

# 3种作物秸秆发酵后对家蝇的饲养效果

刘颖 漆学伟 李志豪 牛长缨

华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070

**摘要** 为实现作物秸秆资源的循环利用,对玉米、小麦和水稻秸秆进行机械粉碎、酵母发酵及添加麦麸等处理后,配制成人工饲料饲养家蝇 *Musca domestica*。结果显示:3种作物秸秆发酵后对家蝇的饲喂效果依次为:玉米秸秆优于小麦秸秆,小麦秸秆优于水稻秸秆;玉米秸秆饲料被家蝇幼虫取食后粗蛋白、粗脂肪的含量显著下降( $0.01 < P < 0.05$ );小麦秸秆饲料被取食后,可溶性糖、淀粉、粗蛋白和粗脂肪含量显著下降( $0.01 < P < 0.05$ )。获得优化的秸秆人工饲料配方,即玉米秸秆或小麦秸秆:麦麸(质量比)=1:1,发酵时间3 d,每250 g饲料添加初孵幼虫200 mg。

**关键词** 作物秸秆;人工饲料;家蝇

**中图分类号** S 39 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2017)01-0055-06

我国是世界第一产秸秆大国,作物秸秆资源丰富,年产出量约8.2亿t,其中水稻、玉米、小麦3种粮食作物秸秆产量最大,约占全国秸秆总产量的2/3,占世界秸秆总产量的20%~30%<sup>[1]</sup>。每到收获季节,约1/3秸秆就地焚烧,既污染环境又造成农业资源的极大浪费<sup>[2]</sup>。因此,对作物秸秆资源的有效利用具有重要意义。

酶法<sup>[3-9]</sup>和微生物法<sup>[10-14]</sup>等生物技术是目前国内外最有效的秸秆饲料化处理方法,处理后的秸秆不仅能提高秸秆饲料的适口性,同时能增加饲料的粗蛋白等营养物质的含量,提高秸秆饲料的利用率<sup>[15]</sup>。秸秆的基质化利用主要是通过高温好氧堆肥(发酵)的原理和方法对秸秆进行发酵腐熟,改善秸秆的理化性状,优化秸秆的营养结构。将农作物秸秆进行基质化处理后用作饲养昆虫的人工饲料,用于生产昆虫源蛋白饲料。研究发现,利用发酵处理后的玉米秸秆饲养黄粉虫,能实现作物秸秆资源的高度转化,达到农业废弃物循环利用的目的<sup>[16]</sup>;刘玉升等<sup>[17]</sup>利用发酵的玉米秸秆饲养白星花金龟幼虫,建立了养虫—喂鸡—种植玉米的微型生态循环农牧场模式,不仅解决了秸秆的转化处理,提高农民收入,而且实现了循环农业的发展。

家蝇 *Musca domestica* 属双翅目蝇科,是一种

重要的资源昆虫。家蝇幼虫富含蛋白质、脂肪、抗菌肽等营养物质<sup>[18]</sup>,在生物医药、食品和饲料开发等方面有着广泛的应用前景<sup>[19]</sup>。同时,家蝇是杂食性昆虫,世代周期短、繁殖力高、饲养容易,目前尚未见利用秸秆资源饲养家蝇的报道。本研究拟建立一种秸秆资源的基质化处理技术,开发规模化饲养家蝇的秸秆饲料配方,旨在通过秸秆资源基质化和经济昆虫饲养技术的结合,实现作物秸秆的循环利用。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试昆虫

以湖北省昆虫资源利用与害虫可持续治理重点实验室繁育的家蝇 *Musca domestica* 为供试昆虫。成虫置于养虫笼(30 cm×30 cm×45 cm)中饲养。笼中放入1个直径9 cm的培养皿并放入饲料( $m_{\text{白糖}} : m_{\text{全脂奶粉}} = 4 : 1$ )10 g,作为饲料盘供其取食,每天更换新鲜饲料以保证营养充足;另放一个塑料碗(12 cm×8 cm×7 cm)并添加麦麸( $m_{\text{麦麸}} : m_{\text{水}} = 1 : 2$ ),作为产卵盘供其产卵。

