

Global Research Unit
AFBI Hillsborough

8

***Miscanthus* as an energy crop
and its potential for Northern Ireland**

A review of current knowledge

Z. McKervey, V.B. Woods and D.L. Easson

May 2008

Условия предоставления информации

В рамках данного отчета ссылки на компанию, торговое название или продукт не являются свидетельством в пользу данной компании, торгового названия или продукта или отказ от использования информации компании, торгового названия или продукта не носит характера критики. Было сделано все необходимое для обеспечения достоверности информации, однако в случае обнаружения ошибок или значимых упущений Международный научно-исследовательский отдел с радостью исправит указанные недочеты при первой возможности.





Содержание

1	Краткое содержание	1
2	Введение	5
2.1	Цель отчета	5
2.2	Введение в мискантус	5
2.3	Область производства мискантуса	6
2.4	Исследования мискантуса	9
2.4.1	Европейские исследовательские проекты	9
3	Мискантус – Ботаника и генетика	11
3.1	Ботаника мискантуса	11
3.2	Программа разведения и селекции в Великобритании	14
3.3	Программа разведения в США	14
3.3.1	Университет Иллинойса	15
4	Выращивание и посадка	15
4.1	Посадка семенами	16
4.2	Посадка узловыми черенками	16
4.3	Посадка ризомами	17
4.3.1	Размер ризомы, плотность посадки и глубина посадки	19
4.3.2	Посадочное оборудование	19
5	Управление сельскохозяйственными культурами	21
4.4	Борьба с сорняками	21
4.5	Борьба с вредителями	23
4.6	Водопотребность	24
4.7	Поглощение питательных веществ и потребность в удобрениях	25
4.8	Темп роста	28
4.9	Связывание углерода	28
5	Сбор урожая и урожайность	29
5.1	Сезон сбора урожая	29
5.2	Методы сбора урожая	31
5.3	Полегание	33
5.4	Выход биомассы	33
5.4.1	Урожайность зимой и ранней весной	37
5.4.2	Европейское исследование	37
5.5	Прогнозирование урожайности - моделирование данных	38
5.5.1	Великобритания	38
5.5.2	Ирландия	39
5.5.3	Европа	40
6	Хранение культуры, использование и энергетическая ценность	40
6.1	Хранение и сушка мискантуса	40
6.2	Энергетическая ценность мискантуса	41



6.3	Сжигание мискантуса	41
6.4	Анализ практики производства электростанции Elean	43
6.5	Производители котлов	43
6.5.1	Великобритания	43
6.5.2	Австрия	44
6.5.3	Германия.....	45
6.6	Совместное сжигание с биомассой.....	46
6.7	Промышленное использование мискантуса	47
6.8	<i>Мискантус и производство жидкого биотоплива второго поколения</i>	48
6.8.1	Переработка биотоплива из мискантуса	49
6.8.2	Торрефакция биомассы.....	50
7	Влияние на окружающую среду насаждений мискантуса	51
7.1	<i>Будущее содействие мискантуса в сокращении выбросов углерода</i>	51
7.2	Воздействие на местную окружающую среду	52
7.2.1	Положительное влияние мискантуса на окружающую среду	53
7.2.2	Негативное влияние мискантуса на окружающую среду	53
7.2.3	Положительное влияние мискантуса на экологию	53
8	Экономические аспекты выращивания мискантуса	55
8.1	Производственные затраты.....	55
8.2	Доходность и прибыль	57
9	Обсуждение и выводы	60
9.1	Перспектива выращивания мискантуса в Северной Ирландии	60
9.2	Преимущества мискантуса	61
9.3	Недостатки мискантуса	62
9.4	Экономический аспект мискантуса	63
9.5	<i>Мискантус в фермерских системах</i>	64
9.6	Выводы.....	65
10	Библиография	67



1 Краткое содержание

Мискантус - это ризоматозная трава C4, которая была завезена в Европу с Дальнего Востока в 1930-х годах как декоративное растение, и с 1950-х годов перешла в культуру биомассы благодаря исследовательским, бридинговым и селекционным программам с возможным распространением культуры в широком диапазоне климатических зон, включая территорию Европы с умеренным климатом.

Из примерно семнадцати сортов данного вида лишь немногие обладают потенциалом биомассы, и *Miscanthus giganteus* является самым распространённым стерильным триплоидным гибридом *M. sacchariflorus* и *M. sinensis*. После посадки корневища производят ежегодный рост стеблей, которые достигают зрелой высоты 3 м и более и могут быть собраны в феврале или марте после их старения и высушивания до равновесного содержания влаги ниже 20%. Урожай можно собрать и обрезать в ходе обработки за один проход, или скосить и оставить сушить в валках перед прессовкой в тюки, или нарезать вместе с силосом, или использовать оборудование для сбора соломы.

В то время как культура может укореняться с помощью ростков, выращенных узловыми черенками, большинство коммерческих культур закладываются на основании убранных корневищных секций. Было разработано специальное оборудование, которое может высаживать приблизительно 40 г ризом с плотностью 20 000 гектаров (га), но полевое высаживание часто оказывалось недостаточным или неравномерным. Исследования показали, что части корневища могут быстро ухудшаться, если они не помещаются в холодильное хранилище при температуре около 3°C в течение нескольких часов после поднятия и выдерживания в этом состоянии до нескольких часов до посадки. Адекватная влажность почвы также важна для успешного выращивания. Хотя в некоторых исследованиях были рассмотрены такие аспекты, как влияние размера корневища, плотность посадки и уровень влажности при высадке и раннем росте, в целом, очень мало исследований агрономии было посвящено сбору урожая культуры. Была разработана модель максимально возможной урожайности в европейских регионах, но более практические аспекты управления важным этапом высадки недостаточно изучены.

В течение первых 2-х или 3-х лет после посадки годовая урожайность стебля увеличивается по мере накопления корневища под землей. Незначительное количество исследований проводилось в области измерений корневища. В Великобритании урожайность стебля возросла с 1-2 тонн (т) сухого вещества (СМ)/га в первом сезоне до максимума, превышающего 17 т/га, начиная с 4 или 5 года. В Северной Ирландии небольшое исследование показало урожайность на участках более 15 т



СМ/га к четвертому году. Результат данной урожайности был достигнут без использования дополнительного удобрения после 2-го года из-за способности культуры перерабатывать питательные вещества, поступающие в корневища из стеблей во время старения и повторно используемых в следующем сезоне или возвращающихся в почву после опадения листьев.

В качестве растительного топлива мискантус имеет аналогичную тепловую мощность с рубкой ивы в низкоствольном хозяйстве с коротким оборотом ротации (КОР) и топливной щепкой /т (СМ), но при меньшей объемной плотности. Это делает менее экономичной транспортировку урожая мискантуса на значительные расстояния до точки его использования. Мискантус отличается более высоким содержанием двуоксида кремния по сравнению с древесной щепой, что обеспечивает более высокое содержание золы, и не все котлы, предназначенные для древесной стружки, способны перерабатывать урожай мискантуса. Некоторые британские испытания привели к заключению, что мискантус может использоваться при совместном сжигании на некоторых электростанциях и в развитых на этом основании хозяйствах, поэтому послужили основным стимулом для коммерческого выращивания культуры в Великобритании и Ирландии.

Относительно высокие затраты на посадку мискантуса наряду с относительно плохими урожаями в первые несколько лет означают, только через несколько лет производитель увидит экономическую прибыль от урожая. Эта ситуация аналогична ситуации рубки ивы в низкоствольном хозяйстве с коротким оборотом ротации, также предназначенной для производства биомассы. По сравнению с традиционными пропашными культурами данные культуры биомассы требуют долгосрочных обязательств и представляют собой более высокий риск, в частности временной риск, когда зерновые и масличные культуры становятся более прибыльными, а хороший урожай культуры можно ожидать (или, по крайней мере, надеяться) каждый год. При более высоком потенциале урожайности мискантуса по сравнению с рубкой ивы в низкоствольном хозяйстве с коротким оборотом ротации, низкие потребности в питательных веществах мискантуса делают его малозначимым для восстановления богатыми питательными веществами отходов, которые могут послужить источником дополнительных сборов для производителей ивы КОР. В соответствии с правилами Директивы по нитратам весной также возможно использование навоза для удобрения культуры мискантус.

В рамках сокращения использования углеродов и защиты окружающей среды запланированный более высокий урожай мискантуса оказывается целесообразней по сравнению с рубкой ивы с точки зрения сокращения выбросов углерода. Исследование, посвященное изучению возможных последствий в Ирландии, показало, что значительное сокращение выбросов углеродов было возможным, когда мискантус рос на



вытесненных травяных фермах для жвачных животных и где мискантус использовался для совместного производства электроэнергии на угольной электростанции.

Оценки внешнего и экологического воздействия на сельскохозяйственные угодья вследствие возникновения территорий посадки мискантуса показали, что существует положительное и отрицательное влияние культуры. Преимуществами являлись отсутствие необходимости ежегодной вспашки и потребность в очень маленьком количестве удобрений или гербицида после первых двух сезонов. Плотные стенды обеспечили хорошую среду обитания для некоторых птиц и грызунов. Однако, за исключением весеннего периода, во время развития стенда, сорняки производят мало семян, а листья не привлекательны для насекомых, так что культура мала или нет, лучше, чтобы другие пропашные культуры присутствовали с точки зрения разнообразия присутствующих видов.

В Северной Ирландии относительно мало внимания уделялось культуре мискантус, и рынок для его распространения как культуры биомассы еще не развился. В Северной Ирландии не существует гранта на выращивание мискантуса, хотя такие гранты доступны в Англии, Уэльсе и в Республике Ирландии. Тем не менее, данные подтверждают вывод о том, что урожайность мискантуса в Северной Ирландии должна быть аналогичной урожайности в остальной части Великобритании, и при выращивании и использовании растения в качестве биомассы данная культура может внести значительный вклад в сокращение использования углеродов. Хотя в Северной Ирландии может быть труднее собрать урожай с содержанием влаги ниже 20%, Мискантус все равно будет собираться более сухим, чем при рубке ивы КОР с аналогичным теплосодержанием.

Главной задачей исследования, представленного в данном отчете, является изучение методов посадки и управления ранним развитием мискантуса для обеспечения успешного и единого определения, по крайней мере, стоимости и ускорения роста корневищ в первые несколько лет, в результате чего быстро покроются затраты на организационные расходы. В Великобритании работа в Институте пастбищных и экологических исследований (IGER) по разработке и подбору новых и улучшенных клонов с повышенной морозостойкостью и высокой урожайностью также будет иметь важное значение для повышения урожайности культуры в будущем.

В настоящее время особое внимание уделяется разработке жидкого биотоплива второго поколения для обеспечения большей экономии углерода по сравнению с нынешним биотопливом, и мискантус занимает ведущее положение в производстве лигноцеллюлозной биомассы из сельского хозяйства в будущем и, возможно, позволит сельскому хозяйству Северной Ирландии оказать значительное содействие в производстве биотоплива и сокращении выбросов углерода.



Выводы

1. За 25 лет после первого признания перспективы мискантуса в качестве культуры биомассы в Европе интерес к растению вырос, и исследования способствовали развитию жизнеспособных систем для увеличения урожайности и использования культуры для производства энергии.
2. Основываясь на результатах испытаний урожая в Англии, Северной Ирландии и на опыте работы в Республике Ирландии, сухая масса мискантуса, как ожидается, будет аналогична полученным сухим массам в Северной Англии в диапазоне от 12 до 15 т. Сухой массы (СМ)/га / год.
3. Успешное выращивание мискантуса возможно в основном на пахотных площадях Северной Ирландии и на плодородных хорошо осушенных землях в других районах.
4. Выращивание мискантуса - это эксплуатация предприятия в рамках договора, предусматривающего избежание рисков плохой приживаемости.
5. Особенно важно, чтобы ризомы высаживались в свежем состоянии, сохраняя влажность и при температуре ниже 4°C после выкопки до повторной высадки.
6. Исследования в физиологии и агрономии по данной культуре ограничены по причине относительной недавнего ее открытия. Дальнейшие исследования должны привести к улучшению методов высадки и техник контроля развития культуры.
7. Исследования в физиологии и агрономии по данной культуре ограничены по причине относительной недавнего ее открытия. Дальнейшие исследования должны привести к улучшению методов высадки и техник контроля развития культуры.
8. Программа разведения и селекции мискантуса в Великобритании в Аберистуите, вероятно, приведет к идентификации более высококультурных биотипов, лучше адаптированных для наших климатических условий, как единственный клон *Miscanthus giganteus*, который выращивается в настоящее время на Британских островах.
9. Мискантус отличается относительно низкой потребностью в питательных веществах из-за значительной степени ежегодной рециркуляции питательных веществ от стеблей к корневищам. Однако при некоторых типах почв вполне обоснованно ежегодно использовать питательные вещества во время внесения навоза весной в соответствии с правилами Директивы по нитратам.



10. В Северной Ирландии необходимы исследования, чтобы определить, будет ли биомасса культуры на корню стареть при влажности ниже 20% в течение зимы и можно ли успешно собрать урожай в марте без значительного повреждения почвы.

11. Контрактная уборка мискантуса может быть легко выполнена в Северной Ирландии подрядчиками, уже оснащенными оборудованием для сбора силоса и фуражной кукурузы в сезон, когда их оборудование не эксплуатируется.

12. Установка систем нагрева на биомассе, способных использовать мискантус, должна осуществляться параллельно с коммерческим выращиванием культуры.

13. Очевидно, что разработка жидкого биотоплива второго поколения из лигноцеллюлозных запасов обеспечит жизнеспособность будущему рынку биомассы мискантуса, способному в значительной степени повлиять на сокращение выбросов углерода.

14. При низкой потребности в пестицидах и искусственных удобрениях после высадки мискантуса отличается большей экологичностью, чем традиционные пропашные культуры.

15. Зрелый мискантус обеспечивает в течение зимы плотную и высокую среду обитания с повышенным биоразнообразием для сельской местности. Однако он считается менее полезным, чем вырубка ивы КОР из-за редкого проникновения света в почву, что приводит к плохому росту семян сорняков и непривлекательности листьев для большинства насекомых.

16. Как и в случае с рубкой ив КОР, речь идет о высоких затратах на посадку и низкой доходности культуры в первые несколько лет. Мискантус рассматривается наравне с рубкой ив КОР для предоставления грантов в Англии, Уэльсе и Республике Ирландии. Таким образом, существуют весомые аргументы в пользу предоставления аналогичного гранта для посадки мискантуса в Северной Ирландии.



2 Введение

2.1 Цель отчета

Данный отчет был составлен с целью анализа актуальных знаний о мискантусе в качестве культуры биомассы и оценивания его потенциала как энергетической культуры в Северной Ирландии.

2.2 Введение в мискантус



Мискантус - это многолетнее растение C4, родом из Восточной Азии, которое может давать значительные годовые урожаи сухой биомассы при ограниченных подачах питательных веществ и все больше развивается как энергетическая культура в Европе и Америке. Оно достигает средней высоты 3 м и может приносить урожаи > 20 т.сухой массы (СМ)/га / год через три года в подходящих климатических условиях (Нильсен, 1987).

Исследования в области роста, урожайности и энергетических характеристик мискантуса и улучшения его генетического потенциала проводились в Европе. Исследователи из Великобритании, Дании, Германии, Ирландии, Португалии и Испании участвовали в совместных проектах, инвестируемых ЕС, правительством и промышленным сектором, направленных на исследование возможной жизнеспособности мискантуса как энергетической культуры.

В соответствии с Киотским соглашением 1997 года Великобритания обязалась сократить выбросы парниковых газов на 12,5% ниже уровня 1990 года за период 2008-2012 гг. В 2007 году Европейская комиссия запустила «Дорожную карту возобновляемых источников энергии», в которой излагаются обязательные целевые показатели для производства возобновляемых источников энергии, равные 20%, которые должны быть достигнуты к 2020 году. Недавние оценки текущих показателей показывают, что предлагаемый уровень производства возобновляемой энергии в 12% к 2010 году не достигнут, и эта инициатива требует от отдельных стран ЕС представить Национальные планы действий для изложения процессов и политики для достижения желаемых целей в области энергетики. Премьер-министр Великобритании заявил в ноябре 2007 года, что британский законопроект об изменении климата внесет официальное сокращение с 26% до 36% выбросов углекислого газа в Великобритании к 2020 году, и он указал, что достижение целей в области возобновляемых источников энергии потребует значительного развития энергии биомассы

Хотя мискантус был впервые завезен в Европу еще в 1930-х годах, интерес к использованию мискантуса в качестве энергетической культуры возник только в 1980-х годах, когда полевые испытания провели изначально в Дании в 1983 году и впоследствии распространились в Германии, Ирландии и Великобритании в рамках Европейского проекта JOULE (совместные возможности для нетрадиционных или долгосрочных энергий). Несмотря на признание высокой урожайности культуры на ранней стадии, неудачные испытания в Германии из-за отсутствия морозостойкости привели к переоценке адаптации типов мискантуса, подходящих для Европы и разработке дальнейших программ селекции.

2.3 Область производства мискантуса

До 2000 года мискантус, выращенный в Европе, применялся почти исключительно в экспериментальных испытаниях. Коммерческое развитие культуры в основном происходило в Великобритании, а в период с 2001 по



2006 год кумулятивная посадка мискантуса в Англии стала расти и достигла 3356 га. Ожидается, что в 2007 году эта область увеличится почти в три раза, а утвержденная посадка на 2007 год составит кумулятивный итог 12 627 га мискантуса (<http://www.tsec-biosys.ac.uk/index.php?p=8&t=1&ss=4>) (Доступен 29 февраля 2008 г.). В результате новой программы государственной поддержки в 2007 году в Ирландии была засажена территория площадью более 1000 га. Данные о территории, засаженной мискантусом и ивой, приведены в таблице 1. Подробная информация о территории, засаженной мискантусом и ивой в Великобритании или Англии в рамках различных схем субсидирования, приведены в таблице 2.

Таблица 1. Международное выращивание мискантуса и ивы КОР.

Страна	Год	Мискантус (га)	Ива (га)	Ссылка
ЕС	1996	170		http://www.risoe.dk/rispubl/energy_report/ris-r-1430.pdf
Бельгия	2000-2005	Неуспешная посадка		www.ienica.net/reports/ienicafinalsummaryreport20002005.pdf
Германия	1996	100		http://www.eeci.net/
Дания	1999		600	http://www.eeci.net
Дания	2002	30		http://www.risoe.dk/rispubl/energy_report/ris-r-1430.pdf
Дания	2000-2005	40-50		http://www.ienica.net/reports/ienicafinalsummaryreport2000-2005.pdf
Нидерланды	1999	25-30		http://www.eeci.net/
Швеция	1999		15000	http://www.eeci.net/
Швейцария	2000-2005	200-250		www.ienica.net/reports/ienicafinalsummaryreport20002005.pdf
Великобритания	2006	3356	1180	http://www.tsecbiosys.ac.uk/index.php?p=8&t=1&ss=2
Великобритания	2007	12,627 (в перспективе)	2600	http://www.tsecbiosys.ac.uk/index.php?p=8&t=1&ss=4
Ирландия	2007	>1000 (расчет)		www.ienica.net/reports/ienicafinalsummaryreport20002005.pdf
США	2001-2007	Поля для испытаний Университет Иллинойса		http://www.miscanthus.uiuc.edu/



Таблица 2. Участки выращивания ивы КОР и мискантуса на непосевных землях в Великобритании или Англии при различных схемах поддержки.

Схема гранта/культура	Площадь (га)								
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006 (условно)
Схема выплат помощи для развития энергетики (Великобритания)									
Рубка в низкоствольном хозяйстве с коротким оборотом ротации (КОР)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	0	593	1,125
Мискантус	нет	нет	нет	нет	нет	нет	0	0	2,042
Схема поддержки развития энергетических культур (Англия)									
Мискантус (новые посадки)	нет	нет	нет	0	52	0	302	658	2,345
КОР (новые посадки)	нет	нет	нет	233	65	94	106	290	392
Схема гранта на лесонасаждение									
КОР (новые посадки): Англия	191	421	714	16	12	15	34	нет	нет
КОР (новые посадки): Шотландия	9	9	9	9	9	9	нет	нет	нет
КОР (новые посадки): Уэльс	нет	4	1	нет	нет	нет	1	1	>1
Схема грантов развития лесных хозяйств Шотландии									
КОР (новые посадки)	нет	нет	нет	нет	нет	нет	34	0	201

(<http://www.nnfcc.co.uk/statistics/uk.cfm>), (доступно 21 января, 2008)



2.4 Исследования мискантуса

Первоначальные исследования для оценки потенциальной продуктивности различных типов мискантуса проводились с начала 1990-х годов по всей площади Европы. Это привело к разработке программ улучшения сорта мискантуса и моделированию роста и развития культуры. Рост доверия касательно высокой значимости культуры и постепенное признание необходимости развития возобновляемых источников энергии в Великобритании способствовали проведению при поддержке Департамента торговли и промышленности (DTI) ряда исследований по посадке, сбору и утилизации мискантуса и других культур биомассы. Совсем недавно США признали потенциал мискантуса, начали исследовательские программы университета. В настоящее время Департамент по окружающей среде, продовольствию и сельскому хозяйству Великобритании (DEFRA) финансирует программу генетических улучшений в IGER, Аберистуит.

