

	•••	
Up-Cy	cling	*
Agricul	tural	
Residue	e into	*
Bio-Pro	ducts	
		14
	Up-Cyd Agricul Residue Bio-Pro	Up-Cycling Agricultural Residue into Bio-Products

Agricultural waste and residue management for a circular bio-economy: Shared China and EU impact-oriented solutions 22<sup>nd</sup> - 23<sup>th</sup> October, 2018, Beijing

# DIVERSIFIED AGRO-WASTE IN CHINA

# -Multiple approaches for better understanding and efficient utilization

Lujia Han, PhD Dean and Professor of the College of Engineering China Agricultural University (CAU) Email: hanlj@cau.edu.cn





# Background

# Research Cases

# Summary



# 1 Background



#### Annual output in China

- > Animal manure: **3.8 billion tons**
- > Crop residues: **900 million tons**

#### • Nutrients applied do not end up in edible food:

- > 50% of agro-inputs goes to non-edible parts of crops
- > **30-50%** of applied fertilizer is absorbed by crops
- The waste of AgroWaste is a waste of agricultural inputs!
- Environmental and sustainable concerns.....





#### • Utilization of AgroWaste in China

> Animal manure: <60% comprehensive utilization rate

> Crop residues: 200 million tons are not utilized

Opportunities for innovative technologies to address the efficient utilisation





#### > AgroWaste Feedstock

- Property Characterization
- -Non-destructive Analysis by NIR/IR/NIRM

### > Modeling for Mechanism Elucidation

- —Acid pretreatment of Crop Residues
- Mechanical Fragmentation Pretreatment of Crop Residues
- -GHG Emission during Manure Composting

#### **2.1** AgroWaste Feedstock Characterization





- W Niu, L Han\*, X Liu, G Huang, L Chen. *Energy*, 2016
- X Shen, G Huang, Z Yang, L Han\*. *Applied Energy*, 2015
- C Cao, Z Yang\*, L Han. Cellulose, 2015
- W Niu, G Huang, X Liu, L Chen, L Han\*. Energy & Fuels, 2014



