





读书报告

 吉伟利

 2018-08-18





ELSEVIER

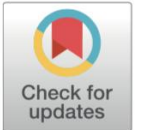
Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Bioresource Technology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/biortech



The composition of accessory enzymes of *Penicillium chrysogenum* P33 revealed by secretome and synergistic effects with commercial cellulase on lignocellulose hydrolysis



Yi Yang^a, Jinshui Yang^a, Jiawen Liu^a, Ruonan Wang^a, Liang Liu^a, Fengqin Wang^b, Hongli Yuan^{a,*}

^a State Key Laboratory of Agrobiotechnology, College of Biological Sciences, China Agricultural University, Beijing, China

^b College of Life Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou, China

通过分泌蛋白和商业纤维素酶对木质纤维素水解的协同作用揭示了
Penicillium chrysogenum P33的辅助酶的组成

Bioresour
Technol.2018
257():54-61

CiteScore:
5.94
[查看更多](#)

中科院大类
分区:
工程技术 1
区
[查看更多](#)



论文主要内容



第一部分

前言



第二部分

材料与amp;方法



第三部分

结果与amp;讨论



第四部分

结论





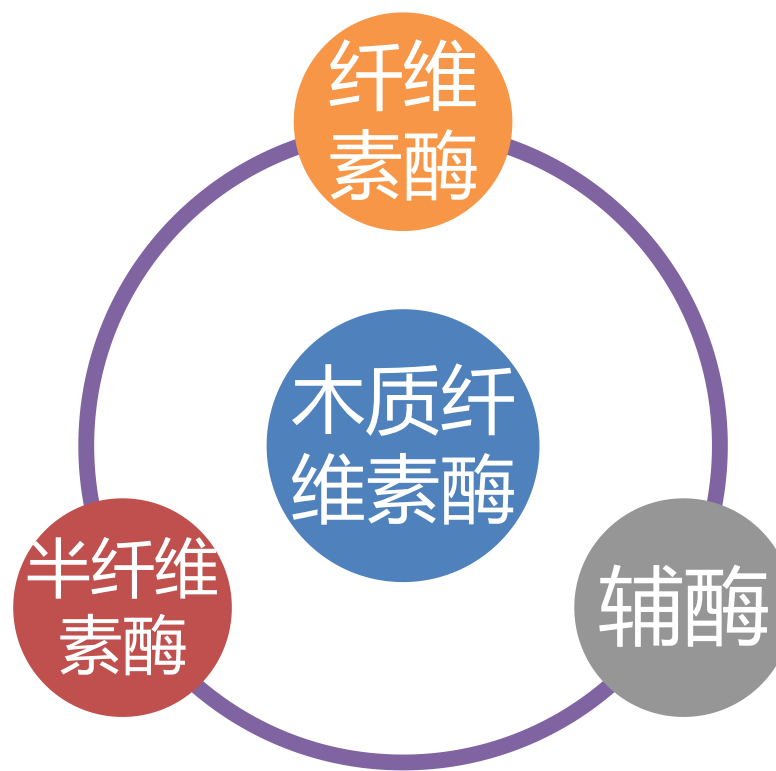
Introduction



Introduction



木质纤维素

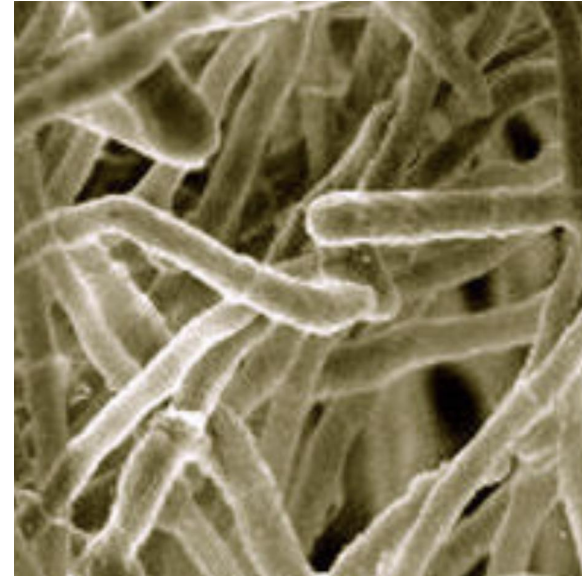




Introduction



真菌在分泌多种碳水化合物降解酶中起主要作用



里氏木霉



瓶颈：

低酶水解效率

高酶成本

办法：

研究不同酶之间的协

同作用机制

半纤维素通常存在于纤维素纤维外表面并具有较高的浓度，也通过纤维孔扩散到纤维间空间

有人提出，木聚糖在每个纤维素微纤维上形成一个鞘

Hu, J., Arantes, V., Saddler, J.N., 2011. The enhancement of enzymatic hydrolysis of lignocellulosic substrates by the addition of accessory enzymes such as xylanase: is it an additive or synergistic effect? Biotechnol. Biofuels 4, 36.



