

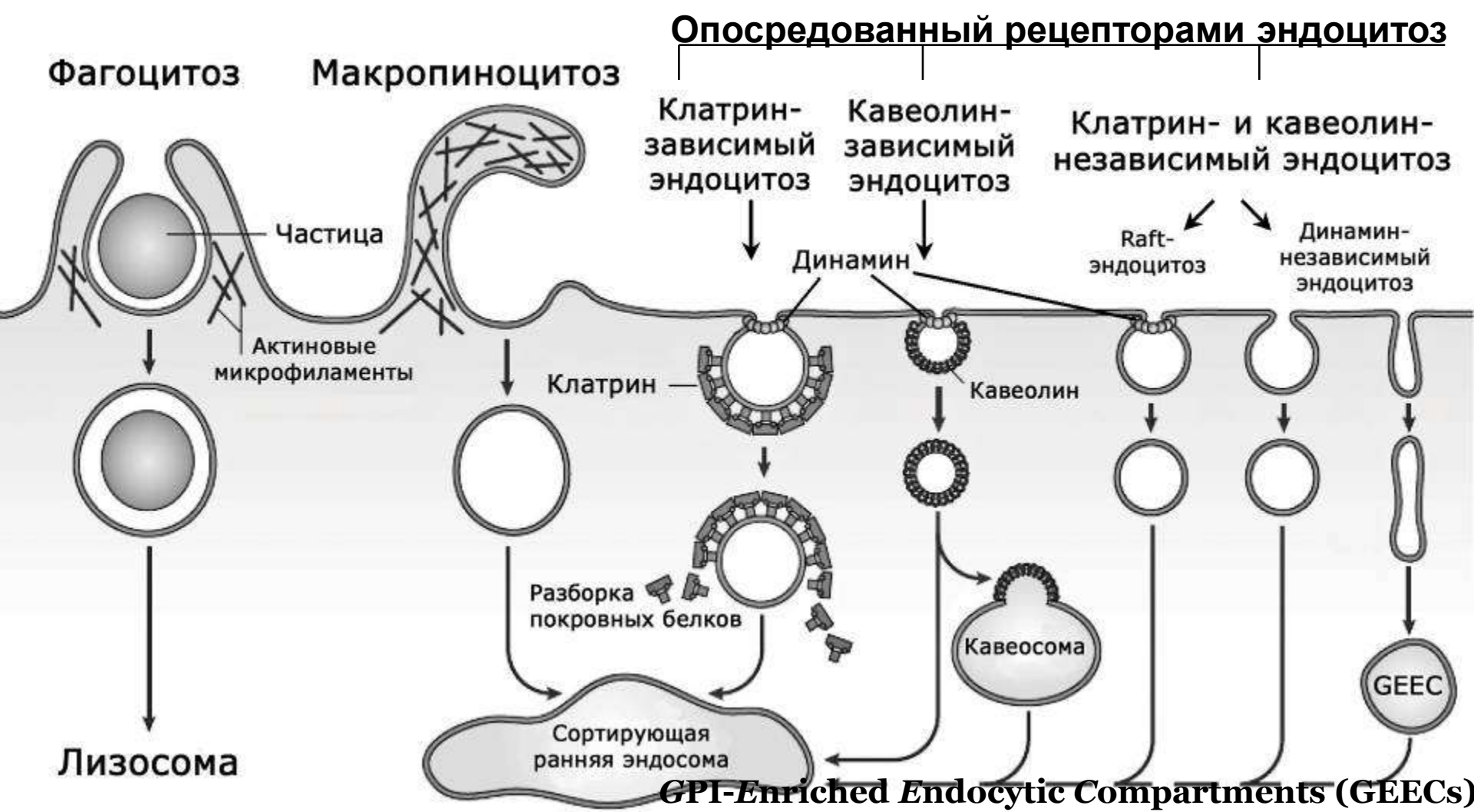
# Эндоцитоз у грибов

Проф. д.б.н. О.В. Камзолкина

Эндоцитоз представляет собой поглощение (или интернализацию) клеткой воды, веществ, частиц и микроорганизмов. Термин был предложен в 1963 году бельгийским цитологом Кристианом де Дювом для описания множества процессов интернализации, протекающих в клетках млекопитающих (de Duve, 1963). Эндоцитоз осуществляется путем впячивания плазматической мембраны, формирования и отделения везикул, их транспорта и слияния с мембранными компонентами внутри клетки (Hawes et al., 1995). В результате эндоцитоза клетка получает для своей жизнедеятельности гидрофильный материал, который иначе не проникает через липидный бислой клеточной мембраны.

# Пути входа в клетку

(Mayor and Pagano, 2007, с мод.)

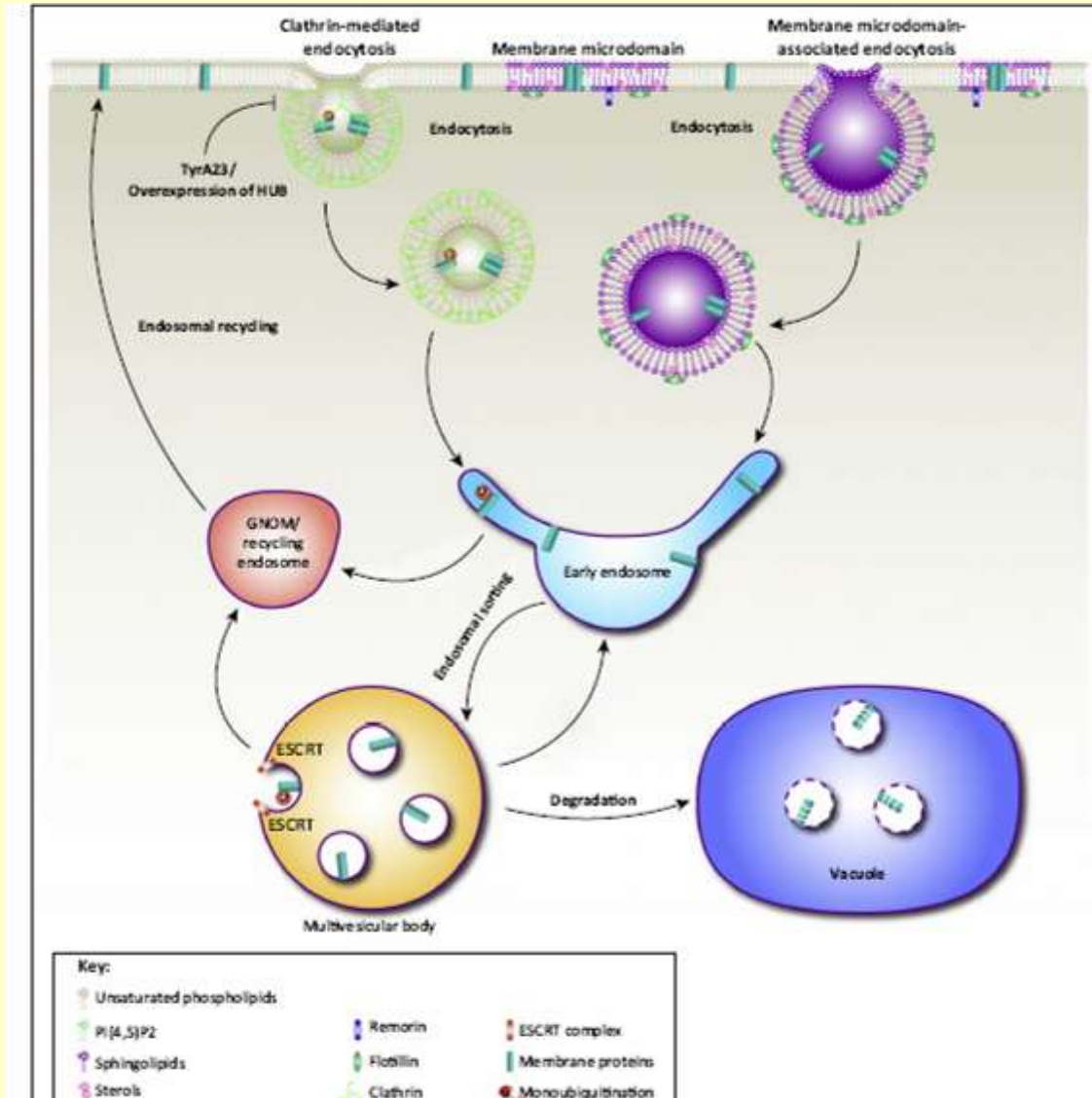


GPI-Enriched Endocytic Compartments (GEECs)

Эндоцитоз у животных отвечает за поглощение веществ внутрь клетки, имеет важное значение в онтогенезе, в иммунном ответе, в межклеточных взаимодействиях, в сигнальной трансдукции, в обеспечении клеточного и организменного гомеостаза (Conner and Schmid, 2003).

