

文章编号: 0253-2409(2005)02-0205-06

农作物废弃物液化的实验研究

于树峰, 仲崇立

(北京化工大学 化学工程学院, 北京 100029)

摘要: 在 250 mL 的高压反应釜中对五种不同种类的农作物废弃物进行了液化研究。以花生壳作探索实验, 重点考察了温度、时间、催化剂用量等因素对液化行为的影响, 并给出了五种农作物的液化结果。研究结果表明, 给料比为 10 g 原料/100 mL 水时, 在 300 °C ~ 340 °C、10 min、K₂CO₃ 添加量为 1/30(催化剂/原料)的条件下, 五种农作物废弃物液化获得的重油产率为 21% ~ 28%。对产物的高热值进行分析表明, 农作物废弃物液化重油具有较高的热值, 液化促进了能量分化, 是农作物废弃物转化为生物燃料的有效手段。

关键词: 农作物废弃物 液化 生物质 花生壳

中图分类号: TQ51 文献标识码: A

生物质能是绿色植物通过光合作用将太阳辐射的能量转化为储存的化学能, 以生物质的形式固定下来的能源。可作为能源加以利用的生物质主要有树木、农作物、农林产品加工残余物、水生植物等。作为一种绿色能源, 生物质能因具有可再生性和 CO₂ 净排放为零的优点而成为传统化石能源的一种可替代能源。我国是一个传统的农业国, 每年产自农作物收获加工中的废弃物数量巨大。农作物废弃物本身热值较低, 不适于直接用作高效能源, 如何将农作物废弃物转化为便于运输的高能量密度燃料, 已得到人们的日益关注。

液化是将生物质与一定量溶剂混合放在高压釜中, 抽真空或通入保护气体, 在适当温度和压力下(必要时可加入一定量催化剂)将生物质转化为燃料或化学品的技术。它部分克服了高温裂解的苛刻条件, 较易实现。目前, 国内的研究主要集中在热解气化^[1, 2]和超临界萃取^[3]方面, 在农作物废弃物的液化方面研究还较少。宋春财等^[4]曾利用半连续性的实验装置对玉米、高粱、大豆三种生物质秸秆作了液化实验。国外在高温裂解^[5~7]、超临界萃取^[8, 9]与液化^[10~13]方面对农作物废弃物的转化研究有较多的报道。这些研究均是针对其国内生长的某种或某几种农作物废弃物, 系统性的研究还较少。本实验对国内普遍种植的五种具有代表性的农作物的废弃物系统地进行了液化, 考察了影响产物收率的各个因素, 以期给农作物废弃物的普遍液化提供基础

性的参考数据。

1 实验部分

1.1 原料 本实验中, 选取了花生壳、谷秆、棉秆、甘蔗渣、苕麻秆五种生物质作原料, 分别代表着油料、谷类、棉花、糖类、麻类五类中国基本农作物的废弃物。实验选用花生壳作探索性试验, 进而选择合适条件对其他几类物质进行液化。

原料样品经粉碎后筛选出粒度小于 70 目的颗粒。使用前的粉末放在烘箱中于 105 °C 下干燥 12 h ~ 24 h 后放于干燥箱中置于室温备用。所用原料的化学与元素组成见表 1。

表 1 各原料化学与元素组成

Table 1 Chemical and elemental composition of raw materials (w % dry)

Raw materials	Peanut shell	Corn stalk	Cotton stalk	Ramee stalk	Bagasse
Chemical composition w / %					
Lignin	28.90	22.34	23.16		18.50
Cellulose	41.10	43.20	41.26		48.50
Hemecellulose	10.10	14.20	20.76		27.01
Ash	4.60	6.04	9.47		2.25
Elemental composition w / %					
C	50.90	45.46	46.50	46.62	46.16
H	7.50	6.71	5.97	5.93	5.73
O	40.40	46.41	46.11	46.94	47.98
N	1.20	1.43	1.41	0.51	0.13
HHV Q / (MJ · kg ⁻¹)	20.71	16.67	16.02	15.86	15.24

收稿日期: 2004-08-28; 修回日期: 2005-03-02

基金项目: 国家自然科学基金(20106001)北京市科委资助项目(9558101100)。

联系作者: 仲崇立, E-mail: zhongcl@mail.buct.edu.cn.

