

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА ГРИБНОГО МИЦЕЛИЯ С ПОМОЩЬЮ КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА

Шумилов А.С.¹, Благодатский С.А.¹

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения, Пущино, Россия
terminatorson@gmail.com

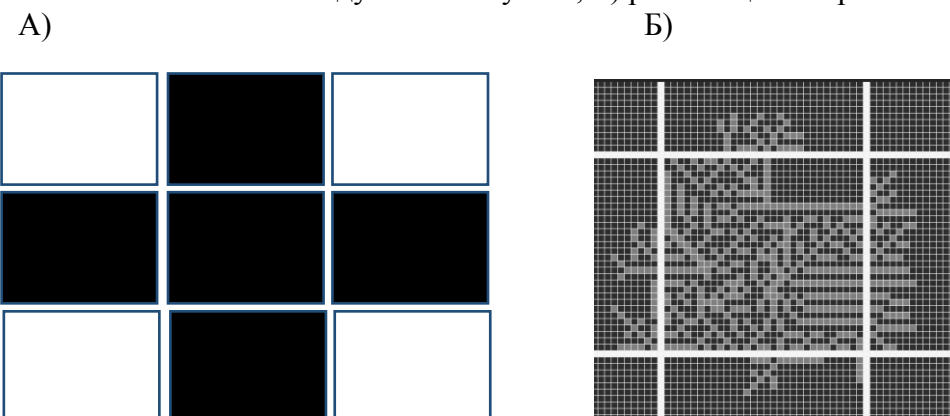
Аннотация: гриб растет в направлении большего ресурса Pe . Если его мало, то ищет через односторонний рост. Смерть может наступить из-за голодания, либо «принятия решения» на «коллективном голосовании», когда одна часть гриба съедает другую. Pe (азот N, фосфор P, углерод) может транспортироваться между частями гриба. Параметризована как пространственная, так и метаболическая подмодель.

Условная клетка мицелия – УКМ, представляет в модели участок реального мицелия. УКМ растет к большому Pe . Иначе УКМ пытается выйти на участок богатый Pe путем одностороннего роста. Pe расходуется на жизнь и рост новых клеток УКМ из старых. Смерть может наступить в результате голодания. Тогда внутренний Pe переходит в среду, если они не были использованы для энергетических целей и дыхания.

Мицелий может расти линейно или ветвиться в зависимости от Pe . УКМ всасывает ресурсы активно и пассивно. Апикальная часть всасывает ресурсы на пять порядков быстрее. Это происходит из-за инсультации зрелых гифов. УКМ может потреблять больше Pe , чем ему надо на данный момент. Они могут трансформироваться, переходя из внешнего ресурса во внутренний, либо транспортируются в нуждающуюся в этом дочернюю клетку.

В случае роста в агаре (Ritz 1995) модель может повторить рисунок роста триходермы.

Рис.1. Рост триходермы крестом в системе агар – воздушные ловушки. А) Темные клетки – агар, более светлые (серые) – мицелий белое пространство между темными блоками – воздушные ловушки; Б) рост мицелия крестом в модели.



Формула для ресурса, транспортируемого в материнскую клетку УКМ:

$$m_{transpInToMather} = \frac{\{(\pi(Q_{step} * L_{step})^2 - 2\pi(Q_{step} * L_{step}))\} (s - s * sinvert) * (1 - \epsilon) K_{res} * V_{max}}{(K_m + s) K_{min}} \quad (1)$$

Формула 1.

Таблица 1 – Параметры модели

параметр	P	N	Ссылки примечания
ϵ - коэффициент инсультации	0,1	-	Ames, Reid et al. 1983, Gow and Gadd 2007

V_m максимальная скорость работы фермента	0,018	-	Cazelles, Otten et al. 2013
K_m - константа Михаэлиса	$1,1 \cdot 10^{-12}$	-	Cazelles, Otten et al. 2013
K_{res} — степень инсуляции	1	-	Ames, Reid et al. 1983
K_{miner} — минерализация	1	-	Schimel and Bennett 2004, Маслов 2014
S_{invert} — обратный отток элемента наружу	0	0,5	Kaiser, Franklin et al. 2014
Q_{step} -Количество шагов модели			
L_{step} -длина шага модели	0,1 мм	-	
s-концентрация субстрата, процентов от массы почвы	0,00125	0,005	Ames, Reid et al. 1983

Параметризация метаболической подмодели проводилась на основании данных по транспорту фосфора и азота по мицелию гриба в микоризе по статье (Ames, Reid et al. 1983). При пересчете получаем, что за три дня транспортируемый фосфор составил 0,003489 на одну десятую мм гифа гриба в процентах от массы почвы (0,1 %мп) в предположении, что 10% гифов инсулированы. при расчете по вышеупомянутой формуле мы получаем количество переданного азота, равное 0,0032 0,1 %мп. 35 и 32 – сравнимые величины. При расчете транспорта азота мы принимали, что его передача растению из почвы затруднена по двум причинам: минерализация и обратный выброс азота в виде ферментов для переваривания субстрата – параметры K_{miner} и S_{invert} , которые не играли роли в случае с расчетом транспорта фосфора. Действительно, в статье (Kaiser, Franklin et al. 2014) говорится о том, что поток фосфора через растение настолько быстр, что не может быть лимитирующим фактором в модели взаимодействия корень – мицелий в микоризе. Что касается достаточно сильного влияния минерализации на доступность азота, которая следует из вычислений по модели, то в литературе есть предположение, что чем доступнее азот и меньше конкуренция, тем выше значение минерализации азота перед его потреблением растением (Schimel and Bennett 2004). В статье мы получили 0,0039 0,1 %мп, а в модели 0,0037 0,1 %мп, что тоже схоже между собой.

Литература

- Ames, R., et al. (1983). "Hyphal uptake and transport of nitrogen from two ^{15}N -labelled sources by *Glomus mosseae*, a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus." *New Phytologist* **95**(3): 381-396.
- Cazelles, K., et al. (2013). "Soil fungal dynamics: Parameterisation and sensitivity analysis of modelled physiological processes, soil architecture and carbon distribution." *Ecological modelling* **248**: 165-173.
- Gow, N. A. and G. M. Gadd (2007). *Growing fungus*, Springer Science & Business Media.
- Kaiser, C., et al. (2014). "Microbial community dynamics alleviate stoichiometric constraints during litter decay." *Ecology letters* **17**(6): 680-690.
- Ritz, K. (1995). "Growth responses of some soil fungi to spatially heterogeneous nutrients." *FEMS Microbiology Ecology* **16**(4): 269-279.
- Schimel, J. P. and J. Bennett (2004). "Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm." *Ecology* **85**(3): 591-602.
- Маслов, М. Н. (2014). "УГЛЕРОД, АЗОТ И ФОСФОР МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ В ТУНДРОВЫХ ПОЧВАХ СЕВЕРНОЙ ФЕННОСКАНДИИ." *Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки*(2): 46-51.