# Эндоцитоз у растений

Fan et al., 2015

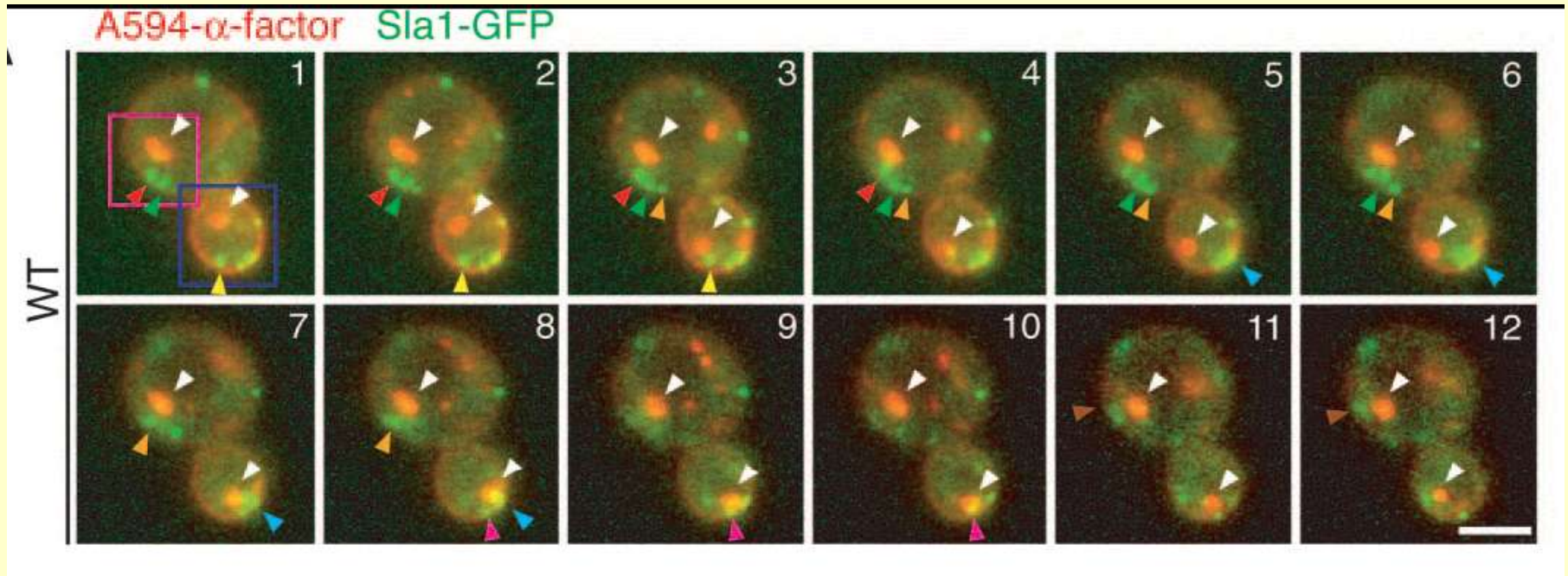


Показано участие эндоцитоза у растений в поглощении питательных веществ, сигнальной трансдукции и взаимодействии растений с микробами

# Исследование эндоцитоза у грибов

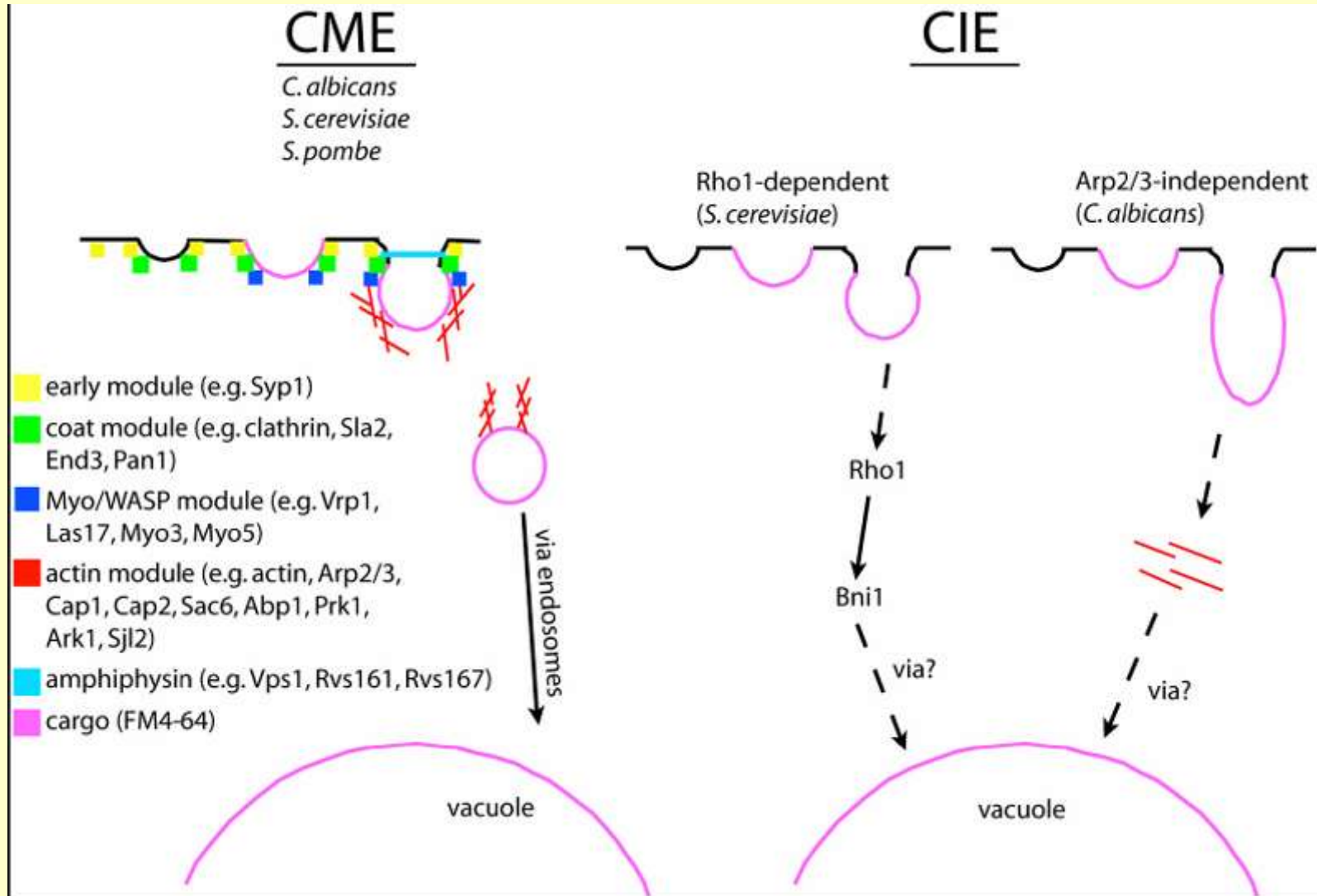


# Перемещение эндосом к ЭНДОЦИТОЗНЫМ ВЕЗИКУЛАМ.



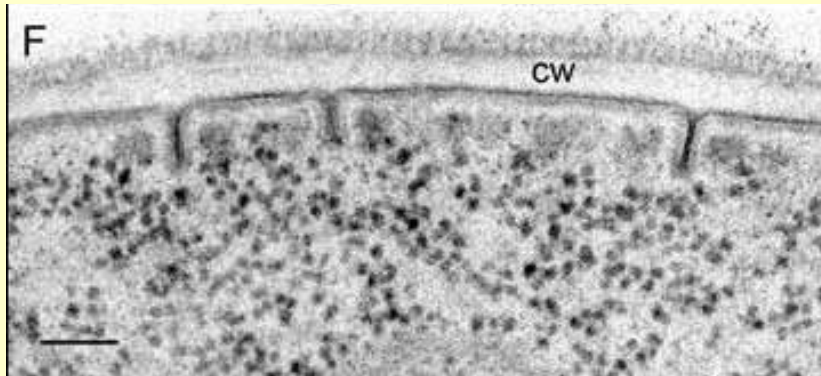
Эндосомы связаны с A594- $\alpha$ -фактором, эндоцитозные везикулы - с рецепторным белком Sla1-GFP, перемещаются друг к другу (масштабный отрезок 2.5 мкм) (Toshima et al., 2006)

# Модель клатрин-зависимого эндоцитоза (КЗЭ) и клатрин-независимого эндоцитоза (КНЭ) у дрожжевых грибов (Err et al., 2013)