2.4.1 Европейские исследовательские проекты

Сеть урожайности мискантуса (1992-1995)

Данный проект был создан с целью исследования роста и урожайности культуры мискантус посредством селекции на разных европейских территориях. Были оценены различные методы сбора и хранения урожая. Данные исследования позволили изучить жизнеспособность каждого из трех основных видов растения, произрастающих в разных европейских климатических зонах. <http://www.biomatnet.org/secure/Air/S175.htm> (Доступ к 27-му Май 2007 г.)

Европейская программа по улучшению сорта мискантуса с целью расширения генетической базы данных, тестирование генотипов и разработка методов разведения <http://www.biomatnet.org/secure/Fair/S659.htm> (доступно 27 мая 2007 г.). Этот проект был направлен на поиск решений проблемы отсутствия зимней выносливости, проявляемой некоторыми видами мискантуса, на улучшение генофонда с использованием различных методов разведения.

Мискантус был одной из сельскохозяйственных культур биомассы, изученной в рамках проекта ЕС EPOBIO, опубликовавшего серию отчетов в 2006 и 2007 годах, содержащих анализ биологической переработки клеточных стенок растения в энергетических и других целях (Меллер и др., 2007) и в последующем проекте HYVOLUTION EU, при участии партнеров из 10 стран, направленном на изучение техник производства водорода из материалов биомассы, включая мискантус (Клаасен и Вридж, 2006).

Клифтон-Браун и др. (2007) отслеживал историю европейских исследований мискантуса до настоящего времени и наметил будущее направление исследований как в Европе, так и в США:

Основным направлением исследовательских программ мискантуса в Европе было изучение структуры роста и урожайности различных видов и клонов мискантуса и их взаимодействия в климатических зонах. Модели



роста позволили оценить ожидаемую урожайность в Европе и в некоторых районах США (Клифтон-Браун и др., 2000). Разведение и селекция улучшенных линий мискантуса, адаптированных для Британских островов, в настоящее время привлекают внимание, и исследователи IGER планируют работу с этой перспективной территорией при финансировании DEFRA.

Агрономические аспекты мискантуса стали предметом относительно небольших исследований и были определены Меллером и другими специалистами (2007) как обоснование необходимости дальнейших исследований. Несколько проектов, финансируемых DTI, были реализованы и направлены на изучение методов посадки, но результаты доступны только в окончательных отчетах, а не в виде научных публикаций (DTI, 2001, 2006b).

При Институте Ротамстед исследование мискантуса стартовало в 1993 году. В данной работе были рассмотрены азотные соединения мискантуса и реакция на применение удобрений (Кристиан и др., 2005), и постоянная программа исследований направлена на изучение внутреннего цикла питательных веществ в растении и производство биотоплива второго поколения из мискантуса (Personal communication Ian Shield, Rothamsted Research, 2008).

Исследователи из Университета штата Иллинойс провели небольшое исследование в таких областях, как хранение корневища, размер корневища и определение территорий. Данные аспекты представлены в этом отчете. В целом остается вопрос, каким образом достичь удовлетворительных насаждений мискантуса с наименьшими затратами и с возможностью получения высокой урожайности на самих ранних сроках жизни растения.



3 Мискантус – Ботаника и генетика



3.1 Ботаника мискантуса

Характеризуясь С4 фотосинтетическим путем развития, мискантус демонстрирует замечательную комбинацию высоких индексов использования света, воды и азота. Его фотосинтетический механизм, по-видимому, лучше приспособлен к низким температурам, чем у многих других культур С4, обеспечивая ему высокую урожайность при относительно низких температурах. Несмотря на высокий индекс использования воды, культуре может понадобиться значительное количество воды для максимального роста из-за ее высокой урожайности (Уалш и Маккарти, 1998).

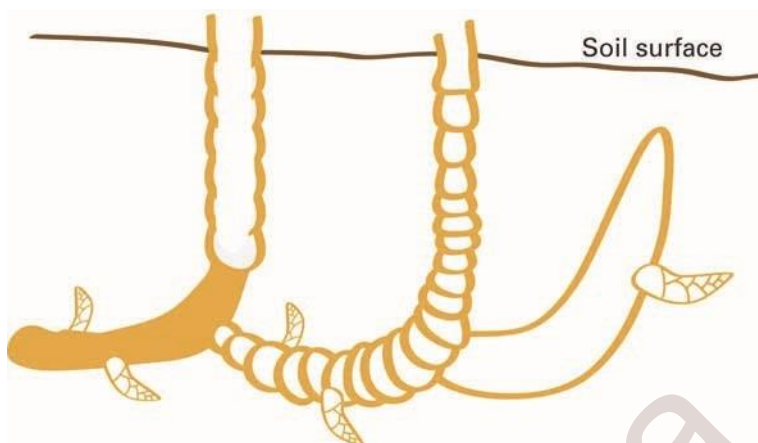
Мискантус поддерживает существенную структуру корневища в почве и производит из корневищных почек ежегодный рост растительных стеблей, которые могут быть собраны сухими после их зимнего старения. Большая часть питательных веществ при наземной обработке во время вегетативного роста возвращается к

корневищам или находится в листьях, опадающих во время старения, оставляя в основном карбогидрат в урожайном материале (рис. 1).

Обычный максимальный индекс площади листа, указанный при европейских испытаниях (конец лета), составляет приблизительно $8 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Типичная максимальная высота покрова составляет около 4 м, а стебли включают 12-14 междоузлий. После зимовки, опадения листьев и потери некоторых верхних междоузлий, которые могут отделиться, сухие стебли вряд ли превышают высоту 2,5-3 м. (Скурлок, 1999).



Рисунок 1. Схема разветвления во время роста ризом.



(Данные предоставлены Резерфордом и Хитом, 1992)

Существует около семнадцати различных видов мискантуса (Джоунс, 2004), причем тремя основными видами являются *M. sinensis*, *M. sacchariflorus* и *M. giganteus*, они были впервые завезены из Иокогамы, Япония и посажены в Дании как декоративная трава в 1935 году (Линде-Лаурсен, 1993). *M. giganteus* - стерильный триплоид с хромосомным числом 57, полученный в результате гибридного скрещивания с диплоидным *M. sacchariflorus* и тетраплоидным *M. sinensis* (Гриф и Дойтер, 1993; Дойтер, 2000). Известно, что этот вид встречается во всех тропических, субтропических и теплых умеренных зонах Юго-Восточной Азии и островов Тихого океана. Из семейства *Andropogoneae* / *Poaceae*, этот вид близкородственен сахару (который включает сахарный тростник), и поэтому некоторые сорта двух видов легко скрещиваются. В общем, сорта *M. sacchariflorus* хорошо приспособлены к более теплomu климату, тогда как *M. sinensis* может обеспечить генофонд для более прохладных регионов.

M. sinensis - это глыбообразное растение с цветной листвой, вырастающее до высоты 11,5 м. Эта разновидность мискантуса представляет ряд цветных соцветий от темно-желтого и бледно-розового до темно-фиолетового. Цветы производят костры и всхожие семена.

Сорт *M. sacchariflorus* отличается от *M. sinensis* большей высотой от 2,5 до 3 м, с одноцветным соцветием белых цветов без костры. Этот вид дает очень мало всхожего семени и в значительной степени реплицируется путем производства корневищ (рис. 2).

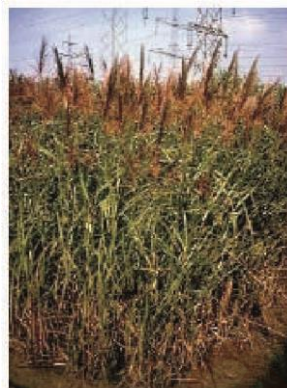
M. giganteus является гибридным скрещиванием сортов *M. sinensis* и *M. sacchariflorus*, достигающий высоты 2,5-3,5 м и не производящий семян. Корневища этого сорта меньше ризом *M. Sacchariflorus*.



Рисунок 2. Три основных вида мискантуса.



M. sinensis



M. sacchariflorus



M. giganteus

<http://www.sustainablebioenergy.uiuc.edu/Presentations/Long.pdf>, (доступно 27 июля, 2007)

Фотографии предоставлены Стивом Лонгом, Университет Иллинойса

Слабая холодоустойчивость многих сортов, особенно в северных частях Европы, например, в Швеции и Дании, оказалась главной проблемой выращивания мискантуса. Исследования по разведению новых сортов мискантуса с повышенной холодоустойчивостью и более высокой урожайностью были предприняты в рамках проекта по улучшению вида мискантуса, при тесном сотрудничестве ряда государств ЕС, включая Германию, Данию и Швецию (Гриф и Дойтер, 1993).

Расширение этой программы заключалось в распространении Европейского генофонда мискантуса посредством соединения с генетическим материалом из Азии. *M. giganteus* представляет вид-доминант мискантуса, выращенного в Северной Европе, и эта зависимость от одного вида повышает риск уничтожения культуры болезнью (Клифтон-Брауна и др., 2001). В рамках исследования Клифтон-Брауна и др. (2001), была проведена селекция из 15 генотипов *M. sinensis*, *M. sacchariflorus* и *M. Giganteus*, которые выращивались на пяти участках в Англии, Швеции, Дании, Германии и Португалии. В ходе работ измерялись определенные фенотипические характеристики и их влияние на урожайность в разных почвенно-климатических условиях, включая высоту растения, плотность стебля и дату цветения. Показатели выживания растений варьировались в зависимости от местоположения, следует отметить, что *M. sinensis* оказался более жизнеспособным в Швеции и Дании благодаря условиям выживания корневища при температуре почвы ниже - 4,5°C. Данные исследования в области холодоустойчивости мискантуса привело ученых к



выводу о том, что корневища *M. giganteus* не продемонстрировали явную жизнеспособность при температурах почвы ниже - 3°C на глубинах до 5 см (Клифтон-Брауна и Левандовски, 2000а). В целом, *M. giganteus* обеспечивал более высокую урожайность и лучше выживал в таких странах, как Англия и Германия, и поэтому стал оптимальным видом для производства в большинстве европейских стран (Клифтон-Брауна и Левандовски, 2000а).

В исследовании Фаррелла и др. (2006), проводилась оценка изменения величины побега четырех отобранных генотипов мискантуса под влиянием температуры. Специалистами было установлено, что сильный мороз зимой наносит вред *M. giganteus* и что гибриды *M. sinensis* могут оказаться более жизнеспособным альтернативным сортом в климатических зонах с сильными морозами.

При финансовой поддержке DEFRA в настоящее время собрана национальная коллекция генотипов мискантуса при ADAS. Материал для коллекции, включающий 209 генотипов мискантуса, был доставлен из Европы и Азии и доступен для британских исследователей. http://www2.defra.gov.uk/research/Project_Data/More.asp?I=NF0430&M- (Доступ к 8 мая 2007 г.).

3.2 Программа разведения и селекции в Великобритании

Министерство по охране окружающей среды, продовольствия и развития сельского хозяйства (DEFRA) в настоящее время финансирует при участии IGER исследовательскую программу генетического улучшения мискантуса для производства биомассы. Проект получил начальное финансирование в размере 1,2 млн фунтов стерлингов на 5 лет и обеспечил сотрудничество специалистов при IGER и Plant Research International (PRI), из Вагенинген и Нидерландов. Целью проекта является исследование возможностей разведения новых улучшенных выведенных сортов *M. sinensis* и *M. giganteus*, и внедрение усовершенствованных методов распространения семян (<http://www.supergen2005.interbase.net/docs/1178201%20BBE%20Newsletter%2022.pdf>) (Доступ к 4 мая 2007 г.).

3.3 Программа разведения в США

Корпорация Биотехнологии имени Менделя в США приобрела программу разведения мискантуса у немецкой технологической компании Tinplant Biotechnik, которая инвестировала в течение 15 лет разработку и разведение новых сортов мискантуса ([www.Genengnews.com/news/bnitem.aspx / name = 1499533 & taxid = 48](http://www.Genengnews.com/news/bnitem.aspx?name=1499533&taxid=48)) (Доступно 18 апреля 2007 г.).

Исследователи из Mendel Technology / Tinplant Biotechnik выпустили два новых гибридных сорта «Amuri» и «Nagara» в рамках программы



разведения Tinplant в 2006 году. Эти новые сорта являются результатом гибридного скрещивания между *M. sacchariflorus* и *M. sinensis* и проявляют большую степень зимостойкости, чем *M. giganteus* (http://www.renewable-energy.uiuc.edu/docs/symposium/PDF/Zhang_Talk.pdf) (доступ к 20 апреля 2007 г.).

3.3.1 Университет Иллинойса

В Университете штата Иллинойс было проведено исследование, направленное на улучшение сорта *M. sinensis* с точки зрения генетического материала и повышения урожайности. Недавно компания British Petroleum (BP) предоставила финансирование в размере 500 млн. долларов на производство биоэнергии и создание нового Института энергетических и биологических наук в США. Этот инвестирование включает в себя исследовательское сотрудничество между Университетом штата Иллинойс и Калифорнийским университетом в Беркли для изучения регулирования потенциальных запасов биомассы, включая мискантус (Яйтс и Бомон, 2007) (www.news.uiuc.edu/NEWS/07/0201bp.html) (Доступно 22 июня 2007 г.).

Исследовательская программа Университета штата Иллинойс направлена на изучение методов увеличения производства биомассы мискантуса путем удвоения хромосом для создания полиплоидных разновидностей. Другими целями исследования являются генетические манипуляции для повышения толерантности к гербицидам, изменения содержания лигнина и задержки цветения (http://Miscanthus.uiuc.edu/wpcontent/uploads/2007/01/dr_juvik_Miscanthus_symposium.pdf) (Доступно 15 мая 2007 г.).



4 Выращивание и посадка

Большинство сортов культуры мискантус имеют триплоидный тип *M. giganteus*, отличающийся стерильностью и необходимостью вегетативного размножения, или механического деления корневища на небольшие участки для реплантации, или микроразмножения стеблевых черенков с помощью тканевой культуры. Плодородные сорта мискантуса могут

выращиваться с помощью семян, например, *M. sinensis* и *M. Sacchiflorus*.

4.1 Посадка семенами

Специалисты Исследовательского Института Ротамстед в Великобритании изучили возможность посадки *M. sinensis* семенами в условиях полевых испытаний (Кристиан и др., 2005). Посадка растений семенами *M. sinensis* показала лучший результат при рядовом севе по сравнению с разбросным севом, возможно, ввиду более тесного контакта семян с почвой, в свою очередь, всходов из непелетированных семян было больше, чем из гранулированных (таблица 3). Кристьян и др. (2005) пришел к выводу, что ввиду высоких затрат на выращивание мискантуса из ризом или путем микроразмножения, возможность посадки мискантуса семенами может оказаться оптимальной, поэтому в этой области необходимы дальнейшие исследования.

Таблица 3. Посадка мискантуса через 12 недель после посева в июле 2002

Метод посева	Растения/м²	
	Негранулированные семена	Гранулированные семена
Борозда	25,9	13,1
Вразброс	15,5	4,8
Протравленные		6,58

(Кристиан и др., 2005)

4.2 Посадка узловыми черенками

Также возможно выращивание мискантуса вегетативно с помощью узловых черенков или отростков от корня растений. Микроразмножение станет, пожалуй, самым популярным методов посадки мискантуса в Европе с помощью кущения растительного материала *in vitro*. С посадкой мискантуса посредством ризомных черенков (RP) (Левандовски, 1997) сравнили два метода микроразмножения, а именно прямую посадку с помощью кущения растений (DP) и введение каллусообразования через стерильную культуру *in vitro* (эмбриониды) (EP). Установление через DP выявило проблемы с увеличенным полеганием, что может увеличить затраты на сбор урожая, а посадка с помощью метода EP оказалась выгодной альтернативой DP, уменьшив риски распространения болезни и являясь более экономичным методом крупномасштабного производства. Различные этапы роста ризомы мискантуса после первоначального деления корневища до деления на отдельные растения показаны на рисунке 3.



Рисунок 3. Различные стадии роста ризом мискантуса.



http://Miscanthus.uiuc.edu/wpcontent/uploads/2007/01/heaton_sri_symposium_2007.p

df

(доступ 21 мая, 2007)

Фотографии предоставлены Стивом Лонгом, Университет Иллинойса

4.3 Посадка ризомами

Мискантус может выводиться вегетативно посредством макроразмножения корневища по сравнению с посадкой семенами. Этот метод был адаптирован для посадки *M. giganteus* ввиду его стерильности.

Макроразмножение осуществляется путем механической резки ризом на части по 20100 г каждая, которые необходимо как можно быстрее отправить на хранение после сбора урожая для предотвращения высыхания (Йордженсен, 1995). Механические методы сбора ризом сократили затраты на макроразмножение мискантуса примерно с 400 ECU (евро)/га до 350 ECU (евро)/га и возможное сокращение в будущем до 200 ECU (евро)/га (Хуисман и др., 1996). В обширном исследовании, проведенном учеными ADAS по запросу DTI, были изучены методы посадки мискантуса и сокращения затрат на выращивание растения (DTI, 2006b). Главной целью исследования было определение методов хранения и предпосадочной обработки, обеспечивающих самые высокие показатели посадки ризом в поле.

В таблицах 4 и 5 обобщаются главные результаты, относящиеся к влиянию условий и длительность хранения ризом, влагосодержания почвы на посадку.



Таблица 4. Посадка ризом и мощность растения при различной влажности почвы.

Содержание влаги в почве(%)	Кол-во всходов	Кол-во невзошедших ростков	Высота стебля	Сухой вес ростков (г)	Выживаемость роста	Выживаемость корня
0	0	1,2	0	0	0	0.00
10	0	0,25	0	0	0	0.00
20	0	0	0	0	0	0.00
30	0	0.80	0	0	0	1.00
40	1.33	0.4	12.97	0.27	2.4	1.6
50	1.50	0.2	24.7	0.62	1.6	2.00
70	1.50	0.6	10.23	0.24	2.6	0.80

(Министерство Торговли и промышленности, 2006b)

Таблица 5. Влияние хранения при нормальной или холодной температуре в процентном соотношении ризом мискантуса.

Темпуратура хранения	Нормальная температура	3-5°C
Период хранения (недели)		
0	94	94
2	67	94
4	17	72
6	6	89

По окончанию исследования были сделаны следующие выводы:

- корневища не будут приживаться при содержании влаги в почве ниже 40%;
- ризомы в идеале должны быть высажены в течение 4 часов после сбора урожая;
- попадание ризомы в нормальные условия окружающей среды может привести к снижению устойчивости и силы растения;
- хранение при температуре 3-5°C может поддерживать устойчивость ризом на нескольких недель
- корневища, подлежащие хранению, должны быть помещены в холодное хранилище в течение 4 часов после сбора урожая и посажены в течение 4 часов после извлечения из холодильного хранилища;
- использование влагоудерживающего геля для покрытия корневищ или увлажняющей пропитки перед посадкой оказало несущественную практическую пользу или не повлияло совсем.

Исследователи из Университета штата Иллинойс изучили рост мискантуса в испытаниях и также определили, что температура хранения является важным критическим фактором в отличие от размера корневища. При идеальной температуре хранения 4°C корневища могут храниться до 4



месяцев с уменьшением жизнеспособности на 20% (<http://Miscanthus.uiuc.edu/index.php/symposium/2007-symposium/symposiumpresentations/Miscanthus-x-giganteus-establishment-studies/>) (Доступно 24 мая 2007 г.).

4.3.1 Размер ризомы, плотность посадки и глубина посадки

В результате исследований в Университете штата Иллинойс в 2005 и 2006 годах были сделаны выводы о том, что урожай побегов в конце сезона не был затронут посадкой корневищ размером от 20 до 100 г. при глубине посадки от 5 см до 20 см.

Рекомендуемая плотность рядов посадки колеблется между 1-2 растениями/м² (Пруд и др., 1997) или 1-4 растениями/м² (Шварц и др., 1995). Посадка при более высоких плотностях может привести к более высоким урожаям в первые несколько лет, но по мере созревания культуры ежегодное количество побегов возрастает независимо от количества первоначально посаженных корневищ. Специалисты под руководством Булларда (1995) после проведения полевых испытаний в Кембриджшире сообщили о равновесной плотности побегов 800-1000/м². В настоящее время DEFRA рекомендует посадку корневищ или микроразмножение 20 000 растений/га на глубине 5-10 см.

