

切碎农作物秸秆理化特性试验*

田宜水¹ 姚宗路¹ 欧阳双平^{1,2} 赵立欣¹ 孟海波¹ 侯书林²

(1. 农业部规划设计研究院农村能源与环保研究所, 北京 100125; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 选取我国粮食主产区的玉米秸秆及华北地区的7种农作物秸秆为研究对象,采用生物质原料测试方法、标准试验研究了用于生产生物质压块燃料的切碎物料(粒度为5~30 mm)的理化特性。试验结果表明,不同地区的玉米秸秆理化特性差异较大,东北地区的静态堆积角最大,堆积密度最小,比其他地区平均低17.25%,灰分含量最低;同一地区的不同农作物秸秆的理化特性存在显著差异,玉米秸秆和棉秆的动态外摩擦角显著差异高于其他秸秆,豆秸、棉秆、花生壳的堆积密度最高。

关键词: 农作物秸秆 生物质压块燃料 切碎物料 理化特性 模型

中图分类号: S216.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)09-0124-05

Physical and Chemical Characterization of Biomass Crushed Straw

Tian Yishui¹ Yao Zonglu¹ Ouyang Shuangping^{1,2} Zhao Linxin¹ Meng Haibo¹ Hou Shulin²

(1. Institute of Energy and Environmental Protection, Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100125, China

2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

The physical and chemical characterization of biomass crushed straw (practical size from 5 mm to 30 mm) which from major grain producing areas was studied and analyzed according to the biomass standards and methods introduced here. The results showed physical and chemical characterization of corn straw from different areas has significant difference. For northeast area, the static angle of repose was maximum, the ash was minimum and bulk density was 17.25%, lower than that of other area. The physical and chemical characterization of different straw from the same area has significant difference, too. The dynamic external friction angle of corn and cotton straw was much higher than that of other crop straw, for bulk density, the soybean, cotton and peanut straw was maximum. The model of net calorific value and proximate analysis was developed. The verification results showed that the largest regression coefficient P value was less than 0.05.

Key words Crop straw, Biomass briquette, Crushed straw, Physical and chemical characterization, Model

引言

中国是一个农业大国,具有丰富的生物质资源,据统计,农作物秸秆年产量6亿t左右^[1]。秸秆类生物质固体成型燃料具有高效、洁净、点火容易、CO₂零排放等优点,可替代煤炭等化石燃料应用于

炊事、供暖等民用领域和锅炉燃烧、发电等工业领域,近几年来在中国得到了迅速发展^[2~4]。

生物质固体成型燃料包括生物质压块燃料和颗粒燃料。生物质压块燃料是由切碎原料通过成型机压缩成方形或圆柱形等一定形状的成型燃料,直径或横截面的对角线长度一般大于25 mm,压块燃料

收稿日期: 2011-04-07 修回日期: 2011-04-21

* 国家国际科技合作项目(2011DFAG0600)

作者简介: 田宜水,高级工程师,主要从事节能、可再生能源技术和设备研究,E-mail: yishuit@yahoo.com

通讯作者: 孟海波,副研究员,博士,主要从事生物质资源开发利用研究,E-mail: newmhb7209@163.com

具有产品价格低,生产率高等优点,因而具有较强的市场竞争力^[5-6]。生物质压块燃料压缩成型前的切碎原料粉碎粒度一般为5~30 mm^[7],是一种典型的散粒体,粉碎粒度范围大,能够影响输送、存贮等生产过程^[8-9]。目前,国内外对于生物质散粒体,如粮食种子的堆积角和摩擦角等物理特性^[10-11]和生物质原料发热量与工业分析^[12]方面有更多的研究,但对于粉碎粒度为5~30 mm块状燃料原料的理化特性研究较少。

因此本文选取我国粮食主产区的玉米秸秆及华北地区的7种农作物秸秆,对生物质压块燃料成型前的切碎原料进行试验研究,分析不同地区、不同作物秸秆的全水分、堆积密度、静态堆积角、外摩擦角、工业分析、热值等理化特性,及其对仓储、输送特性和成型等的影响。