作者简介: 于树峰(1974-)男, 山东德州人, 硕士, 从事生物质液化方面的研究。E-mail: xiaofeng0104@sina.com.

1.2 液化 反应在带有磁力搅拌器的容积为 250 mL 的间歇高压釜中进行。利用高压釜外部的电炉进行加热,温度控制在 ± 3 °C。原料与反应介质混合后加入反应器。在反应釜中空气被移出后,将反应釜加热至反应温度并恒温在所需考察的时间内,升温时间约 60 min。

1.3 分离 每次试验完毕,排出气体后把反应釜中的内容物倒入烧杯中(在采用醇类作反应介质时,需先用风扇将反应完成后混合物中的醇在室温下挥发掉,然后加入 100 mL 去离子水进行过滤分离,其他步骤下同),水相经过滤分离出水溶组分。过滤出的水相在常压、75 °C 蒸发,所得残渣即所谓“有机水溶物”(Organic Dissolved,简称 OD)。不溶于水的组分和漏斗壁用约 150 mL 丙酮经三次洗涤,过滤分离出组分。丙酮相在室温、减压下干燥得到的黑色油状物即所谓重油(Heavy Oil)。不溶于丙酮的组分在 105 °C 下干燥得到反应残渣(Residue)。

1.4 分析 利用意大利 CARLO ERBA1106 元素分析仪对产物中的 C、H、N 元素进行分析,氧元素的质量分数在假设非催化液化产物仅由 C、H、O 和 N 元素组成的前提下估算得出。每种产物的高热值通过 Dulong 公式算出

$$\text{HHV } Q / (\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}) = 0.3383 w_{\text{C}} + 1.422(w_{\text{H}} - w_{\text{O}}/8), \quad (1)$$

其中 w_{C} 、 w_{H} 和 w_{O} 分别为碳、氢和氧的质量分数。

2 结果和讨论

影响产物收率的因素很多,如原料种类、反应介质及其与原料的配比、温度、时间、催化剂种类和用量、保护介质、搅拌速率等。Qu 等^[14]曾对不同的原料/水比对生物质液化产物的影响作了研究。本实验从能耗的角度综合考虑,选取原料/水配比为 10 g/100 mL。为保证原料与反应介质充分混合,实验采用 500 r/min 的搅拌速率。在无特殊说明情况下,以下各实验均保持上述两种条件不变。为了研究温度和时间对油产率的影响,分别在 10 min、20 min、30 min 和 40 min 以及 280 °C、300 °C、320 °C、340 °C 和 360 °C 下进行实验。实验的压力为 6.4 MPa ~ 18.7 MPa。相应的实验结果列于表 2。实验误差主要在分离阶段中产生,通过对 10 min、不加催化剂的反应条件下进行三次实验来验证结果的可信性。液化产物的波动范围为 ± 0.1 g。

各种产物的收率由下式计算:

$$\text{重油产率} = (\text{丙酮相油质量} / \text{加入的原料质量}) \times 100, \quad (2)$$

$$\text{OD 产率} = (\text{水相有机物质量} / \text{加入的原料质量}) \times 100, \quad (3)$$

$$\text{残渣产率} = (\text{丙酮不溶物质量} / \text{加入的原料质量}) \times 100, \quad (4)$$

$$\text{总油产率} = (2) + (3), \quad (5)$$

$$\text{能源转化效率 } \eta_{\text{T}} (\%) = (\text{非气相产物热值} / \text{原料热值}) \times 100. \quad (6)$$