4.3.2 Посадочное оборудование

Ризомы мискантуса могут быть высажены при помощи различных машин: картофелепосадочной машины, разбрасывателя навоза или специальной посадочной машины (Hvidsted planter), как показано на рисунках 4, 5 и 6.

Рисунок 4. Полуавтоматический картофелеуборочный комбайн.





Рисонок 5. Разбрасыватель навоза.



Рисунок 6. Специальная сеялка.



Изображение предоставлено BICAL Ltd.

Модифицированная картофелепосадочная машина (рис. 4) требует предварительной сортировки посадочного материала с ризомами, диаметр которых не более 20 см. Ризомы помещаются в ложечки высаживающего аппарата и проходят через вертикальный вал в борозды, которые максимально заполняются почвой, укатываются и в дальнейшем уплотняются. Разбрасыватель навоза (рис. 5) с бункером заполняется смесью неклассифицированных корневищ и почвы, которые разбрасываются по поверхности, а затем вспахиваются на глубине 10-15 см и, наконец, прикатываются для уплотнения почвы.



Специальная посадочная машина Bespoke (рис. 6) состоит из прицепа, оснащенного сеялкой, который может высаживать два ряда на расстоянии 72 см друг от друга, которые затем покрываются почвой и прикатываются для уплотнения почвы.

Исследование, посвященное определению эффективности трех методов посадки, приведенных на рисунках 4-6, было оценено DTI (2001). Использование разбрасывателя навоза и специальной сеялки для посадки корневищ привело к наиболее урожайным площадям в течение начального вегетационного периода благодаря использованию несортированных ризом, следовательно, большего количества почек и более высокого уровня всходов. В свою очередь, при использовании модифицированной картофелепосадочной машины отмечается более высокая и более точная плотность посадки с более равномерным распределением растений в отличие от других используемых машин.

Как только началась коммерческая посадка значительных площадей культуры в Англии с 2005 года, произошло дальнейшее развитие типа сеялки Hvidsted для обеспечения более равномерной посадки.

5. Управление сельскохозяйственными культурами



Для успешного выращивания культуры мискантуса требуется тщательное управление борьбой с сорняками, особенно в течение первых двух лет выращивания культуры, в европейских культурах было обнаружено мало болезней или вредителей, и потребности культуры в питательных веществах низкие.

4.4 Борьба с сорняками

Мискантус может быть подвержен засорению сорняками в течение первого года посадки, поэтому рекомендуется применение гербицидов подходящих для кукурузы, для борьбы с сорняками при выращивании мискантуса (Серафин и Аммон, 1995). После успешной посадки культуры необходимость дальнейшей борьбы с сорняками значительно снижается в последующие годы (Thiemann, 1995). Список гербицидов, опробованных для борьбы с сорняками мискантуса, представлен в таблице 6. В Великобритании Управление по безопасности пестицидов дало

долгосрочное расширение для использования кукурузных и зерновых гербицидов при выращивании мискантуса в следующей формулировке: «Пестициды, одобренные для использования на злаках, траве и фуражной кукурузе, могут использоваться на коммерческих сельскохозяйственных и садоводческих хозяйствах *Miscanthus* sp. (Слоновая трава). Применения не должны осуществляться после достижения растением высоты 1 м »(<http://www.defra.gov.uk/erdp/pdfs/ecs/Miscanthus-guide.pdf>) (Доступ к 16 июня 2007 г.)

Таблица 6. Гербициды, успешно использованные при борьбе с сорняками при выращивании мискантуса.

Активное вещество	Ссылка	Гербицид	Норма внесения (л/га)
Атразин	A	Гезаприм	2.5
Бромоксинил/иоксинил	A	Бриотрил	2.5
Бромоксинил /флуроксипир/ иоксинил	A	Адванс	2.5
Клопиралид	A,B	Дау Шилд	2.4
Дихлорпроп	B	(667 г/л активного вещества)	5.0
Дефлюфеникан /изопротурон	B	100:500 г/л активного вещества	3.0
Флуроксипир	A,B	Стейрейн 2	2.0
Глифосфат ²	A,B	Раундап	3.2
Изопротурон	B	Толкан	4.0
Метсульфурон-метил	A,B	Алли	30 г/га

Таблица 6. Успешно использованные гербициды для борьбы с сорняками в посадках мискантуса.

Активное вещество	Ссылка	Гербицид	Норма внесения (л/га)
Метсульфурон-метил + Бромоксинил/ иоксинил ³	A	Алли + Делоксил	30г/га + 1 л/га
Метсульфурон-метил + Флуроксипир ³	A	Алли + Стейрейн 2	20 г/га + 0,5л/га
2-метил-4-хлорфеноксиуксусная кислота	B	750 г/л активного вещества	5.00
2-метил-4-хлорфеноксиуксусная кислота +масляная кислота	A	Трифолекс-Тра	7.7
Мекопроп-Р	B	Дупласан	6.0



Паракват 2	A	Грамоксон	4.0
------------	---	-----------	-----

- ¹ (A) ADAS , (B) Georg Noyé Institute of Weed Control 'Flakkebjerg'
Denmark
- ² Гербициды для применения до всхода *Miscanthus*
- ³ Измерения для баков
(Министерство окружающей среды, продовольствия и сельского хозяйства, 2001a).

4.5 Борьба с вредителями

В настоящее время заболеваемость произрастающей культуры мискантус незначительна в связи с ограниченным производством в Великобритании и Европе. Однако, предположительно, вирус желтой карликовости ячменя может представлять потенциальную угрозу в будущем при увеличении производства мискантуса. Следовательно, пока имеются ограниченные данные о рекомендуемых пестицидах для применения к мискантусу с целью профилактики заболеваний.

Испытания мискантуса в Европе не выявили серьезных проблем с болезнью, но это может быть связано с относительно недавним выращиванием данной культуры. Тем не менее, несколько исследователей сообщили о восприимчивости мискантуса к общим заболеваниям культур, таким как фузариоз, вирус желтой карликовости ячменя и лептосферия специфическая (фитофтороз мискантуса) (Тингаард, 1997; Кристиан и др. 1994; О'Нейл и Фарр, 1996).

Хагджет и др. (1999) изучили пригодность мискантуса в качестве растения-хозяина тли *Rhopalosiphum maidis*, общего вредителя злаков и трав в Великобритании. *Rhopalosiphum maidis* может передавать вирус желтой карликовости ячменя культуре *M. sinensis* и затем соответственно и культуре *M. giganteus*. На растениях проявляется хлороз, отмечается задержка роста стебля и покраснение нижних листьев (Хагджет и др., 1999). Поскольку *M. giganteus* широко воспроизводится с помощью распространения ризомы, если родительский запас был заражен вирусом, это может потенциально повлиять на последующие запасы и представлять значительную угрозу для более значительной посадки мискантуса в Великобритании. Поскольку мискантус представляет собой долгосрочный источник энергии, он может оставаться на месте в течение > 10-15 лет и действовать в качестве промежуточного хозяина для тли между их заражением летней пшеницей и ячменными культурами и последующей заражением зимних трав и злаков. Это явление было продемонстрировано в ходе исследований во Франции (Леклерк-Ле Кийек и Дедрайвер, 1991), где аналогичная картина заражения тлей произошла при посадке кукурузы,



еще одного растения С4, в качестве сельскохозяйственной культуры. Будущие исследования в этой области будут рекомендованы в связи с возможностью более широкого внедрения мискантуса в качестве энергетической культуры в Великобритании (Хагджетт и др. 1999).

4.6 Водопотребность

Потребности в воде энергетических растений, включая мискантус, описаны в докладе, озаглавленном «Гидрологическое руководство для растений, производящих энергию» (DTI, 2003a). Информация о водопотреблении энергетических культур ограничена, но в отчете DTI говорится, что поскольку такие культуры, как мискантус, характеризуются обширной корневой системой (до 2 м) и основную структуру растений со значительной площадью поверхности листа, они будут отличаться большой интенсивностью транспирации.

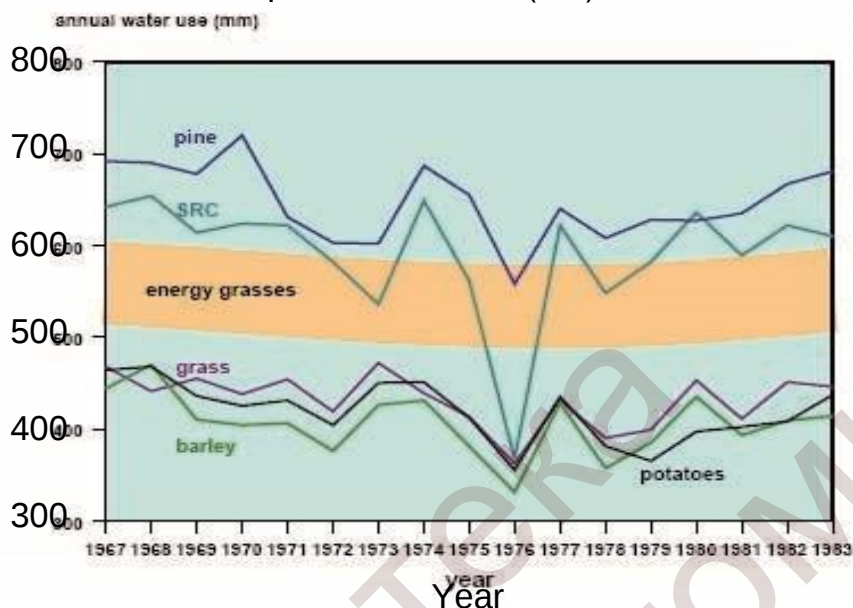
Данные свойства роста предполагают, что у мискантуса будет более высокая скорость транспирации, чем у пропашных культур, но меньше, чем у ивы (DTI, 2003a). Поэтому наличие воды является важным фактором при рассмотрении территории для посадки энергетических культур, при этом наиболее подходящими являются районы с достаточным количеством осадков.

Проект посадки ризомы DTI (DTI, 2006b) под руководством ADAS, определил, что оптимальное содержание влаги в почве с почвенным компостом в контролируемых условиях составляет 50%. Было отмечено, что в полевых условиях гибель урожая произошла при дальнейшем высыхании почвы после посадки, где подготовка посевных мест и техники посадки не привели к тесному контакту между почвой и корневищами для облегчения переноса влаги.

Расчет интенсивности транспирации для мискантуса и ивы содержится в отчете об энергетических растениях, подготовленном DEFRA (2001b). Оценка возможной интенсивности транспирации для мискантуса составляла 100-120 мм / год по сравнению с 140-180 мм/год для ивы. На рисунке 7 показан примерный уровень воды, необходимый энергетическим культурам по сравнению с ивами и пропашными культурами. Следует подчеркнуть, что энергетическим травам может потребоваться более высокий уровень осадков по сравнению с пропашными культурами, такими как ячмень и картофель, но менее высокий уровень осадков по сравнению с непищевыми культурами, такими как ивы или сосны.

Рисунок 7. Примерные уровни воды, необходимые для энергетических культур.

Ежегодное потребление воды (мм)



(Министерство Торговли и Промышленности, 2003a)

Crown Copyright

Клифтон-Браун и Левандовски оценили расчеты водопотребления мискантуса на основании горшочных экспериментальных испытаний трех основных сортов, используемых в качестве энергетических культур (*M. sinensis*, *M. sacchariflorus* и *M. Giganteus*) (2000b). Исследование проводилось в три этапа: первое с неограниченным водоснабжением, второе и третье - с ограниченным водоснабжением. Рост растения поддерживался при постоянной температуре 21C°, и сбор урожая осуществлялся с тремя интервалами и результатами, подробно описывающими эффективность использования воды для каждого сорта. В зависимости от количества произведенного материала роста, деленного на количество испарившейся воды. *M. sinensis* демонстрировал наибольшую засухоустойчивость из всех трех видов, тогда как большая площадь листьев *M. sacchariflorus* и *M. giganteus* приводила к более высокой интенсивности транспирации и большей степени старения.

4.7 Поглощение питательных веществ и потребность в удобрениях

Кристенсен и др. (2006) зафиксировал общее содержание азота более 320 кг N/га в биомассе земной поверхности, ризомах и корнях зрелых мискантусов в Великобритании при сборе урожая в марте, хотя в течение вегетационного периода общее количество урожая составляет



примерно более 400 кг N/га (Химкен и др., 1997). Последующее использование меченого удобрения N весной для 2-х или 3-летних культур, более 55% удобрения было возмещено в конце этого сезона в растительном материале, включая стебли и корни. Исследование также показало, что еще 6%-9% могут быть добавлены в материал стебля в следующем году с последующим снижением пропорций. В посевах, дающих урожайность 11-13 т СМ/га стеблевого материала, 75-90 кг N/га удалялось при уборке урожая, но из этого только 23 кг N/га могли быть прослежены при внесении удобрений в этот сезон или в предыдущие два, пока остатки удобрения N были обнаружены в листьях, ризомах и корнях, которые не собираются.

Полевые исследования для изучения влияния внесения удобрений на мискантус проводились под руководством Шварца и других специалистов (1994), также Левандовски и Кантом (1994). Обе группы исследователей сообщили либо об отсутствии влияния, либо лишь незначительном увеличении сезонной урожайности при применении удобрений. Левандовски и др. (2003а) сообщили, что азотное удобрение требуется только почвам с низким содержанием N, и поэтому его применение может быть ограничено до 50-70 кг/га в год. Во время старения стеблей осенью и зимой пропорция азота и других минеральных питательных веществ перемещается в корневище (Хитон и Лонг, 2007). Во время роста побегов следующей весной эти питательные вещества повторно используются, и поэтому культуре может понадобиться относительно небольшой запас дополнительных питательных веществ. Анализ полевых испытаний, проведенных над 6-летним насаждением мискантуса в супесчаной почве в Германии, показал, что корни мискантуса содержат 109,2 кг N/га, 10,6 кг P/га и 92,5 кг K/га (Нойкирхен, 1995). Влияние K на производство биомассы из мискантуса был исследовано Левандовски и Кихерером (1997). Эти специалисты установили, что существенный рост урожая мискантуса при использовании от 0 кг K/га до 322 кг K/га в равной степени на корневища и на отростки, полученные в результате микроразмножения, отсутствовал.

Левандовски и др. (2003а) заявили, что потребность мискантуса в P составляет 0,31,1 кг/т СМ, что эквивалентно 5-17 кг P/га для 15 т/Га культуры.

Химкен и др. (1997) изучили потребность мискантуса в питательных веществах, используя три нормы внесения азотных удобрений (0, 90 и 180 кг N/га соответственно) (таблица 7). Мискантус, выращенный без дополнительного N удобрения, содержал более 390 кг N/га в Сентябре, но после старения и потери листьев к февралю этот показатель снизился до 228 кг N/га. В общей сложности 23 кг N/га было ассимилировано из корневища, а остальное из почвы. Более высокое применение N (180 кг N/га) продемонстрировало незначительное влияние на урожайность, при достаточном уровне азота в почве и запасов ризом.



Считается, что способность корней мискантуса достигать двухметровой глубины почвы позволяет культуре более эффективно восстанавливать питательные вещества из почвенного профиля по сравнению с зерновыми.

В исследовании Вислера и др. (1996), посвященному влиянию запаса азота на рост мискантуса во время высаживания, был сделан вывод о том, что применение азотного удобрения в начале сезона привело к увеличению урожая. Растения с неограниченным запасом азота производили как новые отростки, так и отростки с увеличенной длиной, что приводило к увеличению на 48% урожайности проростков (в сухой массе).

Таблица 7. Содержание азота в черенке, ризоме и целом растении мискантуса при использовании трех разных норм удобрения (0, 90 и 180 кг N/га) в течение 4-х лет после посадки (1992/1993).

Часть растения мискантуса	Удобрение кг N/га	Дата взятия образцов (кг N/га)							Разница наименьшего квадрата
		Апр.	Май	Июнь	Авг.	Сент.	Нояб.	Фев.	
Росток	0	-	1.5	194	204	229	95	42	69
	90	-	ND	212	222	272	128	49	57
	180	-	ND	184	206	277	139	49	100
	lsd			35	85	151	43	19	
	Среднее зн.			197	210	260	121	47	40
Ризома	0	187	167	133	126	164	168	179	69
	90	ND	ND	157	141	162	217	189	60
	180	ND	ND	150	131	186	242	227	65
	lsd			66	29	114	65	57	
	Среднее зн.			147	132	171	209	198	37
Полное растение	0	187	182	326	330	393	263	228	132
	90			369	363	434	344	231	106
	180			334	336	463	381	275	149
	lsd			92	102	263	102	62	
	Среднее зн.			343	343	430	329	245	70

ND = не определено; lsd = разница наименьшего квадрата

(Химкен и др., 1997)

Несмотря на то, что главные засаженные участки мискантуса в 1993 году в Ротамстед, не показали никакого влияния азотных удобрений на урожай в течение 13 лет испытаний (DEFRA, 2007), более поздние посадки мискантуса в более мягком грунте продемонстрировали реакцию на использование азота, и вполне вероятно, что данный тип почвы и история

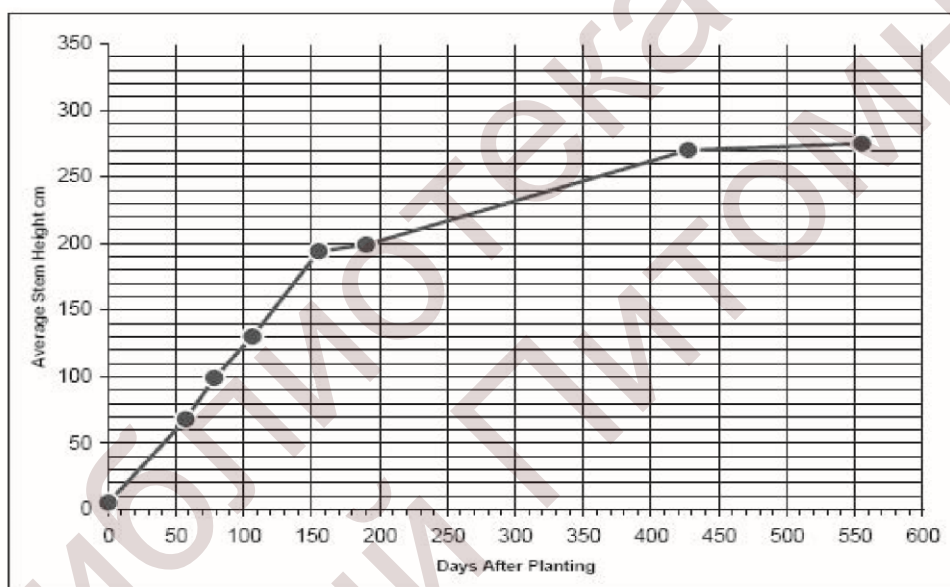


поля отразятся на реакции на удобрение (личное сообщение, Ян Шилд, Исследование Ротамстед, 2008).

4.8 Темп роста

Сезонный темп роста мискантуса показан на рисунке 8 на основании данных испытаний в Кембридже для определения потенциала мискантуса для разработки биотоплива для электростанции Элин. График показывает экспоненциальный рост мискантуса с 0-150 дней в течение первого вегетационного периода с более устойчивым темпом роста от 150-400 дней в течение следующей зимы и весны.

Рисунок 8. Темп роста мискантуса.



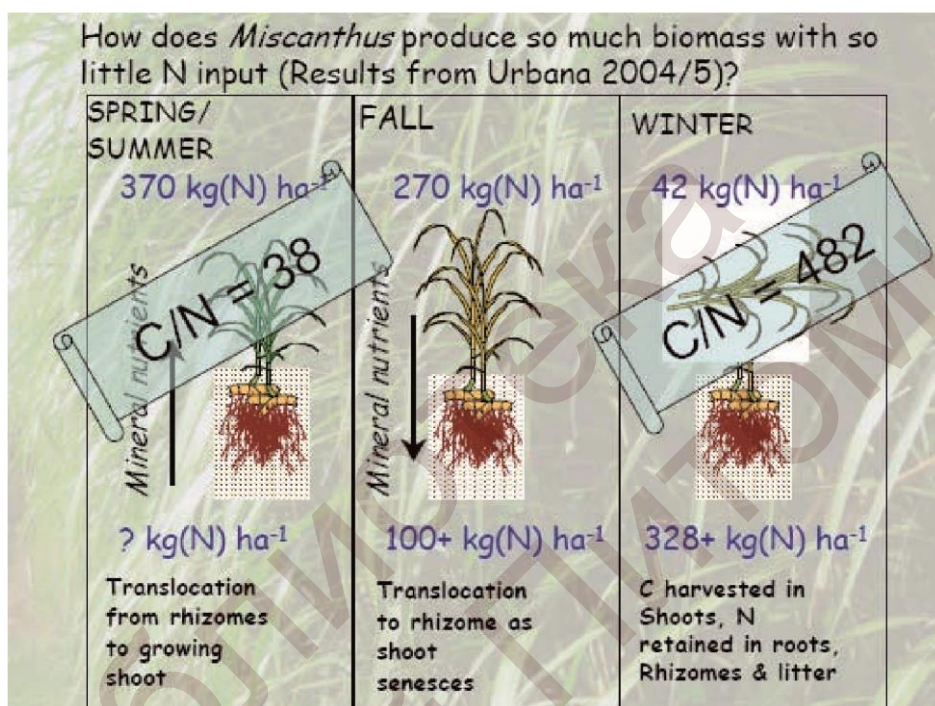
(Департамент торговли и промышленности, 2003b) Crown Copyright

4.9 Связывание углерода

Связывание углерода представляет собой процесс, при котором CO_2 накапливается в органическом растительном материале после сезонного старения растений в результате снижения температуры в течение осенних месяцев. Углерод может храниться как в почвенном материале, так и в листьях, головках и семенах травы, а также под почвенным материалом в корнях или ризомах. Хансон и др. (2004) подсчитали, что уровень накопления углерода в почве у 9 и 16-летнего насаждения мискантуса в Хорнуме в Дании составлял от 26 до 29%. Исследование Клифто-Брауна и др. (2004) с использованием модели прогнозирования, разработанной Мэтьюсом и Гроганом (2001), и на основании данных из 15 стран ЕС, подсчитали потенциальный объем

углерода, связанного мискантусом, может составлять 12 миллионов тонн углерода/год. Исследования в Университете штата Иллинойс показали движение питательных веществ между ризомами и стеблями растения (рис. 9).