1 材料与方法

1.1 试验原料

选择中国粮食主产区的玉米秸、稻秆、棉秆、麦秸、豆秸等农作物秸秆开展理化特性研究。其中玉米秸秆取自东北平原粮食主产区(黑龙江省双城市、内蒙古自治区赤峰市)、黄淮海平原主产区(北京市、山东省青岛市、河南省濮阳市、安徽省合肥市)中6个市;并对华北平原(样品主要取自北京市大兴区、河北省固安县等地)的玉米秸、棉秆、麦秸、豆秸、花生壳、葵花秆、芝麻秆等7种农作物秸秆开展研究。

方法按照农业行业标准《NY/T 1879—2010 生物质固体成型燃料采样方法》采样,由于作物秸秆的理化特性受温度、湿度影响较大,因此实地取样并密封储存。取样时间分别为各地区农作物秸秆收获后10~15 d内,秸秆自然风干,未发生霉变。每种样品质量在20~30 kg。

样品采集后在北京市大兴区农业部生物质固体成型燃料示范基地进行试验。各种农作物秸秆经93QS-16.0型铡草机粉碎处理后,粉碎粒度为5~30 mm,均能够满足压块成型的要求,样品按照农业行业标准《NY/T 1880—2010 生物质固体成型燃料样品制备方法》制备。

1.2 试验仪器

试验仪器主要有GJ-2型密封式化验制样粉碎机、XL-1箱型高温炉、BSA223S-CW型分析天平、PL2002型电子天平、101-1A型电热鼓风干燥箱、101-3A型电热鼓风干燥箱、ZDHW-5型微机全自动量热仪等,以及自制斜面仪、堆积仪、堆积桶等其

他设备。

1.3 测试参数与方法

物理想化特性包括全水分、堆积密度、静态堆积角、外摩擦角、低位发热量、工业分析(一般分析样本水分、灰分和挥发分)等。

(1)全水分:将生物质固体成型燃料样品置于105℃的温度下干燥至质量恒定,然后根据样品质量损失并修正浮力作用计算出全水分,测试标准为《NY/T 1881.2—2010 生物质固体成型燃料试验方法 第2部分:全水分》。

(2)堆积密度:是指振实堆积密度,根据单位标准体积的净质量来计算堆积密度,测试标准为《NY/T 1881.6—2010 生物质固体成型燃料试验方法 第6部分:堆积密度》。

(3)静态堆积角:根据堆积高度与堆积半径的正切值计算得到的,测试标准为《JB/T 9014.7—1999 连续输送设备 散粒物料堆积角的测定》。

(4)外摩擦角:分为动态外摩擦角和静态外摩擦角,是表征压块原料与器壁表面之间的流动阻力。测试标准为《JB/T 9014.9—1999 连续输送设备 散装物料外摩擦因数的测定》。

(5)低位热值:将样品在自动量热仪中燃烧测量其热值,测试标准为《NY/T 12—1985 生物质燃料发热量测试方法》。

(6)一般分析样本水分:指一般分析样品在实验室中与周围空气湿度达到大致平衡时所含的水分,测试标准为《NY/T 1881.3—2010 生物质固体成型燃料试验方法 第3部分:一般分析样品水分》。

(7)灰分:温度在(550±10)℃条件,通过计算样品在空气中加热后剩余物的质量占样品总质量的百分比来测定灰分,测试标准为《NY/T 1881.5—2010 生物质固体成型燃料试验方法 第5部分:灰分》。

(8)挥发分:一般分析样品的试验子样在隔绝空气的环境中(900±10℃)加热7 min。扣除水分质量损失后,试验子样质量损失占样品质量的百分数来计算挥发分。测试标准为《NY/T 1881.4—2010 生物质固体成型燃料试验方法 第4部分:挥发分》。

