

Raccolta meccanica della canna comune (*Arundo donax* L.) a destinazione energetica, cantieri a confronto

Roberta Martelli, Marco Bentini

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, Università di Bologna, Italia

Abstract

Diversi studi evidenziano il ruolo delle colture dedicate nel rifornimento di biomassa ligno-cellulosica soprattutto per la produzione di biocarburanti di seconda generazione e per la produzione di calore ed elettricità. La coltura dell'Arundo (*Arundo donax* L.) è particolarmente interessante per le aree centro-settentrionali dell'Italia in relazione alle sue elevate rese e alle basse esigenze relativamente alle caratteristiche del suolo e alla richiesta di elementi nutritivi. La raccolta meccanica di tale coltura presenta alcune criticità legate soprattutto alla dimensione e resistenza al taglio dei culmi che richiedono la progettazione e messa a punto di macchine dedicate. In questo studio sono state valutate le prestazioni e i costi di esercizio di un prototipo sviluppato in collaborazione con un'azienda costruttrice. Sono stati confrontati due sistemi di raccolta, il primo, a cantieri separati, che prevede due passaggi (taglio-sfibratura e imballatura) il secondo, a cantieri riuniti, che effettua in un unico passaggio tutte le operazioni. I sistemi proposti consentono di imballare la biomassa raccolta riducendo i costi legati alla movimentazione e stoccaggio del prodotto. Considerando il numero di ettari che possono essere raccolti dal prototipo (123 ha per il sistema a un passaggio e 180 ha per il sistema con due passaggi) e il costo totale dell'operazione (11,6 e 10,5 € Mg⁻¹ rispettivamente per la raccolta con un solo passaggio e per quella in due fasi) il sistema rappresenta una soluzione efficace per aree non eccessivamente estese ed è quindi adatto per situazioni come quelle dell'Italia settentrionale caratterizzate da dimensioni medie aziendali di poco superiori a dieci ettari.

Corrispondente: Roberta Martelli, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, Università di Bologna, viale Fanin 50, 40127 Bologna, Italia.

E-mail: roberta.martelli@unibo.it

Key words: giant reed (*Arundo donax*), colture erbacee da energia, raccolta meccanica, analisi dei costi.

Ringraziamenti: si ringrazia il Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (MiPAAF) che ha finanziato il progetto BIOSEA, Ottimizzazione delle filiere Bioenergetiche per una Sostenibilità Economica ed Ambientale.

©Copyright R. Martelli and M. Bentini, 2013

Licensee PAGEPress, Italy

Italian Journal of Agronomy 2013; 8(s1):e6

This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Noncommercial License (by-nc 3.0) which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and source are credited.

Introduzione

Il Piano Energetico Nazionale prevede un incremento dell'impiego di biomassa a destinazione energetica, in particolare il contributo del settore agricolo è ritenuto fondamentale nella produzione di biomassa anche ottenuta da colture dedicate sia arboree che erbacee (JRC EC, 2011). Diversi studi evidenziano che importanti opportunità nell'offerta potenziale di biomassa sono riconducibili alle colture dedicate (Berndes *et al.*, 2003; Ericsson e Nilsson, 2006). Tali colture possono rivestire un ruolo primario nel rifornimento di biomassa ligno-cellulosica per la produzione di biocarburanti di seconda generazione e per lo sviluppo di calore ed elettricità (Jäger-Waldau *et al.*, 2011). I limiti alla diffusione delle colture dedicate sono principalmente riconducibili alla competizione per l'uso del suolo, tema oggetto di ampio dibattito in ambito politico e scientifico (Bringezu *et al.*, 2012). Ulteriori vincoli derivano dai costi di coltivazione che possono rendere meno conveniente l'impiego di biomassa ligno-cellulosica rispetto ai combustibili fossili tradizionali e dalle operazioni di impianto e raccolta che presentano criticità sia di carattere tecnico che economico (Cosentino *et al.*, 2008).

Lo sviluppo di una filiera sostenibile richiede che la coltivazione delle colture dedicate garantisca un adeguato livello di remunerazione per il produttore e che la biomassa prodotta abbia caratteristiche tecniche e un costo adeguato al suo utilizzo energetico. In particolare è necessario che le fasi di raccolta e condizionamento siano ottimizzate per migliorare le caratteristiche della biomassa in termini di energia specifica e ridurre i costi di stoccaggio e movimentazione.

