

## КЛЕТОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ РОСТА КОРНЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Н.В. Жуковская, Е.И. Быстрова, Н.Ф. Лунькова, В.Б. Иванов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, Москва, Россия, *ivanov\_vb@mail.ru, nataliazhukovskaya@mail.ru*

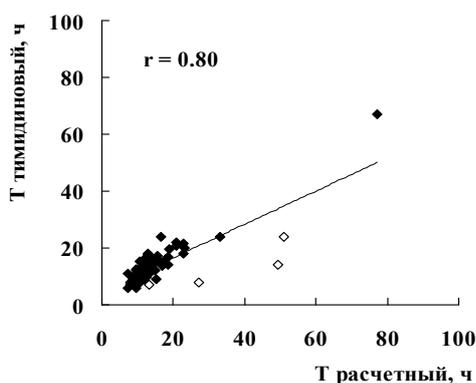
**Аннотация.** Изменение скорости роста корня – один из четко выраженных показателей стресса. Выяснение механизмов, определяющих размер меристемы, является одной из наиболее актуальных задач в изучении роста корней на клеточном уровне, как при оптимальных условиях, так и при стрессе. Проведенные нами анализы показали, что различия в скоростях роста корней разных видов зависят от различий в числе клеток в меристеме и длине закончивших рост клеток.

**Ключевые слова:** корень, рост, меристема, митотический цикл, стресс

**DOI:** 10.31255/978-5-94797-319-8-336-339

При различных стрессовых воздействиях скорость роста корней существенно меняется. Это определяется не только тем, что во многих случаях вредные соединения поступают в растения через почву, но и тем, что в корнях клетки растут и делятся с более высокими относительными скоростями, чем в надземных частях. Однако до сих пор количественные точные данные о том, как растут и делятся клетки в корнях, получены на очень ограниченном числе видов. Изменение скорости роста – один из четко выраженных показателей стресса. Для того чтобы понять, почему реакция корней разных видов на стресс различается, важно выяснить, как происходит рост корней у них на клеточном уровне. Хотя это является не единственной причиной их разного ответа на стресс, но имеет очень важное значение и исследовано недостаточно.

Рост корня происходит в результате образования новых клеток и их растяжения. Эти процессы существенно различаются по чувствительности к разным воздействиям.



**Рис. 1.** Т, полученные расчетным и тимидиновым методами (73 вида) (белыми точками обозначены виды (*Tropaeolum majus*, *Lilium longiflorum*, *Ornithogalum umbelatum*, *Epilobium hirsutum*), у которых разница в Т составила больше 70%).

На протяжении ряда лет нами была определена продолжительность митотических циклов (Т), число клеток в меристеме ( $N_m$ ) и зоне растяжения и относительные скорости роста в корнях проростков 35 видов однодольных и 62 двудольных растений, а также в придаточных корнях 22 видов однодольных, полученных при проращивании луковиц или корневищ. Для определения Т был использован разработанный нами простой метод [Иванов, 1974; Ivanov, Dubrovsky, 1997]. Сравнение результатов определения Т этим методом с опубликованными данными, полученные более

сложным тимидиновым методом, показали, что для подавляющего числа видов получаются очень близкие результаты [Zhukovskaya et al., 2018] (рис. 1).

Средние значения, полученные тимидиновым и расчетным методами, были довольно близкими ( $13.9 \pm 0.9$  и  $15,4 \pm 1.2$  ч). Коэффициент корреляции ( $r$ ) между методами составил 0.80. За исключением нескольких видов (*Tropaeolum majus*, *Lilium longiflorum*, *Ornithogalum umbelatum*, *Epilobium hirsutum*), у которых разница в  $T$  составила более 70%,  $r$  составил 0.93.

Корни разных видов растут с разными скоростями. До сих пор остается малоисследованным, в какой мере это обусловлено различиями в скоростях деления клеток и их растяжения. В литературе такие данные имеются приблизительно для десятка видов. Нами были изучено 120 видов. Оказалось, что различия в скоростях роста корней ( $V$ ) слабо зависят от  $T$  (рис. 2). Гораздо заметнее скорости роста корней разных видов зависели от  $N_m$  (рис. 3).