2 结果与分析

2.1 不同地区作物切碎秸秆理化特性

2.1.1 物理特性

不同地区的玉米切碎秸秆物理特性测试结果如表1所示。

表1 不同地区玉米切碎秸秆物理特性测试结果

Tab.1 Physical characterization of corn straw from different areas

取样地区	5~30 mm	全水分	动态外摩擦角	静态外摩擦角	静态堆积角	堆积密度
	粒度率/%	/%	/($^{\circ}$)	/($^{\circ}$)	/($^{\circ}$)	/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
安徽省合肥市	68.09	10.09	25.66 ^a	25.75 ^a	45.81 ^a	52.82 ^a
河南省濮阳市	74.28	9.53	22.24 ^b	22.51 ^b	47.54 ^a	50.09 ^a
山东省青岛市	71.01	12.70	25.26 ^a	26.07 ^a	46.17 ^a	53.70 ^a
北京市大兴区	65.08	10.62	24.21 ^a	25.82 ^a	46.81 ^a	52.95 ^a
黑龙江省双城市	62.83	11.51	22.85 ^b	23.20 ^b	50.79 ^b	44.54 ^b
内蒙古自治区赤峰市	65.30	11.15	22.60 ^b	23.61 ^b	49.62 ^b	42.17 ^b

注:同一列内相同字母表示差异不显著(LSD $P < 0.05$);粒度率指粒度在5~30 mm的切碎物料占物料总量的百分比。

(1) 全水分

秸秆原料的水分变化较大,将会影响成型,如果秸秆原料全水分过高,需要进行干燥处理。试验结果表明,各地区收获自然风干后的玉米秸秆全水分差异不明显,基本在10%左右,无需干燥即可以满足成型要求。

(2) 外摩擦角

从表1中可以看出,用于生物质压块燃料的切碎玉米秸秆的动态外摩擦角在22.6°~25.66°之间,总体来看,东北平原黑龙江和内蒙古地区玉米秸秆的动态外摩擦角无差异,但与其他地区(除河南省)存在显著差异,明显低于其他地区;不同地区玉米秸秆的静态外摩擦角基本上与动态外摩擦角存在相同的规律。摩擦角与原料表面的光滑程度有关,东北平原玉米秸秆的摩擦角显著小于其他地区,这是由于东北地区气候寒冷、地理位置的差异造成的,导致作物秸秆的摩擦角存在差异。另外,为了使秸秆能顺利流动,料仓实际料壁与水平面的夹角应比外摩擦角大5°~10°^[13],因此在设计料仓时,要考虑到玉米秸秆的区域性。

(3) 静态堆积角

静态堆积角是原料流动特性的一个重要指标,静态堆积角越大,其流动性就越差;相反,静态堆积角越小,流动性就越好。从表1可以看出,东北平原的玉米秸秆的静态堆积角(数值在50°左右)无显著差异,黄淮海平原的各区间也无明显差异,在45.81°~47.54°之间,但均低于东北平原的玉米秸秆,且存在显著差异。此外,各地区的玉米秸秆的静态堆积角均大于45°,属于流动性差的物料。

(4) 堆积密度

黄淮海平原各地区玉米秸秆的堆积密度在50.09~53.7 kg/m³之间,无显著差异,但均高于东北平原,且存在显著差异,东北平原各地区玉米秸秆堆积密度为42.17~44.54 kg/m³,与静态堆积角成反比。不同地区玉米秸秆堆积密度均小于60 kg/m³,属于轻物料。

2.1.2 化学特性

化学特性包括低位热值和工业分析,可采用收到基、空气干燥基、干燥基和高燥无灰基等基准来表示。考虑到收到基更能代表实际情况,本文主要讨论收到基。

(1) 低位热值

表1中各取样地区的玉米秸秆恒压收到基低位热值差异不大,分别为14.91、14.58、14.26、15.04、14.51、14.80 MJ/kg。

(2) 工业分析

工业分析包括全水分、灰分、挥发分和固定碳,固定碳含量是指秸秆原料除去水分、灰分和挥发分后的残留物。不同地区玉米秸秆工业分析测试结果如图1所示(同一颜色柱形图相同字母表示差异不显著(LSD $P < 0.05$))。