此处 OD 仅在非催化液化中讨论。对于催化液化,由于大多数的催化剂残留在 OD 中(这一点可从实际实验分析中看出),本文只将其测定结果列出不予讨论。

2.1 水中的非催化液化实验

2.1.1 温度的影响 在不同时间和温度下的实验测定结果见表 2 所示。

表 2 花生壳非催化液化产物的产率

Table 2 Yields of the noncatalytic liquefaction products of Peanut shell

Product	Yield w / %				
	280 °C	300 °C	320 °C	340 °C	360 °C
Condition :10 g/100 mL 10 min					
Heavy oil	15.89	17.35	22.17	24.76	21.98
OD	19.73	20.19	18.88	16.05	13.08
Residue	34.73	29.69	23.00	18.39	18.37
Total oil	35.62	37.53	41.05	40.81	35.05
Condition :10 g/100 mL 20 min					
Heavy oil	14.86	20.69	22.96	24.48	20.37
OD	20.97	18.64	18.27	14.73	12.01
Residue	35.58	26.10	21.96	18.10	18.08
Total oil	35.83	39.33	41.23	39.21	32.38
Condition :10 g/100 mL 30 min					
Heavy oil	14.34	17.73	19.86	21.91	19.47
OD	18.51	15.95	16.28	13.75	12.00
Residue	34.94	23.39	21.07	18.09	19.78
Total oil	32.85	33.68	36.14	35.66	31.47
Condition :10 g/100 mL 40 min					
Heavy oil	13.84	17.20	19.59	20.54	18.10
OD	19.31	18.37	16.91	13.57	11.35
Residue	32.14	25.41	20.67	17.91	18.77
Total oil	33.15	35.57	36.49	34.11	29.46

上述结果中的重油项可以按照非重复实验的二元方差分析方案进行分析。结果见下表 3 所示。

表3 重油产率方差分析
Table 3 Variance analysis of heavy oil yields

Source of variance	Square summation of deviation(S)	Degree of freedom(N)	Mean square summation(V)	F	Prominence
Time	28.07	3	9.36	9.92	prominent
Temperature	155.64	4	38.91	41.26	prominent
Error	11.32	12	0.94	-	
Total	194.96	19	-	-	

给定 $\alpha = 5\%$, 查表得 $F_{0.05}(3, 12) = 3.49$, $F_{0.05}(4, 12) = 3.26$ 。比较可知, 反应温度和反应时间对重油产率均有显著影响。相对来说, 前者影响更为显著。

作为示例, 反应时间 10 min 下各产物产率依赖于反应温度的一些实验结果见表 2 所示。由表 2 可知, 从 280 °C 开始, 重油产率随反应温度的升高而增加, 在温度为 340 °C 时达到最大值。超过此温度后, 重油产率又随温度的上升而下降。这是由液化中存在的两个反应引起的, 即水解和聚合。在最初阶段, 生物质被分解和解聚为小分子化合物, 这些化合物可通过浓缩、环化和聚合重排组成新的化合物。

从表 2 还可看出, OD 产率随反应温度的上升单调下降, 这主要是由于在高温下小分子化合物发生重聚引起的。残渣产率对温度较为敏感, 表现出与重油产率相反的趋势。从 280 °C 开始, 随温度的升高, 残渣产率不断下降, 在 340 °C 左右达最低点。之后随温度的升高呈现略微上升趋势。这可能是由于在木质素热分解过程中生成的含苯氧基的活性分子在高温下发生缩合或重聚形成固体残渣造成的。在本实验中, 由于温度(280 °C ~ 360 °C)不是太高, 灰分基本上既不挥发也不分解, 在产物的分离中大部会留在残渣中, 故本文所指残渣均为含灰残渣。由于生物质中灰分质量分数很低, 本工作忽略了灰分的影响。其他三个反应时间下依赖于温度的重油产率也表现出相同的趋势。一般来讲, 本实验中采用的实验条件下, 在 320 °C ~ 340 °C 对花生壳液化可获得最大的油产率。