饲养条件:光周期 L/D=14 h/10 h,相对湿度50%~60%,温度(28±1)℃。待成虫开始产卵后,在试验前1 d晚上20:00换上新的产卵基质,并于第2天早上09:00取出,这一时段内接种的初孵幼

收稿日期:2016-07-11

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201503137)

刘颖,硕士研究生.研究方向:昆虫生理生化与分子生物学. E-mail: liuyinghappy2009@163.com

通信作者:牛长缨,博士,教授.研究方向:昆虫生理生化与分子生物学. E-mail: niuchangying88@163.com

虫视为同龄,供试验使用。

## 1.2 秸秆筛选

收集玉米秸秆、小麦秸秆、水稻秸秆,晒干后用农用粉碎机粉碎,并过孔径 2 mm 筛后于常温干燥处保存备用。从初孵幼虫开始用秸秆混合饲料( $m_{\text{秸秆}} : m_{\text{麦麸}} = 2 : 3^{[20]}$ ),饲喂对照为常规饲料,先后观察统计幼虫存活率、化蛹率、羽化率,筛选出饲养家蝇效果最佳的秸秆,供后续试验。

## 1.3 试验设计

考虑到试验所涉及的因素和水平,采用均匀设计  $U_7^*(7^4)$  安排试验,见表 1、表 2。统计幼虫质量、化蛹率、羽化率、单雌产卵量及第 2 代孵化率等生物学指标。

表 1 因素和水平

Table 1 Uniform level of form factors

因素水平 Level of form factors	$m_{\text{秸秆}} : m_{\text{麦麸}}$ Mass ratio of crop straw and wheat bran	发酵时间/d Fermentation time	接种虫质量/mg Inoculated larvae
1	8 : 2	0	125
2	7 : 3	1	150
3	6 : 4	2	175
4	5 : 5	3	200
5	4 : 6	4	225
6	3 : 7	5	250
7	2 : 8	6	275

表 2 均匀试验设计方案

Table 2 Uniform design

试验号 No. of experiment	$m_{\text{秸秆}} : m_{\text{麦麸}}$ Mass ratio of crop straw and wheat bran	发酵时间/d Fermentation time	接种虫质量/mg Inoculated larvae
1	6 : 4 (3)	4 (5)	275 (7)
2	3 : 7 (6)	1 (2)	250 (6)
3	8 : 2 (1)	6 (7)	225 (5)
4	5 : 5 (4)	3 (4)	200 (4)
5	2 : 8 (7)	0 (1)	175 (3)
6	7 : 3 (2)	5 (6)	150 (2)
7	4 : 6 (5)	2 (3)	125 (1)

注:每组秸秆饲料的质量为 250 g;表中括号内的数字对应其在表 1 中的水平。Note: The quality of each straw diet is 250 g. The numbers of brackets in Table 2 corresponding to their levels in Table 1.

## 1.4 发酵饲料的制备

称取安琪酵母(按酵母与秸秆质量比 1 : 100)发酵秸秆,发酵前将酵母菌活化,根据说明书,按需要量称取酵母加入消毒的烧杯内,用 35 ℃ 蒸馏水活化 10 min,并搅拌均匀,秸秆粉碎后加入菌悬液并调节水分,搅拌均匀,装入塑料盆中,25 ℃ 条件下发

酵至规定时间,发酵时间见表 1。发酵后,按照相应比例添加麦麸,搅拌均匀,制成饲料置于 4 ℃ 冰箱备用。

## 1.5 生物学指标的测定

待家蝇进入老熟幼虫期(第 4 天),筛选出所有老熟幼虫称量(总质量为幼虫质量);随机选取 100 头老熟幼虫单独放于加有浸湿脱脂棉的塑料碗(12 cm × 8 cm × 7 cm)中,进入化蛹期后每天统计化蛹数,化蛹率 = 化蛹数 / 100 × 100%;随机选取 100 头蛹单独放置,待羽化后,每天统计羽化数,羽化率 = 羽化数 / 100 × 100%;随机选取 5 对成虫(雌雄各半)于 4 cm × 11 cm 盛有产卵基质的玻璃管中,每天统计其产卵总量,每日单雌产卵量 = 产量总量 / 当日雌虫数,连续统计 20 d。单雌产卵量为每日单雌产卵量之和;产卵第 2 天统计孵化数,孵化率 = 孵化数 / 产卵总量 × 100%。

