

**И.Н. Курченко, А.И. Василевская, Л.В. Артышкова,
Л.Т. Наконечная, Е.М. Юрьева**

*Институт микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного НАН Украины,
ул. Академика Заболотного 154, Киев ГСП, ДЮ3680, Украина*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ УГЛЕРОДА ПОЧВЕННЫМИ И ЭНДОФИТНЫМИ ШТАММАМИ *PENICILLIUM FUNICULOSUM* THOM

*Изучена способность почвенных и эндофитных штаммов *P. funiculosum* накапливать биомассу в условиях культивирования на средах с различными источниками углерода от моно- до полисахаридов. Показано, что для изученных штаммов наиболее благоприятными источниками углерода были мальтоза, сахароза, ксилоза, фруктоза, пектин, хуже усваивались лактоза, арабиноза и особенно микрокристаллическая целлюлоза. По уровню накопления биомассы между почвенными и эндофитными штаммами этого вида в большинстве случаев не установлено достоверных различий.*

*Ключевые слова: *Penicillium funiculosum*, сапрофитные (почвенные) штаммы, эндофиты, источники углерода, биомасса.*

Penicillium funiculosum Thom – широко распространенный в природе вид микроскопического гриба, который встречается в некультуренных (черноземных, темно-каштановых, дерново-подзолистых, болотистых и др.) и окультуренных почвах разных климатических зон [16]. При этом в почвах, загрязненных высокими концентрациями тяжелых металлов и радионуклидов, его частота встречаемости значительно возрастает [3, 7]. В возделываемых почвах *P. funiculosum* выделяется из ризосферы сельскохозяйственных культур (свеклы, кукурузы, ряда зерновых и др.). Наряду с этим, он обнаружен на корнях и семенах многих растений, в лесной подстилке хвойных деревьев, живом и отмершем сфагнуме [16, 18, 20].

В последние годы отмечается значительный интерес к изучению эндофитных грибов, которые развиваются в тканях сосудистых растений, при этом не вызывая их заболеваний. Биологическая роль этой группы грибов до настоящего времени выяснена недостаточно. Штаммы-эндофиты *P. funiculosum* с высокой частотой выделялись из разных органов кустарничков порядка *Ericales* (Верескоцветные), а также ряда травянистых и древесных пород, произрастающих на загрязненных радионуклидами лесных сфагновых болотах Центрального и Западного Полесья Украины. Мицелий *P. funiculosum* в комплексе с другими грибами имеет большое значение в поступлении элементов минерального питания и, в частности, K^+ и $^{137}Cs^+$ из сфагновых мхов в эрикоидные растения [5].

Наряду с этим, у *P. funiculosum* обнаружен ряд биологически активных свойств. Так, из его культуральной среды изолирован антибиотик, определена его химическая структура и активность относительно некоторых анаэробных и аэробных бактерий [19]. Показано, что *P. funiculosum* подавляет корневые гнили растений в условиях теплиц [17]. Штаммы *P. funiculosum* являются продуцентами ряда ферментов, в том числе целлюлазы и внеклеточной глюкозооксидазы, которая успешно применяется в медицинской диагностике и пищевой промышленности [1, 9, 12–14, 21].

Несмотря на встречаемость *P. funiculosum* в различных эконишах и синтез биологически активных веществ, в литературе встречаются единичные работы, посвященные особенностям трофики этого вида, в том числе его росту на средах с различными источниками углерода как одного из основных элементов питания. Сообщения, как правило, посвящены культивированию отдельных штаммов этого вида на средах, содержащих главным образом глюкозу [9, 10, 12, 15]. Не проводилось изучение способности штаммов-эндофитов *P. funiculosum* усваивать различные источники углерода.

Цель данного исследования – сравнительное изучение способности ряда почвенных и эндофитных штаммов *P. funiculosum* использовать различные источники углерода.

© И.Н. Курченко, А.И. Василевская, Л.В. Артышкова, Л.Т. Наконечная, Е.М. Юрьева, 2013

Материалы и методы. Объектами исследования были штаммы *P. funiculosum* двух трофических групп – почвенные и эндофитные. Сапрофитные штаммы выделены из почв Украины, эндофитные – из разных органов растений (главным образом листьев, стеблей клюквы и пушицы влагилищной), произрастающих на радиоактивных лесных болотах, в 1999–2006 гг. (табл. 1). Штаммы поддерживаются в коллекции культур микроскопических грибов отдела физиологии и систематики микромицетов Института микробиологии и вирусологии НАН Украины.

Грибы выращивали в стационарных условиях (поверхностное культивирование) при $25\pm 2^\circ\text{C}$ на жидких средах, базовой основой которых служила минеральная часть среды Чапека. В каждую из сред вносили соответствующий источник углерода в количестве, эквивалентном его содержанию в 20 г/л сахарозы.

Таблица 1

Изученные штаммы *Penicillium funiculosum*

Почвенные (сапрофиты)		Эндофиты	
Штамм	Источник, регион, год выделения	Штамм	Источник, регион, год выделения
16783	сад, Херсонская обл., 2000	16787	лист сабельника, Житомирская обл., 2004
01155	лес, Киевская обл., 1999	16784	стебель клюквы, Житомирская обл., 1999
01021	ризосфера ячменя, Днепропетровская обл., 1999	16795	лист клюквы, Житомирская обл., 1999
16789	чернозем, Днепропетровская обл., 2006	16786	стебель пушицы, Житомирская обл., 1999
16791	лес, Житомирская обл., 2000	16785	лист пушицы, Житомирская обл., 1999
16790	чернозем, Днепропетровская обл., 2006	16788	стебель клюквы, Житомирская обл., 1999

В качестве единственного источника углерода использовали такие углеводы: пентозы – D-ксилоза, D-арабиноза; гексозы – D-глюкоза, D-фруктоза, L-сорбоза, рамноза; дисахариды – сахароза, мальтоза, лактоза; трехатомные сахароспирты – D-маннит, D-сорбит; полисахариды – микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ), пектин яблочный, крахмал растворимый.

Посевной материал – стандартизованная суспензия (1×10^6 конидий/мл) 10-и дневной культуры каждого из штаммов *P. funiculosum*, которую вносили в количестве 10 % к объему среды культивирования [8].