2.1.2 反应时间的影响 反应时间对重油产率的影响见表 2。温度为 300 °C ~ 320 °C 时, 重油产率在反应时间为 20 min 时达最大值。进一步增加时间重油产率反而降低。这主要是因为随着时间延长, 生物质中各组分水解生成油质量分数逐渐增加, 体

系中的二次反应变得剧烈并使中间产物发生缩合与重聚转化为固体残留物而使得重油产率随之下降。一般来说, 生物质在水中的液化反应可大致分成两个阶段: 在 210 °C ~ 260 °C 的较低反应温度下主要为纤维素、半纤维素发生水解反应; 在 310 °C 以上的较高温度下主要为木质素发生的反应。表 2 中反应温度为 280 °C 以及高于 340 °C 时重油产率随时间的变化则分别反映了以上两种反应为主导的反应过程。由表中可以看出, 在 10 min 时可获得最高的重油产率。总油中主要包括各种酚类的多原子碳氢化合物, 这类物质在高温下易发生分解, 使生物油产率降低。实验测定总油产率在温度为 320 °C、时间为 20 min 时出现最大值(41.23%), 但与同温度 10 min 反应时间下的总油产率(41.05%)相差不大。从实验获得的重油、总油液化产率以及能耗的角度考虑, 选用 10 min 的反应时间进行液化较为适宜。

2.1.3 添加 CO₂ 作保护气对液化产率的影响 在本实验相同条件下, 添加 CO₂ 作保护气没有表现出比抽真空状态下具有更优的液化效果。同时, 添加保护气会使反应釜中的压力上升, 增大了设备的受压强度, 而且给反应釜的密封性提出了更高的要求。故本实验对其他物质的液化均在不添加保护气的条件下进行。

2.2 水中的催化液化实验 为考察催化剂添加量对液化产率的影响, 在 10 min 反应时间下, 选用 K₂CO₃ 作催化剂, 分别在 300 °C、320 °C、340 °C 及 1/40、1/30、1/20、1/10(K₂CO₃/原料) 添加配比下进行了液化实验。反应压力为 8.6 MPa ~ 14.8 MPa。催化剂添加量对重油和残渣产率的影响见图 1 与图 2 所示。