## 1.6 生化指标

发酵前后秸秆的可溶性糖、淀粉、粗蛋白、粗脂肪、纤维素、半纤维素、木质素、灰分等成分的检测参照文献[21]进行,家蝇幼虫的粗蛋白、粗脂肪、灰分分别按照 GB5009.5—2010、GB/T 14772—2008、GB5009.4—2010 测定。

## 1.7 数据分析

用 Excel 进行数据整理,SPSS 16.0 软件进行单因素方差分析 ANOVA 并作 Tukey's HSD 检测,数据均以平均数 ± 标准误表示,用 OriginPro 8.5.1 作图。

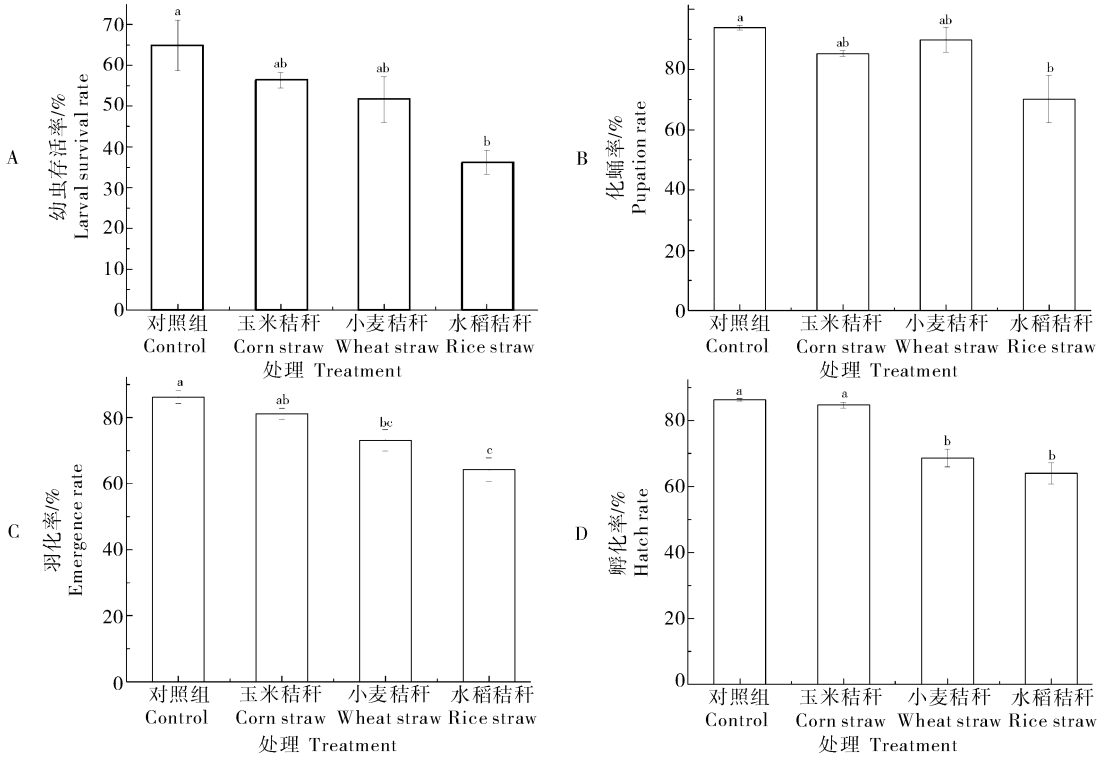
# 2 结果与分析

## 2.1 秸秆筛选

通过统计幼虫存活率、化蛹率、羽化率及孵化率(图 1),得到秸秆饲料饲喂家蝇的效果,玉米秸秆最佳,小麦秸秆其次。玉米秸秆和小麦秸秆饲喂的家蝇幼虫存活率与对照组无显著差异( $P > 0.05$ ,图 1A),水稻秸秆饲喂的幼虫存活率仅在 30% 左右,显著低于对照组( $0.01 < P < 0.05$ );化蛹率与幼虫存活率的结果相似,即玉米秸秆和小麦秸秆饲喂的家蝇化蛹率与对照组无显著差异( $P > 0.05$ ,图 1B);玉米秸秆饲喂的羽化率与对照组无显著差异( $P > 0.05$ ),小麦秸秆与玉米秸秆无显著差异( $P > 0.05$ ,图 1C),但与对照组和 水稻秸秆有显著差异( $0.01 < P < 0.05$ ),水稻秸秆饲喂的家蝇羽化率较低。根据孵化率(D)可知,玉米秸秆与对照组(常