Рисунок 9. Сезонное перемещение питательных веществ через ризомы мискантуса.



(Хитон и Лонг, 2007)

Фото предоставлено Стивом Лонгом, Университет Иллинойса



5 Сбор урожая и урожайность

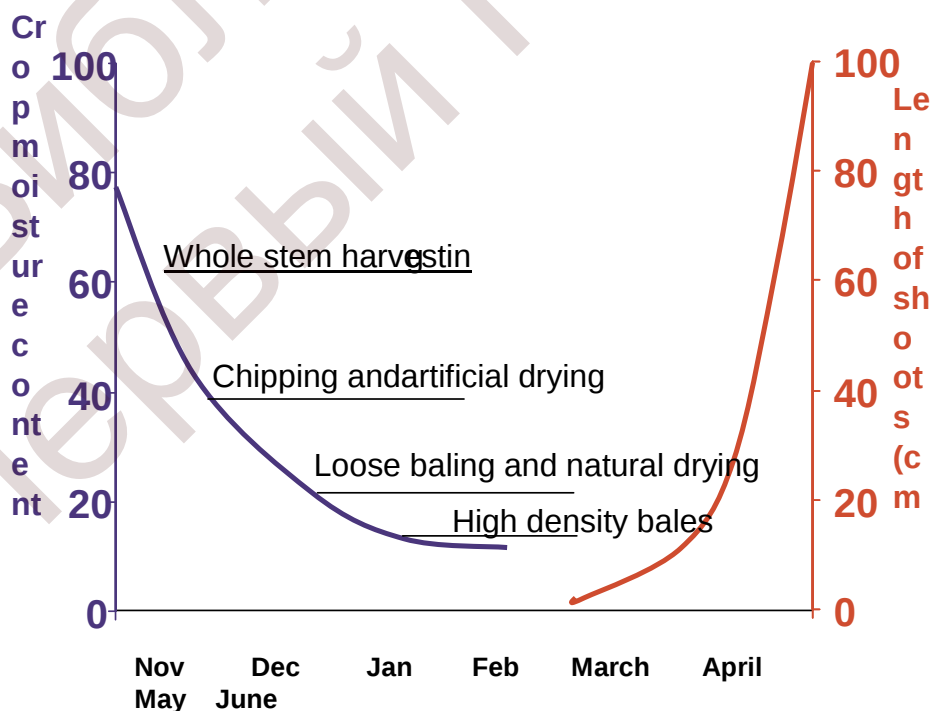
5.1 Сезон сбора урожая

Пока мискантус достигает самых высоких показателей постоянной урожайности, его рост прекращается в конце осени, содержание влаги в культуре на этой стадии составляет более 50%, и приблизительно 30% СМ находится в форме листьев. В течение зимы и раннего весеннего периода стареющий материал постепенно

высыхает, лиственный материал осыпается и падает на землю. Дальнейший источник перезимовавшей потери СМ - это абсциссия (Каак и Шварц, 2001). 12 возможных узлов стебля мискантуса остаются на зимовку, при этом верхние три междоузлия часто теряются, обрываясь на узле. Минеральные питательные вещества, которые были в тканях листьев и стеблей, в основном возвращались к корневищам в зимний период. Таким образом, весной урожайность по сравнению с предыдущим сезоном будет примерно на 30% ниже, чем осенью, оставшаяся ДМ (сухая масса) может содержать от 20% до 30% влаги (Ливандовски и др., 2000), в свою очередь, ризомы будут содержать более высокий запас питательных веществ. Свойства горения оставшегося материала повышаются, так как листья содержат более высокое содержание золы и хлора, что приводит к кислотной коррозии и накоплению нежелательного шлака в котлах, если листья собираются и используются вместе со стеблями.

Таким образом, сбор весеннего урожая обычно рекомендуется в период с января по март перед новым повторным ростом ризом в апреле, когда суточная температура составляет $\geq 10^{\circ}\text{C}$ (Ливандовски и Хайнц, 2003). Слишком поздний сбор урожая приведет к физическому повреждению новых черенков. На рисунке 10 показана взаимосвязь между содержанием влаги в культуре, новым ростом растения и возможными сроками сбора урожая по целому ряду систем сбора урожая.

Рисунок 10. Варианты сбора урожая мискантуса в зависимости от содержания влаги и системы сбора урожая.



(Хуисман, 2003)



Предоставлено Уилемом Хуисманом

5.2 Методы сбора урожая

Урожай мискантуса может собираться либо самоходным комбайном, как для сбора фуражной кукурузы, сухим срезанным материалом, собранным навалом или в стога (рис. 11), что позволяет обеспечить дополнительную сушку в валках, затем укладывать его в тюки, гранулировать или нарезать и хранить для будущего использования в качестве топлива.

Оборудование, как и в случае уборки кукурузы, подходит для сбора урожая мискантуса из-за высоты и прочности стеблей мискантуса, но перевозка навалом и хранение свежих стружек может привести к плесневению, нагреву и порче, если содержание влаги не ниже 20%. Возможен и вариант, когда мискантус скашивается для уменьшения жесткости в стеблях и увеличения потери влаги, затем валкуется, нарезается или прессуется в тюки. Различные пресс-подборщики могут работать с круглыми тюками, имеющими плотность DM (сухой массы) 130 кг / м³ и квадратные тюки, имеющие плотность DM (сухой массы) 150 кг / м³ (Джоинг и Веше, 1993; Вентури и др., 1998). Урожай мискантуса также можно собирать с помощью компактного роликового пресс-подборщика (Хармс, 1995), формирующего тюки с плотностью 300-350 кг / м³ или специализированного оборудования, например, для сбора тростниковой травы. В Дании были опробованы различные методы сбора урожая для зимней и весенней уборки, включая самоходный кормоуборочный комбайн с зерноуборочным комбайном, косилки и пресс-подборщика, большой пресс-подборщик с измельчителем, комбинированный самоходный кормоуборочный комбайн и большой пресс-подборщик с измельчителем и комбайнами для ивы или двукисточника тростиковидного <http://www.eeci.net/archive/biobase/B10221.html> (доступно 26 июня, 2007) <http://www.eeci.net/archive/biobase/B10514.html> (доступно 18 мая, 2007).

Никаких серьезных технических проблем не было отмечено ни в одной из систем. Однако потери СМ на 10%-12% в поле из-за опадания листьев и стеблей были обнаружены в большинстве систем. Более низкие потери до 3% были зафиксированы в случае использования однопроходной системы прессования пресс-подборщиков (крупный пресс-подборщик Hesston типа 4800, оснащенный резаком Fri типа F200). Объем работы варьировался от 4 до 25 т / час.



Рисунок 11. Сбор урожая мискантуса в Корнуолле.



<http://www.dsen.org.uk/fs3-energycrops.pdf> (доступ 20 июня, 2007)
DEFRA, Crown copyright

Информация об испытаниях в области применения машин была представлена Кристенсом (2003), Институт Сельскохозяйственных Наук Дании. Количество собранного урожая, показатели влагосодержания в зависимости от использования разной техники показаны в Таблице 8.

Таблица 8. Сбор урожая мискантуса с помощью различных уборочных машин.

Техника	Kverneland Ten-X с захватом	Claas Jaguar 690 с захватом	Kverneland Ten-X с захватом (короткая рубка)	Kverneland Ten-X с захватом (длинная рубка)	Claas Jaguar 820 с приставкой кукурузокосилки
Период сбора урожая	Весна (поздняя уборка)		Зима (декабрь)		
Содержание влаги (%)	15.0	12.2	51.2	50.7	50.7
Урожайность (т/га)	10.5	14.9	31.2	23.3	16.3
Сухая масса (т/га)	8.9	13.1	15.2	11.5	8.0
Длина захвата (мм)	14	12	14	34	4
Чистая производительность т/час	9.7	12.1	20.2	29.8	21.9
Т СМ/час	8.2	10.6	9.9	14.7	9.6

(Кристенс, 2003)



При проведении уборочных испытаний в Великобритании Никсоном и Буллардом (2003) валковая сенокосилка для рапса сравнивалась с косилкой-плющилкой на двух участках с разными методами посадки. Был сделан вывод, что косилка-плющилка больше подходит для уборки мискантуса по следующим причинам:

- более эффективное восстановление биомассы;
- более равномерные валки;
- более высокая активность;
- более эффективное кондиционирование, поддержка;
- более качественное формирование тюков.

5.3 Полегание

Обычно полегание не представляет существенных проблем в насаждениях мискантуса. Однако в голландских исследованиях применение более 75 кг N/га удобрений привело к увеличению полегания мискантуса (Каак и Шварц, 2001), при этом до 15% стеблей было повреждено. Обрезка растений до 2 м в высоту до зимнего формирования более прочных и длинных стеблей сократила полегание и, следовательно, облегчала сбор урожая, но приводила к значительно более низкой урожайности.

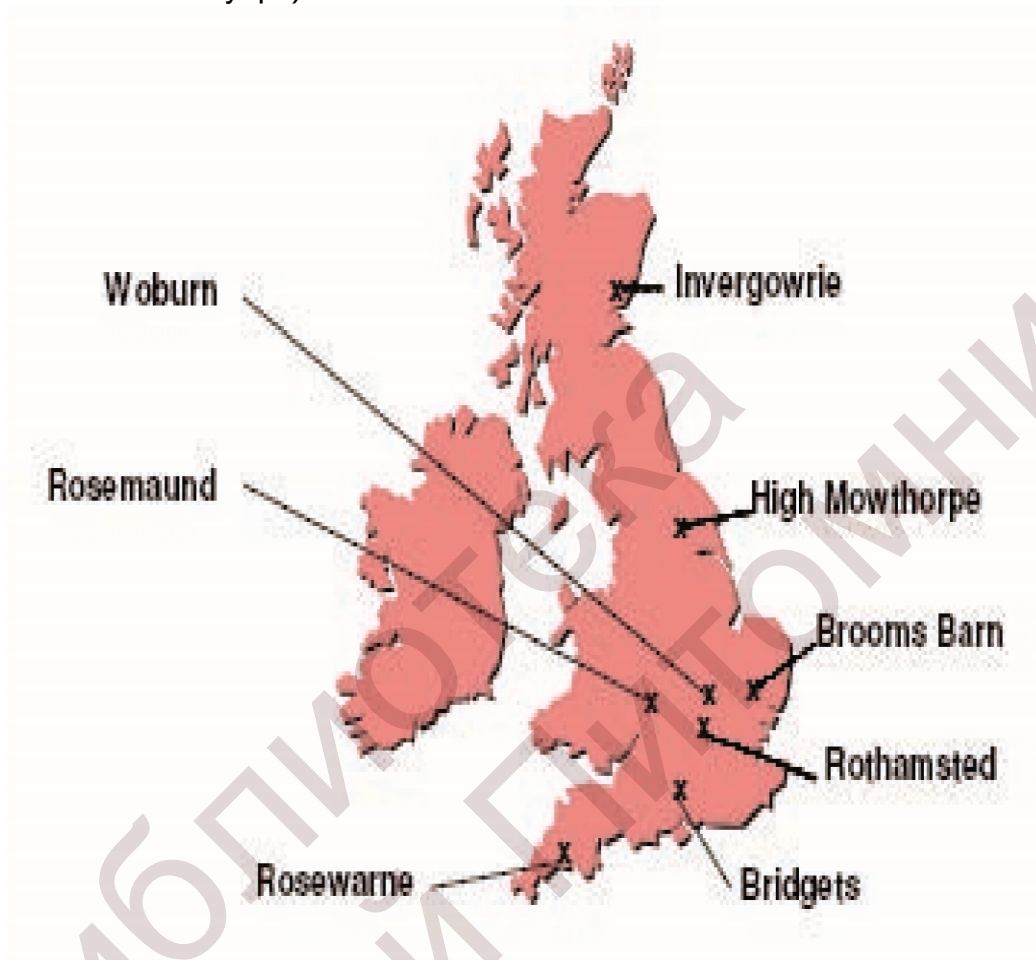
5.4 Выход биомассы

Выводы сухого вещества из мискантуса изучались в двух сериях испытаний в Великобритании с 1994 по 2003 год на семи участках ADAS в Англии (MAFF, 1999; DEFRA, 2003) и с 2001 по 2006 год в исследовании «Topgrass» на восьми участках в Шотландии и Англии (Рис. 12) и двух в Северной Ирландии. В исследовании Topgrass на некоторых участках были проблемы успешной посадки мискантуса - при посадке в диапазоне от 27 до 86%. Территория в Боксворте была оставлена в результате неудачной посадки, а корневища были пересажены на Хай Моуторп и Роземаунд, чтобы дополнить участки с неплотной посадкой (DTI, 2006a).

Территории Северной Ирландии были засажены в 2003 году и до сих пор контролируются. В обеих сериях исследований урожайность при основном сборе урожая оценивалась в период с декабря по февраль. Выход сухой массы, определенный в двух исследованиях, представлен на рисунках 13 и 14. Урожайность в Северной Ирландии представлена в таблице 9.



Рисунок 12. Участки испытаний проекта Topgrass (Великобритания) (за исключением Боксуорс).



<http://www.dti.gov.uk/files/file34815.pdf> (Accessed 25th July, 2007)
изображение предоставлено Исследовательской группой Ротамстеда

Рисунок 13. Результаты проектов под руководством ADAS MAFF/DEFRA NF0403 и NF0405.

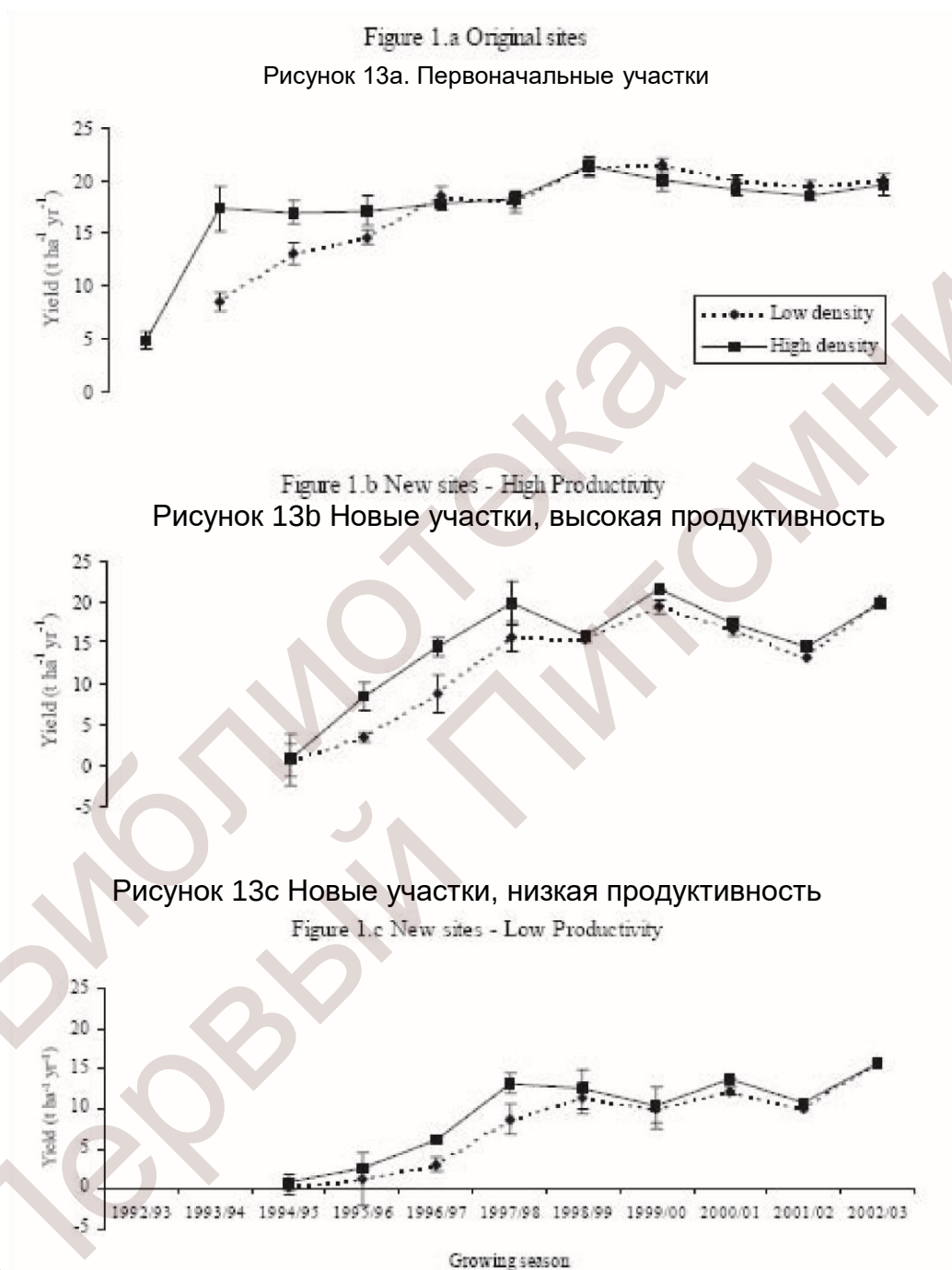
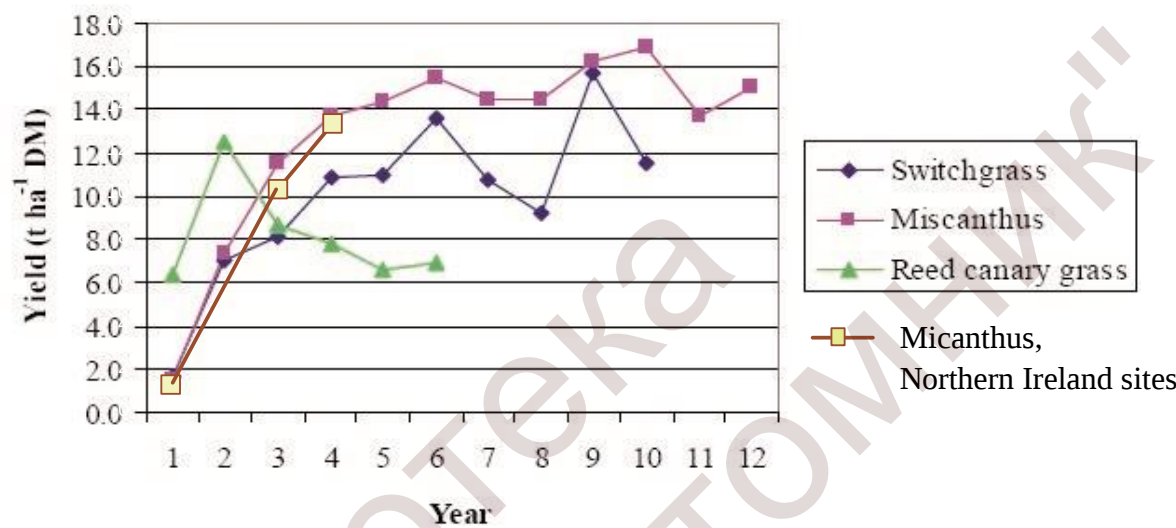


Рисунок 14. Выход сухой массы мискантуса, проса и двухкосточника тростникововидного в рамках проект Topgrass, средние показатели территорий Великобритании, и урожаи Северной Ирландии, средние показатели участков Локгол и Лондондерри.