Introduction

之前:

里氏木霉和黑曲霉产生的酶混合物中的半纤维素酶含量较低, 水解效率也较低

最近:

来自青霉属物种的细胞外酶比木霉属的纤维素酶表现更好

such as

P. echinulatum,

P. purpurogenum

P. oxalicum

P. funiculosum



它们在不同木质纤维素底物的诱导下产生木聚糖酶, 木糖苷酶, 阿拉伯呋喃糖苷酶和酯酶



Introduction

然而，尚未确定这些酶在分泌蛋白组中的活性，

并且仅在某些青霉菌菌株中发现其他半纤维素降解酶如半乳糖苷酶和甘露糖苷酶，但尚未报道葡聚糖酶。此外，尚未探索这些酶混合物对商业纤维素酶的协同作用。

*P.chrysogenum*产生各种纤维素分解酶，包括半纤维素酶，如乙酰木聚糖酯酶，阿拉伯呋喃糖苷酶，木聚糖酶和甘露聚糖酶。

其基因组包括编码完整纤维素酶和许多半纤维素酶的基因。然而，目前，在木质纤维素诱导下由 *P.chrysogenum*分泌的酶仍然未知。

全面了解分泌蛋白组的组成可以帮助在细胞外开发有效的纤维素分解酶的混合物。



Introduction

我们以前分离了 *P.chrysogenum* P33 菌株，该菌株有效地水解木质纤维素底物，并分泌许多新的双功能半纤维素降解酶

本研究的目的是在纤维素诱导下鉴定 *P.chrysogenum* P33 中潜在的重要酶，并研究该菌株产生的酶和商业纤维素酶之间对木质纤维素生物质水解的协同作用。

更深入地了解了 *P.chrysogenum* P33 中的辅助酶，以及它们与商业纤维素酶协同作用的潜力。



Materials and methods





菌株

P. chrysogenum P33

保藏号: CGMCC 3.15539

储存: 4°C下储存在马铃薯葡萄糖琼脂 (PDA)

斜面上

菌株的生长

该菌株生长在改良的Mandels盐溶液中

Mandels盐溶液的组成如下 (g L⁻¹) :

3.0	KH ₂ PO ₄ ,
2.6	NaNO ₃ ,
0.5	尿素,
0.5	MgSO ₄ ·7H ₂ O,
0.5	CaCl ₂ ,
0.0075	FeSO ₄ ·7H ₂ O,
0.0025	MnSO ₄ ·H ₂ O,
0.0036	ZnSO ₄ ·7H ₂ O,
0.0037	CoCl ₂ ·6H ₂ O
1.0	蛋白胨

碳源 (浓度均为1% (w / v))

微晶纤维素加麦麸

去皮麦麸

玉米秸秆

甘蔗渣

麦麸

微晶纤维素

芒草

柳枝稷

微晶纤维素和去壳麦麸

菊芋

甘蔗



细胞外蛋白质组分析

将培养6天后获得的培养物提取物离心并通过12%十二烷基硫酸钠 - 聚丙烯酰胺凝胶电泳 (SDS-PAGE) 在120V下分离。

将其分成五个级分，切下凝胶条带，进行胰蛋白酶消化，

使用Mascot Distiller 2.5对原始数据进行预处理以进行峰采摘，并使用Mascot搜索引擎的UniProt数据库搜索所得峰。

对于每种鉴定的蛋白质使用ExPASy中的Compute pI / Mw工具评估理论**等电点 (pI)** 和**分子量 (Mw)** SignalP工具 (<http://www.cbs.dtu.dk/services/SignalP/>) 用于预测已鉴定蛋白质中的**信号肽**

对每组进行三次生物学重复



Materials and methods

通过二硝基水杨酸 (DNS) 测定

内切葡聚糖酶	羧甲基纤维素
木聚糖酶	山毛榉木聚糖
微晶纤维素酶	微晶纤维素
甘露聚糖酶	槐树豆胶
果胶酶	半乳糖醛酸
淀粉酶活性	可溶性淀粉

通过分光光度法测定

对硝基苯基乙酸酯 (pNPA)	酯酶活性
对硝基苯基- β -D-吡喃葡萄糖苷 (pNPG)	β -葡萄糖苷酶
对硝基苯基- β -D-吡喃木糖苷 (pNPX)	β -木糖苷酶
对硝基苯基- α -L-阿拉伯呋喃糖苷 (pNPAF)	α -L-阿拉伯呋喃糖苷酶

使用Bradford Protein Assay Kit根据制造商的说明书测定**蛋白质浓度**



酶水解

在酶水解之前，所有木质纤维素生物质都用亚氯酸钠脱木质素。

测定去木质素底物的化学组成，如表1所示。



Pennisetum sinense 皇竹草



Triarrhena lutarioriparia 平节荻



Miscanthus 芒属

Table 1

Chemical composition of delignified lignocellulosic substrates.

Substrates	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignin (%)
Corn stover	45.96 ± 0.55	23.09 ± 0.40	9.93 ± 1.16
<i>Pennisetum sinense</i>	52.89 ± 1.61	25.01 ± 0.79	9.10 ± 0.17
<i>Triarrhena lutarioriparia</i>	49.62 ± 1.79	22.06 ± 0.94	14.57 ± 0.69
Miscanthus	49.64 ± 0.46	26.46 ± 0.36	8.10 ± 0.91
Wheat straw	45.59 ± 1.26	26.65 ± 0.50	9.22 ± 0.75

Values shown are the mean of three replicates.



Materials and methods

来自 *T.longibrachiatum* 的纤维素酶用作**商业纤维素酶**

水解反应在50mM柠檬酸钠缓冲液 (pH5.0) 中含有2% (w / v) 底物的2mL总体积在37°C空气浴中以200rpm振荡进行。

使用不同量的P33酶混合物 (1至8mg/g底物)