规饲料)没有差异( $P > 0.05$ ),小麦秸秆和玉米秸秆与对照组有显著差异,说明玉米秸秆的饲喂效果较好;因此,得到饲喂家蝇的效果依次为:玉米

秸秆优于小麦秸秆,小麦秸秆优于水稻秸秆。结合成本因素和转化技术,选择玉米秸秆和小麦秸秆进行后续试验。



图中数据采用 Tukey's HSD 检测法,相同小写字母表示差异不显著,不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。Compared using Tukey's HSD test, Different small letters mean significant difference for data in the same column at  $P < 0.05$  level.

图 1 秸秆饲喂家蝇效果

Fig.1 Effect of straws feeding *Musca domestica*

### 2.2 秸秆发酵前后营养成分测定

如图 2 可知,发酵后玉米秸秆和小麦秸秆中可溶性糖、淀粉、粗蛋白极显著增加( $0.01 < P < 0.05$ );纤维素和半纤维素含量极显著下降( $P < 0.01$ );粗

脂肪和灰分含量略有上升;木质素含量略有下降;说明发酵可能使秸秆中纤维素转化为单分子的可溶性糖、淀粉和粗蛋白,使秸秆中可吸收的营养物质增加,有利于昆虫的取食。

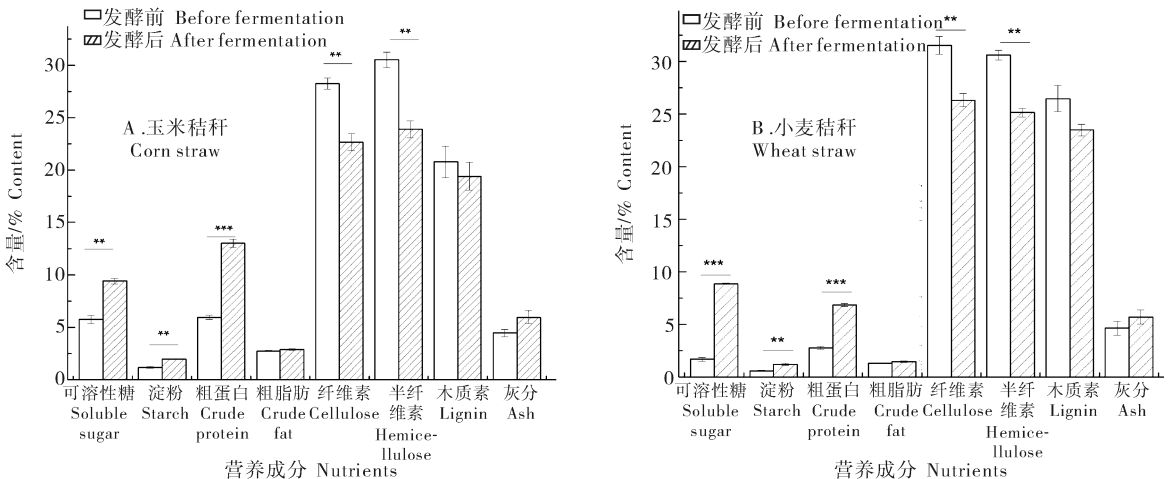


图 2 秸秆发酵前后营养成分含量

Fig.2 Nutrients of straws measured before and after fermentation

### 2.3 秸秆饲料经家蝇取食后营养成分的变化

如图 3A 可知,玉米秸秆饲料被家蝇幼虫取食后粗蛋白、粗脂肪的含量显著下降(0.01 < P < 0.05),说明秸秆饲料中营养成分被家蝇取食;可溶性糖没有显著变化(P > 0.05),但呈现了一定的上

升趋势;由图 3B 可知,小麦秸秆饲料被家蝇幼虫取食后,可溶性糖、淀粉、粗蛋白、粗脂肪和灰分均显著下降(0.01 < P < 0.05),说明幼虫取食了可吸收的单分子物质;而不论玉米秸秆饲料或小麦秸秆饲料被取食后,纤维素、半纤维素和木质素的含量均有所增加。