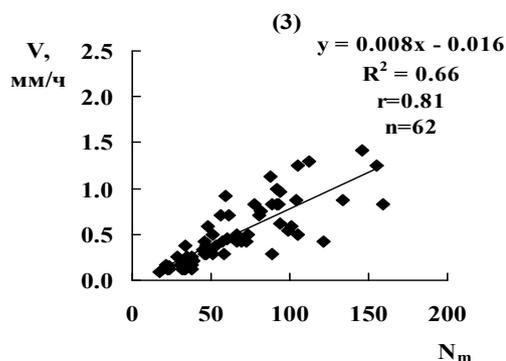
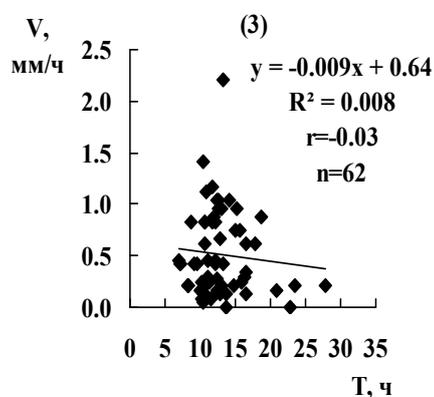
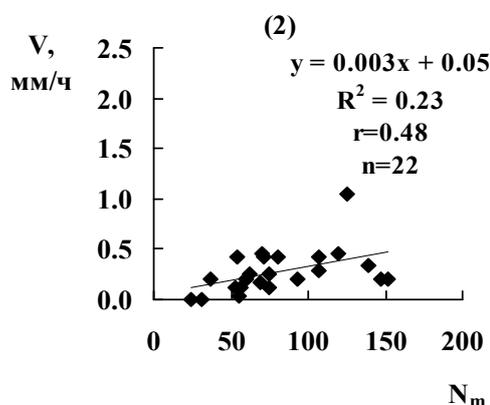
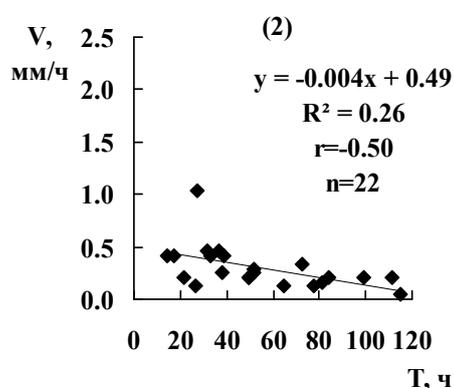
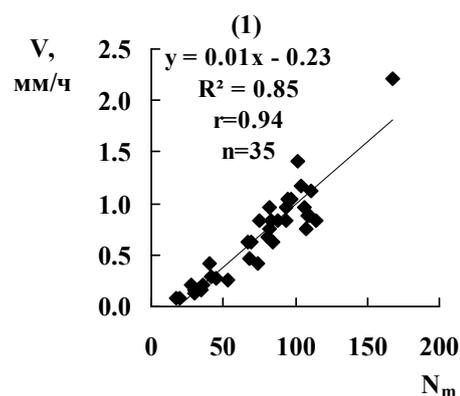
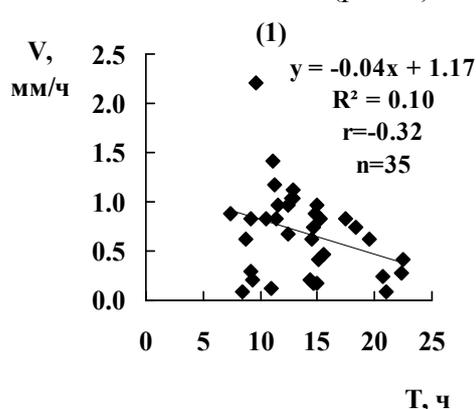


Рис. 2. Зависимость  $V$  от  $T$  для корней однодольных (1), для придаточных корней однодольных (2) и двудольных (3).

Рис. 3. Зависимость  $V$  от  $N_m$  для корней однодольных (1), для придаточных корней однодольных (2) и двудольных (3).

Величина  $N_m$  тесно коррелировала с диаметром корня [Быстрова и др., 2018], тогда как  $T$  и относительные скорости растяжения ( $k_e$ ) слабо зависели от диаметра корня.