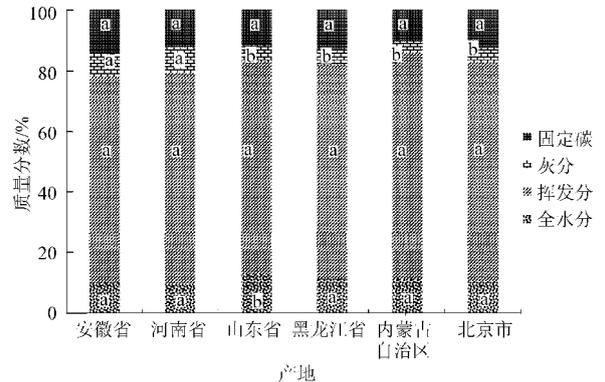


图1 不同地区玉米秸秆工业分析测试结果

Fig.1 Proximate analysis of corn straw from different area

从图1可以看出,对于不同地区的玉米秸秆挥发分质量分数差别不大,除安徽省玉米秸秆挥发分为67.86%,内蒙古自治区为74.41%外,其他地区的挥发分基本上都在70%左右,无显著差异。

对于不同地区的玉米秸,其灰分含量差异较大。安徽省、河南省的玉米秸秆灰分含量超过了8%以上,明显高于其他地区,具有显著性差异,其中内蒙古地区玉米秸秆的灰分最小,仅为3.67%,这可能是由于东北地区的地理位置、气候与其他地区差异较大造成的。

2.2 同一地区不同作物切碎秸秆理化特性

2.2.1 物理特性

北京市郊区的玉米秸秆、棉秆、麦秸、豆秸、花生壳、葵花秆、芝麻秆等7种农作物秸秆的物理特性如

表2所示。其中,除花生壳的切碎粒度率较大外,其他农作物秸秆5~30 mm粒度的粒度平均为65%~75%之间,全水分在10.05%~21.29%之间,无显著差异。

表2 同一地区不同作物切碎秸秆的物理特性测试结果

Tab.2 Physical characterization of different crop straw from the same area

秸秆	5~30 mm 粒度率/%	全水分/%	动态外摩擦角/(°)	静态外摩擦角/(°)	静态堆积角/(°)	堆积密度/kg·m ⁻³
玉米秸	65.08	10.62	24.21 ^a	25.82 ^a	46.81 ^a	52.95 ^a
豆秸	70.75	10.16	21.41 ^b	22.82 ^b	47.55 ^a	108.96 ^b
棉秆	60.01	12.29	23.70 ^a	24.14 ^a	49.24 ^a	109.37 ^b
花生壳	88.65	11.62	20.26 ^b	22.13 ^b	35.48 ^b	98.20 ^b
小麦秸	77.31	10.05	21.05 ^b	21.82 ^b	48.74 ^a	29.97 ^c
芝麻秆	74.87	10.86	21.09 ^b	22.78 ^b	47.59 ^a	66.67 ^a
葵花秆	74.99	11.05	21.25 ^b	22.16 ^b	38.29 ^b	84.05 ^b

注:同一列内相同字母表示差异不显著(LSD $P < 0.05$)。

(1) 外摩擦角

试验结果表明,玉米秸秆和棉秆的动态外摩擦角分别为24.21°、23.70°,无显著差异,但均大于豆秸、花生壳等其他作物秸秆21°左右的动态外摩擦角。因此设计料仓时,用于玉米秸秆和棉秆料仓的实际料壁与水平面的夹角应比其他农作物秸秆大4°左右。

对于静态外摩擦角而言,其变化规律与动态外摩擦角相同,但数值均大于动态外摩擦角。

(2) 静态堆积角

花生壳和葵花秆的静态堆积角无显著差异,分别为35.48°、38.29°,属于正常流动物料,玉米秸秆、豆秸等其他秸秆的静态堆积角在47.55°~49.24°之间,与花生壳和葵花秆相比,有显著差异,均属于流动性差的物料。

(3) 堆积密度

不同作物秸秆的堆积密度差异较大,小麦秸秆的堆积密度最小,为29.97 kg/m³,这是因为小麦秸秆属于空心茎类秸秆,密度比豆秸、棉秆等实心茎类秸秆要低,最大的为棉秆,堆积密度为109.37 kg/m³。根据试验结果,按照堆积密度的大小,可将作物秸秆分为3种类型,①低堆积密度:玉米秸秆、小麦秸秆。②中堆积密度:芝麻秆、葵花秆。③高堆积密度:豆秸、棉秆、花生壳。堆积密度对于原料输送、存贮等影响较大,因此要针对不同的作物设计不同输送设备、存贮设备。