从两图可以看出, 在较低温度下, 催化剂的加入可显著提高重油产率; 反应温度较高时, 适量的催化剂可提高液化重油产率, 而当催化剂用量较大(催

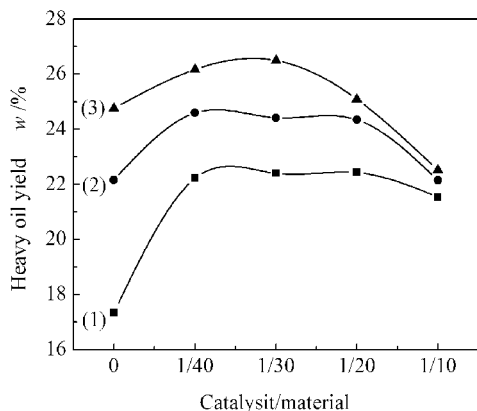


图1 不同催化剂添加量对花生壳液化重油产率的影响

Figure 1 Effect of different catalyst dosage on heavy oil yield of Peanut shell

(1) 300 °C ; (2) 320 °C ; (3) 340 °C

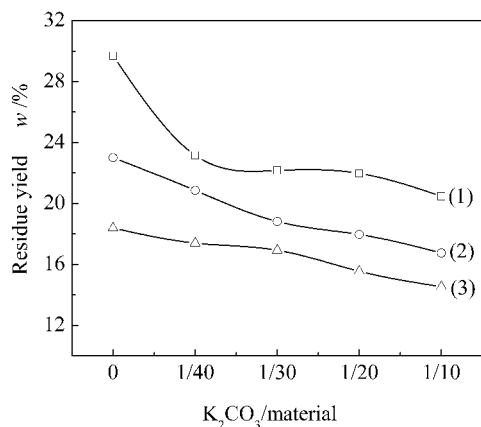


图2 不同催化剂添加量对花生壳液化残渣产率的影响

Figure 2 Effect of different catalyst dosage on residue yield of Peanut shell

(1) 300 °C ; (2) 320 °C ; (3) 340 °C

化剂/原料比大于1/20)时,重油收率反而低于无催化剂时的结果。这可能是由于在一定的反应时间下,较高的催化剂用量加速了液化过程中的脱碳、重排反应,使得反应中生成的重油产物在催化剂的作用下进一步转化为水溶性的有机物(OD),从而降低了重油产率。在采用较高催化剂加入量(1/10)时,三个不同温度下的重油产率相差不大。因此,为获得较高的重油产率,同时采用高的催化剂添加量和高反应温度对花生壳进行液化是不适宜的。在所考察的温度范围内,较适宜的催化剂加入量在1/40~1/20。当反应温度为340 °C、催化剂添加量为1/30时,可获得最高26.5%的重油产率。残渣产率随催化剂加入量的增加呈单调下降趋势。这是因为催化剂可显著减少木质素分解形成的中间产物

的缩合和/或重聚反应,产生更低的残渣产率。

2.3 醇类作反应介质时的液化实验 在温度320 °C、时间10 min、给料比为10 g 原料/100 mL 醇的条件下,分别以甲醇、乙醇、异丙醇、正丁醇四种醇类作反应介质对花生壳进行了液化试验,反应压力为7.5 MPa~20.0 MPa。结果表明,在相同的反应条件下,四种醇类所获得的液化收率低于以水作介质所获得的收率。显然以水为液化介质更为合理。

分别以 K_2CO_3 和KOH作催化剂,催化剂/原料=1/30的添加量下,考察钾盐与钾碱两种催化剂对四种醇液化效果的影响。结果表明,两种催化剂对醇类液化的效果相差不大。在以水作反应介质的情况下,KOH催化剂略优于 K_2CO_3 催化剂的催化效果。考虑到催化剂价格及自身对设备的腐蚀性,采用 K_2CO_3 作催化剂更为适宜。

2.4 对其他农作物废弃物的液化实验 通过对花生壳液化进行分析,本实验分别在300 °C、320 °C、340 °C和10 min下对谷秆、棉秆、甘蔗渣、苕麻秆进行了非催化液化,压力为8.5 MPa~14.8 MPa。结果见表4。在各自获得最高重油产率的基础上,添加1/30(催化剂/原料) K_2CO_3 后四种物质的催化液化结果也一同列于表内,结果见表(※)列。

表4 不同农作物废弃物的液化试验结果对比

Table 4 Yields of liquefaction products of the different agricultural residues

Product	Yield w / %			
	300 °C	320 °C	340 °C	(※)
Corn stalk				
Heavy oil	21.47	19.76	19.67	21.48
OD	25.93	23.04	19.57	27.19
Residue	16.44	15.12	14.83	16.95
Cotton stalk				
Heavy oil	22.63	23.24	22.54	26.84
OD	19.65	16.76	15.01	22.05
Residue	23.05	18.83	16.60	14.29
Bagasse				
Heavy oil	15.25	13.99	13.55	20.56
OD	17.20	15.53	13.27	21.34
Residue	24.45	23.27	22.76	16.76
Ramee stalk				
Heavy oil	22.91	23.64	21.00	28.14
OD	19.61	19.50	16.59	21.35
Residue	19.89	17.28	17.02	15.14

本工作尝试了将液化结果与原料化学组成进行关联,发现最高重油产率与原料化学组成具有较好的相关性,其他产物与原料化学组成相关性很差。本工作得到的最高重油产率与原料化学组成的相关方程为:

重油百分产率 = $1.0543 + 0.8666 \times$ 木质素质量分数
上式的相关系数 r 为 0.89。

在 280 °C 下对谷秆与甘蔗秆的补充液化实验表明,各自所获得的重油产率均低于其 300 °C 的产率。综合花生壳的液化结果,在 300 °C ~ 340 °C 所研究的五种农作物废弃物均获得了最大的重油收率。一般来说,绝大多数的农作物废弃物在此温度范围内进行液化均可获得最佳重油收率。催化液化结果显示,谷秆对钾盐催化剂不太敏感,催化前后没有大的变化,而甘蔗渣与苕麻秆效果明显,重油收率分别提高了近 35% 和 20%。棉秆也有不同程度提高。因此,实际液化操作应根据不同原料决定催化剂添加与否。

2.5 液化产物的性质 利用 CARLO ERBA1106 元素分析仪对时间 10 min、给料比为 10 g 原料/100 mL 水反应条件下的非催化液化产物的元素组成进行分析。结果及其高热值见表 5 所示。

由表 5 可以看出,经过液化,农作物废弃物转化为具有高热值的燃料重油,能量密度大幅提高,最高可达一倍以上。如棉秆的 HHV 值为 16.02 MJ/kg,而其液化重油的 HHV 值高达 33.18 MJ/kg。另外,

从表 5 可以看出残渣也具有一定的热值,可以作为一种能源以燃烧方式加以利用。本工作根据式(6)计算了能源转化效率,结果表明五种农作物废弃物液化的 η_T 值在 66% ~ 91%。

表 5 液化产物的元素组成和高热值

Table 5 Elemental composition and HHV of the

Product	Elemental composition $w/\%$				HHV $Q/(MJ \cdot Kg^{-1})$
	N	C	H	O	
Peanut shell(340°C)					
Heavy oil	1.23	75.64	6.80	16.33	32.36
OD	2.01	41.86	5.47	50.66	12.94
Residue	1.43	64.47	4.39	29.71	22.77
Corn stalk(300°C)					
Heavy oil	1.29	74.49	6.79	17.43	31.76
OD	1.09	34.91	4.78	59.22	8.08
Residue	1.29	46.75	3.78	48.18	12.63
Cotton stalk(320°C)					
Heavy oil	1.08	77.44	6.75	14.73	33.18
OD	1.34	44.02	5.74	48.90	14.36
Residue	1.20	65.16	4.89	28.75	23.89
Bagasse(300 °C)					
Heavy oil	0.96	73.05	6.16	19.83	29.95
OD	1.04	42.37	5.38	51.21	12.88
Residue	1.46	71.28	4.88	22.38	27.08
Ramee stalk(320 °C)					
Heavy oil	1.10	72.33	6.23	20.34	29.71
OD	1.82	41.08	5.33	51.77	12.28
Residue	1.38	68.52	4.71	25.39	25.37

参考文献:

- [1] 苏学泳,王智微,程从明,等. 生物质在流化床中的热解和气化研究[J]. 燃料化学学报,2000,28(4):298-305.
(SU Xue-yong, WANG Zhi-wei, CHENG Cong-ming, et al. Study on biomass pyrolysis and gasification in fluidized bed[J]. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 2000, 28(4):298-305.)
- [2] 何芳,易维明,孙容峰,等. 小麦和玉米秸秆热解反应与热解动力学分析[J]. 农业工程学报,2002,18(4):10-13.
(HE Fang, YI Wei-ming, SUN Rong-feng, et al. Pyrolysis and its kinetics of corn stalk and wheat straw[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2002, 18(4):10-13.)
- [3] 曲先锋,彭辉,毕继诚,等. 生物质在超临界水中的热解行为的初步研究[J]. 燃料化学学报,2003,31(3):230-233.
(QU Xian-feng, PENG Hui, BI Ji-cheng, et al. Pyrolysis behaviour of biomass in supercritical water[J]. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 2003, 31(3):230-233.)
- [4] 宋春财,胡浩权. 生物质秸秆在水中热化学液化研究[J]. 四川大学学报(工程科学版),2002,34(5):59-62.
(SONG Chun-cai, HU Hao-quan. Experimental study on thermochemical liquefaction of biomass stalk in water[J]. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2002, 34(5):59-62.)
- [5] YORGUN S, SENSOZ S, KOCKAR O M. Characterization of the pyrolysis oil produced in the slow pyrolysis of sunflower-extracted bagasse[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2001, 20(2):141-148.
- [6] CAGLAR A, DEMIRBAS A. Conversion of cotton cocoon shell to liquid products by pyrolysis[J]. *Energy Convers Manage*, 2000, 41(16):1749-1756.