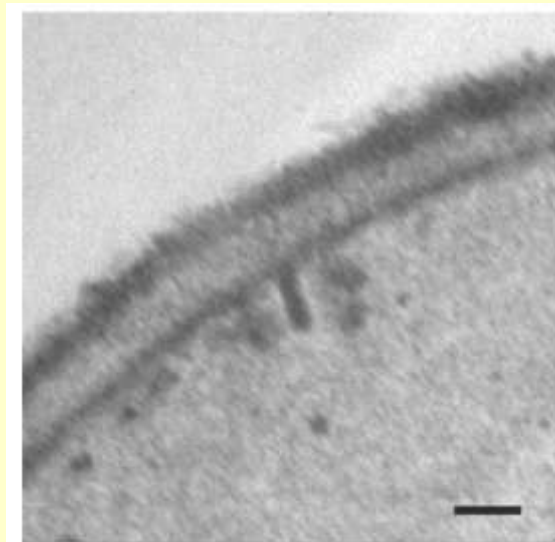




# Органеллы, участвующие в эндоцитозе у дрожжей (Bourett et al., 2007)



Инвагинации  
цитоплазматической  
мембраны *Pichia pastoris*

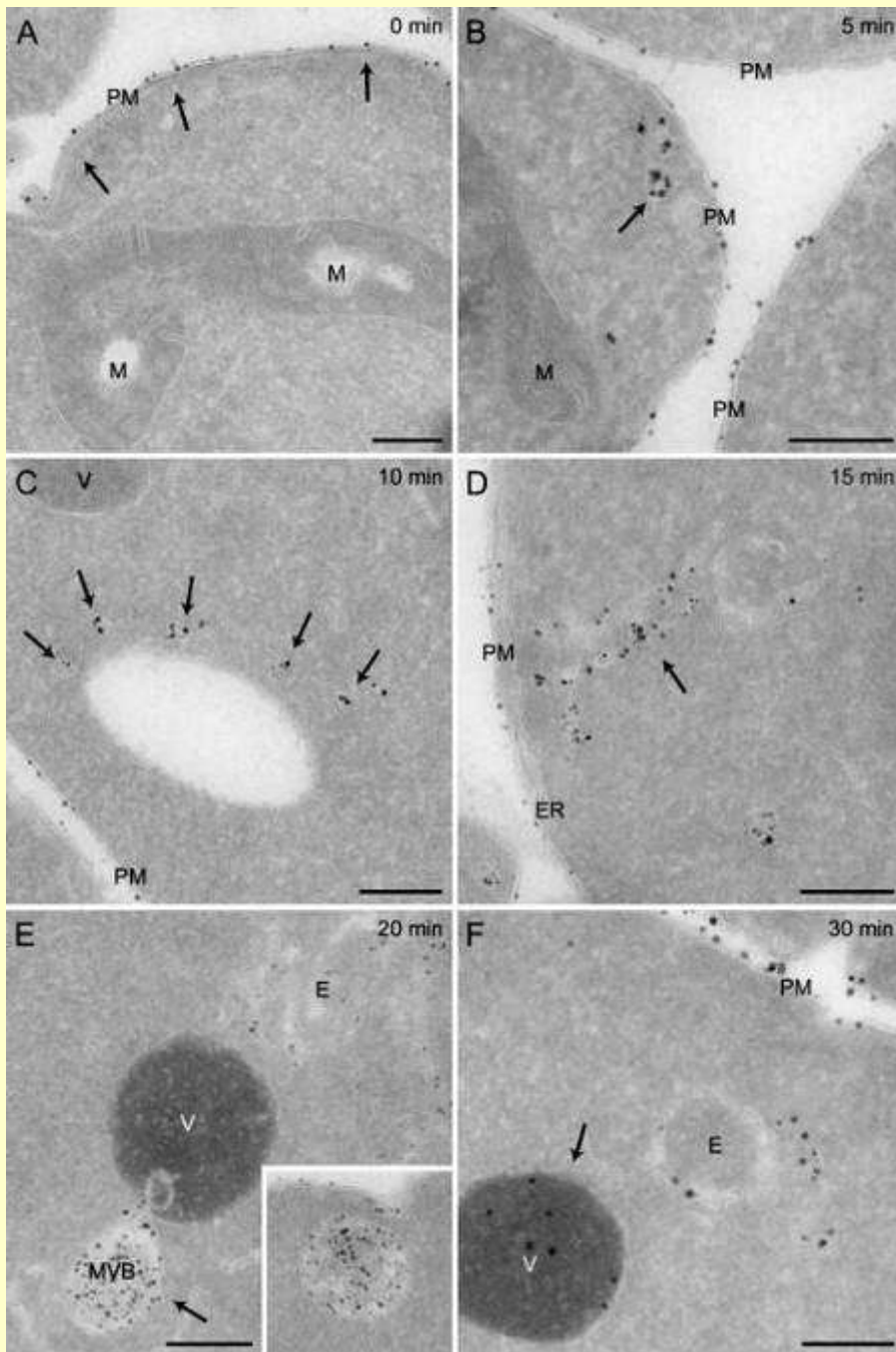


Инвагинации  
цитоплазматической  
мембраны *Candida albicans*

100 nm

# Эндоцитозный путь у дрожжей (Griffith and Reggiori, 2009)

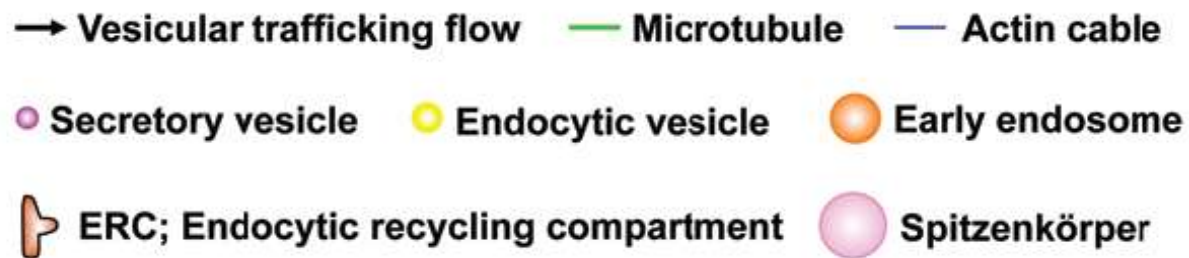
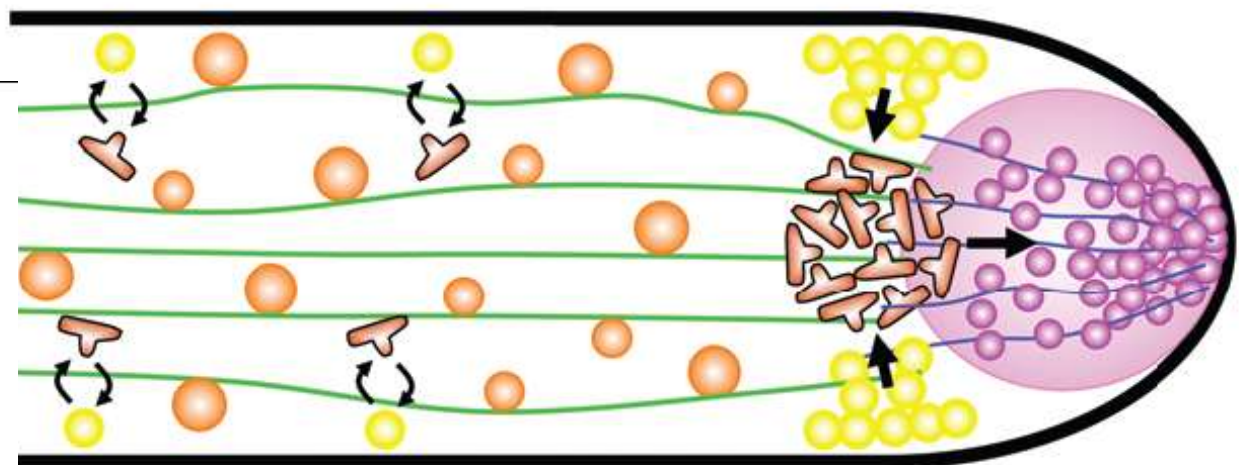
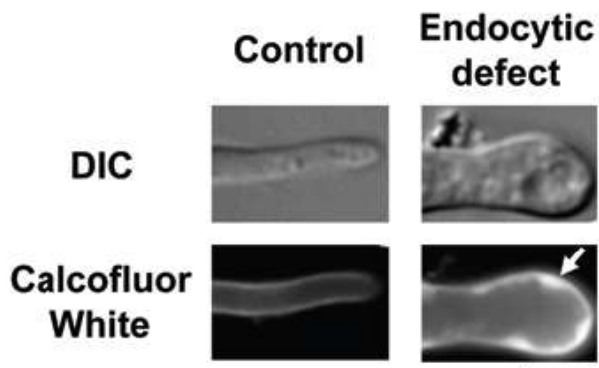
Сферопласты  
*Saccharomyces cerevisiae*



# Функции эндоцитоза у грибов

Эндоцитоз у грибов участвует в поступлении питательных молекул в клетки, в апикальном росте гиф, во взаимодействии грибов с представителями других царств, в обмене половыми факторами у дрожжевых грибов и в других процессах (Wessels, 1986; Toshima et al., 2006; Higuchi et al., 2009; Leborgne-Castel et al., 2010; Huisman et al., 2012).

# Модель эндоцитозного рециклинга у *Aspergillus oryzae* (Higuchi et al., 2009)



Мутант AoSnc1, везикулярный рецепторный белок vesicle-SNARE (v-SNARE)

Для апикального роста мицелиальные грибы нуждаются в возврате основных компонентов, таких как ферменты (участвуют в построении клеточной стенки) к растущему кончику (рециклингу).

# Эндоцитоз в системе гриб - растение



# Эндоцитоз в системе гриб – растение.

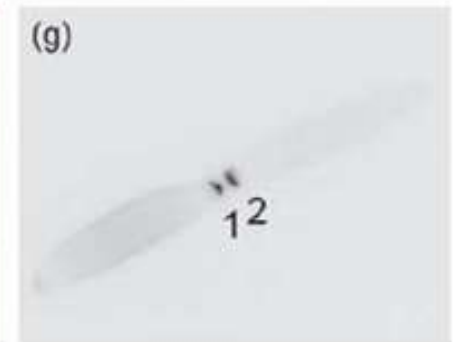
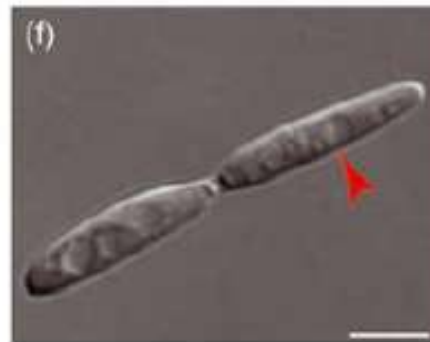
## *Ustilago maydis* - *Zea mays*.

Дикариотизация – верхушечный рост и узнавание поверхности хозяина – внедрение в эпидермальные клетки.