Критерий использования грибом соответствующего источника углерода – количество биомассы, накопленной на 7-е (как правило, середина экспоненциальной фазы) и 14-е сутки (стационарная фаза) роста.

Количество биомассы определяли весовым методом (высушивание до постоянного веса при 70°C), значения pH культуральной среды измеряли на потенциометре pH-150 М, производство Беларусь (от исходного 4,6–4,8 после стерилизации сред и при содержании пектина 3,2–3,5) [8].

Полученные результаты представлены графически и проанализированы с применением пакета компьютерных программ STATISTICA 6.0 и Microsoft Excel. Наряду с основными статистическими показателями, для определения отличий между почвенными и эндофитными штаммами *P. funiculosum* по уровню накопленной биомассы, вычисляли достоверность разницы двух независимых распределений с использованием критерия Стьюдента [6].

Результаты. Почвенные и эндофитные штаммы на 7-е и 14-е сутки культивирования среды пентоз лучше использовали ксилозу по сравнению с арабинозой и накапливали биомассу, главным образом, в пределах 7,1–10,2 г/л (рис. 1). Уровень различий по этому параметру между разными штаммами двух трофических групп варьировал в пределах 6,0–13,0 г/л.

Изученные штаммы *P. funiculosum*, особенно почвенные, хуже использовали арабинозу и накапливали значительно меньше биомассы, чем на среде с ксилозой (рис. 1). При этом

почвенные штаммы в большей мере, чем эндофиты, различались между собой по уровню накопления биомассы: от минимального 0,4 г/л у штамма 16783 до максимального – 7,7 г/л у 16790 на 14-е сутки. Наряду с этим, у половины почвенных штаммов и одного эндофитного 16787 отмечали лаг-фазу до 7-и суток, биомассу можно было определить только на 14-е сутки роста.

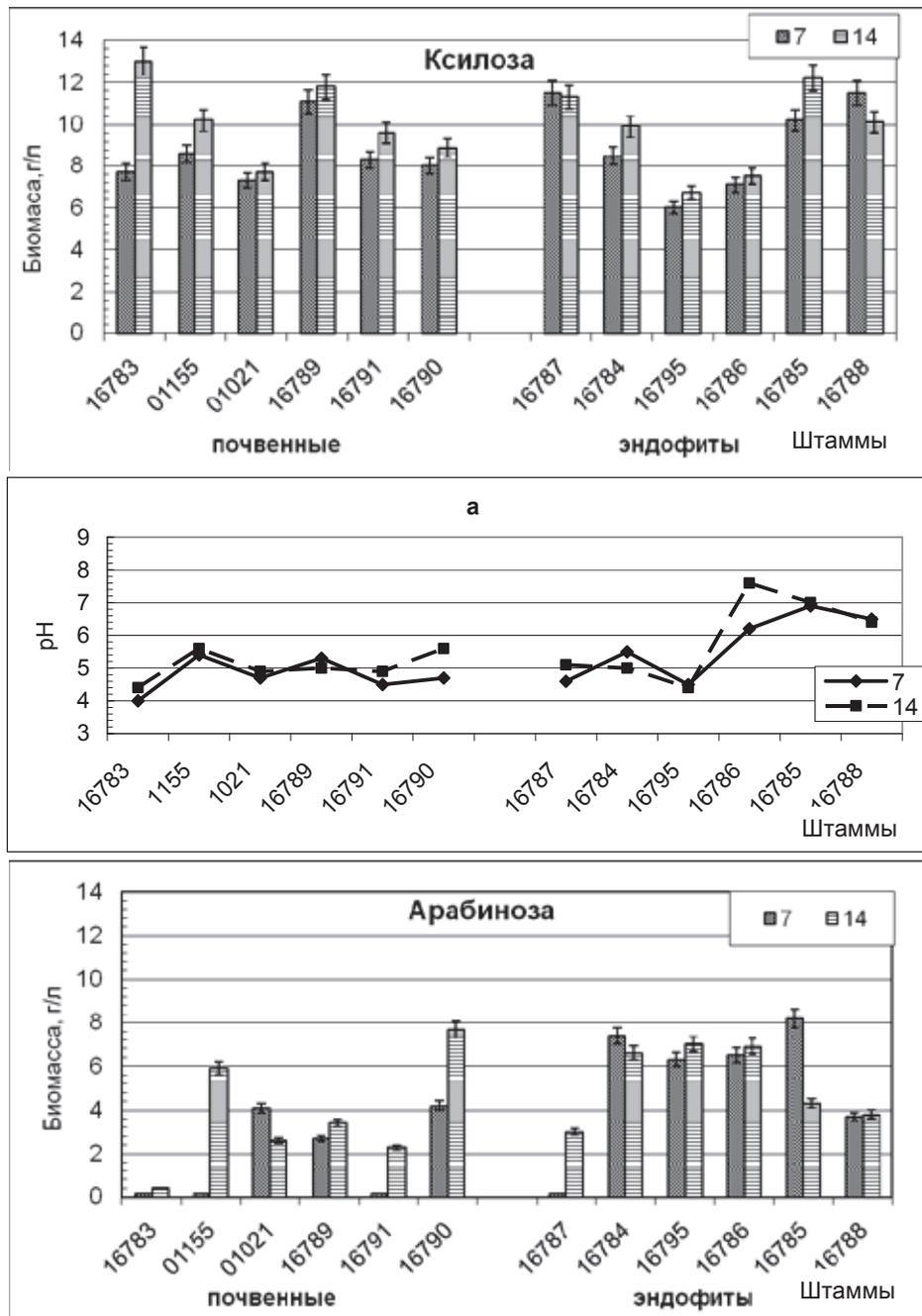


Рис. 1. Накопление биомассы штаммами *P. funiculosum* на средах с пентозами, изменение pH на среде с ксилозой (а): 7 – 7-е сут, 14 – 14-е сут.

Хорошими источниками углерода для изученных штаммов были фруктоза и глюкоза, при содержании которых в течение всего периода роста они накапливали биомассу фактически в таких же пределах, как и на среде с ксилозой (рис. 2). Несколько хуже грибы использовали

рамнозу (возможно, в связи с наличием метильной группы в ее молекуле) и относительно равномерно накапливали биомассу.