- [7] PAUL T Williams , Nittaya Nugranad. Comparison of products from the pyrolysis and catalytic pyrolysis of rice husks[J]. *Energy* , 2000 , **25**(6) : 493 – 513.
- [8] ERZENGIN M , KUCUK M M. Liquefaction of sunflower stalk by using supercritical extraction[J]. *Energy Convers. Mgmt* , 1998 , **39**(11) : 1203 – 1206.
- [9] Mustafa Cemek , Mehmet M Kucuk. Liquid products from Verbascum stalk by supercritical fluid extraction[J]. *Energy Convers Manage* , 2001 , **42**(2) : 125 – 130.
- [10] CELEGHINI , RENATA M S. Experimental variables effects on the direct liquefaction of lignin sugar cane bagass[J]. *Energy Sources* , 1998 , **20**(7) : 673 – 679(Eng).
- [11] Tomoaki Minowa. Thermochemical liquefaction of indonesian biomass residues[J]. *Biomass and Bioenergy* , 1998 , **14**(5/6) : 517 – 524.
- [12] DEMIRBAS A. Effect of Lignin Content on Aqueous Liquefaction Products of Biomass[J]. *Energy Convers Manage* , 2000 , **41**(15) : 1601 – 1607.
- [13] DEMIRBAS A. Yields of oil products from thermochemical biomass conversion processes[J]. *Energy Convers Mgmt* , 1998 , **39**(7) : 685 – 690.
- [14] QU Y , WEI X , ZHONG C. Experimental study on the direct liquefaction of *Cunninghamia lanceolata* in water[J]. *Energy* , 2003 , **28**(7) : 597 – 606.

Experimental study on liquefaction of agricultural residue

YU Shu – feng , ZHONG Chong – li

(Department of Chemical Engineering , Beijing University of Chemical Technology , Beijing 100029 , China)

Abstract : Direct liquefaction of 5 agricultural residues was carried out in a 250 mL autoclave. During the tentative experiment , peanut shell was tested. The influence of reaction temperature , reaction time and catalyst etc. was investigated. The results show that 21% ~ 28% of heavy oil yield is obtained under the conditions of 300 °C ~ 340 °C , 10 min and 1/30 (K₂CO₃ catalyst/raw material , w/w) , when feedstock is 10 g sample mixed with 100 mL water. A linear correlative model gives the correlation coefficient of 0.89 , which denotes that the heavy oil yields have a good relationship with the lignin contents in agricultural residues. The heavy oils obtained from the liquefaction of agricultural residues have high heating values. This work shows that liquefaction is an effective way to convert agricultural residues to bio – fuels.

Key words : agricultural residues ; liquefaction ; biomass ; peanut shell

Foundation item : National Natural Science Foundation of China (20106001) ; Foundation of Beijing Committee of Science and Technology(9558101100).

Corresponding author : ZHONG Chong – li. E – mail : zhongcl@mail.buct.edu.cn.

Author introduction : YU Shu – feng (1974 –) , male , Master , engaged in liquefaction of biomass.

E – mail : xiaofeng0104@sina.com.