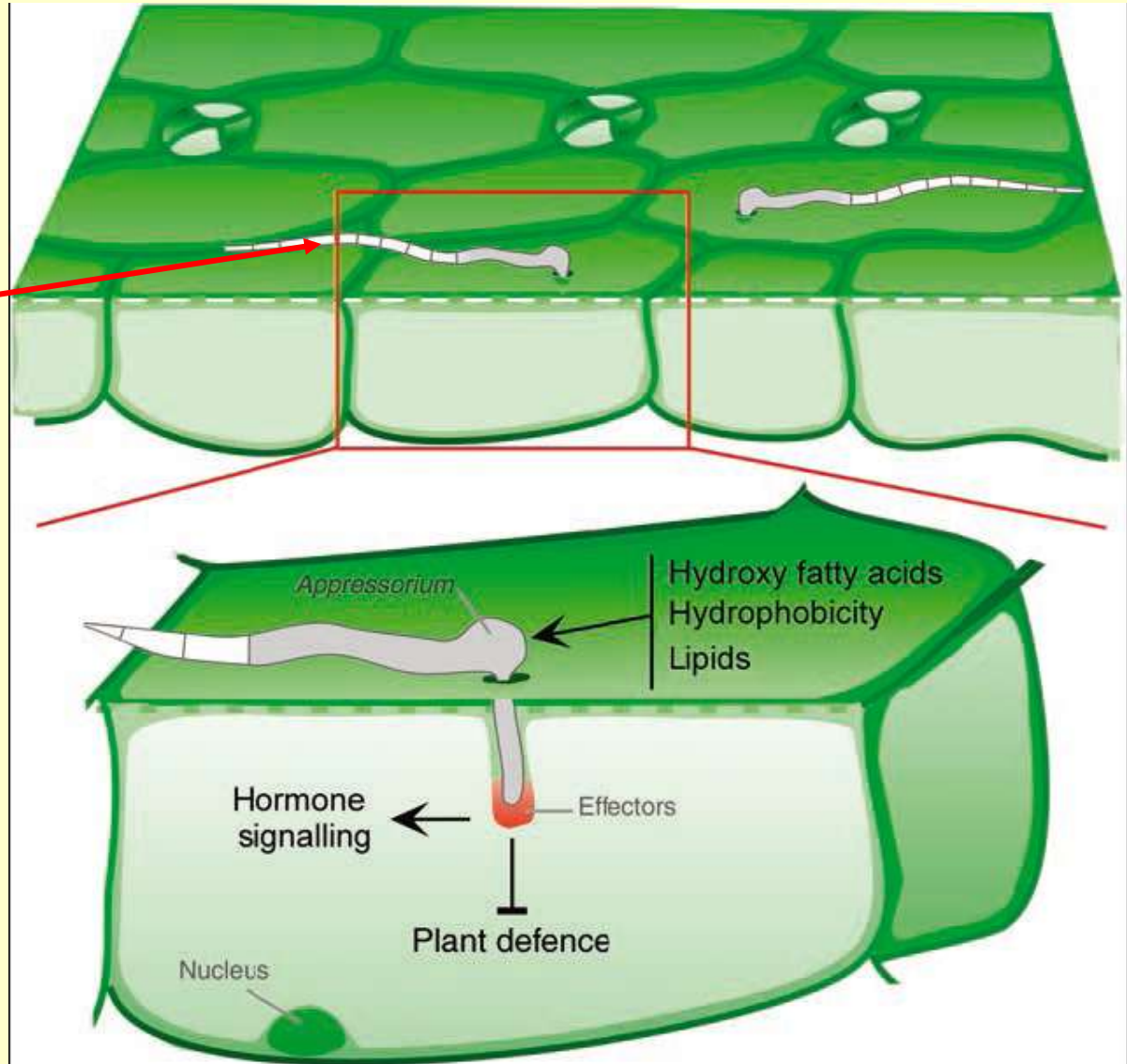
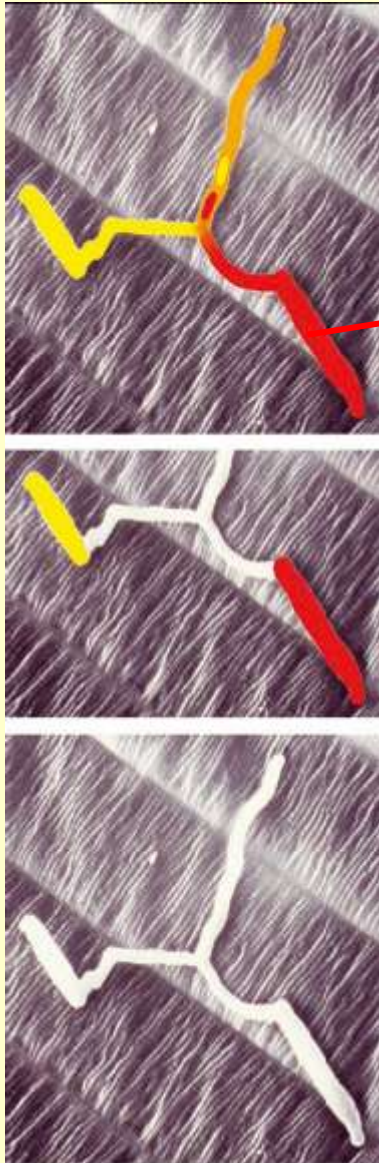
В ответ на внедрение патогена происходит индукция ферментов, кислот и др. веществ, осуществляющих защитную реакцию.

Однако, ответные реакции растения быстро супрессируются секретруемыми грибными эффекторами.

Некоторые из них хорошо изучены, такие как **Per1**, необходимого для внедрения и ингибирования апопластических растительных пероксидаз, **Pit2**, который ингибирует апопластические растительные протеазы и **Stu1**, хоризматичная мутаза, которая снижает уровень салициловой кислоты и таким образом ослабляя иммунитет растения.



# *Ustilago maydis* (Vollmeister et al., 2012)

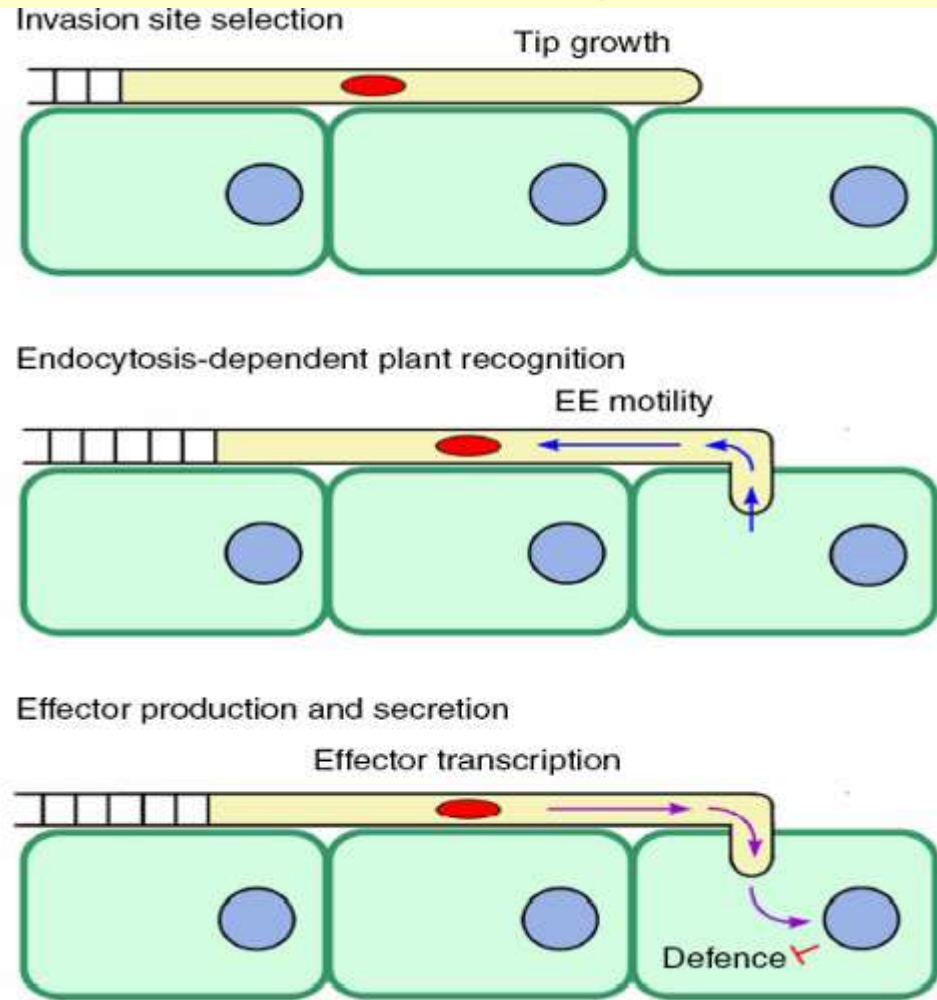
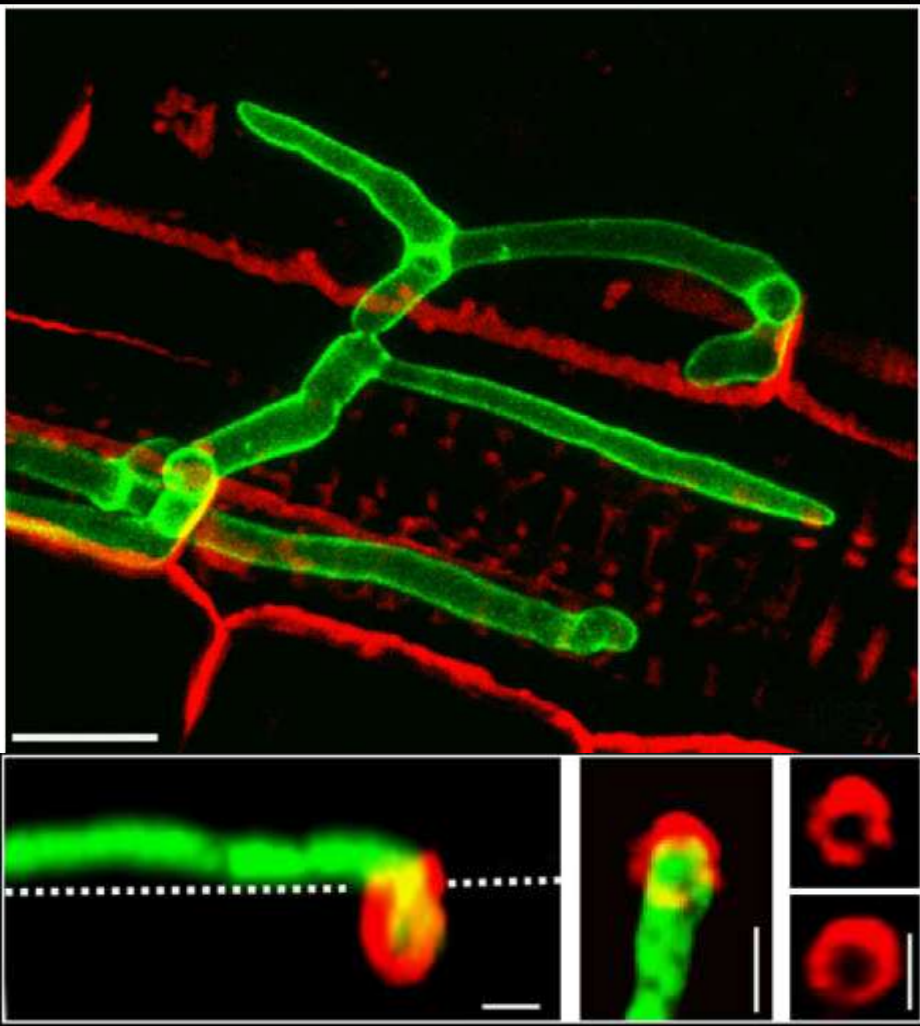