инфо <http://www.royalsoc.ac.uk/downloaddoc.asp?id=4172>
(доступ 4 июля, 2007)

Таблица 9. Урожайность участков Локгол и Лондондерри (т СМ/га).

Год	Локгол	Лондондерри
2003	0.73	1.65
2004	NA	NA
2005	11.4	9.0
2006	10.9	15.6

(данные предоставлены Агри-Фуд и Институтом Бионаук, Лакгол)
(исследование при поддержкеDARD)

5.4.1 Урожайность зимой и ранней весной

Урожайность сухой массы в первые годы роста растения отличается обычно низкими показателями от 1 до 2 т сухой массы/га вследствие относительно маленькой биомассы ризомы в год посадки. (рис. 13 и 14). Более высокие показатели урожайности более 6 т СМ /га были достигнуты на двух участках в первом сезоне, где была проведена посадка с высокой плотностью. При посадке с низкой плотностью при руководстве ADAS, как и на большинстве территорий с более высокой плотностью посадки (4 ризомы/м²), урожайность продолжала расти до четвертого или пятого сезона, тогда как на двух участках с высоким начальным выходом было достигнуто со второго сезона.

Значительные территориальные и сезонные изменения были зафиксированы в обеих сериях экспериментов с урожайностью от 12 т ДМ /га до 25 т ДМ /га с 4 года. Лучшие места в обоих испытаниях регулярно достигали урожайности, близкой или превышающей 20 т СМ/га, тогда как более низкие показатели урожайности равнялись, как правило, от 12 т СМ/га до 17 т СМ/га. Хотя территории Северной Ирландии не были засажены до 2003 года, первая урожайность участков в Армаге и Лондондерри равнялась средним значениям других мест, находящихся под мониторингом Topgrass в Шотландии и Англии (рис. 11 и таблица 9).

5.4.2 Европейское исследование

Меллер и др. (2007) провели исследование урожайности и рентабельности выращивания мискантуса в нескольких странах ЕС. Средний показатель выхода биомассы для *M. giganteus* и *M. sinensis* из пяти стран ЕС приведен в таблице 10, причем наибольшая урожайность отмечается у *M. giganteus*, полученного в Германии и Италии. Средний британский показатель 11,6 т/га был самым низким среди стран, включенных в исследование.

Таблица 10. Ежегодный выход биомассы *M. x giganteus* и *M. sinensis* в 5 странах ЕС.

Страна	<i>M. x giganteus</i>	<i>M. sinensis</i>	<i>M. x giganteus</i>
	Урожайность т/га	Урожайность т/га	Самая высокая урожайность т/га
Великобритания	11.6	10.6	17
Германия	19.3	11.6	38
Италия	20.3	Нет данных	27
Польша	18	Нет данных	Нет данных
Швеция	13	Нет данных	Нет данных

(Меллер и др., 2007)

В DTI (2005) был подготовлен отчет, в котором сравнивались характеристики мискантуса с просом прутьевидным и двулистником



тростниковидным как энергетические культуры по данным проекта Torgrass. Это исследование было проведено на девяти территориях по всей Великобритании, от Розуарн в Корнуолле до Инвергоури в Шотландии.

В 2006 году Национальным институтом сельскохозяйственных исследований (INRA) Франции были проведены исследования урожайности и потенциала мискантуса в качестве перспективной энергетической культуры. Это исследование было частью проекта REGIX (финансируемого Французским исследовательским агентством), целью которого является изучение использования мискантуса в качестве возможного источника топлива, а также качество и количество произведенной биомассы (пресс-служба INRA). На данный момент данных нет (<http://www.international.inra.fr/press/Miscanthus>) (доступ к 10 мая 2007 г.)

5.5 Прогнозирование урожайности - моделирование данных

5.5.1 Великобритания

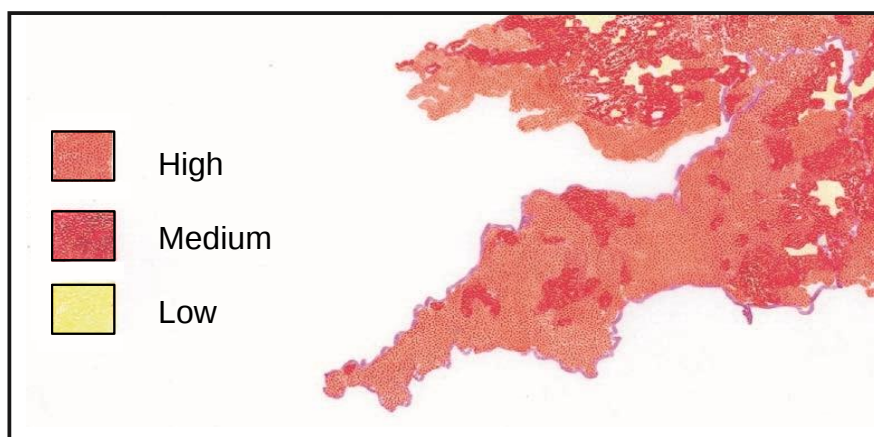
По результатам проектов MAFF (Буллард, 1999) и DEFRA (2003) была разработана модель прогнозирования урожайности мискантуса в Англии и Уэльсе, на основании следующих параметров:

- продолжительность вегетационного периода;
- перехват радиации культурой;
- эффективность использования излучения;
- наличие влаги.

Другие факторы, включая осушение почвы, pH почвы, структуру и текстуру почвы, воздействие на объект и перезимование, оказались несущественными для включения в модель.

Разработанная модель использовалась для отражения ситуации в Англии и Уэльсе в 5-километровых квадратах с высокой, средней или низкой урожайностью мискантуса. Пример разработанных карт показан на рисунке 15.

Рисунок 15. Предполагаемая урожайность мискантуса на Юго-Востоке Англии.



<http://www.defra.gov.uk/farm/crops/industrial/energy/opportunities/index.htm>

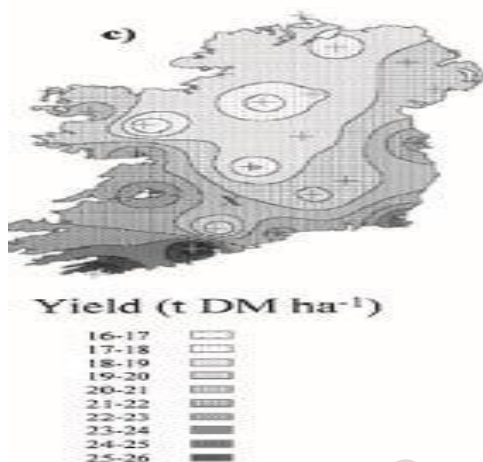
(доступно 11 января, 2008)

5.5.2 Ирландия

На основании полученных в ходе испытаний 1994 и 1995 года испытаний Клифтон-Браун и др. (2000) разработал модель, предназначенную для прогнозирования урожайности мискантуса в Ирландии. Прогнозирование опиралось на интерпретации данных полевых испытаний и десятилетних климатических данных для прогнозирования урожайности с использованием Географической информационной системы (ГИС). Самая высокая урожайность мискантуса по данным прогнозам была отмечена на юго-западе Ирландии - приблизительно 26 т/га; самая низкая – на северо-востоке Ирландии с урожайностью приблизительно 16 т/га, как показано на рисунке 16.

На Рисунке 16 изображен (а) прогнозируемый среднегодовой показатель выпадения осадков PAR (МДж/м²); (б) сумма активных температур (ДД) выше 10°C по всей Ирландии и (в) среднее значение моделируемой урожайности в конце вегетационного периода *M. x giganteus*, рассчитанной с учетом десятилетней ежедневной радиации при температуре воздуха на 23 станциях в Ирландии (1984-1993 годы) и данных по изменению климата, предоставленных Met Éireann (Национальная Ирландская Метеорологическая служба). Расположение станций обозначается знаком «+», а расположение полевого испытания обозначается «X» в (с).

Рисунок 16. Прогностическая модель урожайности мискантуса на 10-летний период.



(Клифтон-Браун и др., 2000)

5.5.3 Европа

Недавние исследования Клифтон-Брауна и др. (2004), используя модель производительности, MiscanMod для прогнозирования производства мискантуса в Европе, вывели максимальную урожайность в 25,8 т сухой массы/ га в Бельгии и 13 т СМ/га. в Швеции и Финляндии. Ввиду прогнозов будущего изменения климата в Европе эти типы моделей могут использоваться для принятия решений в энергетической политике.

6 Хранение культуры, использование и энергетическая ценность



6.1 Хранение и сушка мискантуса

Правильное хранение мискантуса зависит от содержания влаги в тюках, рекомендуемый показатель - $\leq 15^\circ\text{C}$ для предотвращения появления плесени. При содержании влаги ниже 20% у культуры на корню сбор урожая в феврале или марте означает, что большая часть культуры будет отличаться более высокими показателями влаги при срезании. Если грунтовые условия позволяют, сушка скошенной культуры в валках перед прессованием в тюки может больше, чем наполовину сократить содержание влаги в стебле и, в противном случае, спрессованную культуру можно высушить с помощью вентиляционного оборудования хранилища (Вентури и др., 1996).



Различные способы хранения оказывают влияние на уровень влагоудержания в мискантусе, что может привести к грибковому заражению в будущем. Потери влаги, связанные с различными методами хранения, приведены в таблице 11.

Таблица 11. Потеря и изменение влагосодержания в мискантусе при разных методах хранения в открытых грунтах в течение 6 месяцев.

Метод хранения	Период хранения (месяц)	Начало испытания		Сокращение показателя содержания влаги (% единицы)	Потеря сухой массы (%)
		Вес (кг)	Содержание влаги (%)		
Герметично	0-6	13,910	53	0	1
	6+	2,580	54	-2	5
Покрытие	6+	12,020	53	-5	17
Естественно		12,500	51	11	7
Вентиляция		17,700	56	5	18

(Кристенсен, 2003)

6.2 Энергетическая ценность мискантуса

Мискантус обладает теплотворной способностью (сухая основа) 17 МДж/кг СМ равной величине других древесных материалов. При средней урожайности 15 т СМ/га с 1 га растения выходит урожайность в сухой массе, содержащая 260 ГДж энергии, что эквивалентно 6 т угля или 75 000 кВтч электроэнергии. Чистая теплотворная способность будет зависеть от содержания влаги во время использования (<http://www.cibse.org/pdfs/Abridged%20biomass.pdf>) (Доступно 9 июля 2007 г.).

6.3 Сжигание мискантуса

В качестве топлива растение может использоваться в различных типах котлов, хотя для эффективной переработки мискантуса может потребоваться некоторая модификация стандартных твердотопливных котлов. Зольность мискантуса составляет примерно 2%, древесной стружки - примерно на 1%, помимо этого мискантус отличается более высоким содержанием хлора, оба показателя могут увеличиваться при раннем сборе урожая культуры с большой площадью поверхности листьев.

Исследования по изучению свойств горения пятнадцати генотипов мискантуса, взятых с нескольких европейских территорий во время осеннего и весеннего сбора урожая, проводились Левандовски и др. (2003b). Отложить сбор урожая до поздней весны означает снизить содержание золы в СМ с 49 до 25 г/кг, содержание К от 9 до 4 г/кг, хлорида от 4 до 1 г/кг, азота от 5 до 4 г/кг и содержание влаги в свежем образце от



654 до 291 г/кг. Повышенное содержание этих компонентов может снизить свойства горения топлива, поскольку повышенный уровень К снизит температуру плавления золы, что приведет к накоплению клинкера на колосниковой решетке, а хлор приведет к получению газообразного хлористого водорода (HCL) (Баумбак и др., 1997) и большей кислотной коррозии котла. Сравнение коррозионных свойств зольных компонентов при сжигании мискантуса с показателями пальмоядрового масла и российского угля показано на рисунке 17.

Рисунок 17. Коррозия труб котла в сравнении процессов сжигания при добавлении различных компонентов биомассы.



<http://www.supergen2005.inter-base.net/docs/03%20Fraser%20Wigley.pdf>

(Accessed 4th July, 2007)

Предоставлено Фрейзером Уигли, Королевский Колледж Лондона

Ученые из Швейцарии в Лаборатории Термодинамики в Цюрихе изучают в настоящий момент возможность сократить выбросы двуокиси азота и снизить влияние высокого уровня выбросов на фильтры колосниковых печей как следствие сжигания мискантуса (Гасс, 2006) (<http://www.ltnt.ethz.ch/researchprojects.php?id=32>) (Доступно 25 мая, 2007).



6.4 Анализ практики производства электростанции Elean

С 1999 по 2000 год проводилось исследование для изучения практического применения мискантуса в качестве топлива биомассы на «соломенной» электростанции Элеан вблизи Эли. Данное исследование финансировалось DTI, мискантус выращивали на участке площадью 2 га (Ньюмен, 2003). По весу и содержанию влаги тюки мискантуса были схожи с тюками соломы, хотя из-за более жестких свойств стеблей мискантуса необходим высокий крутящий момент механизма измельчения. Обеспечение электростанции топливом наполовину из соломы, наполовину из мискантуса, не привело к существенным проблемам, связанным с мискантусом, и показало практически одинаковые результаты по сравнению с топливом из пшеничной соломы. Уровень выбросов электростанции остался в рамках стандартов IPC при использовании мискантуса.

6.5 Производители котлов

6.5.1 Великобритания

Компания Treco UK Ltd. предлагает широкий ассортимент котлов, способных сжигать мискантус, включая модели 2200, 2300, 2400 и 2500

Информация о компании

Treco Ltd.
Howe Complex
Kentisbeare
Collumpton
EX 152 BR
Телефон 0845 1 3090 12
e-mail: info@treco.co.uk

Средняя стоимость этой линейки котлов начинается от 3890 фунтов стерлингов за котел, способного обеспечить теплом площадь 27,9 м² (3000 фут²) (<http://www.treco.co.uk/faq/>) (доступ 25 мая, 2007).

Talbott Ltd. (Стаффорд) предлагает два вида котлов, перерабатывающих мискантус как топливо, а именно котельная Bio Junior (50 кВт-300 кВт) и котельная Bio Senior (100 кВт-2000 кВт). Котел с меньшей мощностью идеально подходит для фермерских хозяйств и сельских помещений, котел с большей мощностью предназначен для коммерческих объектов. Котел заправляется древесной щепой, средний рекомендуемый размер которой составляет 25 мм (<http://www.talbotts.co.uk/BIOSENIORBOILERSLeaflet.pdf>) (доступно 5 июля, 2007).



Информация о компании Treco Ltd.
Howe Complex
Kentisbeare
Collumpton
EX 152 BR
Телефон 0845 1 3090 12
e-mail: info@treco.co.uk

Информация о компании

Talbott Ltd.
Drummond Road
Astonfields Industrial Estate
Stafford ST 16 6HJ
Телефон: +44 1785 213366
e-mail: sales@talbotts.co.uk

Котел Talbot был установлен в рамках проекта по возобновляемым источникам энергии в Eccleshall в Стаффордшире, Великобритании. Главным топливом котла является мискантус, поэтому долгосрочные контракты на поставку охватывают примерно шестьдесят фермеров в радиусе двадцати миль от станции (<http://www.talbotts.co.uk/bpower.htm>) (доступно 24 июля, 2007).

В ходе реализации проекта Eccleshall в Англии возникли проблемы с постоянной поставкой мискантуса местными фермерами из-за конкуренции за топливо ввиду внедрения систем совместного сжигания на местных электростанциях. Помимо этого фермеры выразили свое нежелание выращивать мискантус без поддержки (<http://www.dti.gov.uk/files/file36219.pdf>) (доступно 4 июля, 2007).

6.5.2 Австрия

KWB производит две серии котлов, работающих на биомассе. Серия USV предназначена для использования в крупных коммерческих зданиях мощностью 10-100 кВт. Вторая серия USP затрагивает передовые жилые помещения (<http://translate.google.com/translate?hl=en&sl=de&u=http://www.kwb.at/&sa=X&oi=translate&resnum=1&ct=result&prev=/search%3Fq%3Dkwb.at%26hl%3Den>) (Accessed 24th July, 2007)

Информация о компании

KWB



A-8321 St. Margariethen, An der Raab
Industriestrasse 235
Австрия
Телефон: 43 3115 6116 0
e-mail: office@kwb.at

Котел KWB, работающий на древесной щепе, (изготовлен в Австрии) был установлен как часть новой системы отопления в Teagasc в Oakpark, Co. Carlow. Котел KWB USV мощностью 100 кВт подпитывается древесной стружкой из ивы, но будет использоваться для испытаний использования мискантуса и соломы в качестве топливного материала (http://www.forest-link.com/section-2.aspx?item_id=97) (<http://www.web2future.at/conness/pdf/kwb-woodchips.pdf>) (доступно 25 июня, 2007).

Австрийские котлы Biokompakt отличаются мощностью 15-130 кВт и способностью сжигать древесную щепу, включая мискантус.

Информация о компании
Biokompakt
A-4391 Waldhausen
Froschau 79, Austria
Tel No 0043 7260 4530
E-mail Gerlinger@biokompakt.com
Web <http://www.biokompakt.com/>
(Доступно 24 июля, 2007)

Подробная информация о котлах, работающих на биомассе, обсуждается в Austrian biomass boiler survey, можно прочитать по ссылке: http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Pienpuu/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Julkaisut/Muut/Draft_Boiler_and_burner_manufacturers_in_Austria_V4.00.pdf (доступно 24 июля, 2007).

6.5.3 Германия

Немецкая компания Dörpik специализируются на поставке котлов на биомассе, которые могут заправляться гранулами *Miscanthus* мощностью 30-850 кВт

Пример котла, работающего на биомассе, показан на рисунке 18.

Рисунок 18. Котел на биомассе.



6.6 Совместное сжигание с биомассой

Внедрение мискантуса в качестве топлива для совместного сжигания на действующих угольных электростанциях в Великобритании было исследовано DTI (2007), который подготовил доклад под названием «Экономический анализ энергии биомассы». Одновременное сокращение поставок и рост цен на ископаемое топливо способствовали перспективному использованию биомассы в качестве источника энергии для реализации Плана производства Энергии Биомассы в Великобритании. Оценки затрат на выработку электроэнергии на новых угольных электростанциях, работающих по системе совместного сжигания мискантуса и ивы представлены в Таблице 12. Эти расчеты основаны на прогнозируемом росте урожайности мискантуса (14-18 т СМ/га) и ивы КОР (9-12 т СМ /га) без дальнейшего увеличения издержек производства.

Таблица 12. Затраты на выработку лектроэнергии при совместном сжигании биомассы на новой угольной электростанции при высоких урожаях энергетической культуры.

Вид биомассы	Затраты на биомассу, включая транспорт	Совместное сжигание	Общие затраты на выработку	Рост затрат на выработку, связанных с новым углем	Рост затрат на выработку, связанных с новым газом
10% Ива	5.3	10	71	42	38
10% Мискантус	4.8	10	68	39	35



Затраты на выработку – чистая текущая стоимость на основании данных 15-летнего.

NPV= чистая текущая стоимость, значение будущих выплат, дисконтированных до то же значения в фунтах
(Министерство Торговли и Промышленности, 2007)

Bical (Великобритания) в настоящее время расширяет контракты на производство 100 000 тонн мискантуса с планами до 300 000 тонн для поставок на угольную электростанцию Drax в Хамберсайд.

(www.bical.net/Miscanthus.htm) (Accessed 20th July, 2007).

Гранты от правительства были выделены на совместное сжигание торфа, ивы или мискантуса на электростанции Edenderry в Ко.Оффали (Комиссия по регулированию энергетики, 2006 г., Ассоциация зеленых производителей энергии, 2007 г.). На практике фермеры предпочли выращивать мискантус (Брантон, 2007), посадки площадью в 800 га были осуществлены по схеме 2007 года.

6.7 Промышленное использование мискантуса

Предложения по промышленному использованию мискантуса также включали возможность его использования в качестве сырья для производства бумаги. Итальянские исследователи установили, что *M. giganteus* является коммерчески перспективной составляющей бумажной массы, основанной на ее способности увеличивать механические свойства бумаги в сочетании с обычной макулатурой (Каппелетто и др. 2000). Трегер и др. (1998) рассмотрели возможность включения волокон мискантуса в производство однослойной фанеры для строительной промышленности. Специалисты установили, что *M. sinensis* является перспективной составляющей для включения в состав фанеры, при этом отмечается увеличение механических прочностных свойств на 50% по сравнению с традиционно производимой прессованной древесиной. Мискантус можно упаковывать в тюки и нарезать для производства уплотненных топливных бревен, подходящих для сжигания энергии, как показано на рисунке 19.

Рисунок 19. Стружка мискантуса, пресованная в топливные брикеты.



Фоулер и др. (2003) подготовили доклад о возможном промышленном использовании фуражных трав, включая мискантус. Ниже приведен список, резюмирующий сферы использования мискантуса:

- энергетическая культура - древесные щепы и гранулы - совместное сжигание угля;
- наполнители для животных - производство наполнителя для лошадей;
- строительство - включение в производство фибролита средней плотности (ФСП);
- кровельный материал как альтернатива соломе в качестве кровельного материала;
- производство бумаги - включение в производство бумаги;
- садоводство - сырье для производства горшков для растений.