商业纤维素酶 (5mg/g底物) 用于水解脱木质素玉米秸秆。

用P33酶混合物替换不同量的商业纤维素酶, 同时将总蛋白质剂量固定在10mg/g

仅含有底物或酶的处理用作空白对照。

水解一段确定的时间后, 将样品在100°C加热30分钟以终止反应。通过以12,000rpm离心10分钟收集上清液。

通过DNS方法测定总还原糖的含量。



Results and discussion





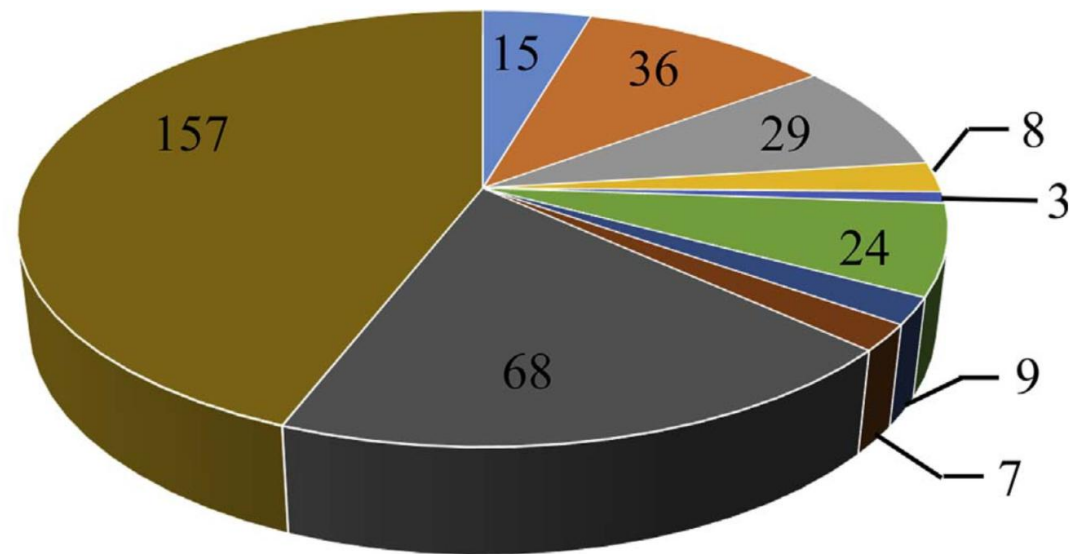
Results and discussion

麦麸加微晶纤维素是诱导木质纤维素分解酶产生的最佳碳源 (数据未显示)

培养上清液中
木聚糖酶活性在培养期间迅速增加
第二天达到峰值7.58U / mL
保持高活性至第六天 (6.54U / mL)

内切葡聚糖酶活性前五天低
第六天增加并达到峰值162.06 U / L.

孵育第6天后，木聚糖酶和内切葡聚糖酶的活性均下降，因此选择第6天的上清液进行分泌蛋白质分析



- Cellulose hydrolysis
- Proteases/Peptidases
- Chitin degradation
- Pectin degradation
- Hypothetical proteins
- Hemicellulose hydrolysis
- Lipid metabolism
- Oxidases/Reductases
- Starch degradation
- Other

纤维素降解 (4.2%)
 半纤维素酶 (10.1%)
 蛋白酶和肽酶 (8.1%)
 脂肪酶 (2.2%)
 几丁质降解 (0.8%)
 果胶降解 (2.5%)
 淀粉降解 (2.0%)

Fig. 1. Functional classification of proteins secreted by *Penicillium chrysogenum* P33.



Results and discussion

Table 2

Cellulose-degrading proteins identified in the secretome of *P. chrysogenum* P33.

Accession No. ^a	Family ^b	Predicted Protein ^a	AAs ^c	emPAI ^d	Mw ^e	pI ^f	SignalP ^g
B6HE71	GH7 CBM1	Cellobiohydrolase	529	4.09	57,071	4.7	Y
B6H8F7	GH6	Cellobiohydrolase 纤维二糖水解酶	391	1.26	41,392	4.74	Y
B6HC69	GH7	Cellobiohydrolase	455	0.29	49,165	4.31	Y
B6HI44	CBM-X2	Endoglucanase 内切葡聚糖酶	574	0.85	61,817	4.6	N
B6HVQ6	GH1 CBM1	Endo-1,4- β -glucanase	483	0.91	51,902	4.67	Y
B6HCI5	GH5	Endo-1,4- β -glucanase	332	1	36,455	4.5	Y
B6HE68	CBM1	Endoglucanase	402	0.34	43,279	5	Y
B6H8I9	GH12	Endoglucanase	238	1.64	25,883	4.54	Y
B6HCL5	GH3	β -glucosidase	865	2.82	94,665	4.83	Y
B6HVA8	GH3	β -glucosidase β -葡糖苷酶	781	2.81	85,490	4.88	Y
B6HFL8	GH3	β -glucosidase	736	0.92	77,891	4.78	Y
B6GWV4	GH3	β -glucosidase	869	0.57	94,062	5.28	Y

^a Accession numbers and predicted proteins were obtained from the NCBI database (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>).

^b Family information was obtained from the carbohydrate-active enzyme database (CAZy: <http://www.cazy.org/>).

^c Number of amino acids.

^d Exponentially modified protein abundance index.

^e Molecular weight.

^f Isoelectric point.

^g Prediction of signal peptides was performed by SignalP (<http://www.cbs.dtu.dk/services/SignalP/>).

在*P.chrysogenum* P33的分泌蛋白组中鉴定了完整的纤维素分解酶系统，五种葡聚糖酶（GH1，GH5和GH12类）三种纤维二糖水解酶（GH6和GH7）四种 β -葡糖苷酶（GH3）



Results and dis

在*P.chrysogenum* P33分泌蛋白组中，半纤维素酶比纤维素酶更丰富

三种木聚糖酶（两种GH10和一种GH11）
三种木糖苷酶（GH3和GH43）
两种木葡聚糖酶（GH12）
八种阿拉伯呋喃糖苷酶（GH43, GH62和GH127）
三种半乳糖苷酶（GH27, GH35和GH36）
五种甘露糖苷酶（GH1, GH2和GH76）
占总蛋白质的10.1%

Table 3

Hemicellulose-degrading proteins identified in the secretome of *P. chrysogenum* P33.