La raccolta richiede che siano soddisfatte alcune condizioni, in particolare è necessario che la biomassa sia sempre disponibile in quantità adeguata all'alimentazione degli impianti quindi, lo sfasamento temporale fra la produzione e l'utilizzo impone lo stoccaggio di scorte adeguate possibilmente in prossimità degli impianti. Il prodotto deve inoltre presentare caratteristiche qualitative adeguate al processo di conversione.

Nel nord Italia le colture erbacee dedicate più interessanti sono il sorgo da fibra (*Sorghum bicolor* L.), fra le colture annuali, e la canna comune (*Arundo donax* L.) ed il panico (*Panicum virgatum* L.), fra le poliennali (Venturi e Venturi, 2003; Angelini *et al.*, 2005, 2009; Monti *et al.*, 2009; Nasso o Di Nasso *et al.*, 2011a, 2011b).

Queste ultime presentano minori costi economici per la semina o trapianto essendo ripartiti su tutta la durata dell'impianto (8-10 anni).

La meccanizzazione della raccolta delle colture dedicate erbacee può prevedere due linee di intervento: i) trinciatura del prodotto tal quale, con un'umidità che varia dal 50% al 70% in relazione al periodo di raccolta (estivo o invernale) e stoccaggio del prodotto sfuso; ii) taglio e imballatura della biomassa, in questo caso è previsto un parziale essiccamento in campo per raggiungere valori di umidità della biomassa preferibilmente inferiori al 40%.

Il prodotto trinciato può essere conservato tramite insilamento oppure previa essiccazione artificiale, operazione onerosa dal punto di vista energetico. La linea di raccolta con trinciatura, effettuata con falcia-trincia-caricatrici, determina un prodotto caratterizzato da una

bassa massa volumica ed elevata umidità che incide negativamente sui costi di trasporto.

La linea di raccolta con imballatura richiede interventi in più fasi, taglio della pianta, andanatura e imballatura. Le dimensioni delle piante, che, per Arundo e Sorgo, possono superare quattro metri di altezza con culmi di diametro superiore a 20 mm e caratterizzati da elevata resistenza al taglio (Yitao *et al.*, 2007) non consentono di utilizzare le classiche falciatrici da foraggio ma richiedono lo sviluppo di macchine specifiche. Le fasi di rivoltamento e andanatura possono provocare l'inquinamento del prodotto con particelle di terreno determinando inconvenienti nella conversione energetica della biomassa. Il prodotto imballato può essere stoccato e conservato presso i centri aziendali o direttamente in campo. Questa modalità di raccolta permette di aumentare la massa volumica del prodotto riducendo i costi di trasporto e stoccaggio.

Per l'Arundo, inoltre, la raccolta è resa difficoltosa dal suo sviluppo rizomatoso, la coltura infatti emette diversi culmi che, nel corso degli anni, tendono ad invadere le interfile. La pianta può essere raccolta anche in epoca invernale con parziale essiccamento delle piante in campo, è quindi possibile intervenire con macchine che lavorano in successione o con cantieri riuniti.

Sviluppo di prototipi per la raccolta

Per eseguire la raccolta dell'Arundo è stato sviluppato, in collaborazione con la ditta Nobili S.r.l. (Bologna, Italia) un primo prototipo (Figura 1) che esegue il taglio, la sfibratura e l'andanatura della coltura. La macchina derivava da un trinciastocchi cui erano state apportate modifiche dimensionali e inseriti organi specifici per il taglio-sfibratura dei culmi di Arundo (Bentini *et al.*, 2008). La macchina presentava un cofano mobile azionato da cilindri idraulici, uno spartitore-abbattitore fisso che consentiva di piegare la pianta prima del taglio e un sistema di convogliamento per allineare il prodotto in andana (Tabella 1).

Successivamente è stato sviluppato un secondo prototipo per ottenere una macchina con maggiori prestazioni e che ha dato origine a un modello commerciale denominato *Biotrituratore RM280BIO* (Figura 2 e Tabella 2).

In successione, i principali organi della macchina sono:

- *Abbattitore-spartitore*: localizzato nella parte anteriore della macchina e azionato da cilindri idraulici, consente il parziale piegamento e convogliamento al centro della macchina delle piante.

