем увеличилась в 2,5 раза, а интенсивность ассимиляции углекислого газа (А) у обеих морфологических форм снизилась практически в два раза (рис. 3).

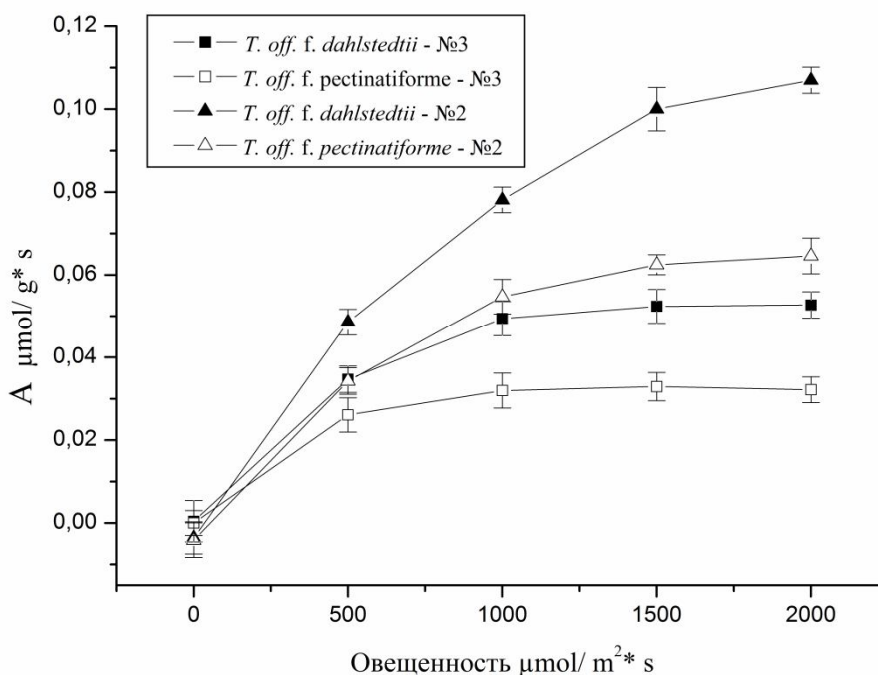


Рис. 3. Зависимость интенсивности ассимиляции CO₂ (А) (в расчете на сырую массу листьев, г) от освещенности

Следует отметить тот факт, что интенсивность фотосинтеза (А) у растений *T. off. f. pectinatiforme* ниже, чем у *T. off. f. Dahlstedtii*, как в ценопопуляции № 2, так и в ценопопуляции № 3.

Известно, что стресс, индуцируя избыточную активацию метаболизма, может повышать общие адаптивные механизмы неспецифической устойчивости [11], [9], [7]. Можно предположить, что большее количество энергии, получаемое и расходуемое *T. off. f. dahlstedtii* на жизнедеятельность, позволяет этим растениям эффективнее адаптироваться к сильному загрязнению. При верности этого предположения семенное потомство данной морфологической формы одуванчика будет качественно отличаться от потомства *T. off. f. pectinatiforme* q₁.

При подготовке семян к прорастиванию было замечено различие в интенсивности окраски семенной оболочки. Это различие нашло отражение в энергии прорастания семян, разделенных по принципу окраски семенной оболочки (табл. 2).

Таблица 2

**Энергия прорастания семян (в %, среднее \pm SD, n=6)
морфологических форм одуванчика лекарственного q_1 исследуемых популяций**

| Популяции | <i>T. off. f. pectinatiforme</i> | | <i>T. off. f. dahlstedtii</i> | |
|-----------------------------|----------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
| | без пигмента | норма | без пигмента | норма |
| № 1 – пос. Усады | 51 \pm 7 | 62 \pm 6 | 62 \pm 6 | 77 \pm 5 |
| № 2 – ул. Татарстан | 33 \pm 6 | 36 \pm 11,5 | 50 \pm 9,8 | 50 \pm 11 |
| № 3 – ул. Горьковское шоссе | 3,3 \pm 1,3 | 20 \pm 5,8 | 15 \pm 8,5 | 58 \pm 11,3 |
| Коэффициент корреляции | -0,968 | -0,888 | -0,924 | -0,46 |

С ростом загрязненности энергия прорастания снижается у семян без пигмента. Для нормально окрашенных семян *T. off. f. dahlstedtii* зависимость не столь очевидна.

Резюме. Проведенные исследования показывают, что более высокий уровень метаболизма *T. off. f. dahlstedtii* позволяет им лучше адаптироваться к загрязнению атмосферы автомобильным транспортом, что в конечном итоге приводит к более высокому качеству семенного потомства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуйкова, Т. В. Адаптация растительных систем к химическому стрессу: популяционный аспект / Т. В. Жуйкова, В. С. Безель // Вестник Удмуртского университета. – 2009. – Вып. 1. – С. 31–42.
2. Ермакова, И. М. Одуванчик лекарственный. Номенклатура и систематическое положение / И. М. Ермакова // Биологическая флора Московской области / под ред. В. Н. Павлова, Т. М. Работнова, В. Н. Тихомирова. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – Т. 8. – С. 210–269.
3. Мелехов, Е. И. О возможном принципе регуляции повреждения и защитной реакции клетки / Е. И. Мелехов // Журнал общей биологии. – 1983. – Т. 44. – № 3. – С. 386–397.
4. Петров, В. Е. Энергетика ассимилирующей клетки и фотосинтез / В. Е. Петров. – Казань: Из-во Казанского университета, 1975. – 150 с.
5. Позолотина, В. Н. Пути адаптации ценопопуляций одуванчика лекарственного к длительному химическому и радиационному воздействию / В. Н. Позолотина, Е. В. Антонова, В. С. Безель, Т. В. Жуйкова, О. А. Северюхина // Экология. – 2006. – № 6. – С. 440–445.
6. Савинов, А. Б. Интенсивность перекисного окисления липидов у *Taraxacum officinale* Wigg. и *Vicia cracca* L. в биотопах с разными уровнями загрязнения почв тяжелыми металлами / А. Б. Савинов, Л. Н. Курганова, Ю. И. Шекунов // Экология. – 2007. – № 3. – С. 191–197.
7. Шакирова, Ф. М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция / Ф. М. Шакирова. – Уфа: Гилем, 2001. – 160 с.
8. Criddle, R. S. Effects of NaCl on metabolic heat evolution rates by barley roots / R. S. Criddle, L. D. Hansen, R. W. Breidenbach, M. R. Ward, R. C. Huffaker // Plant Physiol. – 1989. – Vol. 90. – P. 53–58.
9. Franco, E. Modulation of D1 protein turnover under cadmium and heat stress monitored by [³⁵S] methionine incorporation / E. Franco, S. Alessandrelli, et al. Masojidek // Plant Sci. – 1999. – Vol. 144. – P. 53–61.
10. Hansen, L. D. The relation between plant growth and respiration: A thermodynamic model / L. D. Hansen, M. S. Hopkin, D. R. Rank, T. S. Anekonda, R. Breidenbach W., R. S. Criddle // Planta. – 1994. – Vol. 194. – № 1. – P. 77–85.
11. Ishikama, M. Comparison of viability tests for assessing cross-adaptation to freezing, heat salt stress induced by abscisic in bromegrass (*Bromus inermis* leys) suspension culture cells / M. Ishikama, A. J. Robertson, L. Gusta // Plant Sci. – 1995. – Vol. 107. – P. 83–93.