В ходе дальнейших исследований в Университете Бангор также предложили использовать мискантус в качестве среды для выращивания экзотических грибов. (http://www.calu.bangor.ac.uk/infosheets/Mushroom_Report05V2.pdf) (доступно 17 июля, 2007)

6.8 Мискантус и производство жидкого биотоплива второго поколения

Так и др. (2006) предположили, что к 2080 году возрастет распространение биоэнергетических культур по всей Европе, одновременно с ростом на 50 % мискантуса, ивы и двукисточника тростиковидного в Северной Европе. Эти прогнозы были основаны на четырех возможных сценариях изменения климата, проанализированных

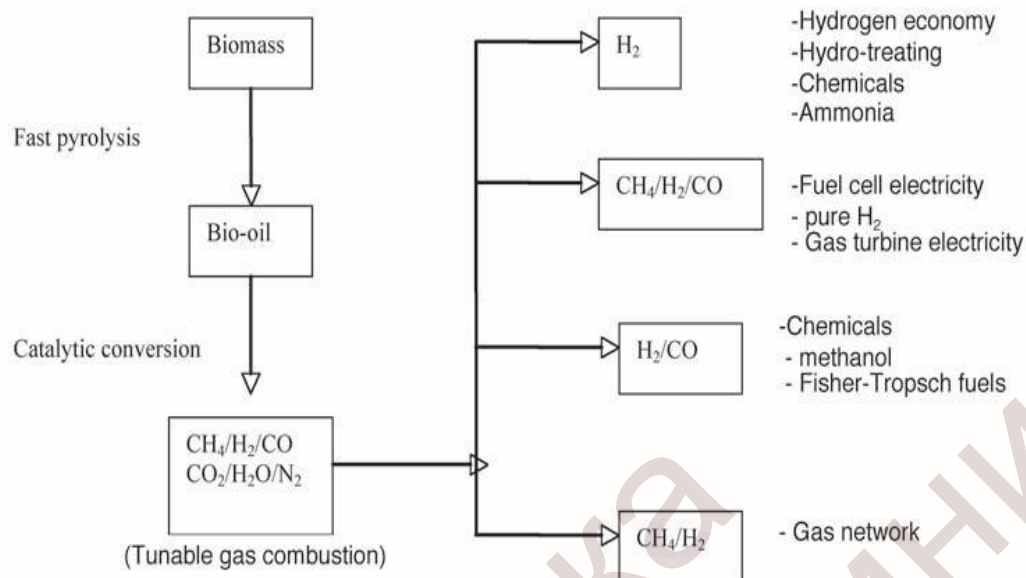


Межправительственной группой по прогнозированию изменения климата (IPPC), в частности, это связано с изменениями на мировом рынке роли интенсивного использования ископаемого топлива, развитием регионального предприятия, глобального устойчивого развития и развития местного управления (<http://www.cru.uea.ac.uk/>) (доступно 31 июля, 2007).

6.8.1 Переработка биотоплива из мискантуса

Передовые исследования в области использования биомассы в качестве источника возобновляемой энергии продвинулись к возможной конверсии биомассы в биотоплива путем пиролиза, процесса нагрева субстрата биомассы при высоких температурах при отсутствии кислорода через реактор с неподвижным слоем, для производства состава из жидкости и газа. Процесс быстрого пиролиза описывается специалистом Bridgwater (2004) как разложение биомассы до жидкости (75%), газа (13%) и углеродистого остатка (12%) при отсутствии кислорода и под воздействием температуры и давления. Пары, образующиеся в процессе горения, охлаждаются и образуют жидкое биотопливо с теплотворной способностью 50%, соответствующей стандарту коммерческой топливной нефти. Запас биомассы сырой нефти должен отличаться влажностью от 10 до 15%, чтобы уменьшить содержание воды в конечном биотопливе. Йоргун (2003) исследовал потенциальный выход биомассы при использовании сырья *Miscanthus*. В испытаниях мискантус нагревали в лабораторном реакторе с неподвижным слоем до температур от 350 до 650°C, при скорости нагрева от 10 до 750°C/мин и варьирующей дисперсности 0,11-1,8 мм. Данные показали, что температура является самым важным фактором, влияющим на выход биомассы мискантуса, при этом оптимальный выход составляет 23,9 мас.% при температуре 550 ° C. Процесс производства биомассы показан на рисунке 20 от первоначального пиролиза биомассы до получения конечных компонентов.

Рисунок 20. Производство биотоплива.



Компания Nexant Ltd. (Великобритания) (2007) подготовила отчет для NNFFC о возможном производстве биотоплива второго поколения в Великобритании. В рамках отчета были оценены затраты на производство биотоплива из биомассы с учетом таких ключевых факторов, как расположение завода по переработке, поставка сырья, финансовые стимулы и коммерциализация биомассы до жидких технологий. В настоящее время пиролиз биомассы для производства биомассы дороже, чем сегодняшняя технология биотоплива сложного метилового эфира жирной кислоты (FAME). В отчете Nexant было подсчитано, что для эффективного производства биомассы необходимы значительные финансовые вложения в течение первых семи лет для обеспечения адекватной рентабельности инвестиций, однако это поможет Великобритании в реализации поставленных целей в области биотоплива страны и принесет пользу будущей экономике сельского хозяйства Великобритании.

6.8.2 Торрефакция биомассы

Торрефакция - это возможный процесс переработки материала биомассы, такого как мискантус, для производства биотоплива хорошего качества. Материал биомассы предварительно обрабатывают путем нагревания до температуры 200-300°C при отсутствии кислорода (Бергман и Кил, 2005). Эта процедура приводит к изменению гемицеллюлозного материала, высвобождая влагу, CO₂, уксусную кислоту и фенолы (Занзи и др., 2004). Торрефакция переводит биомассу в порошкообразную форму, часто называемой «био-уголь», гидрофобную по своей природе, за счет снижения ее влагоудерживающей способности более подходящую для хранения. Продукт характеризуется 80%-90% энергетического значения

исходного материала биомассы и может быть переделан в гранулы, пригодные для совместного сжигания (Занзи и др., 2004). Эта технология находится на предпродажной стадии с запланированными исследованиями Исследовательского центра по энергетике в Нидерландах (ECN). ECN проводил торрефикацию для создания топливных пеллет с энергетической ценностью 15-18.5 ГДжа / м³, с производственной стоимостью € 40-50 / т, приблизительно 50% от стоимости производства древесных пеллет (Бергман и Кил, 2005).

7 Влияние на окружающую среду насаждений мискантуса



7.1 Будущее содействие мискантуса в сокращении выбросов углерода

На основании модели производительности Miscanmod, Клифтон-Браун и др. (2004) подсчитали, что увеличение производства мискантуса в качестве источника энергии может привести к значительному сокращению выбросов углерода на территории ЕС. Мискантус можно было бы выращивать на 10% сельскохозяйственных угодий, производя 231 ТВт/год

электроэнергии (9% потребности ЕС) и уровень секвестрации углерода до 12 т СМ/ год. Производство энергии и секвестрация углерода благодаря выращиванию мискантуса снизят уровень выбросов углерода до 76 млн. т С/год. В заключение, Клифтон-Браун и др. (2004) предположили, что производство энергетических культур будет существенно содействовать достижению целей ЕС по сокращению выбросов парниковых газов. В то же время, моделируя влияние развития культур биомассы в Ирландии, Стайлс и Джонс (Стайлс и Джонс, 2007) подсчитали сокращение выбросов углекислого газа на протяжении всего жизненного цикла, когда мискантус заменил уголь или торф на производстве электроэнергии электростанций. В тех случаях, когда производство мискантуса заменило молочное производство, которое, по оценкам, произвело более 10 т эквивалента выбросов CO₂ /га /год, сокращение выбросов углерода при производстве



мискантуса равно 35 т CO₂/га/год. Данный показатель сравнивается с 32 т CO₂/га/год выбросов при производстве ивы КОР в том же исследовании. Было подсчитано, что замена 30% торфа на мискантус и 10% угля на иву на топливных электростанциях Ирландии могли вместе выполнить 25% обязательства Ирландии в рамках Киотского протокола по сокращению выбросов. Это потребует сокращения молочного стада 1,2% и займет 1,7% имеющихся сельскохозяйственных угодий.

Проведенное ADAS исследование сравнило выход энергии тонкомерных балансов и деревянных блоков из местной лесопилки и энергии, поступающей из системы, используемой мискантусом, с котлами на жидком топливе с точки зрения сокращения выбросов углерода на протяжении жизненного цикла в 25 лет. Показатели исследования включают характеристики обычного отопительного котла, работающего на сжигания древесины, мощностью 150 кВт и отопительного котла на мискантусе мощностью 70 кВт, который имеет аналогичные входы энергии 4,35 МДж/кВтч для мискантуса и 4,32 МДж/кВтч для системы подачи топлива на дереве. В этом исследовании энергия, необходимая для посадки мискантуса, привела к более короткой продолжительности жизненного цикла сокращения выбросов углерода до 11 т эквивалента в год по сравнению с использованием биомассы лесного хозяйства - 51 т эквивалента сокращенного выброса CO₂ в год. Мискантус планировалось поставлять на участки площадью 4,5 га, поэтому ежегодное сокращение выбросов CO₂/га при выращивании мискантуса составила 2,4 т/га (<http://www.ieabioenergy-task38.org/projects/task38casestudies/uk-fullreport.pdf>) (доступно 6 июля, 2007).

Более низкие значения сокращения выбросов углерода из исследования ADAS могут быть связаны с мискантусом на резервных участках земли, где в других условиях выбросов стало бы меньше или зафиксировали бы их отсутствие, и отметили бы очень высокую эффективность котлов на жидком топливе в исследовании ADAS по сравнению с торфяными или угольными электростанциями в исследовании, проведенном Стайлсом и Джоунсом (2007).

7.2 Воздействие на местную окружающую среду

Изменения в сельскохозяйственной практике за последние годы, такие как более широкое использование гербицидов и пестицидов, а также изменения в управлении земельными ресурсами посредством механизации фермерских хозяйств и расширения полей, повлияли на флору и фауну дикой природы сельской местности Великобритании. Данная ситуация продолжит меняться в связи с возможным увеличением производства возобновляемых таких энергетических культур, как мискантус.



7.2.1 Положительное влияние мискантуса на окружающую среду

Мискантус нуждается в маленьком количестве агрохимии наряду с использованием гербицидов в годы посадки (с первого по третий год). Обычно ограничиваются одноразовой обработкой гербицидами в годы посадки. После того, как на второй или третий год отмечается достаточный покров культуры, вмешательство сорняков подавляется, и потребность в применении гербицидов отсутствует. Пока не было отмечено вредителей мискантуса, поэтому нет необходимости использовать инсектициды. Таким образом, риск загрязнения подземных вод агрохимикатами очень низок.

Из всех культур, выращенных в энергетических целях, многолетние травы С4, такие как мискантус, считаются наиболее эффективными потребителями азота. Это связано с рециркуляцией азота из года в год через систему ризом и опадения листьев. Отсутствие нарушений почвы в сочетании с глубокой корневой системой приводит к медленным темпам выброса органического азота и абсорбации азота из более глубоких слоев почвы, тем самым снижается риск потерь вымывания азота. Культура мискантус не способствуют загрязнению воды фосфором, поскольку она способна оптимизировать рост в почвах с низким содержанием фосфора, также мискантус отличается низкими показателями эрозии почв. Риск эрозии почвы отмечается в первый год посадки (например, на гористых участках) из-за большого расстояния между растениями и медленного роста, приводящего к формированию покрова растения. В последующие годы риск снижается со второго года.

7.2.2 Негативное влияние мискантуса на окружающую среду

Мискантус, как и ивы, имеет очень долгую продолжительность жизни (около 20 лет) и может достигнуть четырехметровой высоты в Великобритании. Это может создать визуальное влияние на сельский пейзаж. Поэтому при выборе участков для выращивания мискантуса следует учитывать эстетику ландшафта и наличие доступа к пешеходной дорожке, а также местную археологию. Возникли сомнения, может ли мискантус, как внедренный вид, быть интродуцентом. Однако это не представляет проблем, потому что большинство сортов, используемых для биомассы, являются стерильными гибридами, а декоративные сорта мискантуса росли в наших садах в течение многих лет. Кроме того, освободиться от мискантуса легко путем сбора корневищ с помощью модифицированных картофелеуборочных комбайнов или уничтожив культуру глифосатным гербицидом.

7.2.3 Положительное влияние мискантуса на экологию

Трехлетнее исследование (финансируемое DTI) в области экологии многолетних трав было проведено в Херефордшире, расположенном на



границе с Уэльсом, в Центре изучения Биомассы Llysdim. Данные показали, что двух-трехлетние плантации мискантуса использовались в качестве зимних территорий для птиц, мелких млекопитающих и беспозвоночных, что способствует поддержке биоразнообразия (Симмер и Слейтер, 2005, 2007). Эти специалисты также обнаружили: наземная флора: после посадки мискантус эффективно конкурирует с сорняками, а сомкнутый растительный полог имеет тенденцию затенять большую часть растительности. Таким образом, это был период посадки культуры, и границы поля вокруг урожая отличались растительным разнообразием. Обследования посадок мискантуса также выявили распространение группы сорняков, напоминающих сорняки пахотных земель. В пределах засаженных мискантусом полей некоторые виды растительных сорняков являются потенциально важными источниками пищи для зерноядных птиц, включая *Cirsium arvense* (осот полевой), *Capsella bursa-pastoris* (пастушья сумка), *Chenopodium* (марь белая), *Senecio vulgaris* (крестовник), *Sinapis arvensis* (дикая горчица), *Veronica persica* (вероника), *Veronica arvensis* (вероника), *Viola arvensis* (фиалка полевая) и *Poa annua* (мятлик однолетний).

Членистоногие: сама по себе культура мискантус не связана с членистоногими; вместе с ростом сорняков в поле появляются членистоногие, которые, в свою очередь, способствуют увеличению численности мелких млекопитающих и птиц. Жужелицы (*Carabidae*), бабочки, шмели, журчалки и древесные беспозвоночные были более многочисленными и разнообразными в наиболее разнообразной растительной среде обитания двух / трехлетних полей мискантуса. Наиболее важные беспозвоночные таксоны, пойманные с помощью ям-ловушек, сачков для ловли насекомых и ударом по стеблям на полях *Miscanthus*, включали *Coleoptera* (*Curculionidae*, *Chrysomelidae*, *Carabidae*, *Staphylinidae* и *Elateridae*), *Hemiptera* (*Heteroptera* и *Homoptera*), *Diptera* и *Hymenoptera*. Никакого вредного воздействия на мискантус не было обнаружено.

Птицы: культуры биомассы служат подходящими средами обитания для многих птиц, особенно когда речь идет о часто обрабатываемых землях, хотя культуры биомассы не так биологически разнообразны, как зрелые лесные массивы или традиционная молодая поросль. Тридцать три вида птиц в течение сезона размножения и 31 вид зимующих птиц были замечены в полях мискантуса и их окрестностях, то есть на окраинах не вспаханных полей и придорожные посадки. За исключением жаворонков (*Alauda avensis*), чибисов (*Vanellus vanellus*) и луговых коньков (*Anthus pratensis*), предпочли поля *Miscanthus*, большинство видов птиц были обнаружены в большем количестве в пределах придорожных посадок, чем в нивах культуры, что указывает на важность сохранения структуры поля при посеве культур биомассы.



Мелкие млекопитающие: осмотр установленных ловушек для мелких млекопитающих в полях мискантуса показал присутствие лесной мыши (*Apodemus sylvaticus*), рыжей лесной полевки (*Clethrionomys glareolus*), темной полевки (*Microtus agrestis*), лесной землеройки (*Sorex araneus*) и малой землеройки (*Sorex minutus*) на участках посаженной культуры; и желтогорлой мыши (*Apodemus flavicollis*) на окраинах не вспаханных полей и на углах посаженных полей.

Негативное воздействие мискантуса на экологию. После сбора урожая весной мискантус образует короткий растительный покров весной с большим количеством оголенной почвы, что может послужить местом раннего гнездования для жаворонков и чибисов. Однако растительный покров, образованный зрелым мискантусом, обычно становится плотнее по мере роста, и, следовательно, число жаворонков, использовавших засаженную территорию, уменьшилось с конца весны до начала осени, так как удобство поиска пищи и доступ к почве стали ограниченными ввиду высоты выросшей культуры и ее плотности. Вкус листьев мискантуса непривлекателен для насекомых, и, таким образом, большинство популяций беспозвоночных зависит от сорняков внутри культуры. Поэтому, если поля мискантуса постоянно поддерживать без сорняков, их воздействие на популяции беспозвоночных мало чем будет отличаться от влияния пропашных культур.

Данные результаты были получены на недавно высаженных рядах мискантуса, который не оказал каких-либо неблагоприятных воздействий на окружающую среду, но специалисты пришли к выводу, что дальнейшее исследование более зрелых насаждений необходимо для более детального представления об экологическом влиянии этой энергетической культуры.

8 Экономические аспекты выращивания мискантуса

8.1 Производственные затраты

Расходы на производство мискантуса в Великобритании были обобщены Буллардом в отчете для Министерства сельского хозяйства, продовольствия и рыболовства (MAFF) (1999). Стоимость, связанная с посадкой мискантуса и сбором урожая, приведена в таблицах 13 и 14 соответственно.

Таблица 13. Затраты на посадку 1 га мискантуса.



Деятельность	Стоимость (£/га)
Ризомы 20,000 растений/га @ £0.05/растение	1000
Возделывание земли	75
Удобрения	48
Обработка гербицидами	80
Посадка по контракту	117
Инсектициды/фунгициды	0
Общая сумма	1320

Таблица 14. Затраты на уборку 1 га мискантуса.

Деятельность	Стоимость (£/га)
Косилка-плющилка	25
Прессование	120
Перевозка, складирование и погрузка	24
Затраты на хранение	34
Общая сумма	203

(Буллард, 1999)

Оценка производственных затрат для мискантуса за 10-летний период также приводится в отчете, подготовленном IPA Energy Consulting, Эдинбург (2005) для шотландского производителя. Самые большие затраты отмечены в 1-й год за счет расходов на посадочное оборудование, посадочный материал и химикаты, связанные с затратами на первую посадку. В последующие годы средняя стоимость снижается с £1234/га в 1-й год до £162- £ 199/га. Общая сумма затрат на производство мискантуса за 10-летний период приведена в таблице 15. Более низкие годовые затраты, указанные в исследовании 2005 года, объясняются главным образом более низкой оценкой расходов на прессование.

Таблица 15. Общепроизводственные издержки по мискантусу за 10 лет.

Год	1	2	3	4	5	6	7-10
Затраты на технику (£/га)							
Плуг	32						
Активная борона	35						
Уровень	16						
Машина для посадки	70						
Ороситель	18	18	9	9	9	9	9
Внесение Р и К	8	8	8	8	16	8	8
Косилка		16	16	16	16	16	16
Прессование в тюки		48	72	96	104	104	88



Сбор и перевозка		10	10	10	10	10	10
Производственные затраты							
Ризомы	1000						
Агрохимикаты	50	46	18	18	18	18	18
Карбонат калия	16	16	16	16	16	16	16
Фосфаты					10		
Общая сумма (£/га)	1235	162	149	173	199	181	165

(<http://www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/1086/0011756>) (Доступ 27 июля, 2007)

(IPA Energy Consulting, 2005)

8.2 Доходность и прибыль

Фермерские цены на мискантус были установлены от 25-30 фунтов стерлингов за тонну франко фера (Отчет Шотландского Колледжа Сельского хозяйства и Кэмбридского Университета). С учетом издержек производства в отчете делают вывод о том, что производство мискантуса по этим ценам не представляется целесообразным при отсутствии субсидий на выращивание энергетических культур.

Таблица 16. Рыночные цены сельскохозяйственных производителей для сельскохозяйственной продукции Великобритании, которую возможно использовать в качестве энергетической культуры.