- *Rullo abbattitore*: inserito anteriormente al cofano mobile, costituito da un rullo metallico folle che consente di ridurre gli attriti tra macchina e coltura e favorisce l'ingresso del prodotto nella camera di trincia-sfibratura.

Tabella 1. Caratteristiche tecniche del primo prototipo.

Parametro	Unità di misura	Valore
Massa	kg	605
Larghezza operativa	m	1,6
Larghezza massima	m	1,9
Presa di potenza	rad s ⁻¹	100
Larghezza rotore	m	1,6
Diametro rotore	mm	152
Ø esterno rotore (compr. coltelli)	mm	580
Rotazione	rad s ⁻¹	190
Supporti coltelli	n.	16
Coltelli	n.	32
File coltelli	n.	4

Tabella 2. Caratteristiche tecniche del *Biotrituratore RM280BIO*.

Parametro	Unità di misura	Valore
Massa	kg	1400
Larghezza operativa	m	2,8
Regime pdp	rad s ⁻¹	105
Rotore trinciatura		
Larghezza	m	2,8
Diametro	mm	219
Ø esterno rotore (compr. coltelli)	mm	647
Reg. rotazione	rad s ⁻¹	0-205
Supporti coltelli	n.	32
Coltelli	n.	64
File coltelli	n.	8
Coclea		
Larghezza	m	2,8
Diametro	mm	400
Reg. rotazione	rad s ⁻¹	0-50



Figura 1. Macchina per il taglio, sfibratura e andanatura dell'Arundo, primo prototipo.

- *Trinciatore*: costituito da un rotore ad asse orizzontale con 32 supporti su cui sono incernierati gli utensili.
- *Coltelli*: coppie di utensili conformati a Y.
- *Controcoltelli*: applicati internamente alla camera di trinciatura e costituiti da due profilati, il primo con sezione a U e il secondo con sezione ad L che intensificano l'azione sfibrante.
- *Coclee convogliatrici*: due coclee situate nella zona posteriore della camera di trinciatura consentono il convogliamento al centro del prodotto trinciato favorendone l'andanatura. Una valvola regolatrice di flusso permette di impostare la velocità di rotazione ($0-50 \text{ rad s}^{-1}$).
- *Rullo di appoggio*: la posizione della macchina rispetto al terreno è regolabile variando l'altezza di un rullo di appoggio posteriore.

I cantieri di raccolta

Per valutare le prestazioni del prototipo nella raccolta dell'Arundo sono stati confrontati due sistemi, il primo a cantieri separati che prevede due passaggi (taglio-sfibratura e imballatura) il secondo, a cantieri riuniti che effettua in un unico passaggio tutte le operazioni (Tabella 3).

In entrambi i sistemi di raccolta è stata utilizzata la seconda versione del prototipo e una imballatrice *Kuhn VB 2160* per balle cilindriche a camera variabile con legatura a rete.

Sono stati impiegati due trattori caratterizzati da diversa potenza nominale, *CNH T5060* 78 kW per la sola imballatura, *CNH T6090* per il taglio-sfibratura e per l'operazione a cantieri riuniti. Il trattore *CNH T6090* presentava un sistema di gestione della potenza EPMS (*Engine*

Power Management System) che consentiva di variare la potenza in funzione dello sforzo operativo in un range 121-147 kW, sufficiente a garantire l'energia adeguata alle operazioni da svolgere.

Sia nella raccolta a cantieri separati che a cantieri riuniti il *Biotrituratore* era collegato frontalmente all'attacco a tre punti del *CNH T6090* (Figura 3).

La raccolta è stata eseguita a fine febbraio quando la pianta era ancora in riposo vegetativo e presentava un contenuto di umidità pari al 41%, le rese medie ottenute sono coerenti con i valori riportati in bibliografia per le aree dell'Italia centro-settentrionale (Angelini *et al.*, 2005, 2009).

Le caratteristiche della coltura alla raccolta sono riepilogate in Tabella 4.

Aspetti tecnici

La capacità di lavoro dei sistemi di raccolta è stata valutata misurando i tempi durante le prove di campo ed applicando lo Standard ASAE EP496.3 (ASAE, 2007).