Наиболее труднодоступным источником углерода среди гексоз была сорбоза. Так, по сравнению с фруктозой, глюкозой и рамнозой на среде с сорбозой почвенные штаммы на 7-е сутки накапливали значительно меньше биомассы, особенно *P. funiculosum* 16790 и 16789 (порядка 2,0 г/л). На 14-е сутки роста уровень биомассы у штаммов этой группы существенно увеличивался и соответствовал таковому на средах с другими гексозами. По сравнению с другими моносахаридами сорбоза оказалась труднодоступным субстратом для эндофитных штаммов. На этой среде у *P. funiculosum* 16784 отмечали длительную лаг-фазу, у половины штаммов небольшой уровень биомассы (1,0 – 2,3 г/л) на 14-е сутки, биомасса штамма 16787 достигала 7,0 – 8,1 г/л и в 4 раза меньше – у 16786 (рис. 2).

При сравнении способности почвенных и эндофитных штаммов *P. funiculosum* использовать различные источники углерода была вычислена достоверность различий между уровнями накопленной биомассы как в каждой группе штаммов, так и между двумя трофическими группами, исходя из разницы средних значений [6]. Средние значения биомассы на среде с ксилозой почвенных и эндофитных штаммов *P. funiculosum* на 7-е сутки достигали 8,5 и 9,1 г/л, на 14-е сутки – 10,2 и 9,6 г/л соответственно. По этому параметру они достоверно не различались между собой ($t_{0,05} = 0,55$ по нашим данным по сравнению с $t_{0,05} = 2,23$ по таблице Стьюдента). Далее это табличное значение будет показателем достоверности (или недостоверности) при сравнении средней разницы биомассы, накопленной штаммами указанных трофических групп при использовании других источников углерода. На среде с арабинозой средние значения биомассы (5,3 – 5,4 г/л) у эндофитов *P. funiculosum* на 7-е сутки роста были в 3 раза больше (различия достоверны, $t_{0,05} = 2,4$) и на 14-е – в 1,4 раза, чем у почвенных штаммов. Средние значения биомассы на средах с фруктозой (например, на 7-е сутки роста 7,6 и 8,7 г/л соответственно), глюкозой (6,7 и 8,1 г/л) и рамнозой (6,4 и 7,7 г/л) свидетельствовали об отсутствии достоверных различий по этому параметру между почвенными и эндофитными штаммами *P. funiculosum*. Только на среде с сорбозой почвенные штаммы в течение всего периода культивирования накапливали достоверно больше (почти в 3 раза) биомассы по сравнению с эндофитами ($t_{0,05} = 3,5$).

Таким образом, ксилоза использовалась изученными штаммами *P. funiculosum* так же, как и гексозы, сорбоза была менее доступной для эндофитных штаммов и арабиноза – для почвенных. Не обнаружены достоверные отличия по уровню накопления биомассы между почвенными и эндофитными штаммами *P. funiculosum* при использовании ими моносахаридов. На среде с арабинозой эндофиты накапливали достоверно больше биомассы, чем почвенные штаммы на 7-е сутки роста, и наоборот, почвенные штаммы – на среде с сорбозой в течение всего периода роста.

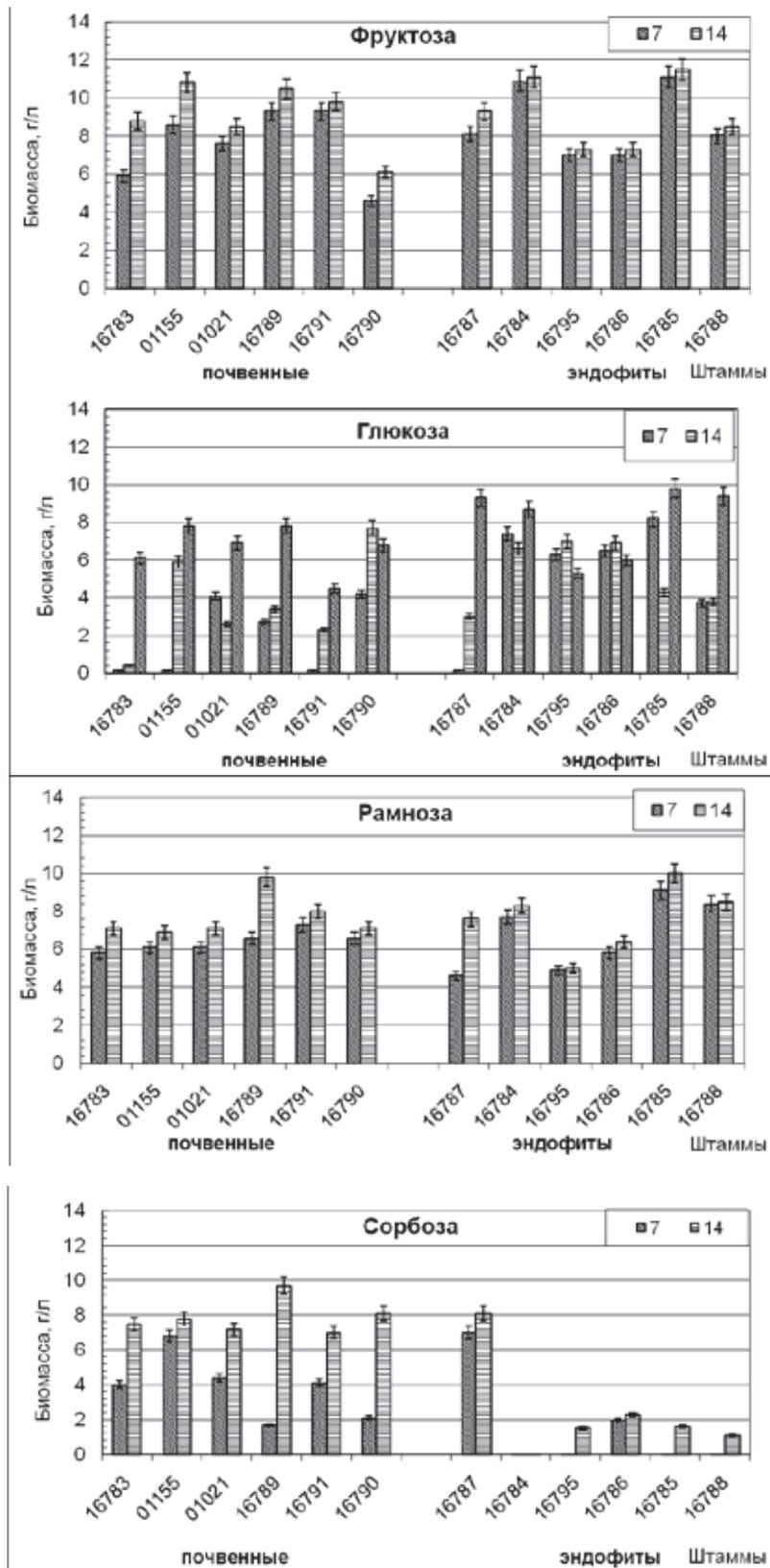


Рис. 2. Накопление биомассы штаммами *P. funiculosus* на средах с гексозами: 7 – 7-е сут, 14 – 14-е сут.