У нейронов и *U. maydis* обнаружен ретроградный сигнал от синапса/кончика к ядру, который передается с участием ранних эндосом. Они доставляют сигнальные компоненты, включая митоген-активируемые белковые киназы (**Crk1**) по микротрубочкам к ядру.

У *U. maydis*, *Aspergillus nidulans* и *Neurospora crassa* показано участие микротрубочек в подвижности ранних эндосом.

# Модель ретроградного транспорта ранних эндосом у *Ustilago maydis* (Bielska et al., 2014)

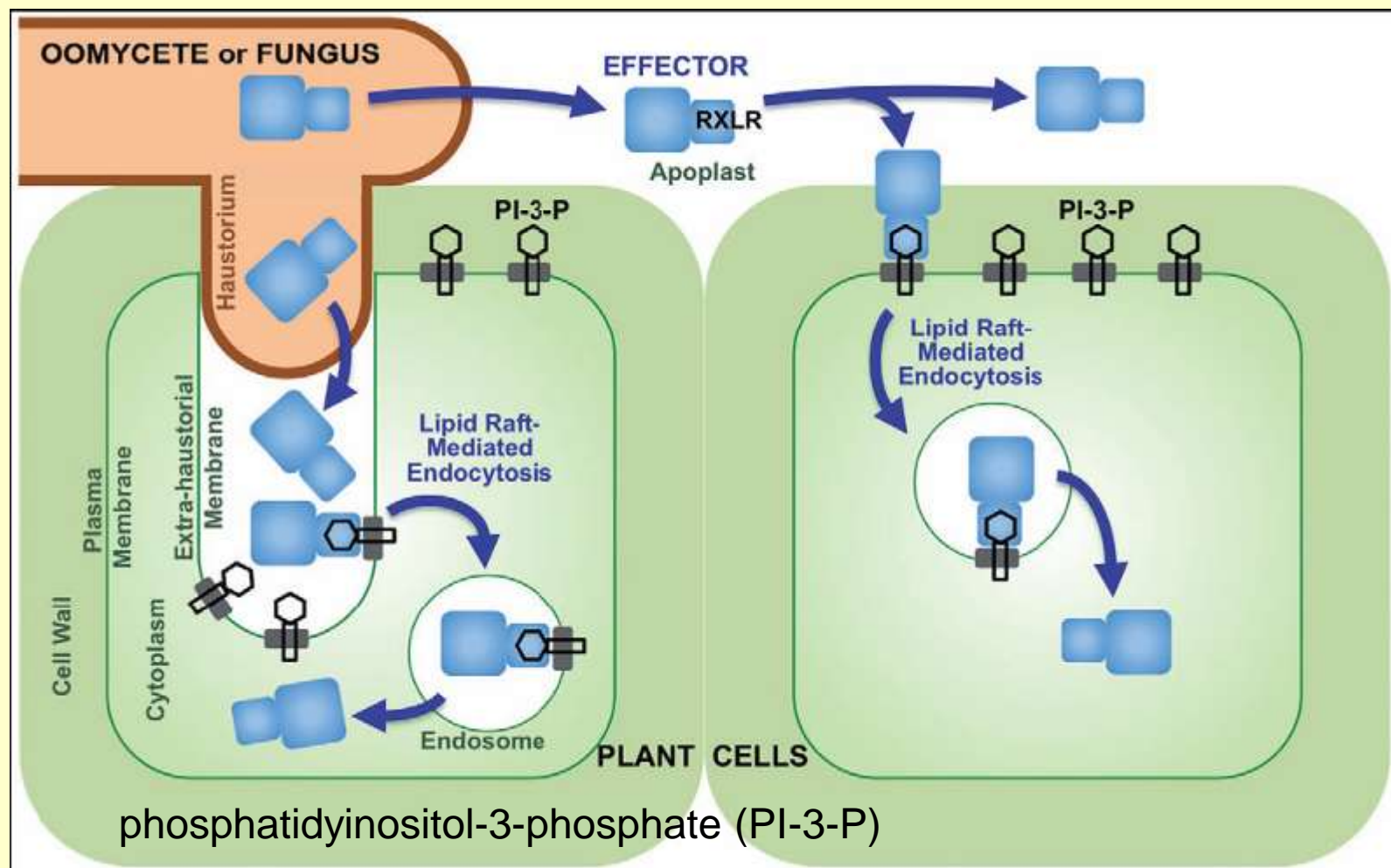


fluorescein-conjugated lectins

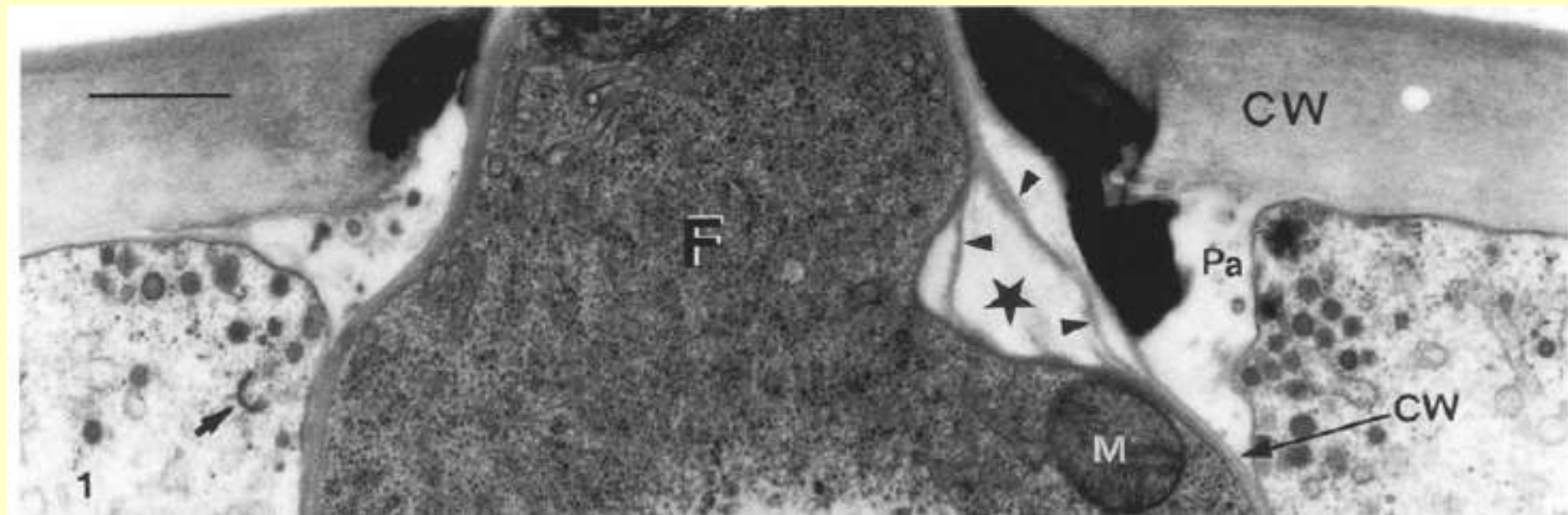
Сmu1 (фактор вирулентности) -mCherry (red)