				文件 🗦	T始 插入 页	面布局 公式	数据 市岡 祝聞	22									o (3) ⊂ E₂ %
	F (4.1			1 X 13	100							*	57		🖘 🕋	E 自动求和 - 🗛 🚽	(43)
B NN AND AN AR AL ARG					limes New	Roman - 10	· A A = = :		<b>浜行</b> 帯規	·	a 1000		~			」」」 「」」」 「」」」 「」」	uru
####一條号, 10-00-000000-00-000				¥656	BIU	1 m - 1 3 - A		≡ 读 使 函合##	「「「「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「	· *** *** 条件格	15 奏用 适中	超链接	计算	- 插入	删除 格式	2.清除, 排序和藻选	查找和选择
		The Test	No. of the second se	- 💚 m	13(2)40		~ =				semmarc. •				- ·		,
<b>客全带便</b> 样呈现保可推动带来	21	Martine and States in all		乾贴板	Gr.	字体	9	对齐方式	· 数	≱ a		样式			单元格	编辑	
		A BRARIAS		¥33	9 🗸 🤄	▲ 小麦玉米	两茬平作										¥
莱普人姓名及单位,于文纳、主华朝、飞行过,中国第4位至,刘令丞、伊利、		an a dent to make an			A	B	С	D	Ē.	F	G	Н	I	J K	L	K	
BEFERRE, HAN JOHN MOT + IN THEM INVILLIGHT		THE TOOL THE CALL		Di ma		- Diako	where the second	COLUMN (AS)	COLUMN STR	of Distance In the	The property of the	T Malon			and the second	AL 25-10 C	1 1 1 1 E
someoness seat and a fillen (a) films (a) factor to a		AND ALLY LOU ALL AND AND ALLY ALLY AND ALLY ALLY ALLY ALLY ALLY ALLY ALLY ALL	August 1 and 1	<b>一种品</b> 翁	允一编号	米杆単位	米葉地址(名)	米茶地址(市)	米寨地址(县)	米杆详细地址	米杆単位名称	米柱时间	naa (C) ja	起度 枯杆杆	突 作物品种	轮作积式	作物生一
单位名称:		all decision the stand	and the second division of the second divisio	311 晋-XM	-201206-CAU-346	中国农业大学	山西省	运城市	河津市	赵家庄乡南辛兴村	す河津市安机局	2012/6/11 9:43	2 7	-煩 小麦	济麦22	小麦、玉米一年两代	作 9月中旬
There are a find and a find		Stilling and Drin and Date	Strategy - State and a state of the state of	312 晋-XM	-201206-CAU-348	中国农业大学	山西省	日梁市	孝义市下拥乡	东安生村	孝义市农机中心	2012/6/18 18:15	8 7	-爆 小麦	未知	一年一作	9月中旬
WARDER THAT A THAT A THAT A THAT A		STREW DIR. XC	And the state of t	313 T-XM	-201206-CAU-349	中国农业大学	山西省	<b>吕梁市</b>	孝义市下捆乡	东安生村	孝义市农机中心	2012/6/18 18:30	8 Ŧ	-燻 小麦	未知	一年一作	9月下旬
天气情况, 气湿河无, 星度, 口干燥 放于很活中 口闷湿, 其它;		BRAN DEWS TAX NN ON	All and and a set of the set of t	314 晋-XM	-201206-CAU-350	中国农业大学	山西省	吕梁市	孝义市东许镇	必独村	孝义市农机中心	2012/6/18 17:00	IS 7	-燻 小麦	晋麦68号	一年一作	9月中旬
		BRA DATE DATE	And	315 晋-XM	-201206-CAU-351	中国农业大学	山西省	目梁市	孝义市东许镇	道相村	孝义市农机中心	2012/6/18 17:30	IS Ŧ	-燥 小麦	晋麦68号	一年一作	9月中旬
王は肥き XI-NN-91		ban the for	COLUMN DESIGN OF THE PARTY NAMES	316 T-XM	-201206-CAU-352	中国农业大学	山西省	临汾市	<b>東</b> 汾昌	古城缅中安平村	古城镇中安平村设	2012/6/12 15:00	i0 Ŧ	-燥 小麦	南段5号	一年一作	9月中旬
FRANK OAND DATE CALS DERA DASS		30 DB&/E DB&/E DB&	Martin and Street Stree	317 晋-XM	-201206-CAU-353	中国农业大学	山西省	临汾市	襄汾县	大邓镇赤邓村	大邓镇赤邓村	2012/6/12 14:00	18 Ŧ	-燻 小麦	金禾9123	一年一作	9月中旬
		Se LINE DET LIRATE	TABLE AND DESCRIPTION OF A DESCRIPTION O	318 晋-XM	-201206-CAU-354	中国农业大学	山西省	临汾市	囊治县	大邓镇赤邓村	大邓镇赤邓村	2012/6/12 13:30	8 7	-燥 小麦	烟农21	一年一作	9月中旬
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		STARK DIFE DIFE	And the second s	319 T-XM	-201206-CAU-355	中国农业大学	山西省	临汾市	<b>室</b> 汾昌	南辛店乡无一村	南辛店乡无一村	2012/6/13 15:00	i0 Ŧ	-燻 小麦	神麦119	小麦、玉米轮作	9月中旬