Продукция	Спецификация (% влажность) (%....)	Формат	Спот- цена 09/09/2005 (£/га)	Второй год высокая (£/га)	Второй год низкая (£/га)	Фермерская валовая прибыль (£/га)
Пшеничное зерно	14.5 2 ²	Насыпь	60.4	109	57	290
Пшеничная солома	10-20 ¹	Кипа Хесстон	21.0			314
Ячмень зерно	14.5 ¹ 2 ²	Насыпь	61.5			180
Ячмень солома	10-20 ¹	Кипа Хесстон	27.7			206
Масличный рапс	9 ¹ 2 ² 40% масло	Насыпь	134.8	198	120	230
КОР ива	~ 20 ¹	Насыпь деревянной стружки	45.0			125
Мискантус	15-25 ¹	Кипа Хесстон	26.5			135
Сахарная свекла	Сумма земли (почвы) и головка (макушка и лист) Масса	Насыпь	32.50			965

	тары=14%					
Картофель (основная культура)	Продовольст. картофель для пищевой цепи	Насыпь	113.2	179	72	1025

На примере сравнения доходности от производства мискантуса и других пропашных культур, которые можно использовать в качестве биомассы (Исследовательская группа биоэнергии, 2006, таблица 16) было показано, что и мискантус, и ива SRC имеют низкую валовую прибыль по сравнению с большинством других пропашных культур. Однако субсидии в размере 45 евро / га не учитывались при расчете или возможное сокращение постоянных затрат (рабочей силы, накладных расходов и т. Д.), которые могут появиться в ходе перехода на мискантус других предприятий.

Расходы на посадку и выращивание мискантуса и доходы от культуры в нескольких государствах ЕС без помощи субсидий, но с учетом единовременной выплаты фермерам ЕС, были сопоставлены Меллер и др. (2007) (таблица 17). Они сообщили о рентабельном производстве мискантуса при условии единовременной выплаты или без нее в большинстве стран ЕС, за исключением Великобритании. Для сравнения, ива стала экономически выгодной в большинстве стран ЕС при условии предоставления субсидий.

Таблица 17. Уровень фермерского дохода, затрат, стоимость и чистая прибыль с учетом и без учета субсидий на выращивание мискантуса в некоторых странах ЕС.

		Великобритания	Швеция	Германия	Италия
Доход от культуры	(€/т урожай)	52	65	43	70
	(€/га)	537	760	742	1270
Субсидии на посадку	(€/т урожай)	0	0	0	0
Повторная субсидия	(€/га)	0	0	0	0
SFP	(€/га)	320	242	317	554
Совокупный доход (культура плюс ива)	(€/т урожай)	83	86	61	101
	(€/га)	857	1003	1058	1824
Общие затраты на посадку	(€/т урожай)	21	16	12	17
	(€/га)	216	187	205	316
Общие текущие	(€/т урожай)	40	30	28	34

расходы					
	(€/га)	419	348	488	621
Общая сумма затрат	(€/т урожай)	61	46	40	52
	(€/га)	635	536	692	938
Чистая прибыль (без ивы)	(€/т урожай)	-9	19	3	18
	(€/га)	98	225	49	332
Чистая прибыль (с ивой)	(€/т урожай)	21	40	21	49
	(€/га)	222	467	366	887

SFP = Единовременная выплата

(Меллер и др., 2007).

В Ирландии было проведено экономическое сравнение производства ивы для получения биомассы в условиях обычной системы сельского хозяйства (Стайлс и др., 2008). Опираясь на рыночные цены от £50 до £95/т СМ, эти специалисты сообщили о валовой прибыли без субсидии в размере от 167 до 708 долларов за гектар для срезанного мискантуса и £109 - 651 за прессованный в тюки мискантус, предполагая, что сушка культуры может быть осуществлена естественным образом. Включение субсидий на посадку растений и действующие в Ирландии выплаты за энергетические культуры увеличили валовую маржу примерно на 110 фунтов /га. Валовая прибыль от мискантуса в исследовании была больше, чем от таких же посадок ивы, за исключением случаев, когда производство ивы пополнилось за счет проходной платы за утилизацию отходов.

Данные анализы экономики производства мискантуса были опубликованы задолго до значительного роста рыночных цен на зерновые и другие сырьевые товары, а также нефти и ископаемого топлива в 2007 году. Пока неясно, как это может повлиять на рыночную цену мискантуса, урожай которого был собран в начале 2008 года. Однако, если подобный рост рыночной цены на мискантус отсутствует, то вполне вероятно, что из-за низкой маржи производство мискантуса станет непривлекательным предприятием в экономическом отношении по сравнению с более традиционными культурами.

В Северной Ирландии проводились исследования использования ивы в качестве биомассы, однако количество исследований мискантуса как биомассы было очень мало. С 2003 по 2007 год Лесной службой в рамках программы «Целевой фонд» предоставлялись гранты, покрывающая большую часть затрат на посадку ивы, и с 2008 года была запущена новая программа, но с более низким уровнем поддержки примерно в £1000/га. В Англии и Уэльсе существуют гранты на посадку в похожем размере, но пока



никакой поддержки в области выращивания мискантуса в Северной Ирландии нет.

9 Обсуждение и выводы



9.1 Перспектива выращивания мискантуса в Северной Ирландии

Ясно, что жидкое биотопливо второго поколения, производящееся на основе биомассы лигноцеллюлозы, например, мискантуса, очевидно обеспечит большее сокращение выбросов углерода, если учесть возрастающую актуальность вопросов сокращения выбросов углерода и экологических выгодах в рамках использования

жидкого биотоплива первого поколения, полученного из зерновых, сахаров и масличных культур. Доклад Королевского сообщества (2008) определил эту сферу как область, нуждающуюся в значительных исследованиях в Великобритании. В краткосрочной перспективе мискантус может выйти на рынок Северной Ирландии в виде стружки, брикетов или пеллет в качестве топлива с тепловой биомассой. Но в конечном итоге мискантус можно будет обработать путем ферментации в жидкое биотопливо второго поколения. Такая перспектива в будущем будет зависеть от используемых технологий, необходимой масштабности посадки и возможной площади урожая в Северной Ирландии. Если использование мискантуса для лигноцеллюлозного переработки в жидкое биотопливо станет «результативным» процессом, то это может способствовать производству культуры в Северной Ирландии.

Мискантус привлек относительно мало внимания в Северной Ирландии, но результаты проекта «Topgrass» с участками в Локголл и Лондондерри с 2003 по 2006 год показали, что урожайность в Северной Ирландии, вероятно, будет такой же, как и на других британских территориях, и возможно, больше, чем полученная от ивы. Поэтому следует в полной мере учитывать сильные и слабые стороны мискантуса как перспективной культуры в Северной Ирландии, обладающей большим потенциалом помимо того, что представляют другие культуры биомассы.



Развитие программы в области размножения и селекции клона *Miscanthus giganteus*, финансируемой DEFRA в Аберистуите, стимулируется значительно большим ростом урожайности биомассы мискантуса по сравнению с ивой и направлено на выявление новых линий растения с большим потенциалом урожайности в наших климатических условиях, в рамках программы были отобраны растения по другим полезным критериям – холодоустойчивость и скорость старения.

В докладе Королевского сообщества (2008) также подчеркивается, что по сравнению с традиционными культурами сведений о физиологии и агрономии мискантуса относительно мало. Это приводит к трудностям, которые часто возникают при достижении удовлетворительной посадке культур на полях. Исследование в области поиска усовершенствованных методов посадки культуры и достижения быстрого раннего развития будет обусловлено тем, что потенциальное содействие мискантуса достижению целей по сокращению выбросов углерода и вклада в развитие сельской экономики не должны задерживаться из-за слабостей в понимании агрономии и недостатков в управлении выращивания культуры.

Климатически Северная Ирландия обладает как преимуществами, так и недостатками для выращивания и использования мискантуса в качестве культуры биомассы. Необходимо также рассмотреть вопрос о том, как культура может вписаться в наши сельскохозяйственные системы и инфраструктуру.

9.2 Преимущества мискантуса

1. Посадка культуры осуществляется с помощью поставщиков ризом и специального оборудования, также производитель должен подготовить почву. Подобные условия похожи на условия посадки ивы.
2. Ежегодная урожайность от единой высадки мискантуса составляет примерно 12-15 т СМ/га по сравнению с 10 т СМ /га в случае с ивой.
3. Производится сбор сухой биомассы, или биомасса должна быть намного суше, чем у ивы. При нормальных/хороших условиях сбор урожая осуществляется при влажностном содержании ниже 20% для Великобритании, при неудовлетворительных условиях культуру необходимо высушить после прессования или обрезания при 25%-35% влажности.
4. Сбор урожая осуществляется с помощью находящегося на месте оборудования – сенокосилки, пресс для упаковывания в тюки, самоходная уборочная машина для фуражной кукурузы.
5. Ежегодный сбор урожая должен без промедления осуществляться подрядчиками, когда их оборудование не занято.
6. Только в первые два года после посадки культура нуждается в применении удобрений. Во время старения культуры осенью/зимой



нутриенты возвращаются в ризомы и вновь используются в следующем сезоне.

7. После первичной посадки культура обеспечивает ежегодный возврат производителю.

8. При возвращении на пастбища или зерновое хозяйство мискантус необходимо опрыскать глифосатом, возможно даже два опрыскивания для обеспечения полного уничтожения.

9. Для борьбы с сорняками для мискантуса могут использоваться зерновые гербициды.

10. Никаких инфекционных заболеваний или атак насекомых не было отмечено. Однако при условии расширения площади роста культуры возможность заражения инфекционными заболеваниями или угроза насекомых возрастают.

11. В рамках сокращения выбросов углерода было подсчитано, что мискантус обеспечивает значительное сокращение выбросов, чуть выше, чем производство ивы, в частности там, где предприятия, основанные на травяных площадях, перенесены и биомасса используется для генерации электроэнергии.

12. Стружка из мискантуса предназначена для других рынков сбыта, например, подстилка для животных.

13. После высадки мискантус не нуждается, на самом деле, в дополнительных вложениях, кроме как для сборки ежегодного урожая в феврале/марте.

14. В будущем мискантус может особенно подходить как сырье для производства жидкого биотоплива второго поколения из лигноцеллюлозы.

9.3 Недостатки мискантуса

1. Посадка с помощью предоставленных ризом не является надежной. Известно, что жизнеспособность ризом может быстро уменьшаться между сбором урожая и пересадкой, если ризомы не хранятся надлежащим образом, но также могут повлиять другие факторы, такие как метод посадки, уровень влажности почвы и температура почвы. Культура может оправиться после недостаточной посадки, но для достижения экономической отдачи может потребоваться больше времени.

2. Для достижения полной производственной мощности культуре необходимо несколько лет. Хорошо посаженная культура на плодородных участках может достичь своей полной возможной урожайности на третий год, однако это может занять четыре года или пять лет.

3. Мягкие влажные зимы в Северной Ирландии могут привести к менее полному старению постоянной культуры и повышению содержания влаги при уборке урожая.

4. Влажные условия грунта могут привести к чрезмерному повреждению почвы во время уборки.



5. Если культуру необходимо регулярно собирать при показателе содержания влаги более 20%, возможно, потребуется использовать искусственную сушку, которая снизит экономическую рентабельность культуры.

6. Низкая урожайность в первый и второй год означает, что потребуется много лет, прежде чем производитель получит прибыль.

7. Потенциальные рынки для мискантуса в Северной Ирландии недостаточно развиты. В Англии и Ирландии основной рынок, который привел к увеличению посадки мискантуса, - это совместное снабжение энергией электростанций (например, DRAX и Edenderry). До сих пор не удалось связаться с руководством электростанции Килроот.

8. Не все котлы с биомассой, подходящие для ивы, способны перерабатывать мискантус. У мискантуса есть более высокое содержание двуоксида кремния и золы по сравнению с ивой. Выращивание мискантуса для биомассы должно увеличиваться одновременно с развитием способности использовать урожай.

9. В настоящее время в Северной Ирландии нет грантов для выращивания мискантуса, тогда как производство ивы SRC поддерживается грантом на высадку в размере 1000 фунтов /га. Гранты на посадку Miscanthus доступны в Англии и Уэльсе и Ирландской Республике.

9.4 Экономический аспект мискантуса

Расчет накопленной прибыли от производства мискантуса представлен в таблице 18, ясно, что для возмещения затрат на посадку потребуется от 4 до 7 лет, и размер прибыли будет варьировать от примерно 300 до 840 га в год в зависимости от установленной рыночной цены. В среднем за 15-летний жизненный цикл годовой доход будет равен £162 в год по цене £ 30/т, до £596 в год за £60 за т. Этот расчет не учитывает проценты по расходам или ставки дисконтирования для расчета настоящих значений.

Поэтому доходы от мискантуса потенциально приравниваются валовым маржам на зерновые культуры в Северной Ирландии (DARD, 2007). Однако после посадки мискантус отличается ограниченным требованием трудового ресурса за исключением операции по уборке урожая в феврале / марте. Если культура хранится на ферме, могут быть произведены поставки, но по сравнению с другими сельскохозяйственными или складскими предприятиями время и другие вложения очень незначительны. Принимая во внимание, что сбор урожая, скорее всего, будет выполняться подрядчиком, выращивание мискантуса можно рассматривать как подходящее предприятие для фермеров, вышедших на пенсию или с графиком на неполный рабочий день, которые стремятся к долгосрочному доходу за очень незначительный вклад.



Таблица 18. Кумулятивная доходность мискантуса за 15 лет, предполагающая цены на биомассу от £30/т-£60/т, издержки на посадку £1500/га, ежегодное управление ведением хозяйства, сбор урожая, хранение и транспортировка £200/га и урожайность 15 т СМ/га, начиная с 4 года.

Год	Цена продажи (£/т при 15% влажности)			
	30	40	50	60
1	- 1500	- 1500	- 1500	- 1500
2	- 1403	- 1345	- 1288	- 1230
3	- 1281	- 1143	- 1005	- 867
4	- 1067	- 791	- 515	- 239
5	- 750	- 301	148	596
6	- 432	189	810	1431
7	- 115	679	1473	2266
8	203	1169	2135	3101
9	521	1659	2798	3936
10	838	2149	3460	4771
11	1156	2639	4123	5606
12	1473	3129	4785	6441
13	1791	3619	5448	7276
14	2108	4109	6110	8111
15	2426	4599	6773	8946
Средний годовой отчет £/га	162	307	452	596

9.5 Мискантус в фермерских системах

Мискантус даст хорошую урожайность, как и все остальные культуры, при посадке в плодородную почву и в хороших условиях. Эту культуру не следует рассматривать для выращивания на менее благоприятных территориях с плохим дренажем или неплодородными почвами. Кроме того, будет экономически невыгодно перевозить биомассу мискантуса дальше чем на нескольких миль от места ее выращивания до того места, где она должна использоваться. Это подчеркивает необходимость развития выращивания культуры одновременно с развитием рынка для ее использования.

Низкий ежегодный спрос на рабочую силу после посадки культуры и способность использовать подрядчиков для сбора урожая могут сделать мискантус привлекательным для фермеров, вышедших на пенсию или с частичной трудовой занятостью, в то время как относительная легкость, с которой производители могут вернуться к работе на пастбищах или земледелию, делает мискантус более привлекательным по сравнению с ивой.

Выбирая между ивой и мискантусом на равных условиях, фермеры могут предпочесть мискантус, потому что урожай может быть собран с



помощью обычного сельскохозяйственного оборудования, и земля может быть более легко возвращена к обычным культурам, если это необходимо. Однако инфраструктура для ивы уже хорошо развита в Северной Ирландии, а использование мискантуса не настолько ясно и просто в качестве топлива в котлах с биомассой без предварительной обработки в форме кубиков или гранул. Кроме того, хотя ивы SRC также собираются как и *Miscanthus* в конце зимы или ранней весной, известно, что ивовые корни защищают землю от повреждений при влажных условиях. Опыт работы с мискантусом на полях отсутствует в Северной Ирландии, и необходимо будет достичь уверенности в том, что урожай можно успешно собрать и хранить без порчи.

В целом считается, что мискантус практически не реагирует на применение азотных удобрений на ежегодной основе. Тем не менее, ежегодный отбор составляет 80-90 кг N/га в собранной сухой массе. Глубокая корневая система *Miscanthus* дает ему возможность извлечь более высокую долю вещества из профиля почвы по сравнению с другими культурами, однако обоснованным кажется и применение весеннего навоза на мискантус в соответствии с измеренным отходом азота в биомассе. Опадение листьев мискантуса за зиму, приводит к тому, что большая часть P и K возвращается в почву каждый сезон, поэтому урожай может сыграть небольшую роль в снижении уровня P в почве, до тех пор пока мискантус собирается еще зеленым осенью.

Таким образом, в то время как у мискантуса меньше возможностей для биовосстановления, чем у ивы, мискантус играет потенциально ограниченную роль в получении навоза в соответствии с правилами Директивы по нитратам.

9.6 Выводы

1. В течение 25 лет, после первого признания мискантуса в качестве культуры биомассы в Европе, интерес к культуре вырос, и исследования привели к развитию жизнеспособных систем, способствующих увеличению сбора урожая и использования культуры для производства энергии.

2. Опираясь на результаты испытаний в Англии и Северной Ирландии и на опыт в Ирландской Республике, сухая масса урожайности мискантуса, как ожидается, будет аналогична полученной сухой массе в Северной Англии и составит от 12 до 15 т. СМ/ га / год.

3. Мискантус можно успешно выращивать в основном в пахотных районах Северной Ирландии и на плодородных хорошо осушенных территориях в других районах.



4. Посадка мискантуса - это операция по контракту, которая должна быть проведена тщательно, чтобы избежать неудовлетворительную посадку.

5. Особенно важно, чтобы корневища высаживались в охлажденном состоянии, сохранив влажность и температуру 4C° после выкапывания до повторной посадки.

6. Исследования в области физиологии и агрономии культуры ограничены из-за того, что мискантус – культура относительно новая. Дальнейшие исследования должны привести к улучшению методов посадки и управления культуры.

7. Программа размножения и селекции мискантуса в Великобритании в Аберистуите, должна определить более высокоурожайные биотипы, которые также более подходят для наших климатических условий, чем единственный клон *Miscanthus giganteus*, выращиваемый в настоящее время на Британских островах.

8. Мискантус отличается относительно низкой потребностью в питательных веществах благодаря значительной степени ежегодной рециркуляции питательных веществ от стеблей к корневищам. Однако для некоторых видов почв может быть необходимым ежегодное применение питательных веществ посредством навоза весной в соответствии с правилами Директивы по нитратам.

9. В Северной Ирландии необходимы исследования, чтобы определить, будет ли культура на корню стареть при содержании влажности менее 20% влажности в течение зимы и можно ли успешно собрать урожай в марте без значительного повреждения почвы

10. Контрактная уборка мискантуса может быть осуществлена в Северной Ирландии без проблем подрядчиками, уже оснащенными оборудованием для сбора силоса для травы и фуражной кукурузы при условии неиспользования оборудования в данный момент.

11. Установка систем нагрева биомассы, способных использовать мискантус, должна осуществляться одновременно с коммерческими выращиванием культуры.

12. Вероятно, развитие производства жидкого биотоплива второго поколения из лигноцеллюлозных запасов обеспечит перспективный рынок биомассы мискантуса в будущем, способствующий в значительной степени сокращению выбросов углерода

13. После посадки практически отсутствует необходимость использовать пестициды и искусственные удобрения, следовательно, выращивание мискантуса оказывается более экологически чистым, чем традиционные пропашных культур

14. Зрелый мискантус обеспечивает плотную и высокую среду обитания на зиму, что способствует поддержанию биоразнообразия в сельской местности. Однако он считается менее полезным, чем ивы из-за



низкого уровня проникновения света на поверхность земли, что приводит к плохому росту семян сорняков и непривлекательности листьев для большинства насекомых.

15. Как и в случае с ивами, существуют высокие затраты на посадку, а урожайность культуры в первые несколько лет низкая. Мискантус рассматривается наравне с ивами для предоставления грантов на посадку в Англии, Уэльсе и Ирландской Республике.

16. Выдвигаются веские доводы для предоставления аналогичного гранта для посадки мискантуса в Северной Ирландии.

10 Библиография

Baumbach, G., Zuberhübler, U. and Siegle, V. 1997. Emissions from industrial and commercial combustion of biomass and wood. In: *Ecomed Landsberg, Germany*.

Bergman, P.C.A. and Kiel, J.H.A. 2005. Torrefaction for biomass upgrading. *14th European biomass conference and exhibition*, Paris, France, 8 pp. [http://www.techtp.com/recent%20papers/ECN-](http://www.techtp.com/recent%20papers/ECN-Torrefaction%20for%20biomas%20upgrading%20-2005.pdf)

[Torrefaction%20for%20biomas%20upgrading%20-2005.pdf](http://www.techtp.com/recent%20papers/ECN-Torrefaction%20for%20biomas%20upgrading%20-2005.pdf)

(Accessed 4th July, 2007).

Bioenergy Research Group 2006. *British bio-energy news*, **3 (9)**.

Bridgwater, A.V. 2004. Biomass fast pyrolysis. *Thermal Science*, **8 (8)**: 21-49.

Brunton, P. 2007. Biomass Co-firing in Ireland. Netbio conference Budapest.

Bullard, M.J. 1999. The agronomy of *Miscanthus* for fuel and fibre. Final report to MAFF (NF0403) 61pp.