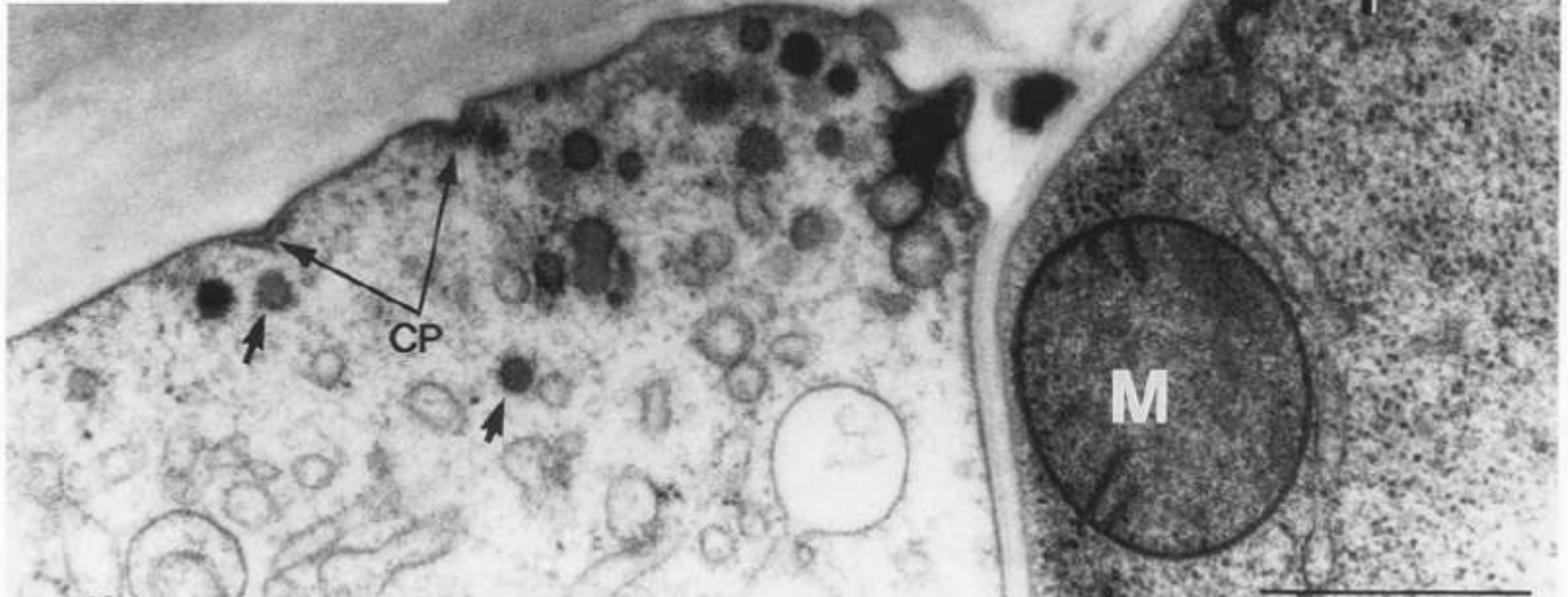
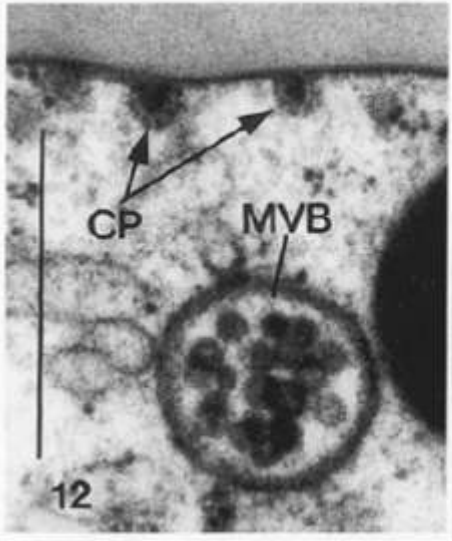


# Транспорт RxLR содержащих эффекторов патогенных грибов или оомицетов в клетки растений (Kale and Tyler, 2011)



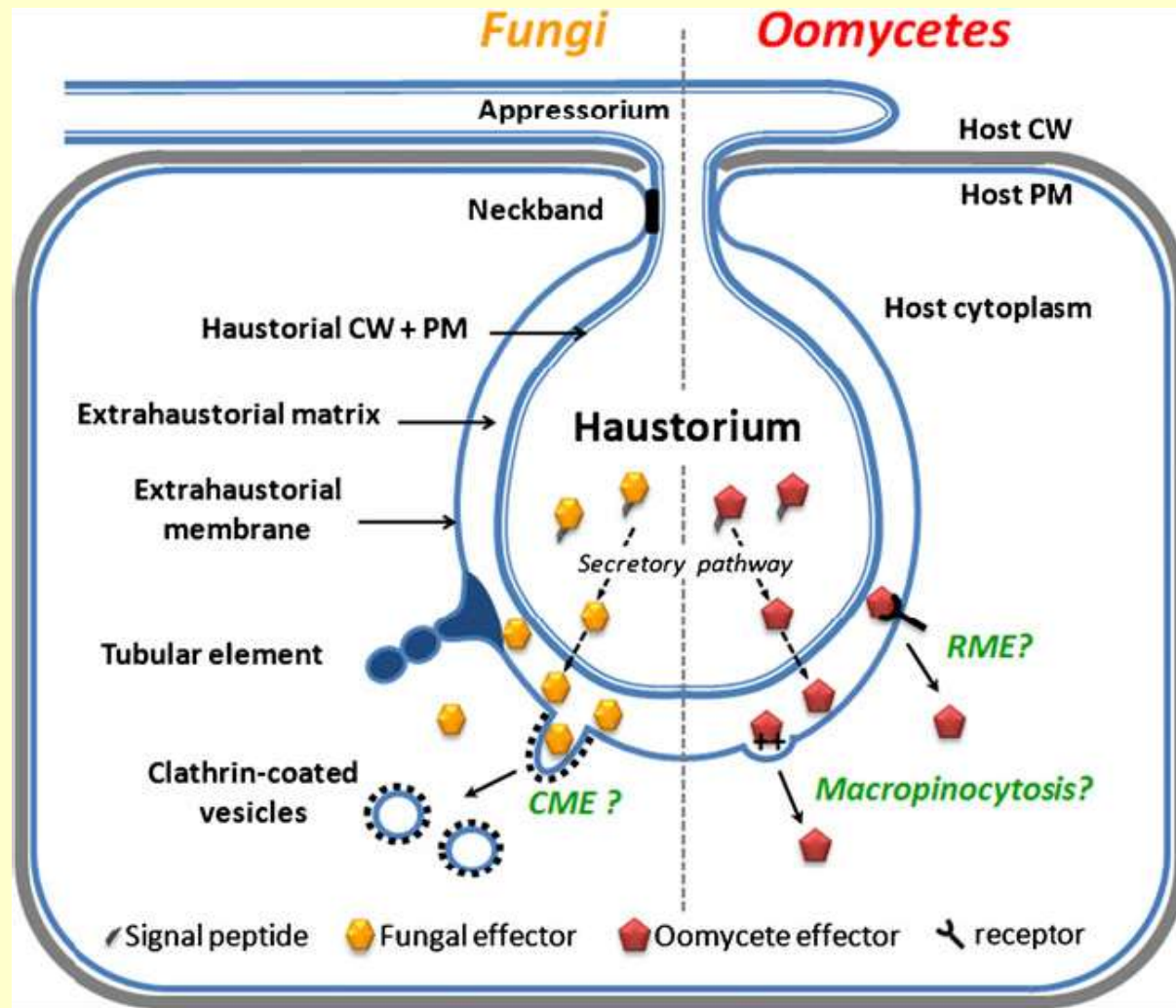
**Эндоцитоз 1, 3- $\beta$ -глюканов клетками  
*Vicia faba* (Боб садовый) в месте  
проникновения ржавчины вигны (Ху,  
Mendgen, 1994)**





# Вклад эндоцитоза в формирование гаустории и перенос эфффекторов у грибов и оомицетов

(Leborgne-Castel and Bouhidel, 2014) .