弊協方式 ロ規模化 口券積小区 九条組 お社戸 口其它 ( )		HA DREA	Inclusion of the Residence	320 晋-XM	-201206-CAU-356	中国农业大学	山西省	临汾市	襄汾县	陶寺乡陈庄村	陶寺乡陈庄村	2012/6/12 10:00	9 Ŧ	-燻 小麦	晋麦47	一年一作	9月中旬
生態 口经规 口保有 口有成可能		I DREAM OFER		321 晋-XM	-201206-CAU-357	中国农业大学	山西省	临汾市	由沃县	里村镇里村	曲沃县农机推广站	2012/6/10 15:30	IS Ŧ	-燥 小麦	晋麦22	小麦、玉米轮作	10月中世
AL TAB DEST		RAN DEA MAD DA WEIGH	CRAR CONTRACTOR AND CONTRACTOR	322 T-XM	-201206-CAU-358	中国农业大学	山西省	临汾市	由沃昌	史村領部村	曲沃县农机推广站	5 2012/6/11 15:45	16 Ŧ	-燻 小麦	晋责22	小麦、玉米轮作	10月中1
		HERE DEN DENER CHER DER		323 晋-XM	-201206-CAU-360	中国农业大学	山西省	临汾市	由沃昌	北董乡下裴村	曲沃县农机推广站	5 2012/6/11 10:45	0 7	-湿适中 小麦	晋责22	小麦、玉米轮作	10月中1
一些化物改善 四葉元平 口育定平		RANG		324 晋-XM	-201206-CAU-361	中国农业大学	山西省	临汾市	由沃县	里村镇	曲沃县农机推广站	2012/6/12 11:20	13 Ŧ	-湿适中 小麦	烟农19	小麦、玉米轮作	10月中世
亚·马口有建有法 口产压制		(不包括水油) 及天王張貴 口根城渠保		325 #-XM	-201206-CAU-362	中国农业大学	山西省	临汾市	洪洞县	辛村乡马三村	洪洞昌农机推广站	5 2012/6/11 15:20	3 Ŧ	「燻 小麦	良星99	小麦、玉米轮作	10月甲1
<b>百兆 口0.4 周龄 口4 周龄以后</b>		BERRAND INVA MAR DATE DOTE		326 曾-XM	-201206-CAU-363	中国农业大学	山西省	临汾市	洪洞县	刘家垣镇黄村	洪洞县农机推广站	5 2012/6/10 11:45	2 7	-燻 小麦	唯丰3号	一年一熟小麦	9月下旬
		1	52 -1	327 晋-XM	-201206-CAU-364	中国农业大学	山西省	喧消市	洪洞县	刘家垣镇东梁村	洪洞县农机推广引	2012/6/10 11:10	2 7	標 小麦	运平20410	一年一熟小麦	10月上1
再高级目。 12余何 口世外市场(口纳75 LIMINE		金台有些料 口稿(整新采标》		328 H-XM	-201206-CAU-365	中国农业大学	山西省	临汾市	洪綱昌	辛村乡马三村	洪洞县农机推厂驻	5 2012/6/11 15:45	3 +	- 燻 小麦	長至99	小麦、玉米一年内奥	8. 10月中1
MRAA NATAS DINKER		其它特殊情况说明		329 晋-XM	-201206-CAU-366	中国农业大学	山西省	临汾市	決利县	大槐树镇庄园村	洪洞县农机推厂92	2012/6/11 16:30	4 +	-燻 小麦	16年18050	小麦、玉米一年两颗	8 10月中1
		76193	B B - Kinker Stilling Radion	330 音-XM	-201206-CAU-367	中国农业大学	山西省	音楽市	消阻市	又喻彻道东天村	山西省汾阳市农利	2012/6/28 13:20	2 +	一湿這甲 小麦	泉411	小麦-豆葵一年四作	9月11月
· 视角性产出时间 10(天 口时天 口+1天 口>1天		*# 1 1 2	I I AR AND	331 TT-XM	-201206-CAU-368	中国农业大学	山西省	二派巾	汾阳市	三泉镇北马庄村	山西省汾阳市农村	2012/6/28 12:10	1 +	一湿道中 小麦	干达10亏		9月上刊
金育有亚科 Din (集目名称) ) 以王		<b>继权人</b> 崔卒	98 604 50 m	332 × XM	-201206-CAU-369	中国农业大学	大津巾	大津中	正常に	河西旁镇唐庄	武清雅)昭	2012/6/18 13:10	0 +	-湿延甲 小麦	2# 5 159	小麦玉尔内在半作	10月中日
其它特殊情况说明 子。		N9/5-18-9		333 × XM	-201206-CAU-370	中国次亚大学	大津巾	大津中	武清区	河西方茶庄	武清雅ノ始	2012/6/18 14:00	6 1	-湿道中 小麦	112:25319	小麦玉木肉在半作	10月中日
THAT 156		IT AINS		334 M-XM	-201206-CAU-371	中国公里大学	大理印	天津市		河西方防注	(1) (周311) 第二	2012/0/18 11:40	4 T	· 磁道中 小麦 · 洞球市 小車	自星46	小麦玉木肉在牛作	10/14/1
and The Arean Area Area				335 7#-AM	201200-CAU-372	中国公里大学	大津中	天津中	時間に入	川口方南东	(実施反動和操作)の	2012/018 11:10	0 7	- 個地中 小麦	R 里 00 合石 0 是	小麦玉米两在半作	0.28.6.15
Haver 2.15 marin dulla y how				222 3 224	201200-CAU-373	中国代虹人子	大理中	天津市	主張区	一定回視 河西名言庄	主动区代制推)加 建建始亡能	2012/6/19 14:00	6 T	海洋市 小麦		小麦玉不附住牛作	10日由1
非品牌一编号				220 V#-XM	-201206-CAU-374	中国农业大学	天津市	天津市	記録区	河西方南江		2012/6/18 11:25	5 I	御護中 小麦	速2/17	小麦工学商装工作	10日上午
	CHARLES MAN			330 J#-XM	-201206-CAU-376	中国次业大学	天津市	天津市	室祇区	林高口道	宝田区の和推广18	2012/6/12 10:00	0 <b>T</b>	-値 小麦	京石987	小麦玉米两茬平作	10.2-6.15