Для почвенных и эндофитных штаммов *P. funiculosum* в течение всего периода культивирования среди дисахаридов лучшими источниками углерода были мальтоза и сахароза (рис. 3). Штаммы накапливали биомассу в пределах 8,0 – 11,0 г/л, что соответствовало таковым на средах с ксилитом и фруктозой. Известно, что мальтоза по ряду причин, в том числе благодаря способности быстро гидролизываться до глюкозы, является хорошим источником углерода для роста грибов. При использовании мальтозы и сахарозы среди почвенных штаммов максимальный уровень биомассы (порядка 12,0 г/л) отмечен у *P. funiculosum* 01155 и 16791. Среди эндофитов максимум биомассы на этих средах отмечен у штаммов 16787 и 16785. Следует заметить, что у большинства изученных штаммов на среде с мальтозой уровень биомассы на 14-е сутки снижался, что может свидетельствовать об активном использовании этого субстрата в более ранние сроки.

По сравнению с мальтозой и сахарозой, почвенные и эндофитные штаммы *P. funiculosum* в меньшей мере способны гидролизовать лактозу – при ее содержании в среде накапливали гораздо меньше биомассы в течение всего периода культивирования (рис. 3). При этом среди почвенных штаммов лаг-фаза на 7-е сутки была отмечена у одного штамма 16790 и половины эндофитов. Остальные эндофиты накапливали биомассу в течение всего периода роста и достигали максимального уровня 6,9 г/л у штамма 16795 и 8,3 г/л у 16787 на 14-е сутки.

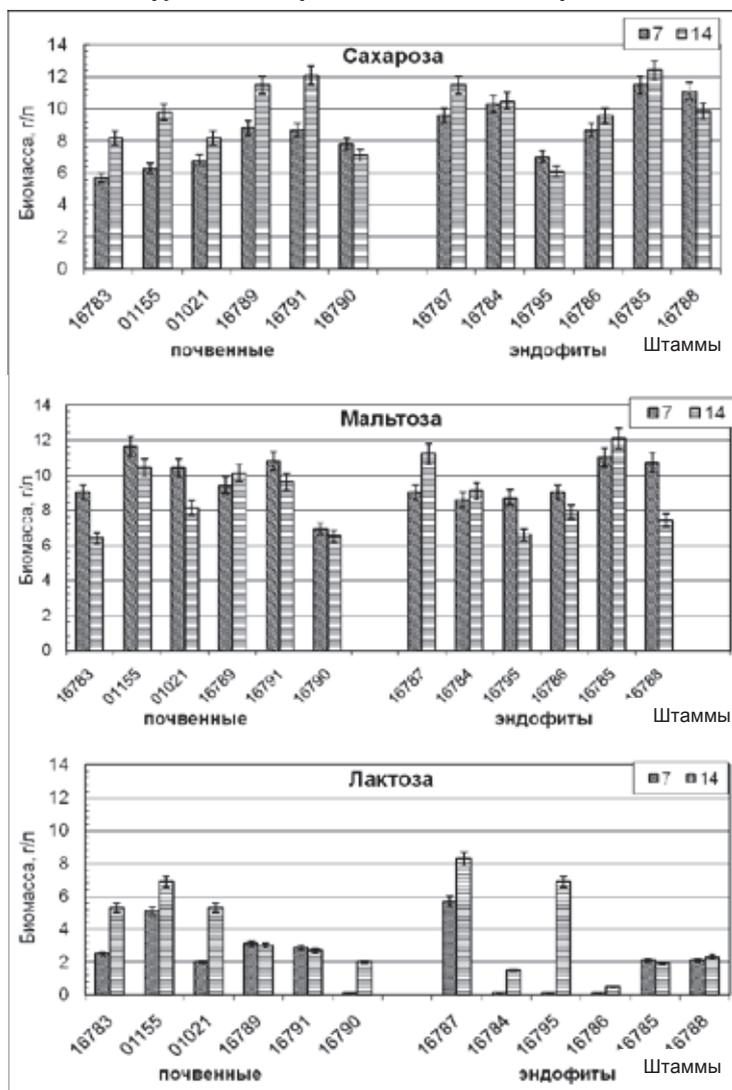


Рис. 3. Накопление биомассы штаммами *P. funiculosum* на средах с дисахаридами): 7 – 7-е сут, 14 – 14-е сут.

Таким образом, среди дисахаридов лучшими источниками углерода для накопления биомассы изученными штаммами были мальтоза и сахароза, менее доступной – лактоза. На среде с мальтозой и сахарозой почвенные штаммы и эндофиты *P. funiculosum* в течение всего периода культивирования достоверно не различались между собой по уровню накопления биомассы (в среднем 8,5 – 10,0 г/л). На среде с лактозой различия по этому параметру между штаммами *P. funiculosum* были недостоверны на 7-е сутки. Хотя средние значения 2,6 г/л биомассы у почвенных штаммов были в 1,5 раза больше, чем у эндофитов, они фактически не различались на 14-е сутки роста (4,2 г/л и 3,8 г/л соответственно).

Маннит в меньшей степени использовался изученными штаммами *P. funiculosum*, чем, например, мальтоза и сахароза (рис. 4). На этой среде у большинства почвенных штаммов уровень биомассы на 7-е сутки роста варьировал в пределах 3,4–5,0 г/л, у эндофитов – 2,1–3,0 г/л. На 14-е сутки накопление биомассы возрастало у почвенных штаммов до максимального 8,3–8,9 г/л и у половины эндофитов – до 7,2–10,2 г/л.