Sono stati ottenuti valori pari a 0,95 e 0,90 ha h^{-1} rispettivamente per le operazioni di taglio-sfibratura e imballatura del cantiere separato mentre il cantiere riunito ha evidenziato una capacità operativa inferiore e pari a 0,62 ha h^{-1} (Tabella 5). I fattori che hanno condizionato la capacità operativa del cantiere riunito sono riconducibili a una velocità leggermente inferiore rispetto al cantiere separato, in relazione al maggior impegno di potenza richiesto e a un minore rendimento di impiego condizionato sia dai tempi di legatura e scarico delle rotoballe che dai tempi di svolta più alti dovuti alla maggiore lunghezza del cantiere.

Le rotoballe, misurate e pesate in campo tramite dinamometro elet-

Tabella 3. Cantieri di raccolta.

Sistema di raccolta	Operazioni	Macchine
Singolo-passaggio	Taglio-sfibratura + imballatura	<i>Nobili RM280BIO + Kuhn VB2160 + CNH T6090</i>
Doppio-passaggio	Taglio-sfibratura Imballatura	<i>Nobili RM280BIO + CNH T6090</i> <i>Kuhn VB2160 + CNH T5060</i>



Figura 2. Macchina per il taglio, sfibratura e andanatura dell'Arundo, secondo prototipo *Biotrituratore RM280BIO*.

tronico, avevano un volume medio di 2,4 m³ (1,6x1,2 m), in Tabella 6 sono riportate le principali caratteristiche (massa, densità e umidità).

Aspetti economici

Il costo totale delle macchine impiegate è stato ottenuto dalla somma dei costi fissi e variabili ipotizzando un impiego da parte di un'azienda agricola o agro-meccanica che consenta il pieno utilizzo dei cantieri. Nell'analisi dei costi si è fatto riferimento agli standards ASAE D497.7, EP496.3 (ASAE, 2007, 2011). È stata ipotizzata una vita utile di 10 anni

per i trattori e un impiego medio annuo di 800 ore mentre per le macchine operatrici una vita utile di 5 anni con un impiego medio annuo di 200 ore. Il prezzo di acquisto è stato definito sulla base dei valori di listino scontati di una percentuale che tiene conto degli sconti medi praticati dai rivenditori in relazione alla tipologia di macchina. I costi orari dei cantieri sono stati determinati sommando quelli delle diverse macchine che costituiscono i cantieri di raccolta, nel computo non sono stati considerati i costi di movimentazione e di stoccaggio delle rotoballe (Tabella 7).

Il costo dell'operazione eseguita in un singolo passaggio è legger-

Tabella 4. Caratteristiche della coltura.

Parametro	Unità di misura	Valore
Età	anni	7
Densità	piante/m ²	15
Altezza media dei culmi	m	3,7
Umidità sul tal quale	%	41
Produzione (s.s.)	t/ha	20,1



Figura 3. Sistema di raccolta a cantiere riunito.

Tabella 5. Dati operativi per le due tipologie di raccolta.

	Cantiere riunito		Cantiere separato	
	Taglio-sfibratura + imballatura	Taglio-sfibratura	Taglio-sfibratura	Imballatura
Velocità, km h ⁻¹	4,00	4,50	4,50	5,00
Larghezza operativa, m	2,80	2,80	2,80	2,80
Rendimento d'impiego, η	0,55	0,75	0,75	0,64
Capacità operativa, ha h ⁻¹	0,62	0,95	0,95	0,90
Superficie annua dominabile, ha	123	189	189	179
Capacità operativa (s.t.q.), Mg h ⁻¹	21,1	32,2	32,2	28,4
Capacità operativa (s.s.), Mg h ⁻¹	12,6	19,0	19,0	18,0

Tabella 6. Caratteristiche delle rotoballe.

	Unità di misura	Singolo passaggio	Doppio passaggio
Massa	kg	380	407
Densità (s.t.q.)	kg m ⁻³	158	170
Densità (s.s.)	kg m ⁻³	105	100
Umidità	%	41	34

Tabella 7. Parametri economici.

		CNH T5060	CNH T6090	Nobili RM280BIO	Kuhn VB2160
Prezzo acquisto	€	44000	84000	7500	24000
Vita utile	h	8000	8000	1000	1000
Utilizzo annuo	h	800	800	200	200

Tabella 8. Costi di esercizio dei due sistemi di raccolta.