#### Chemical composition of crop residue







Cellulose



Hemicellulose



Lignin



Soluble Sugar

Neutral Detergent Fiber (NDF)

Acid Detergent (ADF)

#### Proximate analysis of animal manure



Moisture



Ash



Volatile Matter



**Fixed Carbon** 

#### Ultimate analysis and High Heat Value (HHV) of crop residue



С











S

0

HHV

#### Mineral elements composition of animal manure



Cu



Zn







Na

Mg

Fe

#### Mechanical properties of crop residues



#### **Pyrolysis characteristics**



#### 2.2 NIR/IR/NIRM Techniques for *AgroWaste* Analysis



- J Xue, Z Yang\*, L Han. *Applied Energy*, 2015
- X Jiang, Z Yang, L Han\*. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2014
- C Lü, L Chen, Z Yang, X Liu, L Han\*. *Applied Spectroscopy*, 2013
- X Zhou, Z Yang, G Huang, L Han\*. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 2012

#### **\*** NIRS for rapid detecting manure composition



Organic Matter



С



Volatile Solid



Ν



Ash



**Calorific Value** 

#### **#** Handheld NIRS sensors for real time and field monitoring composting process





#### **\*** On-line analytical technology based on NIRS in lab



Schematic diagram for on-line system



Ash

Calibration

Validation

16(

.....................

100 120 140

Rc<sup>2</sup> = 0.85

RMSEP = 7.58

140 RMSEC = 7.21

40

80

Measured (g/kg)

Moisture

Measured (g/kg)

Calibration

Validation

 $Rc^2 = 0.81$ 

30 40 50 60 70

(6/kg) 50 50 RMSEC = 3.18

RMSEP = 3.76



Calibration

Validation

400 420 440 460 480

Measured (g/kg

Calibration

Validation

160

180

140

Measured (g/kg)

Calibration

Validation

260 280

Measured (g/kg)

220 240

Calibration

Validation

100 120 140 160

Measured (g/kg)

