

Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского  
Серия «Биология, химия» Том 19 (58). 2006. № 2. С. 26-31.

УДК 581.143.28:581.131(581.526.53)

## АНАЛИЗ РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ *SALICORNIA EUROPAEA* L. НА ГРАДИЕНТЕ ЗАСОЛЕННОСТИ<sup>1</sup>

Котов С.Ф., Жалдак С.Н.

Исследование жизнедеятельности солеустойчивых растений в настоящее время приобретают всю большую значимость в связи с расширением площадей вторично засоленных земель. Вывод из сельскохозяйственного оборота в результате засоления наиболее продуктивных орошаемых земель относится к разряду острых проблем общемирового значения. По данным Международного института окружающей среды и развития (International Institute for Environment and Development) и Института мировых ресурсов (World Resources Institute), засолению подвержено около 50 % от общей площади всех орошаемых земель в мире (более 220 млн.га) [1,2]. Избыток в почве легкорастворимых солей (преимущественно ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ ) приводит к ухудшению качества земельного фонда и выпадения крупных земельных массивов из хозяйственного оборота. В связи с вышеизложенным, представляется весьма актуальным рассмотрение вопросов, касающихся особенностей популяционной биологии галофитов, для последующего решения практических задач по восстановлению засоленных земель.

Цель данной работы – проанализировать особенности роста и продукции деятельности *Salicornia europaea* L. на градиенте засоленности экотопа в естественных условиях произрастания растений.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в моноценозах ас. *Salicornietum rurum* на побережье соленого озера Сасык (Северо-Западный Крым). *S. europaea* – типичный однолетний эугалофит, образующий моноценозы в прибрежной зоне соленых озер, лиманов, маршей [3]. Жизненное состояние растений в популяциях *S. europaea* детерминировано интенсивностью конкурентных взаимодействий, степенью увлажненности и засоленности почвы [4]. В моноценозах ассоциации *Salicornietum rurum* на фоне одинакового уровня увлажненности экотопа, были выбраны пять ценопопуляций *S. europaea*, различающихся степенью засоленности грунта. Рельеф участков выровненный, местами полого наклоненный в сторону озера Сасык, почвы

<sup>1</sup> В основу статьи положены материалы доклада, сделанного на XII съезде Украинского ботанического общества (15-18 мая 2006 г., г. Одесса).

## АНАЛИЗ РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ SALICORNIA EUROPaea L.

---

рыхлые, песчаные, серо-голубого или желто-бурового цвета, слабогумусированные, с хлоридным типом засоления (содержание  $[Cl^-]$ , примерно в пять раза превышает концентрацию  $[SO_4^{2-}]$ ). В сообществах доминирует *S. europaea* (проективное покрытие – 70-75%), местами в качестве содоминанта к нему примешивается *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) Aell. (проективное покрытие 10-15%). Для трех ценопопуляций *S. europaea* (условно: цп.1.1.-1.3.) содержание легкорастворимых солей в поверхностном почвенном горизонте находилось в пределах солевой амплитуды вида и не превышало 2%. Средние значения полевой влажности почвы (ПВ) варьировали в диапазоне от 26-28% (цп.1.1., 1.3.) до 32% (цп.1.2.) на сухой вес почвы. В ценопопуляциях 2.1., 2.2. при полевой влажности субстрата около 33% концентрация солей в почве достигала почти 4%.

Для исключения конкурентных взаимодействий между растениями в исследуемых ценопопуляциях *S. europaea* был проведен эксперимент. В момент появления первых всходов *S. europaea* вокруг случайно выбранных растений в радиусе фитогенного поля (10-15 см) были удалены все ближайшие соседи.

Оценка жизненного состояния особи позволяет оценить степень адаптации организма к меняющимся экологическим условиям произрастания. Наиболее показательными для оценки жизненности особи, являются признаки характеризующие рост, продукционный процесс и формообразование растений [5]. В последнее понятие включен весь круг признаков морфологической структуры растений. В качестве морфометрических параметров особи были использованы: 1) воздушно-сухая масса особи (m, г), которая интегрирует все продукционные процессы и имеет высокую взаимообусловленность с метаболическими процессами в растительном организме; 2) высота надземной части растения от корневой шейки до верхушки главного побега (h, мм); 3) диаметр стебля над корневой шейкой (d, мм) [5, 6].