Sistema di raccolta	Operazioni	Cantiere	Costo (€ha ⁻¹)
Singolo-passaggio	Taglio + imballatura	Nobili RM280BIO + Kuhn VB2160 + CNH T6090	233,4
Doppio-passaggio	Taglio	Nobili RM280BIO + CNH T6090	65,4
	Imballatura	Kuhn VB2160 + CNH T5060	143,8
Totale			209,2



Figura 4. Fase di scarico della rotoimballatrice.

mente superiore ($24,2 \text{ € ha}^{-1}$) rispetto alla raccolta in due fasi, dove il 68% del costo complessivo è dovuto alla imballatura (Tabella 8). Il costo di raccolta riferito all'unità di biomassa secca è $10,5 \text{ € Mg}^{-1}$ per la raccolta in due fasi e $11,6 \text{ € Mg}^{-1}$ per quella in un unico passaggio.

Il minor costo del cantiere separato è ascrivibile alla maggiore capacità operativa delle macchine usate singolarmente rispetto a quella delle macchine combinate.

Conclusioni

La macchina ha dimostrato di eseguire in maniera adeguata la raccolta dell'Arundo sia nella modalità in due fasi che in un unico passaggio anche se la distribuzione irregolare della coltura in campo, combinata all'elevata resistenza al taglio dei culmi, limita a $4,5 \text{ km h}^{-1}$ la velocità del prototipo.

Il costo complessivo di raccolta è leggermente inferiore nel sistema a cantieri separati rispetto al sistema in un unico passaggio in quanto, in questo ultimo caso, il cantiere procede alla velocità della macchina più lenta, ossia è la rotoimballatrice che condiziona l'efficienza del cantiere. Nel cantiere di raccolta in due fasi, i maggiori costi dovuti al lavoro e ai consumi di carburante sono più che compensati dal beneficio derivante dall'incremento della capacità di lavoro.

L'imballatura si conferma, quindi, come l'operazione che maggiormente influenza i costi di raccolta incidendo per circa il 60-70% del costo totale. Tuttavia è necessario considerare che, nell'ottica di un bilancio complessivo che tenga conto anche degli aspetti logistici della biomassa, l'imballatura consente di ridurre i costi di trasporto e stoccaggio rispetto alla falcia-trinciatura della biomassa che richiede un successivo insilamento del prodotto sfuso (Sokhansanj *et al.*, 2009).

Il prototipo descritto può essere impiegato anche su altre colture a destinazione energetica quali il sorgo e il panico, e presenta una versatilità di impiego che, congiuntamente al prezzo di acquisto contenuto della macchina, consente di limitare i costi complessivi di gestione. In bibliografia non sono disponibili studi che analizzano il costo di raccolta dell'Arundo considerando misure dirette di campo, diversamente sono riportati studi basati su modelli di simulazione che effettuano un'analisi economica preliminare (Soldatos *et al.*, 2004). Confrontando il costo di raccolta dell'Arundo con quello di altre colture erbacee a destinazione energetica (panico e sorgo) il costo, riferito all'unità di

biomassa, che deriva dal presente studio, appare confrontabile rispetto a quello ottenuto da altri Autori (Cundiff e Marsh, 1996; Thorsell *et al.*, 2004).

Dal punto di vista tecnico ed economico il sistema di raccolta si dimostra quindi adeguato per le aree agricole tipiche dell'Italia centro-settentrionale caratterizzate da una superficie media aziendale di poco superiore a 10 ha (ISTAT, 2011).

Qualora la coltivazione dell'Arundo si diffonda su ampie superfici, si può ipotizzare la progettazione di una macchina semovente che invii direttamente il prodotto dalla testata falcia-sfibratrice al sistema di imballatura senza contatti con il suolo. Questa soluzione consentirebbe di ridurre sia le perdite di biomassa che l'inquinamento del prodotto con particelle di terreno che macchine separate inevitabilmente determinano.