J Xue, Z Yang\*, L Han, Y Liu, Y Liu, C Zhou. Applied Energy, 2015, 137: 18–25

660 680

Calibration

Validation

700 720 740 760 780 80

Measured(n/kn

#### **\****On-line NIRS analysis in feed factory*



4. 豆粕品质速测技术应用的经济效益

本项目开发的豆粕品质速测技术,能够在很短的时间(2分钟)内快速检测 其质量,较常规检验节约水分、粗蛋白、粗纤维、粗脂肪、氨基酸等检测费用 500元/样。



No.	Time	CP/%	MC/%	CF/%	Ash/%
1	2017/4/18 10:45:24	46.82	12.25	6.32	5.89
2	2017/4/18 10:46:01	46.82	12.14	6.53	5.80
3	2017/4/18 10:46:38	46.81	12.16	6.64	5.81
4	2017/4/18 10:47:15	46.74	12.03	6.76	5.80
5	2017/4/18 10:47:52	46.67	11.98	6.47	5.81
6	2017/4/18 10:48:29	46.39	12.16	6.89	5.83
7	2017/4/18 10:49:06	46.39	12.01	7.00	5.74
8	2017/4/18 10:49:43	46.44	11.94	6.55	5.81
9	2017/4/18 10:50:19	46.37	11.82	7.09	5.82
10	2017/4/18 10:50:56	46.55	11.84	6.65	5.82
11	2017/4/18 10:51:33	46.45	11.76	6.54	5.78
12	2017/4/18 10:52:10	46.54	11.74	6.56	5.82
13	2017/4/18 10:52:47	46.69	11.55	6.58	5.76
14	2017/4/18 10:53:24	46.55	11.68	6.67	5.74
15	2017/4/18 10:54:01	46.29	12.37	7.25	5.69
16	2017/4/18 10:54:38	46.17	12.35	6.33	5.82
17	2017/4/18 10:55:14	46.44	12.18	6.41	5.78
18	2017/4/18 10:55:51	46.48	12.09	6.66	5.73
19	2017/4/18 10:56:28	46.43	12.20	6.22	5.78
20	2017/4/18 10:57:05	46.64	12.02	5.99	5.74
21	2017/4/18 10:57:42	46.34	12.16	6.70	5.82
22	2017/4/18 10:58:19	46.47	12.14	6.38	5.79
23	2017/4/18 10:58:56	46.40	11.95	7.09	5.71
24	2017/4/18 10:59:33	46.19	11.98	6.23	5.79

#### In situ analysis of components distribution linked to tissue structure of crop stalk based on FTIR microspectroscopic imaging



C Cao, Z Yang\*, L Han, X Jiang, G Ji. *Cellulose*, 2015, 22: 139–149

#### Semiquantitative study of the distribution of major components in wheat straw using FTIR microspectroscopic imaging



Z Yang, J Mei, Z Liu, G Huang, G Huang, L Han\*. *Analytical Chemistry*, 2018, 90 : 7332-7340

#### 2.3 Modeling for Mechanism Elucidation of Straw Bio-behavior

#### A multi-scale biomechanical FE model of wheat straw

- Biomechanical behavior is a fundamental property for the efficient utilization
- \* Coupled with the microscopic microfibril model and the macroscopic tissue model



L Chen, A Li, X He, L Han\*. Carbohydrate Polymers, 2015, 133: 135–143

#### \* Mechanism investigation of the acid pretreatment and enzymatic hydrolysis of corn stover



#### A novel diffusion-biphasic hydrolysis coupled kinetic model for dilute sulfuric acid pretreatment of corn stover



#### **Highlight:**

- ✓ The contributions of the fast-hydrolyzing xylan, slow-hydrolyzing xylan and the inhibitor furfural to xylose yield were quantitatively analyzed.
- ✓ The impact of particle size and acid concentration on xylose yield was investigated.

L Chen, H Zhang, J Li, M Lu, X Guo, L Han\*. *Bioresource Technology*, 2015, 177: 8–16



#### \*A film-pore-surface diffusion model to explain the enhanced enzyme adsorption of corn stover pretreated by ultrafine grinding



#### **2.4 Multi-scale Mechanical Fragmentation of Crop Residues**



284 282

Binding Energy (eV)

288 286 284 282

Binding Energy (eV)

Y Yang, G Ji, W Xiao, L Han\*. *Cellulose*, 2014, 21(5): 3257–3268

#### Quantified correlations among particle size, crystalline property and glucose yield



G Ji, C Gao, W Xiao, L Han\*. *Bioresource Technology*, 2016, 205: 159–165 C Gao, W Xiao, G Ji, Y Zhang, Y Cao, L Han\*. *Bioresource Technology*, 2017, 241: 214–219 G Ji, L Han\*, C Gao, W Xiao, Y Zhang, Y Cao. *Bioresource Technology*, 2017, 241: 262–268 H Zhang, L Chen\*, J Li, M Lu, L Han. *Bioresource Technology*, 2017, 234: 23–32 H Zhang, J Li, G Huang, Z Yang, L Han\*. *Bioresource Technology*, 2018, 264:327-334