Сорбит, по сравнению с маннитом, лучше использовался почвенными штаммами (рис. 4). В течение всего периода культивирования они накапливали в 1,5–2 раза больше биомассы (8,4–10,4 г/л), чем на среде с маннитом. В отличие от почвенных штаммов, среда с сорбитом для подавляющего большинства эндофитов была менее благоприятной для роста и накопления биомассы. Так, на 7-е сутки половина штаммов этой группы накапливала минимум 2,0 г/л биомассы, максимальный ее уровень (в 4–5 раз выше) отмечен у штамма 16787 в течение всего периода роста.

Таким образом, среди спиртов для почвенных штаммов лучшим источником углерода был сорбит, а для эндофитов – маннит. Средние значения биомассы на среде с маннитом у эндофитных штаммов *P. funiculosum* были в 1,3 раза больше, чем у почвенных, т.е. фактически отсутствовала разница между ними по этому параметру. На среде с сорбитом почвенные штаммы накапливали достоверно больше биомассы, чем эндофиты ($t_{0,05} = 3,87$ и $t_{0,05} = 2,3$ на 7-е и 14-е сутки роста соответственно).

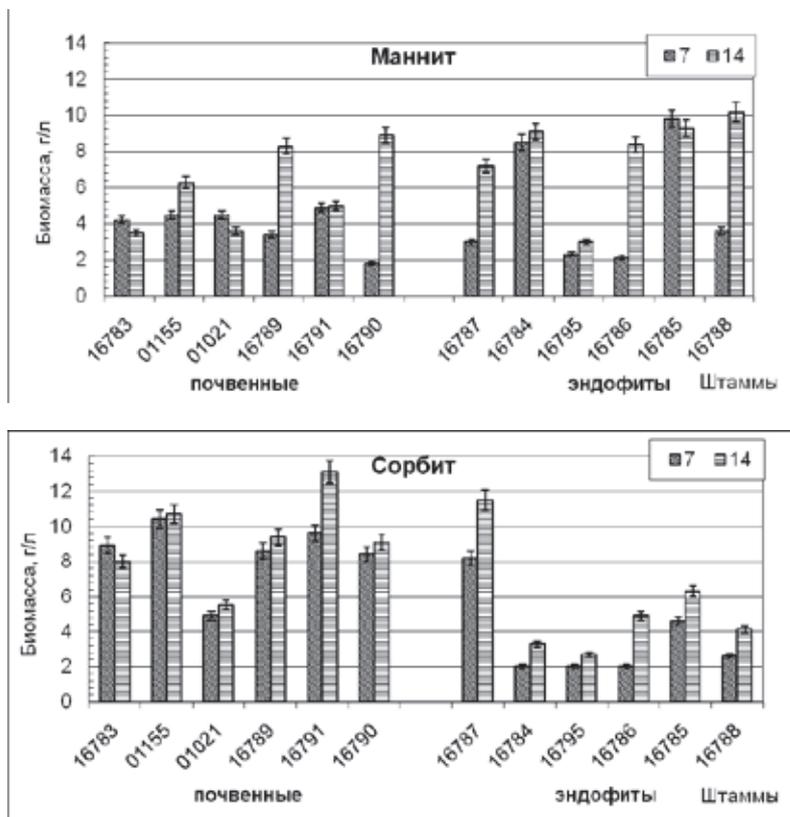


Рис. 4. Накопление биомассы штаммами *P. funiculosum* на средах с сахароспиртами: 7 – 7-е сут, 14 – 14-е сут.

Полисахариды являются сложными соединениями, для использования которых грибам необходимы соответствующие ферменты. Как почвенные, так и эндофитные штаммы *P. funiculosus* на 7-е сутки роста активно использовали пектин (рис. 5). Накопление биомассы у почвенных штаммов достигало, в основном, 7,6–8,2 г/л и у эндофитов – 9,0–11,1 г/л. На 14-е сутки на среде с пектином, как и с мальтозой, у 75 % штаммов накопление биомассы уменьшалось.