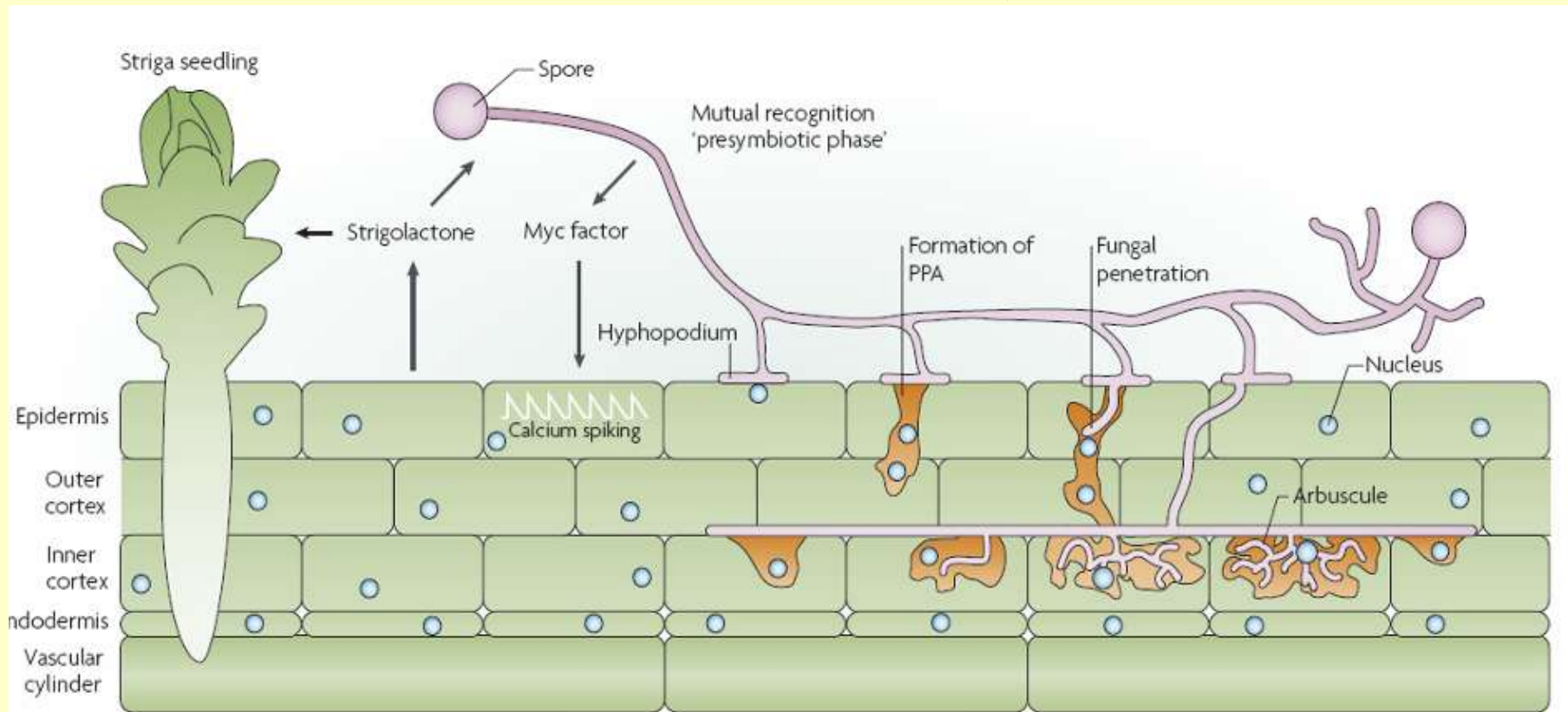




# Эндоцитоз в системе гриб – растение.

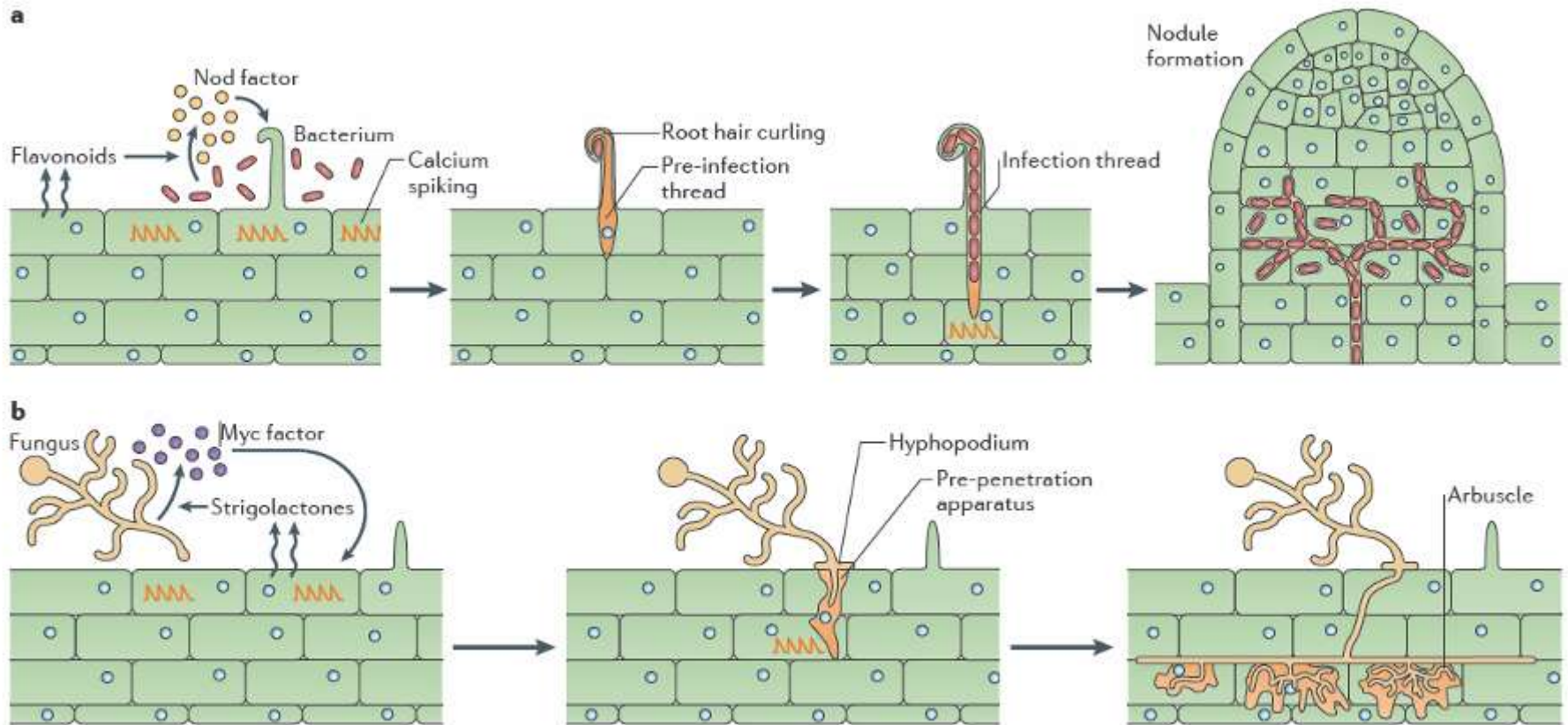
*Glomus intraradices* – *Medicago  
truncatula*  
(Parniske, 2008).