Accession No. ^a	Family ^b	Predicted Protein ^a	AAs ^c	emPAI ^d	Mw ^e	pI ^f	SignalP ^g
B6GYT7	GH11	Endo-1,4-β-xylanase	216	3.2	23,361	7.75	Y
B6HDC7	GH10	Endo-1,4-β-xylanase	331	7.36	35,578	4.9	Y
B6HPJ6	GH10 CBM1	Endo-1,4-β-xylanase	396	3.86	42,655	6.22	Y
B6HIR6	GH3	β-xylosidase	791	3.19	85,638	4.75	N
B6GW09	GH43	β-xylosidase	325	1.86	35,991	4.51	Y
B6HI38	GH43	β-xylosidase	512	0.08	57,892	5	N
B6H7Y5	GH12	Xyloglucanase	245	3.14	26,515	4.66	Y
B6HDE0	GH12	Xyloglucanase	334	0.12	36,301	4.37	Y
B6HIL7	GH27	α-galactosidase	436	1.37	48,889	4.71	N
B6HKN2	GH36	α-galactosidase	746	1.41	81,911	5.13	N
B6GW04	GH35	β-galactosidase	1011	0.08	111,873	5.01	Y
B6HW29	GH54 CBM42	α-L-arabinofuranosidase	506	2.88	52,914	5.8	Y
B6HDC8	GH62	α-L-arabinofuranosidase	329	2.25	35,599	5.04	Y
B6GXJ3	GH51	α-L-arabinofuranosidase	635	3.05	69,441	4.72	Y
B6HCV0	GH43	Arabinosidase	333	0.59	36,287	4.45	Y
B6H102	GH43	Endo-1,5-α-L-arabinosidase	325	1.26	36,060	6.19	Y
B6GZL3	GH43	Endo-1,5-α-L-arabinosidase	320	0.27	34,658	4.29	Y
B6H2Z7	GH43	Endo-1,5-α-L-arabinosidase	320	0.28	34,331	5.53	Y
B6H4B2	GH127	β-L-arabinofuranosidase	627	2.14	70,192	4.96	Y
B6GXM2	GH1	Endo-1,4-β-mannosidase	368	0.68	40,599	4.34	Y
B6HHJ3	GH1	Endo-1,4-β-mannosidase	405	0.77	44,453	5.4	N
B6H7F7	GH2	β-mannosidase	845	0.04	96,674	5.18	N
B6HNS9	GH1	Endo-1,4-β-mannosidase	425	1.07	46,256	4.57	N
B6HU84	GH76	α-1,6-mannosidase	464	0.09	51,299	4.92	Y
B6HG03	CE1	Carboxylesterase	267	1.85	27,925	5.55	Y
B6HJT6	CE10	Carboxylesterase	537	0.66	58,414	5.88	N
B6HPH0	CE10	Carboxylesterase	557	0.62	61,163	6.5	Y
B6HRN5		Carboxylesterase	388	0.35	42,353	7.17	Y
B6H2R5	CE10	Carboxylesterase	553	0.07	61,101	5.22	Y
B6HCX0	CE10	Carboxylesterase	672	0.06	74,489	5.19	Y
B6GWP9	CE10	Carboxylesterase	540	0.07	59,242	4.57	Y
B6GXZ9		Carboxylesterase	527	1.56	58,435	5.44	Y
B6HAD0	CE5	Carboxylesterase	235	1	24,150	5.23	Y
B6H2H0		Carboxylesterase	367	0.11	40,377	5.91	Y
B6HGL6	CE3	Carboxylesterase	229	2.25	24,851	4.75	Y
B6H271	CE2	Carboxylesterase	379	0.1	43,303	5.81	Y

^a Accession numbers and predicted proteins were obtained from the NCBI database (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>).

^b Family information was obtained from the carbohydrate-active enzyme database (CAZy: <http://www.cazy.org/>).

^c Numbers of amino acids.

^d Exponentially modified protein abundance index.

^e Molecular weight.

^f Isoelectric point.

^g Prediction of signal peptides was performed using SignalP (<http://www.cbs.dtu.dk/services/SignalP/>).