2.2.2 化学特性

(1) 低位热值

不同农作物秸秆的低位热值差异较大,最高的为花生壳、芝麻秆、棉秆和玉米秸,分别为15.95、15.30、15.25、15.04 MJ/kg,显著高于热值分别为

14.73、14.53、14.76 MJ/kg的豆秸、小麦秸秆、葵花秆。

(2) 工业分析

同一地区不同农作物秸秆工业分析测试结果如图2所示(同一颜色柱形图相同字母表示差异不显著(LSD $P < 0.05$))。

从图2可以看出,对于同一地区的不同农作物秸秆挥发分质量分数差别不大,基本都在70%左右,差异不大。

对于不同的作物秸秆,其灰分质量分数差异较大。试验结果表明,小麦秸秆的灰分最高,达到7.26%,棉秆和花生壳的灰分最低,分别为3.44%、3.25%,这说明不同种类的农作物秸秆,灰分存在差异,是由于作物品种造成的。

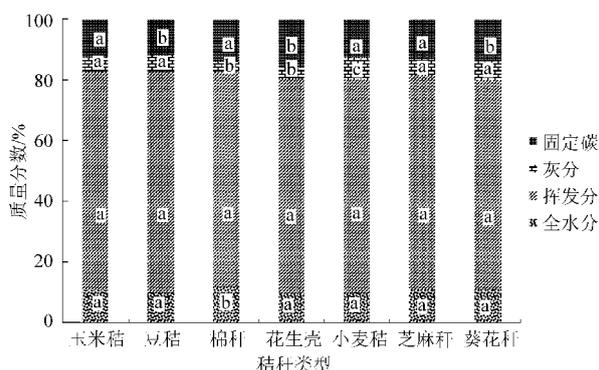


图2 同一地区不同农作物秸秆工业分析测试结果

Fig.2 Proximate analysis of different crop straw from the same area

2.3 讨论

由各种农作物秸秆物理特性和化学特性的试验结果表明,在粉碎粒度基本相同的条件下,不同地区的玉米秸秆理化特性有显著差异。东北平原(黑龙江省双城市、内蒙古自治区赤峰市)玉米秸秆的动、静态外摩擦角均小于其他地区,在成型燃料生产过

程中设计料仓时,应考虑用于黄淮海平原料仓的实际料壁与水平面的夹角要大于其他地区。静态堆积角和堆积密度也有显著差异,尤其是堆积密度,东北地区要比其他地区平均低 17.25%,这说明东北地区的气候条件、地理位置的差异,对作物秸秆有较大影响,因此在生物质压块燃料生产过程中,切碎原料的收集、存贮、运输,尤其是混合、输送等预处理工艺中,要针对不同地区,因地制宜制定秸秆预处理工艺参数,并充分考虑原料的输送装置、料仓等。对于低位热值、挥发分,各地区的玉米秸秆差异不大;东北地区玉米秸秆的灰分含量最小,尤其是内蒙古地区玉米秸秆的灰分最小。热值、挥发分、灰分对于燃烧有显著的影响^[14~15],灰分较高,会出现不易点火、燃烧不彻底及易结渣等现象,因此针对不同地区的玉米秸秆,在选择燃烧设备(如锅炉、燃烧器)时,要充分考虑这种特性,研究设计适宜的点火系统、燃烧后的清渣装置等。

对于同一地区不同农作物秸秆,物理和化学特性存在明显差异。玉米秸秆和棉秆动态外摩擦角均大于其他秸秆,在输送机构及料仓设计时,要考虑到用于玉米秸秆和棉秆料仓的实际料壁与水平面夹角应比其他农作物秸秆大 4° 左右。对于堆积密度,低堆积密度作物(如小麦秸秆为 29.97 kg/m^3)要低于高堆积密度作物(如棉秆为 109.37 kg/m^3),这是由于作物秸秆本身的特征造成的,小麦秸属于空心茎类秸秆,密度比豆秸、棉秆等实心茎类秸秆要低。因