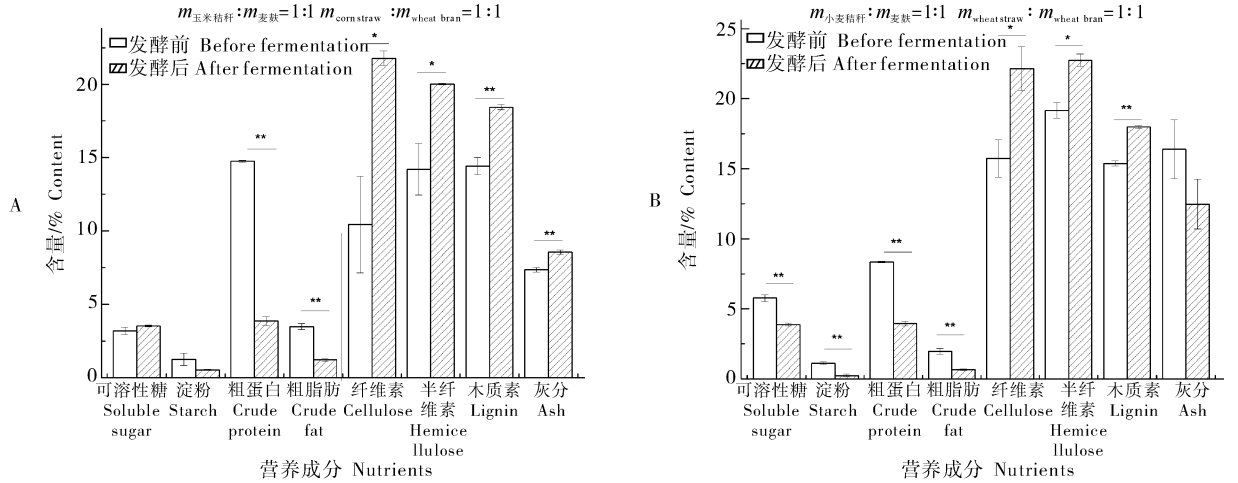


图 3 秸秆饲料经家蝇取食前后营养成分含量

Fig.3 Nutrients of straw diets measured before and after feeding by *Musca domestica*

### 2.4 秸秆饲料对家蝇生物学指标的影响

1)玉米秸秆。由表 3 可知,试验组 2、3、4、5 饲养的幼虫较大;依据化蛹率和羽化率,试验组 1、2、3、4 饲料较好;从单雌产卵量和孵化率来看 3、4、5、6 饲料好。因此,试验组 3、4、5 玉米秸秆饲料,即秸秆和麦麸质量配比为 4 : 6、5 : 5、6 : 4 的玉米秸秆饲

料,发酵时间分别为 2、3、4 d,每 250 g 饲料添加初孵卵数 125、200、275 mg 的效果较好。结合成本考量,最佳玉米秸秆饲料配方为  $m_{\text{玉米秸秆}} : m_{\text{麦麸}} = 1 : 1$ ,发酵时间 3 d;每 250 g 饲料添加初孵幼虫 200 mg。