Results and discussion

在*P.chrysogenum* P33分泌蛋白组中鉴定出12个**羧酸酯酶**

在*P.chrysogenum* P33分泌蛋白组中鉴定出12个羧酸酯酶，
占总蛋白质的3.4%。

半纤维素降解需要主链和侧链降解酶的组合
半纤维素通常用乙酸部分酯化
水解酯的羧酸酯酶是重要的辅助酶成分

P.echinulatum, 六种

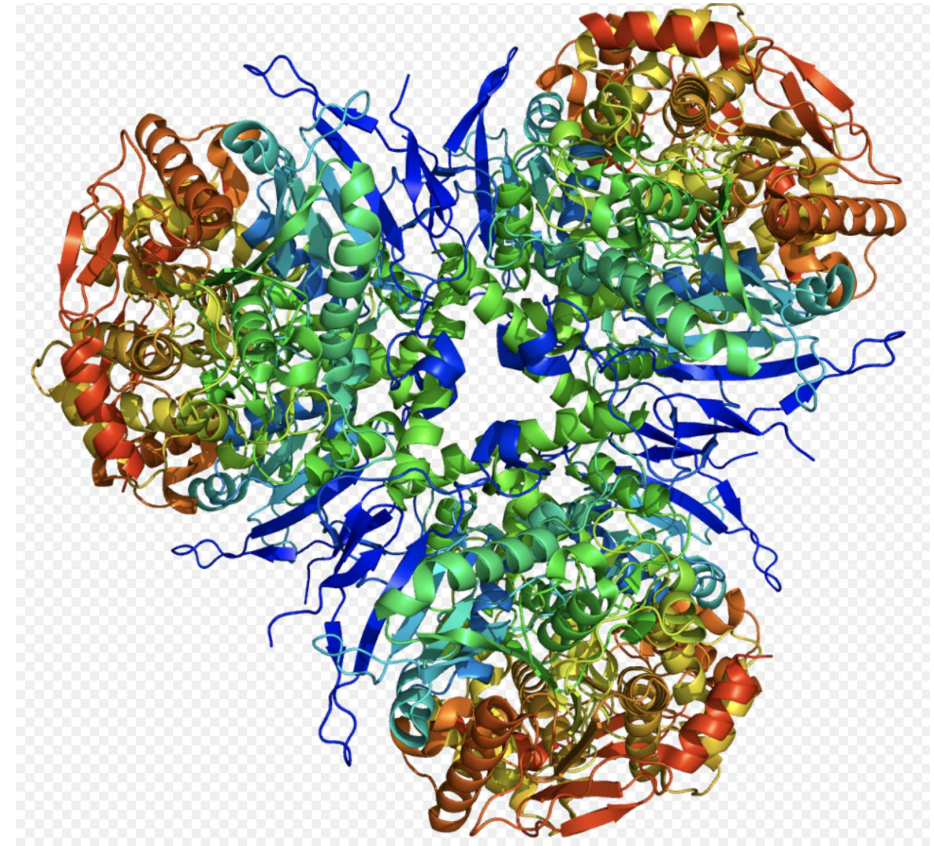
P.funiculosum, 七种

P.decumbens, 八种

*P.oxalicum*114-2, 四种

有效地降解木质纤维素并分别分泌羧酸酯酶

迄今为止报道，P33在青霉菌属中分泌最多数量的羧酸酯酶。





Results and discussion

果胶是植物细胞壁的重要组成部分
具有与纤维素相关的复杂结构
并且需要多种酶来降解果胶。

P33产生四种**果胶酶**，多聚半乳糖醛酸酶，鼠李半乳糖醛酸裂解酶，鼠李半乳糖醛酸乙酰酯酶，外切阿拉伯聚糖酶和内阿拉伯聚糖酶。

先前发现用果胶酶补充 *T. harzianum* P49P11 酶提取物可增强预处理甘蔗渣的糖化

P33分泌了许多与淀粉降解相关的酶，
包括三种 α -**淀粉酶**和四种葡萄糖淀粉酶（GH15和GH31）

淀粉酶在木质纤维素降解中的直接作用尚未得到证实。
淀粉酶被认为在木质纤维素降解中起重要作用，但这一假设需要进一步研究。

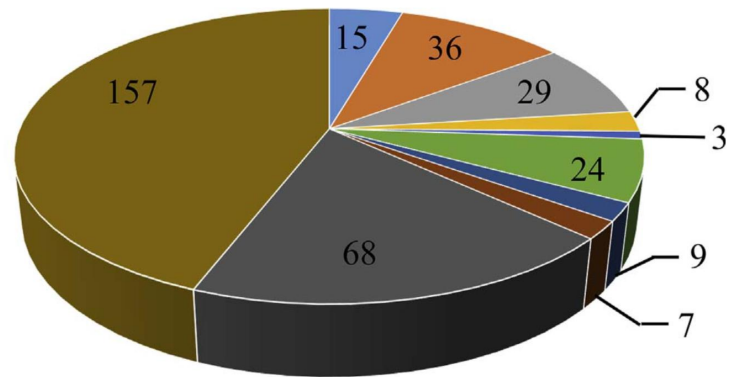




Results and discussion

非溶解性蛋白质如**裂解多糖单加氧酶 (LPMOs)** lytic polysaccharide monooxygenases (LPMOs)

这些酶可以分解纤维素的结构，从而增强纤维素酶对一系列木质纤维素底物的水解性能
在*P.chrysogenum* P33分泌蛋白组中检测到三种LPMO，其可能对P33酶混合物的水解潜力具有正面影响。



- Cellulose hydrolysis
- Proteases/Peptidases
- Chitin degradation
- Pectin degradation
- Hypothetical proteins
- Hemicellulose hydrolysis
- Lipid metabolism
- Oxidases/Reductases
- Starch degradation
- Other

Fig. 1. Functional classification of proteins secreted by *Penicillium chrysogenum* P33.

在*P.chrysogenum* P33分泌蛋白组中未检测到**木质素降解酶**

如木质素过氧化物酶，锰过氧化物酶和漆酶。然而，检测到24种预测可能参与木质素降解的氧化还原酶，其占总蛋白质的6.7%。

这些氧化还原酶可以通过Fenton化学产生 H_2O_2 以改性木质纤维素。此外，P33产生了大量假设的蛋白质（19.1%），可以在木质纤维素降解中发挥重要作用。



为了验证分泌蛋白组，测定P33酶混合物的特定活性，并与来自 *T.longibrachiatum* 的商业纤维素酶进行比较

在内切葡聚糖酶，纤维二糖水解酶和β-葡糖苷酶测定中测量的P33酶混合物的纤维素酶活性**低于商业纤维素酶**

然而，P33酶混合物显示出更高的半纤维素酶活性。**高于商业纤维素酶**
P33酶混合物的

木聚糖酶	5.6倍
β-木糖苷酶	2.2倍
酯酶	6.7倍
α-L-阿拉伯呋喃糖苷酶	10.3倍
果胶酸裂解酶	5.6倍
甘露聚糖酶	1.2倍
淀粉酶	51.7倍