此针对不同的农作物秸秆,要制定不同的原料收集、存贮、运输、粉碎、混合、输送等预处理工艺路线,尤其是原料输送设备、混合贮藏设备及输送速度等,高堆积密度作物(豆秸、棉秆、花生壳)和低堆积密度的作物(玉米秸秆、小麦秸秆)要采用不同容积的设备。对于热值、挥发分、灰分等化学特性,不同的农作物秸秆也存在显著差异,这对成型燃料的燃烧有较大影响,因此在设计燃烧设备时,要充分考虑燃烧设备的适应性。

3 结论

(1)东北平原各地区的玉米秸秆理化特性与其他地区有显著差异,动、静态外摩擦角均小于其他地区,堆积密度要比其他地区平均低 17.25%,同时灰分含量最小,尤其是内蒙古地区玉米秸秆的灰分仅为 4.13%。

(2)同一地区的不同农作物秸秆,物理和化学特性存在明显差异,玉米秸秆和棉秆的动态外摩擦角与其他秸秆呈显著差异,棉秆的堆积密度为 109.37 kg/m^3 ,远远高于小麦秸秆的堆积密度,在热值、挥发分、灰分等化学特性,不同的农作物秸秆也存在显著差异。

(3)建议针对不同地区的同一作物及同一地区的不同作物在加工生产成型燃料时,要充分考虑原料收贮、输送等预处理工艺路线,及设计合理的料仓、输送机构。

参 考 文 献

- 崔明,赵立欣,田宜水,等. 中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价[J]. 农业工程学报,2008,24(12):291~296.
Cui Ming, Zhao Lixin, Tian Yishui, et al. Analysis and evaluation on energy utilization of main crop straw resources in China [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 291~296. (in Chinese)
- Sjaak Van Loo, Jaap Koppejan. Handbook of biomass combustion and co-firing [M]. Enschede: Twente University Press, 2002.
- 吴剑之,周肇秋,阴秀丽,等. 我国生物质能源发展现状与思考[J]. 农业机械学报,2009,40(1):91~99.
Wu Chuangzhi, Zhou Zhaoqiu, Yin Xiuli, et al. Current status of biomass energy development in China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 91~99. (in Chinese)
- 田宜水,孟海波,孙丽英. 秸秆能源化技术与工程[M]. 北京:人民邮电出版社,2010.
- 何元斌. 生物质压缩成型燃料及成型技术[J]. 农村能源,1995(5):12~14.
- Nalladurai Kaliyana, Vance Morey R. Factors affecting strength and durability of densified biomass products[J]. Biomass and Bioenergy, 2009, 33(3):337~359.
- 欧阳双平,侯书林,赵立欣,等. 生物质固体成型燃料环模成型技术研究进展[J]. 可再生能源,2011,29(1):14~18.
Ouyang Shuangping, Hou Shulin, Zhao Lixin, et al. The research progress of annular ring technology for densified biofuel [J]. Renewable Energy Resources, 2011, 29(1):14~18. (in Chinese)
- 盛奎川,吴杰. 生物质成型燃料的物理品质和成型机理的研究进展[J]. 农业工程学报,2004,20(2):242~245.
Sheng Kuichuan, Wu Jie. Review on physical properties and forming mechanisms of biomass briquettes [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(2): 242~245. (in Chinese)
- 胡建军. 秸秆颗粒燃料冷态压缩成型实验研究及数值模拟[D]. 大连:大连理工大学,2008.
Hu Jianjun. Straw pellet fuel cold molding by compression: experimental study and numerical simulation[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2008. (in Chinese)