Большинство морфологических признаков связано с ростовыми процессами растений. Учет показателей роста наиболее полно раскрывает морфогенез особи, как процесс возникновения её формы, морфологического строения в любой период времени и положении в ценопопуляции. В качестве параметров, характеризующих ростовые процессы особи, была использована: 1) относительная скорость роста ( $RGR_m$ , г/г•неделю и  $RGR_h$ , мм/мм•неделю) вычисляемые по формулам:

$$RGR_m = \frac{(m_2 - m_1)2}{(m_2 + m_1)(t_2 - t_1)}, \quad (a)$$

$$RGR_h = \frac{(h_2 - h_1)2}{(h_2 + h_1)(t_2 - t_1)}, \quad (b)$$

где,  $m_1$  ( $h_1$ ) и  $m_2$  ( $h_2$ ) – воздушно-сухая масса (высота) растения в момент  $t_1$  и  $t_2$ . Затем производили пересчет относительной скорости роста особи в неделю.

2) чистую продуктивность фотосинтеза или величину нетто-ассимиляцию (NAR, г/м<sup>2</sup>•неделю) вычисляемую по формуле:

$$NAR = \frac{(m_2 - m_1)}{A_{sp.}(t_2 - t_1)},$$

где.  $m_1$  и  $m_2$  -воздушно-сухая масса растения в начале ( $t_1$ ) и в конце учетного периода ( $t_2$ ):

$A_{cp}$  – средняя рабочая площадь ассимиляционной поверхности растения за учетный период  $\Delta t$  ( $\Delta t = t_2 - t_1$ ) ( $m^2$ ). рассчитывали из площади ассимиляционной поверхности растения в начале ( $a_{cp1}$ ) и в конце ( $a_{cp2}$ ) учетного периода  $\Delta t$ :

$$A_{cp} = \frac{a_{cp1} + a_{cp2}}{2}.$$

В данном исследовании, прирост сухой массы растения ( $m_2 - m_1$ ) и скорость нарастания площади ассимиляционной поверхности ( $A_2 - A_1$ ) фиксировался за 7-9 дней. Снятие показаний для вычисления NAR и  $A_{cp}$ , проводили с периодичностью один раз в 25-28 дней в течение всего вегетационного сезона *S. europaea* (с июля по ноябрь).

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Растения, в процессе своего роста и развития, сталкиваются с разнообразными условиями существования. Любой фактор окружающей среды (абиотический или биотический) может быть выражен в минимуме, оптимуме и максимуме. Для стабильного существования растения в сообществе требуется определенный комплекс внешних условий (температура, влажность, освещенность, соотношение необходимых питательных веществ). Достижение значениями факторов окружающей среды порога толерантности вида приводит к различным нарушениям в растительном организме. протекающими сначала скрытно, а затем обнаруживаемыми визуально (отставание в росте, изменение формы тела и морфометрических параметров и т.д.) [7–9].

По мере роста содержания легкорастворимых солей в почве у *S. europaea* отмечено резкое падение скорости накопления органического вещества. Практически при одинаковой высоте экспериментальных особей из ценопопуляций 1.2. ( $h = 143,1 \pm 8,3 \text{ м}^{-3}$ ) и 2.2. ( $h = 128,8 \pm 3,4 \text{ м}^{-3}$ ), скорость накопления органического вещества в тканях растения выше у тех особей, которые произрастают на участке с общей засоленностью экотопа около 2%, т.е. в оптимальных для произрастания вида экотопических условиях (табл.1).

В этом случае, среднее значение NAR<sub>ср.</sub>, как показатель производительности работы листового аппарата, увеличивается до 30,84 г/м<sup>2</sup> неделью. С нарастанием уровня засоленности экотопа (до 4%) наблюдается снижение продукционной активности *S. europaea* до 23,50 г/м<sup>2</sup> х неделью. Аналогичная зависимость установлена в отношении основного параметра жизненности растения - биомассы. Увеличение содержания солей в почве приводит к статистически достоверной ( $P < 0,05$ ) потере воздушно-сухой массы растений (до 53%). (табл.1). В ценопопуляциях 2.1. и 2.2. к концу вегетационного сезона средняя масса особи *S. europaea* не превышала 0,28±0,01 г, что примерно в 2 раза меньше воздушно-сухой массы растений, произрастающих на участках с общей засоленностью около 2% (ценопопуляции 1.1. -1.3.).