2)小麦秸秆。如表 3 可知,试验组 3、4、5 饲养的幼虫较大;据化蛹率,试验组 3、4 小麦秸秆饲料效

表 3 玉米、小麦秸秆饲料对家蝇的饲养效果

Table 3 The rearing effects of corn and wheat straw diets on *Musca domestica*

试验号 No. of experiment	配比 Mass ratio with wheat bran	发酵时间/d Fermentation time	接种虫质量/mg Inoculated larvae	秸秆种类 Straw types	幼虫质量/g Larval weight	化蛹率/% Pupation rate	羽化率/% Adult emergence	单雌产卵量 Fecundity	孵化率/% Fertility
1	2 : 8	0	175	玉米 Corn	7.49±0.38b	97±1.4a	98±0.9a	132±21bc	48±8.9ab
				小麦 Wheat	15.19±1.73a	97±0.7a	97±0.9a	205±11a	67±1.3c
2	3 : 7	1	250	玉米 Corn	13.50±1.01a	99±0.2a	98±1.1a	70±8cd	38±5.0b
				小麦 Wheat	14.14±0.81ab	98±0.3a	98±0.6a	188±13a	75±0.3b
3	4 : 6	2	125	玉米 Corn	9.47±0.73b	95±0.9a	93±0.6a	231±10a	67±5.6a
				小麦 Wheat	17.93±0.88a	96±0.4a	93±1.1a	197±3a	82±1.2a
4	5 : 5	3	200	玉米 Corn	7.50±0.15b	96±0.9a	98±0.5a	150±26b	51±4.4ab
				小麦 Wheat	17.50±0.15a	96±0.7a	98±0.3a	193±7a	83±1.3a
5	6 : 4	4	275	玉米 Corn	7.70±0.47b	88±1.9b	97±0.6a	120±19bc	62±5.8ab
				小麦 Wheat	17.86±0.40a	91±0.9b	96±0.9a	207±7a	81±1.4a
6	7 : 3	5	150	玉米 Corn	6.36±0.13bc	87±0.9b	94±1.5a	136±6bc	50±8.0ab
				小麦 Wheat	10.62±0.18bc	87±1.3c	93±1.5a	121±2b	83±1.3a
7	8 : 2	6	225	玉米 Corn	4.01±1.62c	83±0.9b	56±4.3b	—	—
				小麦 Wheat	7.83±1.24c	82±0.6d	57±3.7b	86±3c	87±1.0a

注:表 2 中玉米秸秆和小麦秸秆分别进行比较分析。数据采用 Tukey's HSD 检测法,相同小写字母表示差异不显著,不同小写字母表示差异显著(P < 0.05)。下同。Corn straw and wheat straw were analyzed respectively in Table 2. Compared using Tukey's HSD test. Different small letters mean significant difference for data in the same column at P < 0.05 level. The same as follows.

果较好;从羽化率,1、2、3、4、5、6均不错;而从单雌产卵量来说试验组1、2、3、4、5的效果优于其他试验组;从第2代孵化率来看,试验组3、4、5、6、7的效果优于其他组。因此,试验组3、4的效果较好,即秸秆和麦麸质量比4:6、5:5,发酵时间2、3 d,每250 g饲料添加初孵幼虫数125、200 mg。结合成本考虑,最佳小麦秸秆饲料配方为  $m_{\text{小麦秸秆}} : m_{\text{麦麸}} = 1 : 1$ ,发酵时间3 d;每250 g饲料添加初孵幼虫200 mg。

### 2.5 秸秆饲料对家蝇营养成分的影响

同常规饲料组相比,不同秸秆饲料饲养的家蝇幼虫粗蛋白、粗脂肪及灰分等营养成分无显著差异( $P > 0.05$ ) (表4)。说明使用玉米秸秆饲料或小麦秸秆饲料饲喂家蝇,不会改变家蝇幼虫的营养成分,即以  $m_{\text{秸秆}} : m_{\text{麦麸}} = 1 : 1$  制成的秸秆饲料饲喂家蝇的效果好。

表4 不同饲料对家蝇营养成分的影响(g/100 g干质量)

Table 4 Effects of different diets on nutrients of *Musca domestica* (g/100 g dry mass)

营养成分 Nutrient	常规饲料 Conventional diet (CK)	小麦秸秆饲料 Wheat straw diet	玉米秸秆饲料 Corn straw diet
粗蛋白 Crude protein	57.499±0.647a	57.802±0.815a	60.732±0.813a
粗脂肪 Crude fat	19.257±2.669a	16.230±0.235a	23.449±3.061a
灰分 Ash	14.223±1.741a	10.667±1.926a	8.803±0.557a

## 3 讨论

作物秸秆属于重要的农业资源。近年来,我国农作物产量连续增长,秸秆产量增加,但综合利用效果差,1/3的作物秸秆就地焚烧、污染环境,资源浪费十分严重<sup>[1]</sup>。利用家蝇转化作物秸秆可有效利用秸秆资源、降低养殖成本,获得优质昆虫蛋白,达到秸秆资源循环利用的目的。