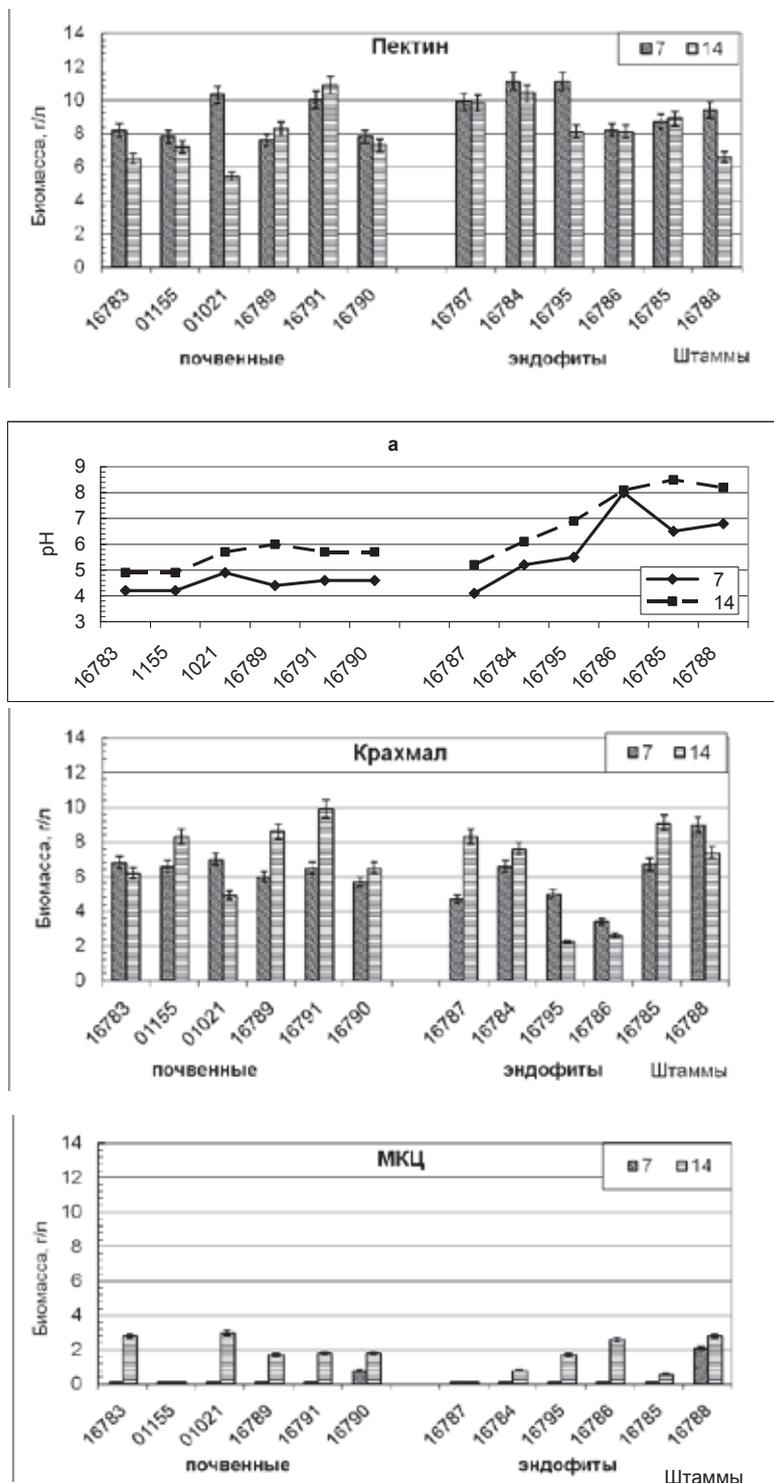


Рис. 5. Накопление биомассы штаммами *P. funiculosus* на средах с полисахаридами, изменение pH на среде с пектином (а): 7 – 7-е сут, 14 – 14-е сут.

При содержании в среде крахмала эндофитные штаммы по сравнению с почвенными в течение всего периода культивирования различались по уровню накопления биомассы в большей степени – от 2,0 до 9,0 г/л (рис. 5).

По сравнению со всеми указанными выше источниками углерода МКЦ оказалась наиболее труднодоступным для почвенных и эндофитных штаммов *P. funiculosum* (рис. 5). При этом, среди изученных штаммов только почвенный 16790 и эндофит 16788 накапливали биомассу в течение всего периода роста. У остальных штаммов на 7-е сутки отмечали лаг-фазу и определить биомассу можно было только на 14-е сутки. У почвенного штамма 01155 и эндофитного 16787 лаг-фаза длилась до 14-ти суток, минимальный уровень биомассы отмечен у них был только на 21-е сутки роста (1,2 и 0,5 г/л соответственно).

Таким образом, среди полисахаридов изученные штаммы *P. funiculosum* лучше всего использовали пектин, несколько меньше крахмал и труднодоступным источником углерода была МКЦ. На средах с полисахаридами почвенные штаммы и эндофиты достоверно не различались по уровню накопления биомассы, хотя у эндофитов он был в 1,5 раза больше на среде с пектином, чем на среде с крахмалом на 14-е сутки роста.

В ходе изучения использования различных источников углерода штаммами *P. funiculosum* были выявлены значительные изменения величин рН культуральной среды от исходного 4,6–4,8, за исключением среды с пектином – рН 3,2 – 3,5. Поскольку невозможно представить все полученные данные, для примера приводим наиболее характерный диапазон изменений рН в условиях роста штаммов на средах с некоторыми источниками углерода. Так, на среде с ксилозой изменения рН культурального фильтрата на 7 – 14-е сутки у почвенных штаммов *P. funiculosum* были монотонными и находились в диапазоне кислых значений 4,0–5,6 (рис. 1 а). Наиболее низкие значения рН 1,6–1,8 на 7-е сутки роста отмечены у почвенных штаммов *P. funiculosum*: 16783 на средах с глюкозой и рамнозой; у 16789 – с фруктозой; только штамм 16790 на 14-е сутки изменял рН до 8,0–9,0 на средах с фруктозой, сахарозой, рамнозой, мальтозой и маннитом.

На среде с ксилозой изменения рН культурального фильтрата у большинства штаммов-эндофитов *P. funiculosum* на 7–14-е сутки составляли от 4,6 (у штамма 16787) до 7,6 (у 16786). На большинстве сред с другими источниками углерода (глюкозой, рамнозой, спиртами, пектином, крахмалом) изменения рН были в более широком диапазоне от 3,8 до щелочных значений 8,0–9,0. Исключением был штамм 16787, у которого на большинстве сред изменения рН от начальных значений были не существенными.

На среде с пектином у почвенных штаммов *P. funiculosum*, как и на среде с ксилозой, на 14-е сутки рН изменялся в диапазоне 4,9–6,0 (рис. 5 а). На этой среде большинство эндофитных штаммов, как и на среде с ксилозой, отличались большим диапазоном изменения рН в течение всего периода роста, например, на 14-е сутки от 5,2 до 8,0–8,5 у штаммов 16786, 16785, 16788. Последние изменяли рН до 8,0 на средах с мальтозой, маннитом, на других средах (с глюкозой, рамнозой, сорбитом, крахмалом) штамм 16786 максимально изменял рН до 9,0.

Изменения величины рН культурального фильтрата, выявленные при использовании изученными штаммами *P. funiculosum* различных источников углерода, согласуются с данными, полученными при культивировании штаммов *F. poae* и известными в литературе [4, 10, 11]. Эти изменения величины рН свидетельствовали об образовании штаммами экзометаболитов кислот и щелочной природы.

Обсуждение. Микроскопический гриб *P. funiculosum* широко распространен в природе и встречается в разнообразных местообитаниях [3, 7, 16, 20], что, по-видимому, обуславливается физиологическими особенностями этого вида, определяющими его трофику. Особенности использования различных источников углерода штаммами *P. funiculosum* изучены недостаточно, а относительно эндофитов в литературе такие факты не известны. Исследования, в основном, выполнялись при культивировании *P. funiculosum* на среде с заданной концентрацией глюкозы [9, 10, 12, 15].