**Таблица 1.**  
**Динамика роста и продуктивности *S. europaea* L . в ценопопуляциях 1.3. и 2.1.**

Ценопопуляция 1.3.
--------------------

**АНАЛИЗ РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ SALICORNIA EUROPaea L.**

---

Параметр	Сроки отбора					
	06.07.02	22.07.02	18.08.02	28.08.02	11.09.02	26.09.02
$\bar{h}_{cp.}$ , $\bar{x} \pm m_x, M^{-3}$	48,7±5,5	95,3±4,7	143,1±8,3	150,5±2,8	159,6±1,0	160,4±3,2
$\bar{d}_{cp.}$ , $\bar{x} \pm m_x, M^{-3}$	0,70±0,10	0,95±0,02	1,29±0,07	1,36±0,07	1,35±0,06	1,39±0,02
$\bar{m}_{cp.}$ , $\bar{x} \pm m_x, g$	0,06±0,01	0,14±0,04	0,29±0,05	0,33±0,01	0,32±0,04	0,39±0,07
NAR <sub>cp.</sub> , г/м <sup>2</sup> • нед	—	10,04	—	23,39	—	30,84
RGR <sub>cp(h)</sub> , м <sup>-3</sup> /м <sup>-3</sup> • неделю	—	0,3021	0,1095	0,0392	0,0316	0,0024
$A_{cp.},$ $1 \cdot 10^{-4} M^{-2}$ (неделю)	33,5±0,5		16,98±0,01		11,31±0,07	
<b>Ценопопуляция 2.1.</b>						
Параметр	15.07.99	21.07.99	17.08.99	24.08.99	28.09.99	06.10.99
$\bar{h}_{cp.}$ , $\bar{x} \pm m_x, M^{-3}$	27,7±1,2	40,6±4,2	51,4±2,4	46,9±1,2	45,2±1,0	46,3±0,6
$\bar{m}_{cp.}$ , $\bar{x} \pm m_x, g$	0,05±0,001	0,08±0,002	0,23±0,003	0,26±0,01	0,28±0,01	0,29±0,02
RGR <sub>cp(h)</sub> , м <sup>-3</sup> /м <sup>-3</sup> • неделю	—	0,5247	0,0634	-0,1079	-0,0072	0,0225
NAR <sub>cp.</sub> , г/м <sup>2</sup> • неделю	—	19,32	—	23,50	—	12,64
$A_p.$ $1 \cdot 10^{-4} M^{-2}$ (неделю)	13,87±0,03		9,22±0,03		5,2±0,1	

В качестве критерия относительной скорости размножения живой массы, т.е. её метаболической активности, выступает относительная скорость роста (RGR<sub>cp.</sub>) [5]. Анализ динамики относительной скорости роста, четко характеризует основные этапы роста растения. Варьирование уровня засоленности экотопа не повлияло на характер кривых роста особей *S. europaea* в высоту (RGR<sub>cp(h)</sub>), которые соответствуют основным фенологическим fazам развития однолетнего растения (рис. 1).

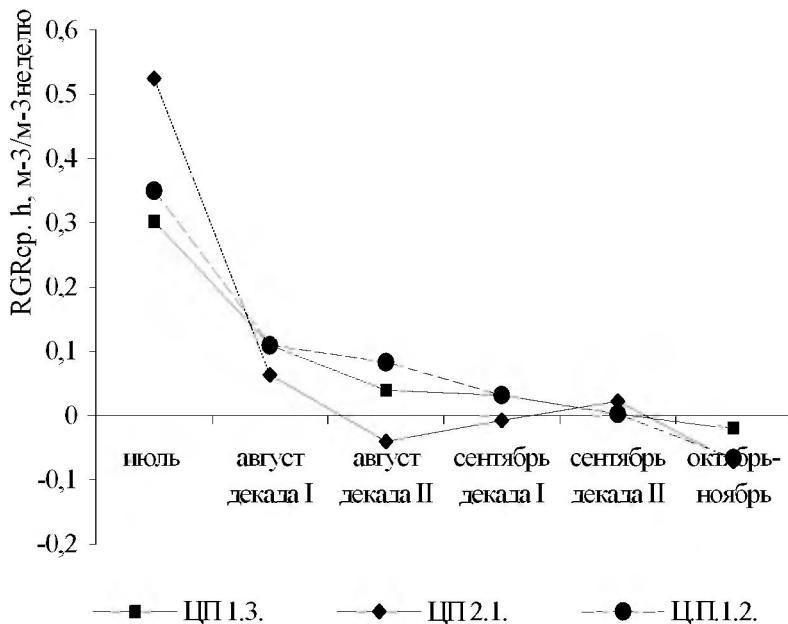


Рис. 1. Динамика  $RGR_{cp.} h$  растений за период вегетации в ценопопуляциях *Salicornia europaea*.