Bibliografia

- Angelini L, Ceccarini L, Bonari E, 2005. Biomass yield and energy balance of giant reed (*Arundo donax* L.) cropped in central Italy as related to different management practices. *Eur. J. Agron.* 22:375-89.
- Angelini LG, Ceccarini L, Nasso N, Di Nasso N, Bonari E, 2009. Comparison of *Arundo donax* L. and *Miscanthus x giganteus* in a long-term field experiment in Central Italy: analysis of productive characteristics and energy balance. *Biomass Bioenerg.* 33:635-43.
- ASAE, 2007. Agricultural machinery management. Standard ASAE EP496.3. February 2007. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI, USA.
- ASAE, 2011. Agricultural Machinery Management Data. Standard ASAE D497.7. March 2011. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI, USA.
- Bentini M, Caliceti M, Zucchelli M, 2008. Development of a prototype implement for *Arundo donax* harvesting for combustion purpose. pp 523-6 in Proc. 16th Eur. Biomass Conf. Exhib. 'From research to industry and markets', Valencia, Spain.
- Berndes G, Hoogwijk M, van den Broek R, 2003. The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass Bioenerg.* 25:1-28.
- Bringezu S, O'Brien M, Schütz H, 2012. Beyond biofuels: Assessing global land use for domestic consumption of biomass: a conceptual and empirical contribution to sustainable management of global resources. *Land Use Policy* 29:224-32.
- Cosentino SL, Copani V, Patanè C, Mantineo M, D'Agosta GM, 2008. Agronomic, energetic and environmental aspects of biomass energy crops suitable for Italian environments. *Ital. J. Agron.* 3:81-95.
- Cundiff JS, Marsh LS, 1996. Harvest and storage costs for bales of switchgrass in the southeastern United States. *Bioresour. Technol.* 56:95-101.
- Ericsson K, Nilsson LJ, 2006. Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass Bioenerg.* 30:1-15.
- ISTAT, 2011. Istituto nazionale di statistica, VI Censimento generale dell'agricoltura. Available from: <http://www.istat.it/it/censimento-agricoltura/agricoltura-2010>
- Jäger-Waldau A, Szabó M, Monforti-Ferrario F, Bloem H, Huld T, Lacal Arantegui R, 2011. Renewable Energy Snapshots 2011. JRC Report. Available from: http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/2011_renewable_energy_snapshots.pdf
- JRC EC, 2011. Technology map of the European strategic energy technology plan (SET-Plan) technology descriptions. Joint Research Centre – European Commission, Luxembourg. Available

- from: http://ec.europa.eu/dgs/jrc/index.cfm?id=1410&obj_id=14620&dt_code=NWS&lang=en
- Monti A, Fazio S, Venturi G, 2009. The discrepancy between plot and field yields: Harvest and storage losses of switchgrass. *Biomass Bioenerg.* 33:841-7.
- Nasso N, Roncucci N, Triana F, Tozzini C, Bonari E, 2011a. Productivity of giant reed (*Arundo donax* L.) and miscanthus (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deuter) as energy crops: growth analysis. *Ital. J. Agron.* 6:141-7.
- Nasso N, Roncucci N, Triana F, Tozzini C, Bonari E, 2011b. Seasonal nutrient dynamics and biomass quality of giant reed (*Arundo donax* L.) and miscanthus (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deuter) as energy crops. *Ital. J. Agron.* 6:152-8.
- Sokhansanj S, Mani S, Turhollow A, Kumar A, Bransby D, Lynd L, Laser M, 2009. Large-scale production, harvest and logistics of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) -current technology and envisioning a mature technology. *Biofuel. Bioprod. Bior.* 3:124-41.
- Soldatos P, Lychnaras V, Asimakis D, Christou M, 2004. BEE - Biomass Economic Evaluation: a model for the economic analysis of biomass cultivation. Proc. the 2nd World Conf. Technol. Exhib. on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Rome, Italy.
- Thorsell S, Epplin FM, Huhnke RL, Taliaferro CM, 2004. Economics of a coordinated biorefinery feedstock harvest system: lignocellulosic biomass harvest cost. *Biomass Bioenerg.* 27:327-37.
- Venturi P, Venturi G, 2003. Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. *Biomass Bioenerg.* 25:235-55.
- Yitao L, Qingxi L, Boping T, Caixia S, Jing W, Aili M, 2007. Experimental research on the mechanical physical parameters of bottom stalk of the *Arundo donax* L. in harvesting period. *Trans. Chinese Soc. Agric. Eng.* 23:124-9.

Non-commercial use only