Скорость роста корня зависела от длины зоны растяжения ( $L_e$ ) и  $k_e$ . Однако оказалось, что они слабо связаны, и  $V$  зависит от скорости образования клеток и длины закончивших рост клеток. Это позволяет вычислить  $V$  по измерениям  $T$  (тимидиновым методом) и подсчета  $N_m$  и измерениям длины закончивших рост клеток. Полученные результаты близко совпадают с измеренными (рис. 4).

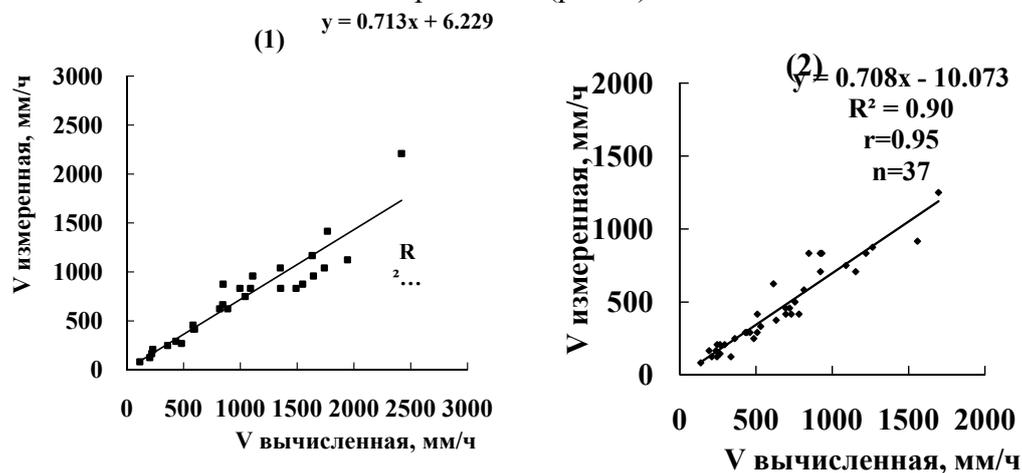


Рис. 4. Корреляция между измеренной и вычисленной скоростями роста у корней однодольных (1) и двудольных (2).

Проведенные нами анализы показали, что различия в скоростях роста корней разных видов зависят от различий в длине закончивших рост клеток и числе клеток в меристеме. Последнее оказывает существенное значение на величину скорости роста. Выяснение механизмов, определяющих размер меристемы, является одной из наиболее актуальных задач в изучении роста корней на клеточном уровне, как в норме, так и при различных воздействиях. В докладе будут обсуждены воздействия ингибиторов роста на длительность митотического цикла, длину меристемы и число клеток меристемы у корней видов, различающихся по длительности митотического цикла.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Гранта РФФИ № 18-04-00918.*

#### Литература

- Быстрова Е.И., Жуковская Н.В., Иванов В.Б. Зависимость процессов роста и деления клеток в корне от его диаметра. // Онтогенез. – 2018. – Т. 49, № 2. С. 91–100.
- Иванов В.Б. Клеточные основы роста растений. – Москва: Наука, 1974. – 202 с.
- Ivanov V.B, Dubrovsky J.G. Estimation of the cell-cycle duration in the root apical meristem: a model of linkage between cell-cycle duration, rate of cell production, and rate of root growth // International Journal of Plant Sciences. – 1997. – V. 158. – P. 757–763.
- Zhukovskaya N.V., Bystrova E.I., Dubrovsky J.G., Ivanov V.B. Global analysis of an exponential model of cell proliferation for estimation of cell cycle duration in the root apical meristem of angiosperms. // Ann. Bot. – 2018. <https://doi.org/10.1093/aob/mcx216>.

## CELLULAR MECHANISMS DETERMINING CHANGES IN ROOT GROWTH RATE IN VARIOUS EFFECTS

N.V. Zhukovskaya, E.I. Bystrova, N.F. Lunkova, V.B. Ivanov

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia,  
*ivanov\_vb@mail.ru, nataliazhukovskaya@mail.ru*

**Abstract.** The change of the root growth rate is one of the most important indicators of stress. The identification of the mechanisms determining the meristem size is one of the most important problems in the study of root growth at the cellular level, under both optimal conditions and stress. Our studies showed that the differences in the root growth rates of different species depend on the differences in the number meristematic cells and the length of fully elongated cells.

**Keywords:** *root, growth, meristem, mitotic cycle, stress*