#### Mechanical fragmentation: Energy requirement in relation to microstructure properties and enzymatic hydrolysis



G Ji, W Xiao, C Gao, Y Cao, Y Zhang, L Han\*. *Energy Conversion and Management*, 2018, 171: 38–47

#### 2.5 Multivariate and Multi-scale Approaches for Low GHG Emission during Manure Composting



#### *\* Characterization of the dynamic thickness of the aerobic layer during* pig manure aerobic composting by FT-IR microspectroscopy

layer



Figure 3. Temperature and oxygen concentration changes during aerobic composting.









#### Particle-scale visualization of the evolution of methanogens and methanotrophs by FISH-CLSM



#### $\succ$ Microbial mechanisms for CH<sub>4</sub> emissions during manure aerobic composting

J Ge, G Huang, J Li, L Han\*. Waste Management, 2018, 78: 135–143

#### Particle-scale modeling of oxygen uptake rate (OUR) during pig manure-wheat straw composting

![](_page_30_Figure_1.jpeg)

J Ge, G Huang, J Huang, J Zeng, L Han\*. *Chemical Engineering Journal*, 2015, 276: 29–36 J Ge, G Huang, J Huang, J Zeng, L Han\*. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2016, 97: 735–741

#### Particle-scale modeling of methane (CH<sub>4</sub>) emission during pig manure/wheat straw aerobic composting

![](_page_31_Figure_1.jpeg)

0

3

This is an excellent paper that supposes a step forward to understand the mechanism of emissions of methane during composting, a known problem and well referred, but not with the deepness that the authors have used with a realistic model to predict these emissions.

J Ge, G Huang, J Huang, J Zeng, L Han\*. *Environmental Science & Technology*, 2016, 50: 4374–4383

0.0

12

Time (days)

(d)

15

18 21

. .........

15

18 21

12

Time (davs)

(c)

#### Multivariate and multiscale approaches for interpreting the mechanisms of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emission during pig manure—wheat straw aerobic composting

![](_page_32_Figure_1.jpeg)

 $\succ$  Microbial mechanisms for N<sub>2</sub>O emissions during manure aerobic composting

J Ge, G Huang, J Li, X Sun, L Han\*. *Environmental Science & Technology*, 2018, 52(15): 8408–8418

Better understanding needed for efficient AgroWaste Valorizing

# 3 Summary

## **Challenges:**

- Diversified distribution
- Significant variation in compositions
- Complex or unique lignocellulose structure
- Heterogeneous
- Economic feasibility
- Cleaner production

![](_page_33_Figure_9.jpeg)

**Biobased materials** 

**Bioenergy & Biofuels** 

**Bio-organic fertilizers** 

**Ruminant Feed** 

![](_page_33_Picture_14.jpeg)

# Acknowledgements

![](_page_34_Picture_1.jpeg)

#### Team Members

![](_page_34_Picture_3.jpeg)

![](_page_34_Picture_4.jpeg)

Prof. Dr. LJ Han

Prof. Dr. ZL Yang

![](_page_34_Picture_7.jpeg)

![](_page_34_Picture_8.jpeg)

![](_page_34_Picture_9.jpeg)

![](_page_34_Picture_10.jpeg)

Dr. WH Xiao

Dr. JY Ge

![](_page_34_Picture_13.jpeg)

![](_page_35_Picture_1.jpeg)

- Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest, the Ministry of Agriculture of China (MoA)
- Program for Innovative Research Team in University, the Ministry of Education of China (MoE)
- China-Belgium international S&T Cooperation Project, the Ministry of Science & Technology of China (MoST)
- > NSFC Projects, the National Natural Science Foundation of China (NSFC)

![](_page_36_Picture_0.jpeg)

# Thank you very much for your attention!

![](_page_36_Picture_2.jpeg)