В представленной работе в сравнительном аспекте изучена способность штаммов двух трофических групп *P. funiculosum* (почвенных и эндофитов) использовать различные источники углерода, что имеет большое значение для биологической характеристики этого вида в целом. Выбор источников углерода для культивирования штаммов основывался на данных

литературы о росте грибов рода *Penicillium* на некоторых углеродсодержащих средах, а также на сообщениях, в которых приведено содержание сахаров (ксилозы, фруктозы, сахарозы, лактозы, пектинов и др.) в сфагновых мхах и растениях клюквы [2, 10, 15, 16, 20].

Установлено, что в течение 7–14-и суток культивирования изученные почвенные и эндофитные штаммы *P. funiculosum* способны использовать и в разной степени накапливать биомассу на средах с различными источниками углерода от моно- до полисахаридов. Для большинства почвенных штаммов этого вида наиболее благоприятными были ксилоза, мальтоза, сахароза, фруктоза, сорбит, пектин и труднодоступными – лактоза, арабиноза и особенно МКЦ. Штаммы-эндофиты *P. funiculosum* накапливали высокие уровни биомассы на средах с сахарозой, ксилозой, мальтозой, фруктозой и пектином. В большей степени, чем почвенные штаммы, эндофиты использовали арабинозу и маннит. Для эндофитных штаммов труднодоступными были лактоза, сорбоза и МКЦ. Таким образом, практически одни и те же источники углерода были благоприятными и труднодоступными для их использования почвенными и эндофитными штаммами *P. funiculosum*.

Ранее ограниченное количество источников углерода (глюкозу, сахарозу, мальтозу, крахмал и галактозу) использовали при культивировании некоторых видов микроскопических грибов, в том числе *P. funiculosum*, выделенных из торфа и сфагнума [15]. По отношению к контрольной среде с глюкозой штамм накапливал 86 % биомассы при содержании в среде сахарозы и 73–78 % других источников углерода, включая арабинозу. Изученные нами штаммы *P. funiculosum* активно использовали мальтозу, сахарозу и несколько меньше крахмал. Почвенные штаммы *P. funiculosum* накапливали значительно меньше биомассы при наличии арабинозы (26,9 %) на 7-е сутки в отличие от эндофитов (69 %). Труднодоступным субстратом для *P. funiculosum* является метилцеллюлоза (15 %) [15], как и МКЦ по нашим данным. Так, на 7-е сутки почвенные штаммы накапливали 19 % биомассы по отношению к среде с глюкозой, в то время как эндофиты значительно меньше – 4,3 %.

Известна способность некоторых грибов, в том числе *P. funiculosum*, хорошо усваивать целлюлозу, крахмал и некоторые простые источники углерода [20]. В отличие от этих данных, изученные нами штаммы *P. funiculosum* активно использовали пектин и плохо усваивали МКЦ, что, по-видимому, обусловлено источниками выделения грибов – живой и отмерший мох болота Канады и почва соответственно.

Из эрикоидных растений, растущих на загрязненных радионуклидами болотах, были выделены штаммы-эндофиты *P. funiculosum*, у которых была определена ферментативная активность ряда гидролаз, ферментов окислительного цикла [5]. Так, целлюлазная активность почвенных штаммов *P. funiculosum* равнялась и/или превышала активность известных фитопатогенов *Alternaria alternata* и *Fusarium poae*, в то время как у эндофитов установлен средний уровень целлюлазной активности. У всех почвенных и эндофитных штаммов *P. funiculosum* выявлен средний уровень полигалактуроназной активности. При росте на средах с различными источниками углерода в подавляющем большинстве случаев отсутствовала достоверность различий по уровню накопления биомассы штаммами этих трофических групп.

Установлено, что почвенные штаммы *F. poae* использовали практически все источники углерода после 7-суточного периода адаптации [4], в то время как лишь некоторые почвенные и эндофитные штаммы *P. funiculosum* использовали арабинозу, лактозу и МКЦ после 7-суточной лаг-фазы. Изученные штаммы *F. poae* и *P. funiculosum* накапливали биомассу после такого периода, достигая уровня остальных штаммов. Период адаптации может свидетельствовать о существовании соответствующих механизмов ферментативной природы, запуск которых позволяет этим штаммам усваивать труднодоступные субстраты.

Показано, что изученные почвенные и эндофитные штаммы *P. funiculosum* при использовании различных источников углерода отличались по уровню накопления биомассы, однако такие различия, как правило, были недостоверны. В отличие от почвенных штаммов, только в некоторых случаях эндофиты *P. funiculosum* накапливали достоверно больше биомассы на среде с арабинозой на 7-е сутки культивирования, а почвенные больше, чем эндофиты, на средах с сорбозой и сорбитом на 7–14-е сутки. Следует отметить, что эндофиты и фитопатогены *F. poae* в подавляющем большинстве случаев достоверно отличались от почвенных штаммов по уровню накопления биомассы [4]. Таким образом, способность штаммов *P. funiculosum*

расти на средах с различными источниками углерода обуславливает широкое распространение этого вида в разных местообитаниях.

I.M. Kurchenko, A.I. Vasilevska, L.V. Artyshkova, L.T. Nakonechna, O.M. Yur'sva

Институт микробиологии і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України, Київ

ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ ВУГЛЕЦЮ ҐРУНТОВИМИ ТА ЕНДОФІТНИМИ ШТАМАМИ *PENICILLIUM FUNICULOSUM* THOM

Резюме

Вивчена здатність ґрунтових та ендоефітних штамів *P. funiculosum* накопичувати біомасу в умовах культивування на середовищах з різними джерелами вуглецю від моно- до полісахаридів. Показано, що для вивчених штамів найсприятливішими джерелами вуглецю були мальтоза, сахароза, ксилоза, фруктоза, пектин, гірше засвоювались лактоза, арабіноза та особливо мікрокристалічна целюлоза. За рівнем накопичення біомаси між ґрунтовими та ендоефітними штамми цього виду в більшості випадків не встановлено достовірної різниці.

Ключові слова: *Penicillium funiculosum*, сапрофіти (ґрунтові) штами, ендоефіти, джерела вуглецю, біомаса.