进一步验证了分泌蛋白的结果



Results and discussion

当P33酶混合物的加载量

1mg/g → 5mg/g

6.59mg/mL → 11.22mg / mL

21.4% → 106.8%

在4小时观察到最高程度的协同作用

推测：在酶水解的初始阶段，协同效应可能与P33酶混合物的半纤维素降解有关，这促进了纤维素的后续水解

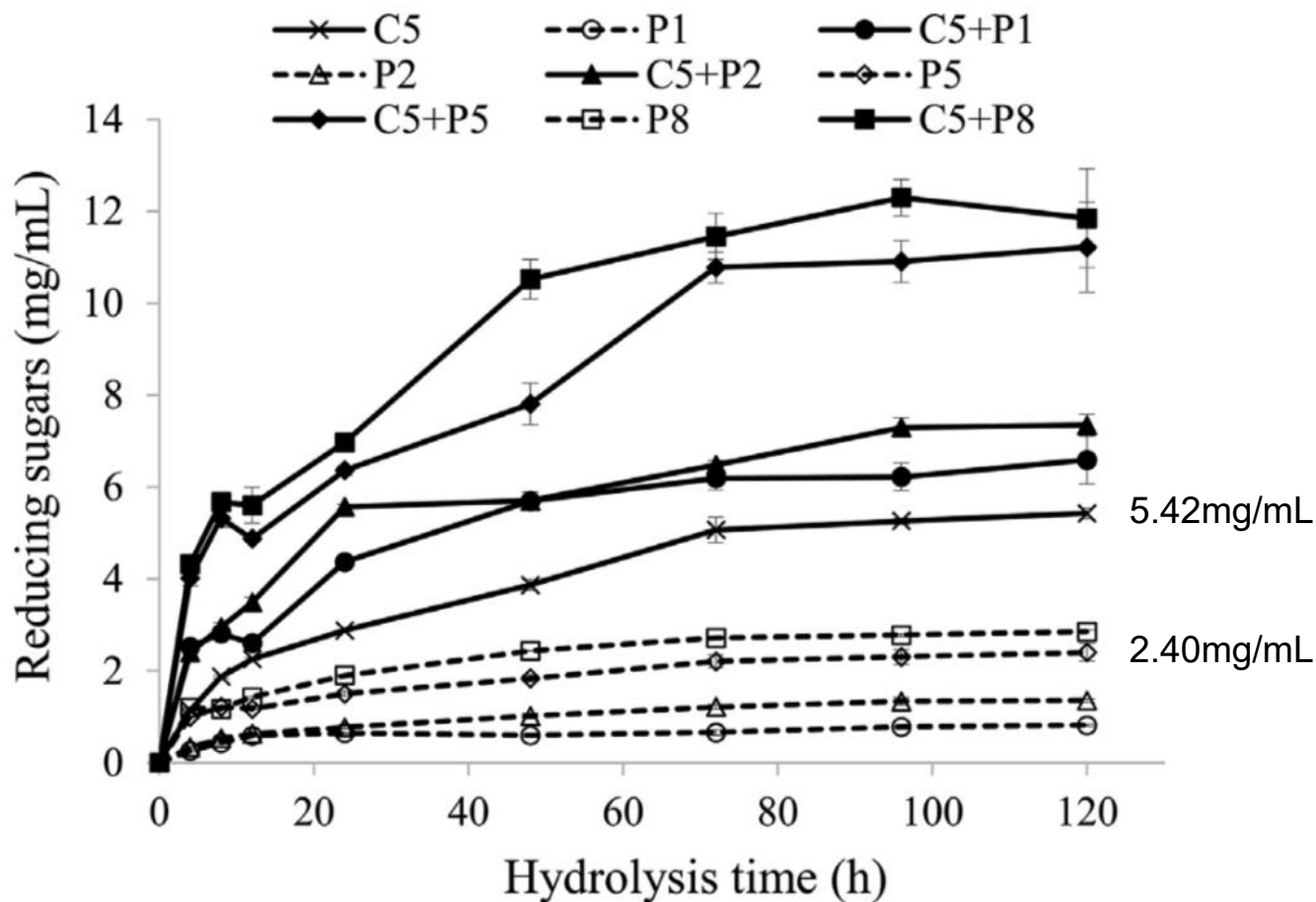


Fig. 2. Release of reducing sugars from delignified corn stover by *P. chrysogenum* P33 enzyme cocktail and a commercial cellulase. C5 = commercial cellulase at 5 mg/g substrate; P1, P2, P5 and P8 = P33 enzyme cocktail at 1, 2, 5 and 8 mg/g substrate. Values are the mean of three replicates, and error bars indicate standard deviations from the mean values.



Results and discussion

Table 4

Hydrolysis of delignified corn stover by commercial cellulase (C) and *P. chrysogenum* P33 enzyme cocktail (P).

Enzyme mixture	Reducing sugars (mg/mL)				
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
C10	4.29 ± 0.13	5.41 ± 0.10	6.04 ± 0.17	6.23 ± 0.39	6.28 ± 0.11
C8	3.86 ± 0.04	4.95 ± 0.11	5.67 ± 0.01	5.77 ± 0.09	5.94 ± 0.04
C6	3.52 ± 0.16	4.64 ± 0.26	5.36 ± 0.38	5.49 ± 0.59	5.52 ± 0.40
C5	2.88 ± 0.01	3.87 ± 0.11	5.06 ± 0.28	5.26 ± 0.07	5.42 ± 0.12
C4	2.50 ± 0.10	3.56 ± 0.10	4.34 ± 0.15	4.58 ± 0.03	5.03 ± 0.16
C2	1.59 ± 0.03	2.46 ± 0.03	3.13 ± 0.04	3.46 ± 0.14	3.83 ± 0.08
P10	2.22 ± 0.07	2.67 ± 0.07	3.05 ± 0.04	2.94 ± 0.06	3.05 ± 0.03
P8	1.90 ± 0.04	2.43 ± 0.02	2.72 ± 0.01	2.78 ± 0.02	2.85 ± 0.03
P6	1.63 ± 0.10	2.08 ± 0.11	2.43 ± 0.11	2.44 ± 0.15	2.55 ± 0.10
P5	1.50 ± 0.06	1.83 ± 0.08	2.20 ± 0.14	2.30 ± 0.17	2.40 ± 0.20
P4	1.30 ± 0.05	1.64 ± 0.09	1.90 ± 0.10	1.95 ± 0.11	2.02 ± 0.09
P2	0.77 ± 0.03	1.02 ± 0.06	1.21 ± 0.05	1.33 ± 0.08	1.35 ± 0.04
C8 + P2	5.28 ± 0.13	6.30 ± 0.18	6.81 ± 0.18	7.10 ± 0.19	7.11 ± 0.03
C6 + P4	5.63 ± 0.14	6.52 ± 0.14	7.04 ± 0.12	7.55 ± 0.29	7.61 ± 0.21
C5 + P5	6.36 ± 0.11	7.80 ± 0.45	10.77 ± 0.34	10.90 ± 0.46	11.22 ± 0.98
C4 + P6	5.60 ± 0.05	6.43 ± 0.15	6.92 ± 0.13	7.19 ± 0.33	7.30 ± 0.15
C2 + P8	5.16 ± 0.12	5.95 ± 0.11	6.48 ± 0.08	6.74 ± 0.29	6.52 ± 0.12