Bullard, M.J., Heath, M.C. and Nixon, P.M.I. 1995 Shoot growth, radiation interception and dry matter production and partitioning in *Miscanthus sinensis* 'giganteus' grown at two densities in the UK during the establishment phase. *Annals of Applied Biology*, **126**: 365-378.

Cappelletto, P., Mongardini, F., Barberi, B., Sannibale, M., Brizzi, M. and Pignatelli, V. 2000. Papermaking pulps from the fibrous fraction of *Miscanthus x giganteus*. *Industrial Crops and Products*, **11**: 205-210.

Christian, D.G., Lampty, J.N.L., Forde, S.M.D. and Plumb, R.T. 1994. First report of barley yellow dwarf leuovirus on *Miscanthus* in the United Kingdom. *European Journal of Plant Pathology*, **100**: 167-170.

Christian, D.G., Yates, N.E. and Riche, A.D. 2005. Establishing *Miscanthus sinensis* from seed using conventional sowing methods. *Industrial Crops and Products*, **21**: 109-111.



Christensen, D.G., Poulton, P.R., Riche, A.B., Yates, N.E. and Todd, A.D. 2006 The recovery over several seasons of 15N-labelled fertiliser applied to *Miscanthus x giganteus* ranging from 1-3 years old. *Biomass and Bioenergy* **30**: 125-133.

Claassen, P.A.M. and Vrije, T. de. 2006. Non-thermal production of pure hydrogen from biomass: HYVOLUTION. *International Journal of Hydrogen Energy*, **31**: 1416–1423.

Clifton-Brown, J.C, Stampfi, P.F. and Jones, M.B. 2004. *Miscanthus* biomass production for energy in Europe and its potential contribution to decreasing fossil fuel carbon emissions. *Global Change Biology*, **10**: 509-518.

Clifton-Brown, J.C. and Lewandowski, I. 2000a. Overwintering problems of newly established *Miscanthus* plantations can be overcome by identifying genotypes with improved rhizome cold tolerance. *New Phytologist*, **148**: 287-294.

Clifton-Brown, J.C. and Lewandowski, I. 2000b. Water use efficiency and biomass partitioning of three different *Miscanthus* genotypes with limited and unlimited water supply. *Annals of Botany*, **86**: 191-200.

Clifton-Brown, J.C., Lewandowski, I., Andersson, B., Basch, G., Christian, D.G., Kjeldsen, J.B., Jorgensen, U., Mortensen, J.V., Riche, A.B.

Schwarz, K.U., Tayebi, K. and Teixeira, F. 2001. Performance of 15 *Miscanthus* genotypes at five sites in Europe. *Agronomy Journal*, **93**: 1013-1019.

Clifton-Brown, J.C., Neilson, B., Lewandowski, I. and Jones, M.B. 2000. The modelled productivity of *Miscanthus x giganteus* (GREEF et DEU) in Ireland. *Industrial Crops and Products*, **12**: 97-109.

Clifton-Brown, J.C., Valentine, J., Hayes, C., Donnison, I., Hastings, A., Smith, P., Stampfi, P. and Jones, M. 2007. *Miscanthus* in Europe. University of Illinois, Fueling Change With Renewable Energy Symposium, April 2007.

Collura, S., Azambre, B., Finqueneisel, G., Zimny, T and Weber, J.V. 2006.

Miscanthus x giganteus straw and pellets as sustainable fuels. *Environmental Chemistry Letters*, **4**: 75-78.

Commission for Energy Regulation, 2006. *Renewables Newsletter*, **1** (2). December 2006, Dublin.

Department of Agriculture and Rural Development (DARD) 2007. Northern Ireland Agri-Food Sector, Key Statistics 2007, p16. <http://www.dardni.gov.uk/keystats2007.pdf> (Accessed 10th January, 2008).

Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) 2001a. *Planting and Growing Miscanthus*. Best Practice Guidelines For applicants to DEFRA's Energy Crops Scheme. <http://www.defra.gov.uk/erdp/pdfs/ecs/Miscanthus-guide.pdf> (Accessed 27th April, 2007).

Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) 2001b. Review of the effects of energy crops on hydrology. 26pp.



http://www.defra.gov.uk/science/Project_Data/DocumentLibrary/NF0416/NF0416.pdf (Accessed 27th April, 2007).

Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA) 2003. Continuous assessment of agronomy and yield potential of *Miscanthus* for industrial cropping in the UK. NF0405. 27pp.

Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA) 2007. Planting and growing *Miscanthus*. Best practice guidelines. 19pp.

Department of Trade and Industry (DTI) 2001. DTI/Pub URN 01/797 Estimating the energy requirements and CO₂ emissions from production of the perennial grasses, *Miscanthus*, Switchgrass and Reed Canary grass. 94pp.

Department of Trade and Industry (DTI) 2003a.

B/CR/00783/GUIDELINES/GRASSES URN 03/882 Grasses for energy production. *Hydrological guidelines*. 15pp

Department of Trade and Industry (DTI) 2003b. *Miscanthus*, Practical aspects of biofuel development. 94pp. <http://www.berr.gov.uk/files/file14941.pdf> (Accessed 5th June 2007).

Department of Trade and Industry (DTI) 2005. A trial of the suitability of Switchgrass and Canary grass as biofuel crops under UK conditions, 5th Interim report, 89pp.

Department of Trade and Industry (DTI) 2006a. A trial of the sustainability of Switchgrass and Reed Canary grass as biofuel crops under UK conditions. Project Summary, p 1-8. <http://www.dti.gov.uk/files/file34815.pdf> (Accessed 22nd June, 2007).

Department of Trade and Industry (DTI) 2006b. Reducing establishment cost and increasing establishment success in *Miscanthus*. Final Report. <http://www.dti.gov.uk/files/file37692.pdf> (Accessed 3rd May, 2007).

Department of Trade and Industry (DTI) 2007. UK Biomass strategy, Working paper 1, Economic analysis of biomass energy, 70pp.

<http://www.berr.gov.uk/files/file39040.pdf> (Accessed 20th June, 2007).

Deuter, M. 2000. Breeding approaches to improvement of yield and quality in *Miscanthus* grown in Europe. In: Lewandowski, I., Clifton-Brown, J.C. Eds. European *Miscanthus* improvement-Final Report, September 2000. Stuttgart: *Institute of Crop Production and Grassland Research, University of Hohenheim*, p. 28-52.

Farrell, A.D., Clifton-Brown, J.C., Lewandowski, I. and Jones, M.B. 2006. Genotypic variation in cold tolerance influences the yield of *Miscanthus*. *Annals of Applied Biology*, **149**: 337-345.

Fowler, P.A., McLauchlin, A.R. and Hall, L.M. 2003. The potential industrial uses of forage grasses including *Miscanthus*. *Biocomposites Centre, University of Wales, Bangor*, 40pp.

http://www.bc.bangor.ac.uk/_includes/docs/pdf/industrial%20use%20of%20grass.pdf (Accessed 16th July, 2007).



Gass, J. 2006. Bioenergy Research Group, Complex non-reactive and reactive combustion flows. <http://www.lntn.ethz.ch/researchprojects.php?id=32> (Accessed 18th July 2007).

Greef, J.M. and Deuter, M. 1993. Syntaxonomy of *Miscanthus x giganteus* GREEF et DEU, *Angewandte Botanik*, **67**: 87-90.

Green Energy Growers Association 2007. Bioenergy scheme for willow and *Miscanthus*. http://www.gega.ie/kb_display_article.asp?k_id=12 (Accessed 18th July 2007).

Hansen, E.M., Christensen, B.T., Jensen, L.S. and Kristensen, K. 2004. Carbon sequestration in soil beneath long-term *Miscanthus* plantations as determined by ¹³C abundance. *Biomass and Bioenergy*, **26 (2)**: 97-105.

Harms, H.H. 1995. Ernte- und Aufbereitungstechnik von Halmgütern (Harvest and conditioning of stems of cereals and grasses). In Logistik bei der Nutzung biogener Festbrennstoffe, Internationale Tagung Stuttgart, 30-31 May, Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe" Band 5, Landwirtschaftsverlag GmbH Münster: 23-41.

Heaton, E. and Long, S. 2007 - Energy Crop Biomass Yields at 3 Sites in Illinois. 4th Annual Open Symposium on Biomass Feedstocks for Energy Production in Illinois. University of Illinois, January 2007.

Himken, M., Lammel, J., Neukirchen D., Czypionka-Krause, U., and Olfs H. W. 1997 Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. *Plant and Soil*, **189**: 117-126.

Huggett, D.A.J., Leather, S.R. and Walters, K.F.A. 1999. Suitability of the biomass crop *Miscanthus sinensis* as a host for the aphids *Rhopalosiphum padi* (L.) and *Rhopalosiphum maidis* (F.) and its susceptibility to the plant luteovirus Barley Yellow Dwarf Virus. *Agricultural and Forest Entomology*, **1**: 143-149.

Huisman, W., Kasper, G.J. and Venturi, P. 1996. Technical and economic feasibility of the complete production–transport chain of *Miscanthus x giganteus* as an energy crop. Paper presented at the First European Energy Crops Conference, Enschede, The Netherlands, 30th September -1st October, 1996.

Huisman, W. 2003. Optimising Harvesting and Storage Systems for Energy Crops in The Netherlands. Proceedings of the International Conference on Crop Harvesting and Processing, February 2003, Louisville, Kentucky, USA.

IPA Energy Consulting 2005. An analysis into a proposal for an amendment to the Renewables Obligation Definition of Energy crops. 56.pp. <http://www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/1086/0011756.pdf> (Accessed 20th July, 2007).

Johanning, B. and Wesche, H. 1993. Erntetechnik für *Miscanthus* (Harvest Technology for *Miscanthus*). *Landtechnik*, **5 (18)**: 232-236.



Jones, L. 2004. *Miscanthus*. Royal Horticultural Society, Plant Trials and Awards, Bulletin No. 7, Wisley.

Jorgensen, U. 1995. Macro propagation of *Miscanthus*. In: Symposium *Miscanthus – Biomassebereitstellung, energische und stoffliche Nutzung*, Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe". Munster, Germany: Landwirtschaftsverlag, **4**: 27-30.

Kaack, K. and Schwarz, K. 2001. Morphological and mechanical properties of *Miscanthus* in relation to harvesting, lodging and growth conditions. *Industrial Crops and Products*, **14**: 145-154.

Kristensen, E.F. 2003. Proceedings of the 1st meeting of IEA Bioenergy Task 30, Denmark, September 22-25, 2001. In: Jorgensen, H. and Verwijst, T. (Eds). DIAS Report, *Plant Production* **86**: 41-46.
http://www.shortrotationcrops.org/PDFs/IEA_Miscanthus.pdf (Accessed 16th May, 2007).

Leclercq-Le Quillec, F. and Dedryver, C.A. 1991. Dynamique des vecteurs et des virus de la jaunisse nanisante de l'orge dans le basin de Rennes à l'automne 1989. Bulletin OILB/SROP XIV, **4**: 67-74.

Lewandowski, I. 1997. Micro-propagation of *Miscanthus x giganteus*. In: Bajaj YPS, (Ed). *Biotechnology in Agriculture and Forestry*, Springer Verlag. Berlin, **39**: 239-255.

Lewandowski, I. and Heinz, A. 2003. Delayed harvest of *Miscanthus* influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of energy production. *European Journal of Agronomy*, **19**: 45-63.

Lewandowski, I. and Kahnt, G. 1994. Einfluß von Bestandesdichte und Stickstoffdüngung auf die Entwicklung, Nährstoffgehalte und Ertragsbildung von *Miscanthus "Giganteus"*. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss, **7**: 341-343.

Lewandowski, I. and Kicherer, A. 1997. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. *European Journal of Agronomy*, **6**: 163-177.

Lewandowski, I., Clifton-Brown, J.C., Anderson, B., Basch, G., Christian, D.G., Jörgenson, U., Jones, M.B., Riche, A.B., Schwarz, K.U., Tayebi, K. and Teuxcera, F. 2003b. Environment and harvest time affects the combustion qualities of *Miscanthus* genotypes. *Agronomy Journal*, **95**: 1271-1289.

Lewandowski, I., Clifton-Brown, J.C., Scurlock, J.M.O. and Huisman, W. 2000. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass and Energy*, **19**: 209-227.

Lewandowski, I., Scurlock, J.M.O., Lindvall, E. and Christou, M. 2003a. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy*, **25**: 335-361.

Linde-Laursen, I.B. 1993. Cytogenetic analysis of *Miscanthus 'giganteus'*, an interspecific hybrid. *Hereditas*, **119**: 297-300.



Matthews, R.B. and Grogan, P. 2001. Potential C sequestration rates under shortrotation coppiced willow and *Miscanthus* biomass crops: a model study. *Aspects of Applied Biology*, **65**: 303-312.

Möller, R., Toonen, M., Van Beilen, J., Salentijn, E. and Clayton, D. 2007. Crop platforms for cell wall biorefining: lignocellulose feedstocks. Edited by D. Bowles. CPL Press.

Neilsen, P.N. 1987. The productivity of *Miscanthus sinensis* 'giganteus' on different soil types. *Tidsskr, Planteavl*, **91**: 275-281.

Neukirchen, D. 1995. Nährstoffrückverlagerung in Rhizom und Wurzel sowie Nährstoffverluste über Herbst und Winter bei *Miscanthus x giganteus*. Diplomarbeit, Ruhr-Universität, Bochum, Germany.

Newman, R. 2003. *MISCANTHUS* - Practical Aspects Of Biofuel Development ETSU B/W2/00618/REP URN 03/1568 DTI Final Report. www.berr.gov.uk/files/file14953.pdf (Accessed 29 February 2008)

Nexant, Ltd, UK. 2007. Executive report, *The feasibility of second generation biodiesel production in the UK*, June 2007, Griffin House, 1st Floor South, 161 Hammersmith Road, London, W6 8BS.

<http://www.nnfcc.co.uk/nnfcclibrary/publications/download.cfm?id=46> (Accessed 31st July, 2007).

Nixon, P. and Bullard, M. 2003. Optimisation of *Miscanthus* harvesting and storage strategies. B/CR/007/45/00/00, URN 03/1633. Department of Trade and Industry (DTI), Crown Copyright 2003.

O'Neill, N.R. and Farr, D.F. 1996. *Miscanthus* blight, a new foliar disease of ornamental grasses and sugarcane incited by *Leptosphaeria* sp. and its anamorphic state *Stagonospora* sp. *Plant Disease*, **80**: 980-987.

Prude, R., Franken, H. Diepenbrock, W. and Greef, J.M. (1997). Ursachender Auswintering von einjährigen *Miscanthus*-Beständen. *Pflanzenbauwissenschaften*, **1**: 171-176.

Royal Society, 2008 Sustainable biofuels: prospects and challenges, London, UK 90pp.

Rutherford, L. and Heath, M.C. 1992. The potential of *Miscanthus* as a fuel crop. Energy Technology Support Unit (ETSU) Harwell, UK 123pp.

Schwarz, H., Liebhard, P., Ehrendorfer, K. and Ruckenbauer, P. 1994. The effect of fertilisation on yield and quality of *Miscanthus sinensis* "Giganteus". *Industrial crops and Products*, **2**: 153-159.

Schwarz, K.U., Greef, J.M. and Schnug, E. 1995. Untersuchungen zur etablierung und biomassebildung von *Miscanthus giganteus* unter verschiedenen Umweltbedingungen. In: Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 155, Braunschweig-Völkenrode, Germany: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, FAL.

Scottish Agricultural College and University of Cambridge 2005. *Farm level economic impacts of energy crop production*. Final report, August 2005, pp. 114



http://www.defra.gov.uk/science/Project_Data/DocumentLibrary/NF0431/NF0431_4015_FRA.doc (Accessed 22nd July, 2007).

Scurlock, J.M.O. 1999. A review of European experience with a new energy crop U.S. Department of Energy, Environmental Sciences Division Publication No. 4845, 18pp

Semere, T. and Slater, F.M. 2005. *The effects of energy grass plantations on biodiversity*. Final report, project number CFP 374/22: London: Department of Trade and Industry.

Semere, T. and Slater, F.M. 2007. Ground flora, small mammal and bird species diversity in *Miscanthus* (*Miscanthus x giganteus*) and reed canary-grass (*Phalaris arundinacea*) fields. *Biomass and Bioenergy*, **31**: 20-29.

Serafin, F. and Ammon, H.U. 1995. Unkrautbekämpfung in Chinaschilf. *Die Grüne*, **6**: 2-3.

Styles, D and Jones, M B. 2007. Energy Crops in Ireland: Quantifying the potential life-cycle greenhouse gas reductions of energy-crop electricity. *Biomass & Bioenergy*, **31**, 759-772.

Styles, D., Thorne F., and Jones M, B. 2008. Energy crops in Ireland: An economic comparison of willow and *Miscanthus* production with conventional farming systems *Biomass and Bioenergy*, In press.

Thiemann, R. 1995. Produktionstechnik von *Miscanthus*. In: Symposium *Miscanthus* Biomassbereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung, Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe", Münster, Germany: *Landwirtschaftsverlag* **4**: 103-111.

Thinggard, K. 1997. Study of the role of *Fusarium* in the field establishment problem of *Miscanthus*. *Acta Agriculturae Scandinavica*, **47**: 238-241.

Tröger, F., Wegener, G. and Seemann, C. 1998. *Miscanthus* and flax as raw material for reinforced particleboards. *Industrial Crops and Products*, **8**: 113-121.

Tuck, G., Glendining, M.J., Smith, P., House, J.I. and Wattenbach, M. 2006. The potential distribution of bioenergy crops in Europe under present and future climate. *Biomass and Bioenergy*, **30(3)**: 183-197.

Venturi, P., Huisman, W. and Molenaar, J. 1996. Cost calculations of production chains for *Miscanthus x giganteus* in the Netherlands. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **69**: 209-215.

Venturi, P., Huisman, W. and Molenaar, J. 1998. Mechanisation and costs of primary production chains for *Miscanthus x giganteus* in the Netherlands. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **69**: 209-215.

Venturi, P., Gigler, J.K. and Huisman, W. 1999. Economical and technical comparison between herbaceous (*Miscanthus x giganteus*) and woody energy crops (*Salix viminalis*). *Renewable Energy*, **16**: 1023-1026.

Walsh, M. and McCarthy, S. 1998. Proceedings of the 10th European bioenergy conference, Würzburg, Germany. C.A.R.M.E.N. Publishers, Rimparr,



Germany, *Miscanthus* handbook, In: *Biomass for energy and industry*, p10711074.

Wiesler, F. Dickmann J. and Horst, W.J. 1997. Effects of nitrogen supply on growth and nitrogen uptake by *Miscanthus sinensis* during establishment. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, **160**: 25-31.

Yates, D. and Beaumont, G. 2007. Initiative will put Illinois at the forefront of farm bioenergy production. www.news.uiuc.edu/NEWS/07/0201bp.html (Accessed 18th May, 2007).

Yorgun, S. 2003. Fixed-bed pyrolysis of *Miscanthus x giganteus*: product yields and Bio-oil characterisation. *Energy Sources*, **25 (8)**: 779-790.

Zanzi, R., Ferro, D., Tito Torres, A., Beaton Soler, P. and Björnbom, E. 2004. Biomass Torrefaction. *2nd World Conference and Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, 10-14th May 2004, Rome, Italy, 4 pp.

For Figure 16 on page 37, copyright permission obtained as follows:

Reprinted from *Industrial Crops and Products*, 12, Clifton-Brown, J.C., Neilson, B., Lewandowski, I. and Jones, M.B., The modelled productivity of *Miscanthus x giganteus* (GREEF et DEU) in Ireland, 97-109, COPYRIGHT 2000, with permission from Elsevier.



Приложение 1. Актуальные отчеты о возобновляемой энергии и биомассе ЕС, Великобритании и Ирландской Республики.

Название	Год	Ссылка
UK Renewables Obligation		http://www.sref.co.uk /sref%20renewables%20obligation.pdf
UK Biomass as renewable energy source	2004	http://www.rcep.org.uk/biomass/Biomass%20Report.pdf
UK Energy Report	2006	http://www.dti.gov.uk/files/file31890.pdf
NI Renewable Energy action plan	2006	http://www.dardni.gov.uk/renewable-energy -action-plan-2.pdf
Annual outlook for Food and Agriculture (ROI)	2007	http://www.agriculture.gov.ie/publicat/publications 2007/ARO/ARO_English.pdf
EU Renewable Energy projects		http://www.energyprojects.co.uk/rens_support.htm
EU Renewable Energy Certificates	2006	http://www.globalbusinessinsights.com/content/ rbef0005m.pdf
EU study of the introduction of renewable energy in the EU	2007	http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/03
EU Energy information reports	2007	http://www.euractiv.com/en/energy/biomass-action-plan/article-155362



первый
ПИТОМНИК

По вопросам сотрудничества:

info@misc.farm

Телефон: +7 (495) 177-89-89

WhatsApp +7 (965) 378-00-22