I.N. Kurchenko, A.I. Vasilevska, L.V. Artyshkova, L.T. Nakonechnaya, E.M. Yurieva

Zabolotny Institute of Microbiology and Virology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

UTILIZATION OF DIFFERENT CARBON SOURCES BY SOIL AND ENDOPHYTIC STRAINS OF *PENICILLIUM FUNICULOSUM* THOM

Summary

The ability of soil and endophytic strains of *P. funiculosum* to accumulate biomass under cultivation conditions in media containing carbon sources from mono- to polysaccharides has been studied. It has been shown that the most favorable carbon sources for the studied strains were maltose, sucrose, xylose, fructose, pectin, less assimilated lactose, arabinose, and especially microcrystalline cellulose. Significant differences in the level of biomass accumulation between soil and endophytic strains of this species in most cases were not established.

The paper is presented in Russian.

Key words: *Penicillium funiculosum*, saprophytic (soil) strains, endophytes, biomass, carbon sources.

The author's address: *Kurchenko I.N.*, Zabolotny Institute of Microbiology and Virology, National Academy of Sciences of Ukraine; 154 Acad. Zabolotny St., Kyiv, GSP, D03680, Ukraine.

1. Давыдова М.Е., Курова В.С., Сухачева М.В., Куплетская М.Б., Рябов А.Д., Нетрусов А.И. Стабильность и каталитические свойства глюкозооксидазы из *Penicillium funiculosum* G-15 // Вестник МГУ. Серия 2. Химия. 2002. – 43, № 6. – С. 366–370.
2. Дмитрук В.Н. Сравнительное фармакогностическое исследование растений рода *Sphagnum*: Автореф. дис. ... канд. фармацевт. наук. – Самара, 2008. – 22 с.
3. Жданова Н.Н., Кучма Н.Д., Василевская А.И., Захарченко В.А., Наконечная Л.Т., Артышкова Л.В. Микобиота лесной подстилки Чернобыльской зоны отчуждения и ее влияние на накопление ¹³⁷Cs сеянцами сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*) // Микология и фитопатология. – 2005. – 39, № 1. – С. 18–26.
4. Курченко И.Н., Василевская А.И., Артышкова Л.В., Наконечная Л.Т., Юрьева Е.М. Использование источников углерода штаммами *Fusarium roae* (Peck) Wollenw. разных трофических групп // Микробиол. журн. – 2013. – 75, № 1. – С. 34–48.
5. Курченко И.Н., Соколова Е.В., Орлов А.А., Жданова Н.Н. Эндоефитные микромицеты высших растений и их экологическая роль в круговороте ¹³⁷Cs в биогеоценозах сфагновых болот Украинского Полесья // Прикладная радиоэкология леса / Под ред. В.П. Краснова. – Житомир: Вольтер, 2007. – С. 359–412.
6. Лакин Г.Ф. Биометрия / 4-е изд. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
7. Марфенина О. Е. Антропогенная экология почвенных грибов. – М.: Медицина для всех, 2005. – 195 с.

8. *Методы экспериментальной микологии*: Справочник. – Киев: Наук. думка, 1982. – 550 с.
9. Михайлова Р.В., Семашко Т.В., Лобанок А.Г. Отбор штаммов *Penicillium funiculosum* – высокоактивных продуцентов глюкозооксидазы // Прикладная биохимия и микробиология. – 2003. – **38**, № 3. – С. 273–277.
10. Никольская Е. А., Синявская О. И., Кошевец В. Ф. Каталазная активность грибов рода *Penicillium* Lk // Метаболиты почвенных микромицетов. – К.: Наук. думка, 1972. – С. 42–54.
11. Шовкопляс В. Н., Бойко М. И. Идентификация и изучение некоторых физиологических показателей микромицетов, выделенных из угольного шлама обогатительной фабрики, как возможных деструкторов углеродного материала // Проблемы экології та охорони природи техногенного регіону: Міжвід. зб. наук. праць. – 2007. – № 7. – С. 164–169.
12. Пат. 2170762 Российская Федерация, С12N1/14, С12N9/04, С12R1:80. Штамм *Penicillium funiculosum* КМ МГУ 433 – продуцент глюкозооксидазы и способ получения глюкозооксидазы / М.Б. Куплетская, А.И. Нетрусов, А.В. Кураков, Д.В. Волков. – Опубл. 20.07.2001.
13. Adejuwon A.O., Oni A.O., Ajayi A.A., Oluotiola P.O. Cellulase activity in tomato fruits infected with *Penicillium funiculosum* Thom // African Journal of Plant Science. – 2009. – **3**, N 5. – P. 113–116.
14. Castro de A.M., Ferreira Leite S.G., Pereira N. Cellulases from *Penicillium funiculosum*: production, properties and application to cellulose hydrolysis // J. Industrial Microbiol. Biotechnol. – 2010. – **37**, N 2. – P. 151–158.
15. Dickinson C.H., Boardman F. Physiological studies of some fungi isolated from peat // Trans. Brit. Mycol. Soc. – 1970. – **55**, N 2. – P. 293–305.
16. Domsch K.H., Gams W., Anderson T.-H. Compendium of soil fungi / Second edition. – Eching: IHW-Verlag, 2007. – 672 p.
17. Fang J.G., Tsao P.H. Efficacy of *Penicillium funiculosum* as a biological control agent against *Phytophthora* root rots of Azalea and citrus // Phytopathology. – 1995. – **85**, N 8. – P. 871–878.
18. Grum-Grzhimaylo O.A., Bilanenko E.N. Microfungal assemblages in decomposing *Sphagnum* spp. from bogs in National Park “Smolenskoye Poozerye” // XV Congress of European Mycologist. – Saint Petersburg, Russia, September 16 – 21, 2007: Abstracts. – St. Petersburg: TREEART LLC, 2007. – P. 75.
19. Singh P.D., Johnson J.H., Aklonis C.A., O’sullivan J. A new antibiotic produced by *Penicillium funiculosum*. Taxonomy, fermentation, isolation, structure, determination, synthesis and antibacterial activity // J. Antibiotics. – 1986. – **39**, N 8. – P. 1054–1058.
20. Thormann M.N., Currah R.S., Bayley S.E. Microfungi isolated from *Sphagnum fuscum* from a Southern Boreal Bog in Alberta, Canada // The Bryologist. – 2001. – **104**, N 4. – P. 548–559.
21. Wykvan J.P.H., Leogale P.B. Saccharification of wastepaper mixtures with cellulase from *Penicillium funiculosum* // Biotechnology Letters. – 2001. – **23**, N 22. – P. 1849–1852.

Отримано 16.10.2012