Values shown are the mean of three replicates.

C10 \Rightarrow C5+P5 78.6%





Results and discussion

通过高效液相色谱 (HPLC) 测定还原糖中葡萄糖和木糖的含量，并计算葡聚糖和木聚糖转化率

与这些先前的研究相比，P33酶混合物增强商业纤维素酶活性的能力显著优于这些木聚糖酶，进一步表明P33酶混合物含有丰富的半纤维素酶

	葡聚糖	木聚糖
C10	60.98%	21.12%
C5+P5	83.63%	43.63%
	37% ↑	106% ↑

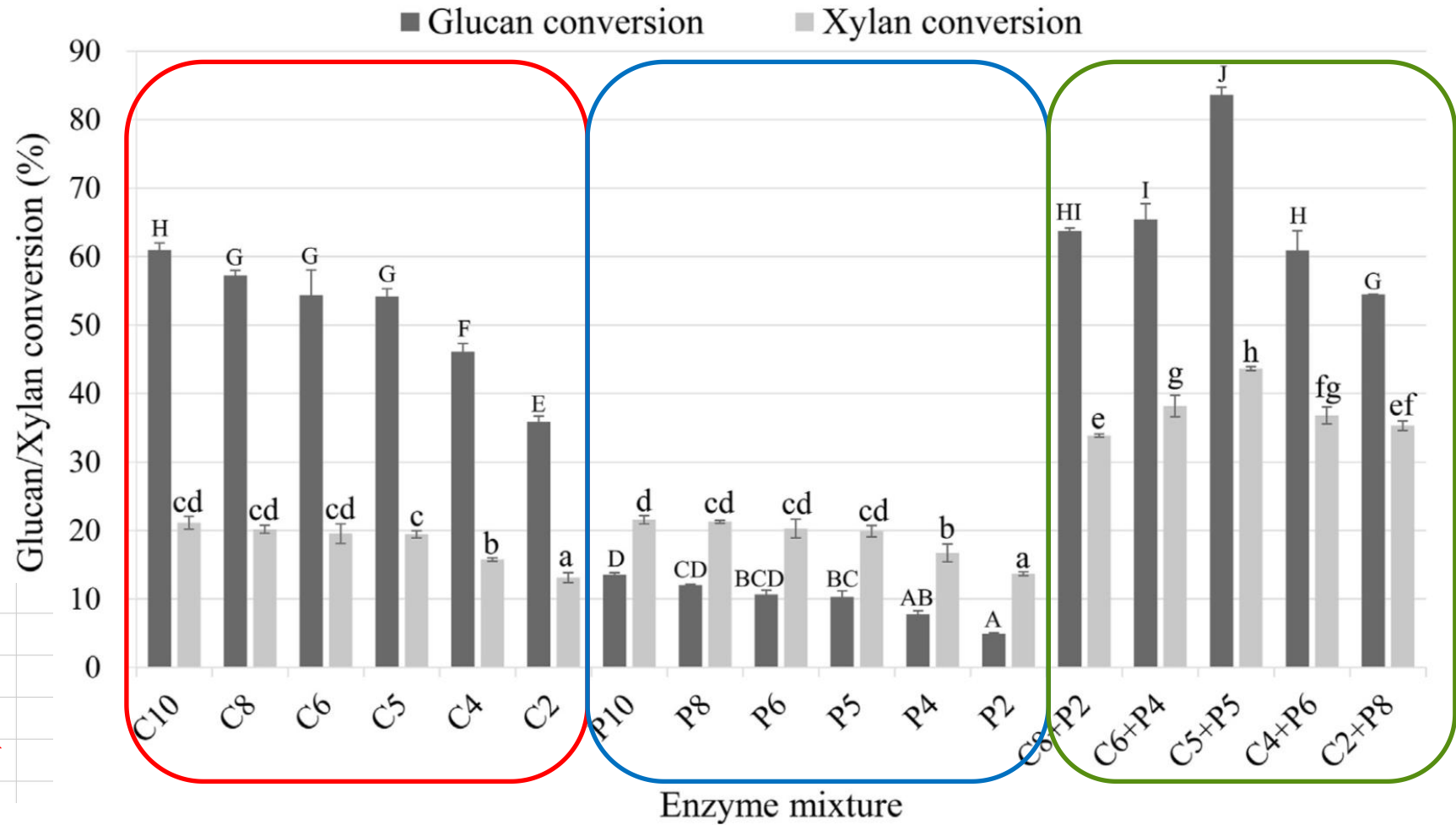
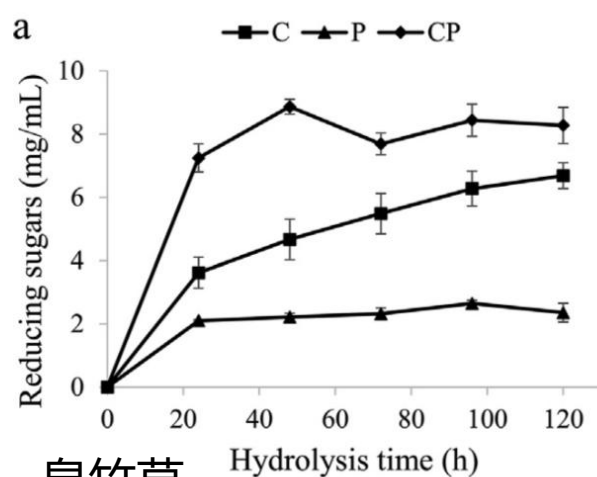