- Food and Fermentation Industries, 2004, 30(6): 118 ~ 122. (in Chinese)
- 16 Zhao S M, Xiong S B, Qiu C G, et al. Effect of microwaves on rice quality[J]. Journal of Stored Products Research, 2007, 43(4): 496 ~ 502.
- 17 管军军. 微波合成大豆蛋白-糖接枝物机理、结构及功能性[D]. 无锡:江南大学, 2005.
- 18 海日罕,迟玉杰. 微波辅助磷酸化改性提高大豆分离蛋白乳化性的研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(6): 36 ~ 39.
Hai Rihan, Chi Yujie. Modifying soy protein isolate by microwave-assisted phosphorylation to improve emulsification properties[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24(6): 36 ~ 39. (in Chinese)
- 19 Pearce K N, Kinsella J E. Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidimetric technique [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1978, 26(3): 716 ~ 723.
- 20 史景熙,郭睿,蔡国平. 胶原蛋白水解肽磷酸化的研究[J]. 生物技术, 2003, 13(3): 16 ~ 19.
Shi Jingxi, Guo Rui, Cai Guoping. Studies on phosphorylation of the collagen hydrolysate [J]. Biotechnology, 2003, 13(3): 16 ~ 19. (in Chinese)
- 21 袁志发,周静芊. 试验设计与分析[M]. 北京:高等教育出版社, 2000.
- 22 邓芹英,刘岚,邓慧敏. 波普分析教程[M]. 2版. 北京:科学出版社, 2007.
- 23 Motohiko Hirotsuka, Hitoshi Taniguchi, Hiroshi Narita, et al. Functionality and digestibility of a highly phosphorylated soybean protein[J]. Journal of the American Chemical Society, 1984, 48(1): 93 ~ 100.
- 24 田少君,李小阳,曾艳菊,等. 大豆分离蛋白的磷酸化改性[J]. 中国粮油学报, 2003, 18(2): 46 ~ 49.
Tian Shaojun, Li Xiaoyang, Zeng Yanju, et al. The modification of soybean proteins by phosphorylation [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2003, 18(2): 46 ~ 49. (in Chinese)
- 25 Zhang K S, Li Y Y, Ren Y X. Research on the phosphorylation of soy protein isolate with sodium tripoly phosphate [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(4): 1 233 ~ 1 237.
- 26 Guan J J, Qiu A Y, Liu X Y, et al. Microwave improvement of soy protein isolate-saccharide graft reactions [J]. Food Chemistry, 2006, 97(4): 577 ~ 585.
- 27 申世强,傅亮,徐康,等. 大豆分离蛋白磷酸化改性研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(6): 141 ~ 144.
Shen Shiqiang, Fu Liang, Xu Kang, et al. Study on phosphorylation of soybean protein isolate [J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 31(6): 141 ~ 144. (in Chinese)
- 28 Puppo M C, Speroni F, Chapleau N, et al. Effect of high-pressure treatment on emulsifying properties of soybean proteins [J]. Food Hydrocolloids, 2005, 19(2): 289 ~ 296.

(上接第 128 页)

- 10 张桂花,汤楚宙,熊远福,等. 包衣稻种物理特性的测量及其应用[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2004, 30(1): 68 ~ 70.
Zhang Guihua, Tang Chuzhou, Xiong Yuanfu, et al. Measurement and application of the capsuled seed physical characteristics [J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2004, 30(1): 68 ~ 70. (in Chinese)
- 11 郭胜,赵淑红,杨悦乾,等. 除芒稻种摩擦特性测量[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(7): 118 ~ 121.
Guo Sheng, Zhao Shuhong, Yang Yueqian, et al. Material characteristics determination of paddy kernal deawned [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(7): 118 ~ 121. (in Chinese)
- 12 Sylvia Larsson. Fuelpellet production from reed canary grass [D]. Stockholm: Swedish University of Agricultural Sciences, 2008.
- 13 张善荣. 散料输送与贮运[M]. 北京:化学工业出版社, 1994.
- 14 罗娟,侯书林,赵立欣,等. 典型生物质颗粒燃料燃烧特性试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 220 ~ 226.
Luo Juan, Hou Shulin, Zhao Lixin, et al. Experimental study on combustion and emission characteristics of biomass pellets [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(5): 220 ~ 226. (in Chinese)
- 15 姚宗路,赵立欣, Ronnback M, 等. 生物质颗粒燃料特性及其对燃烧的影响分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10): 97 ~ 102.
Yao Zonglu, Zhao Lixin, Ronnback M, et al. Comparison on effect of characterization of biomass pellet fuels on combustion behavior [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10): 97 ~ 102. (in Chinese)