В общем виде, эти закономерности заключаются в следующем: равномерное увеличение величины  $RGR$  в первую фазу жизненного цикла особи, в результате нарастания ассимиляционной поверхности (май-июль), затем постепенная остановка роста к периоду формирования генеративной сферы растения. [10]. С переходом к цветению (конец августа - начало сентября), т.е. в период образования генеративных органов, интенсивность ростовых процессов снижается до невысоких положительных величин, причем, в некоторых ценопопуляциях *S. europaea*  $RGR_{cp.}$  имеет отрицательные значения. Не оказывая влияния на динамику роста растений, уровень содержания солей в почве определяет интенсивность ростового процесса особи. По градиенту засоленности обнаружена тенденция к увеличению относительной скорости роста растений в высоту с  $0,302 \text{ м}^{-3}/\text{м}^3$  х неделю до  $0,524 \text{ м}^{-3}/\text{м}^3$  х неделю (Табл.1). Однако, даже при высоких темпах роста *S. europaea* на фоне высокой засоленности экотопа увеличение площади ассимиляционной поверхности растения не происходит в сравнении с растениями из ценопопуляции 1.3. ( $A = 33,5 \pm 0,5 \text{ см}^2$  за неделю). У особей в ценопопуляции 2.1, рабочая ассимиляционная поверхность невелика и достигает всего  $13,87 \pm 0,03 \text{ см}^2$  за неделю. Установленная закономерность вполне согласуется с эколого-физиологическими особенностями данного эугалофита и его адаптационной реакцией на высокую засоленность экотопа. Интенсивный рост растения снижает токсическое влияние солей на растительный организм за счет активной аккумуляции почвенной влаги в клетках. Кроме

## **АНАЛИЗ РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ SALICORNIA EUROPaea L.**

---

того, сокращение площади ассимиляционной поверхности растения, в результате подсыхания нижних кладодиев на стебле *S. europaea*, освобождает растение от избытка ионов солей ( $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ ) в организме. Аналогичная адаптационная особенность характерна для *Plantago maritima* L., *Triglochin maritimum* L., *Tripolium vulgare* Ness. произрастающих на почвах с высоким содержанием солей [11, 12].

### **ВЫВОДЫ**

1. На градиенте засоленности (содержание легкорастворимых солей в почве от 2% до 4%) с ростом засоленности экотопа увеличивается относительная скорость роста (RGR) растений в высоту. Одновременно отмечено падение скорости накопления органического вещества у *S. europaea* – снижается среднее значение нетто-ассимиляции (NAR), воздушно-сухая масса растений снижается примерно в два раза.
2. Интенсивный рост растений на местообитаниях с высоким содержанием солей в почве обусловлен адаптивной реакцией *S. europaea* и направлен на нейтрализацию токсического влияния ионов  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  на организм эугалофита.

### **Список литературы**

1. Шамсутдинов З.Ш., Шамсутдинов Н.З. Методы экологической реставрации аридных экосистем в районах пастбищного животноводства // Степной биолл. - 2002. - №11. - С. 35-46.
2. Beaufort W.G. Salt-marshes. - London: John Wiley&Sons. 1977.-356 p.
3. Білік Г.І. Рослинність засолених ґрунтів України. її розвиток, використання та поліпшення. - К.: Вид-во АН УРСР, 1963. - 300 с.
4. Котов С.Ф., Репецкая А.П. Влияние экологического-ценотических факторов на жизненное состояние *Salicornia europaea* L. // Учен. зап. Тавр. нац. универ. - 2002. - Т. 15 (54). №1. - С. 41-45.
5. Злобин Ю.А. Теория и практика оценки виталитетного состава ценопопуляций растений // Ботан. журн. - 1989. - Т. 74, №6. - С.769-781.
6. Карманова Н.В. Математические методы изучения роста и продуктивности растений. - М.: Наука. 1976. - 223 с.
7. Недуха О.М. Влияние водного дефицита на листки рослин // Укр. ботан. журн. - 2001. - Т. 58, №1. - С. 99-106.
8. Серифимович Н.Б. Морфологические изменения райграса высокого от условий произрастания // Вопросы сравнительной морфологии растений. - Л.: Наука. 1975. - С. 139-164.
9. Mohr H. Plant physiology. - Berlin: Springer. 1995. - 626 p.
10. Репецкая А.П., Жалдак С.Н. Динамика ростовых процессов у однолетних видов растений в галофитных сообществах Крыма // Матер.наук.конф.молод. вчен. "Екологіко-біологічні дослідження на природних та антропогенно-змінених територіях". - Кривий Ріг, 2002. - С. 332-334.
11. Лархер В. Экология растений: Пер. с нем. - М.: Мир. 1978. - 384 с.
12. Flowers T.J., Troke P.F., Yeo A. R. The mechanism of salt tolerance in halophytes // Annu. Rev. Plant Physiol. - 1977. - Vol. 28. - P. 89-121.

*Поступила в редакцию 20.05.2006 г.*