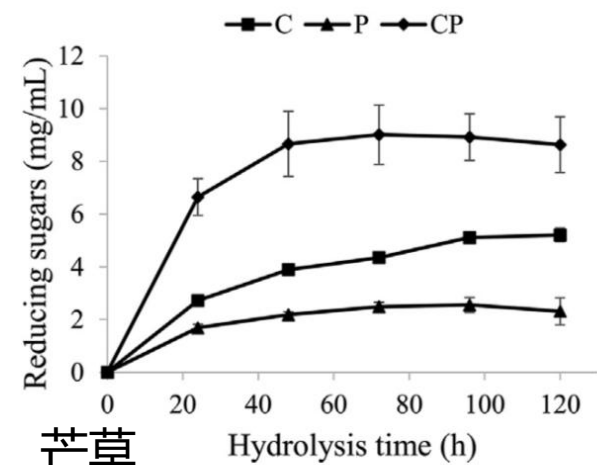
Fig. 3. Conversion of glucan and xylan from delignified corn stover by a commercial cellulase and *P. chrysogenum* P33 enzyme cocktail. C = commercial cellulase; P = *P. chrysogenum* P33 enzyme cocktail. Values are the mean of three replicates, and error bars indicate standard deviations from the mean values. Statistical significance is indicated by different letters in columns as assessed by ANOVA ($p < 0.05$).



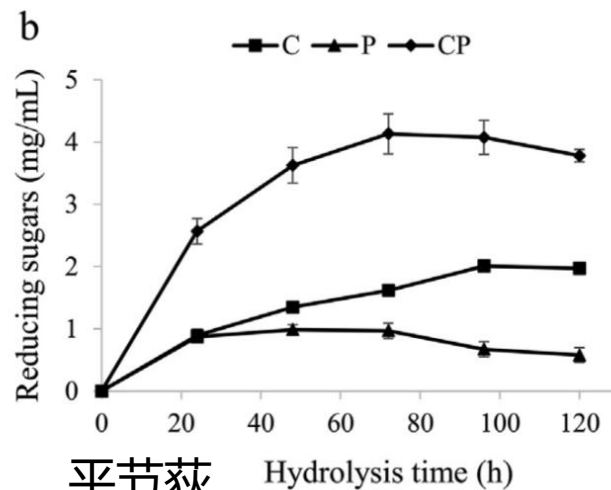
Results and discussion



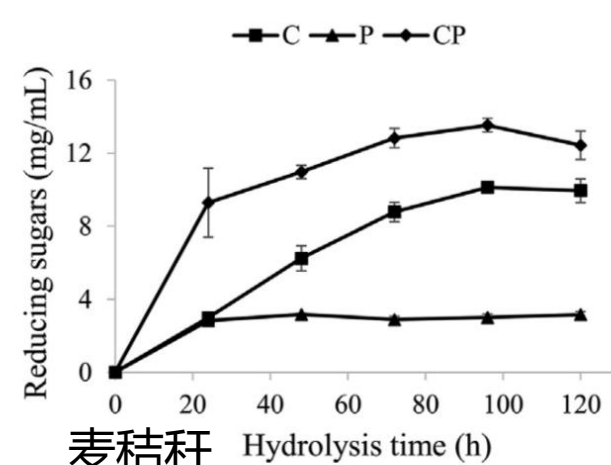
c 皇竹草



芒草



d 平节荻



麦秸秆

Fig. 4. Production of reducing sugars from different delignified lignocellulosic substrates by *P. chrysogenum* P33 enzyme cocktail (5 mg/g substrate) and commercial cellulase (5 mg/g substrate). C = commercial cellulase; P = *P. chrysogenum* P33 enzyme cocktail; CP = mixture of commercial cellulase and *P. chrysogenum* P33 enzyme cocktail. a, Delignified *Pennisetum sinense*; b, Delignified *Triarrhena lutarioriparia*; c, Delignified miscanthus; d, Delignified wheat straw. Values are the mean of three replicates, and error bars indicate standard deviations from the mean values.

平节荻	91.83%
芒草	65.82%
麦秸秆	25.02%
皇竹草	23.80%



Conclusions





该研究报告首次在木质纤维素诱导下对*P.chrysogenum* P33的分泌蛋白组进行了全面分析。

结果显示P33分泌完整的纤维素酶和许多半纤维素酶。

P33酶混合物与商业纤维素酶协同作用，促进脱木质素玉米秸秆的水解，导致纤维素和半纤维素转化率显著增加，而不增加纤维素酶的总加载量。

P33酶混合物还增强了纤维素酶对四种不同木质纤维素底物的水解性能。

这些发现清楚地表明P33酶混合物具有很大的工业应用潜力。



敬请各位老师同学批评指正