**Medicago truncatula**

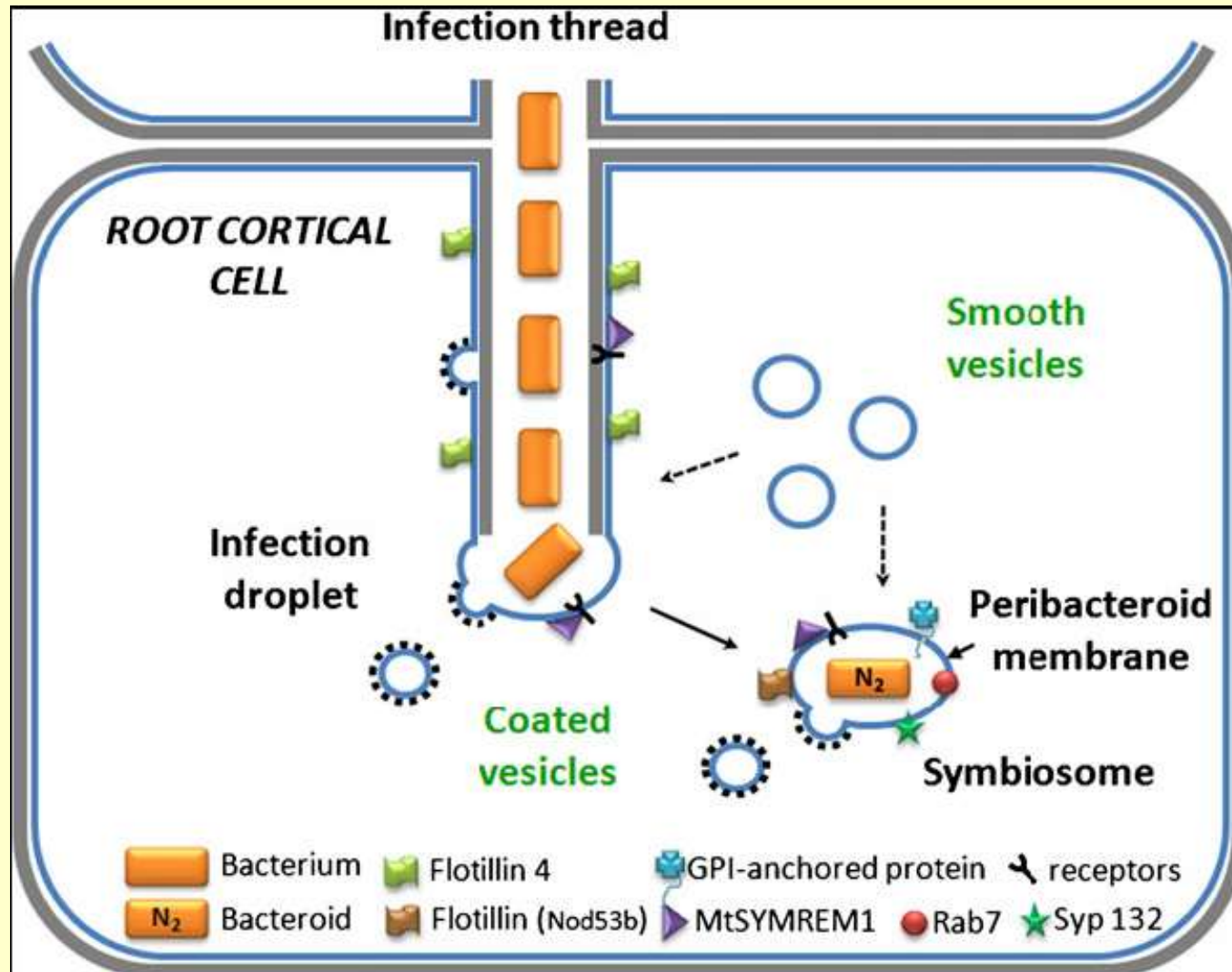




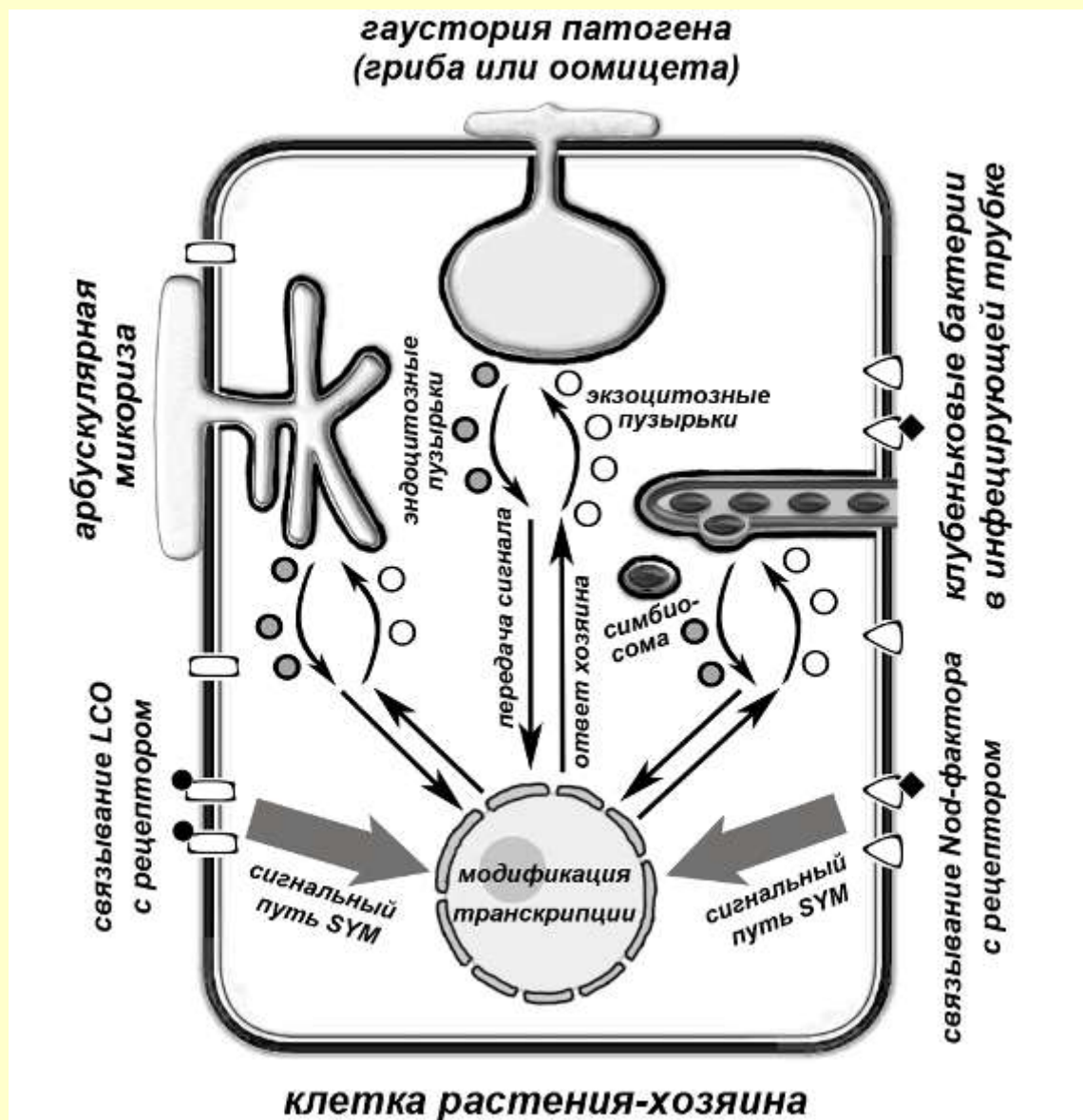
# Rhizobial and mycorrhizal colonization (Parniske, 2008).



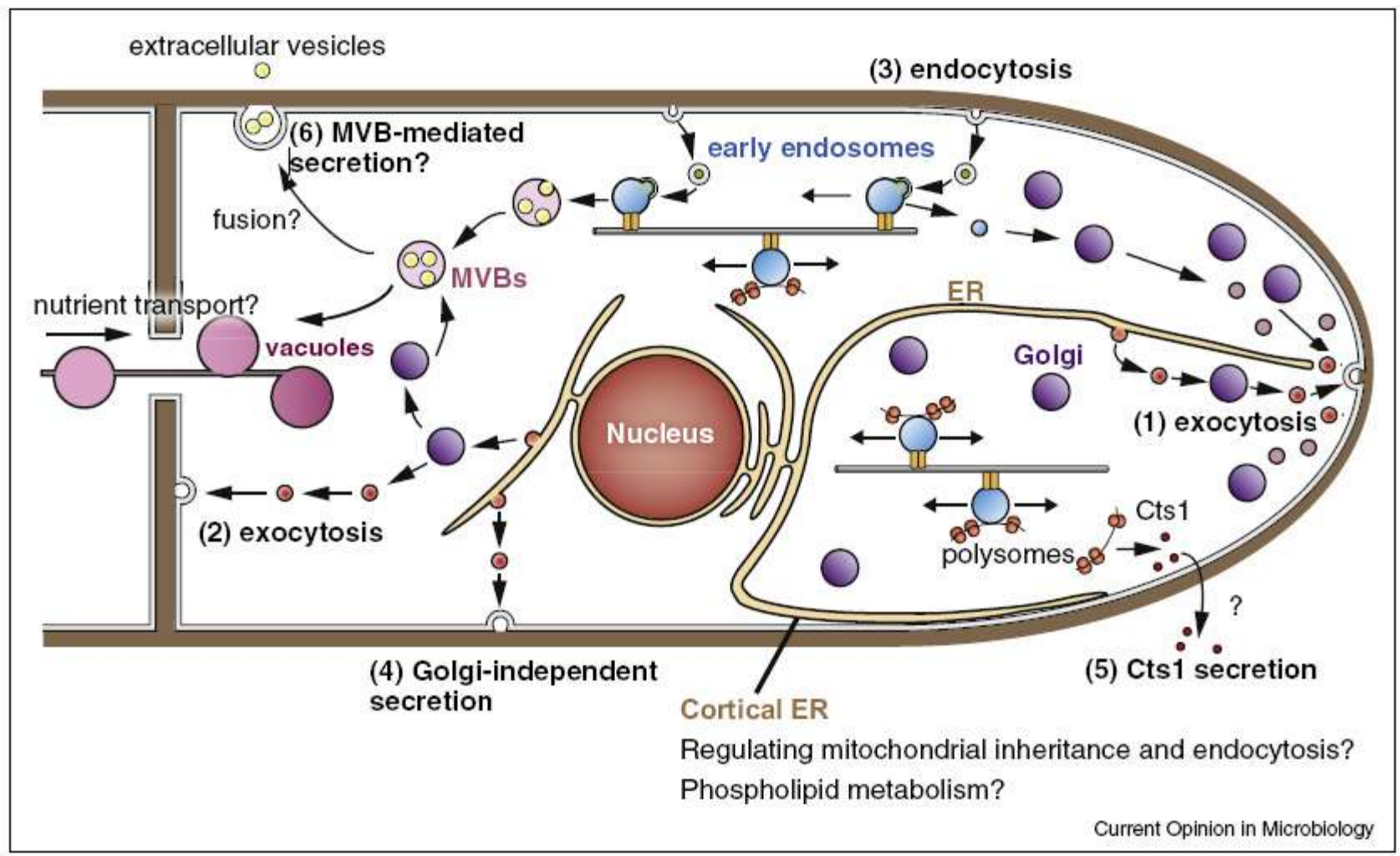
# Эндоцитоз в бобово-ризобиальном симбиозе (Leborgne-Castel and Bouhidel, 2014)



# Обмен сигнальными молекулами путем эндоцитоза в системе гриб/оомицет/бактерия - растение

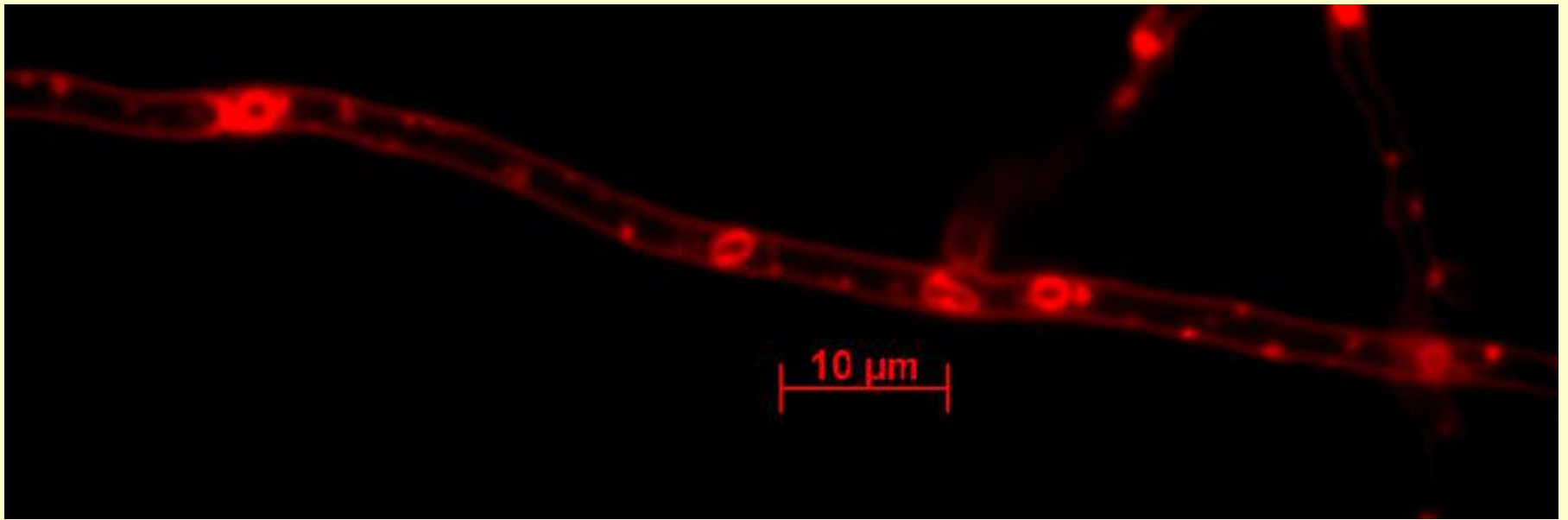


# Транспорт эндомембранных органелл у мицелиальных грибов (Shoji et al., 2014)





# *Stereum hirsutum*, AM4-64



**Спасибо за внимание!**