本研究通过机械粉碎、酵母发酵等手段处理秸秆,使其可吸收的营养物质增加,适口性改善,从而有利于昆虫的取食。秸秆发酵试验表明,发酵后玉米秸秆和小麦秸秆中可溶性糖、淀粉、粗蛋白含量极显著增加,纤维素和半纤维素含量极显著下降,即前期处理可使秸秆可吸收的营养物质增加,适口性改善,这与惠文森等<sup>[22]</sup>的研究结果相吻合。本研究发酵结果显示,处理后秸秆中纤维素和半纤维素含量极显著下降,但仍是秸秆中的主要成分,且木质素的含量在发酵前后基本没发生改变。因此,可通过筛选高效降解纤维素、半纤维素及木质素的微生物,如

细菌、真菌等<sup>[23]</sup>,利用微生物降解这些成分,进一步提高转化效率,再配制成人工饲料饲养昆虫。

秸秆饲料的饲喂效果受温度、发酵时间、添加酵母的量和水分等因素的影响。在一定的配比条件下对家蝇的生理指标无显著影响,说明了秸秆饲料在一定配比下饲喂家蝇的可行性,这一结果与利用玉米秸秆饲养黄粉虫相似<sup>[24]</sup>。秸秆饲料规模化饲养家蝇效果为玉米秸秆优于小麦秸秆,小麦秸秆优于水稻秸秆,在本研究中我们选择玉米秸秆和小麦秸秆,并得到了最优的家蝇饲料配方为  $m_{\text{玉米秸秆}} : m_{\text{小麦秸秆}} : m_{\text{麦麸}} = 1 : 1$ ,发酵时间3 d,每250 g饲料添加初孵幼虫200 mg,在有效利用秸秆资源的同时生产优质昆虫蛋白。

目前秸秆利用的主要方式集中于用作土培原料<sup>[25]</sup>、牲畜养殖,本研究利用家蝇幼虫取食来转化秸秆、获得新型蛋白源的一种新模式,同时蝇蛆取食后的秸秆残渣和粪便可作为优质有机肥,提高土壤有机质含量<sup>[26]</sup>。因此,秸秆资源基质化利用和经济昆虫饲养技术的结合可实现秸秆的循环利用,有望产生良好的经济、社会和生态效益,促进生态农业发展,为新农村建设和秸秆可持续利用提供新思路。

## 参 考 文 献

- [1] 毕于运. 秸秆资源评价与利用研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [2] 宗义, 朱萌頔, 马龙, 等. 秸秆就地焚烧对大气环境影响及其对策建议[J]. 科技传播, 2014, 3(6): 113-116.
- [3] ALFANI F, CANTARELLA M, SCARDI V, et al. Utilization of agricultural wastes as energy sources enzymatic hydrolysis of cellulose to glucose [J]. Energy from biomass, 1981, 1: 139-150.
- [4] SCHINGOETHE D J, STEGEMAN G A, TREACHER R J. Response of lactating dairy cows to a cellulose and xylanase enzyme mixture applied to forages at the time of feeding [J]. American dairy science association, 1999, 82(5): 996-1003.
- [5] SULBARAN-DE-FERRER B, ARISTIGUIETA M, BRUCE E D, et al. Enzymatic hydrolysis of ammonia-treated rice straw: biotechnology for fuels and chemicals [J]. Applied biochemistry and biotechnology, 2003, 24(1): 155-164.
- [6] 全易, 夏天喜, 刘红. 酶水解小麦秸秆纤维素研究[J]. 江苏工业学院学报, 2003, 15(1): 4-6.
- [7] 孙付保, 毛忠贵, 张建华, 等. 植物基生物质原料的复合酶协同水解[J]. 粮食与饲料工业, 2010, (11): 23-27.
- [8] ZHAO X B, CHENG K K, LIU D H. Organosolv pretreatment

- of lignocellulosic biomass for enzymatic hydrolysis [J]. *Applied microbiology and biotechnology*, 2009, 82(5): 815-827.
- [9] LIN Z, HUANG H, ZHANG H M, et al. Ball milling pretreatment of corn stover for enhancing the efficiency of enzymatic hydrolysis [J]. *Applied biochemistry and biotechnology*, 2010, 162(7): 1872-1880.
- [10] 刘娜, 石淑兰, 张小英. 小麦秸秆转化为可发酵糖的研究 [J]. *可再生能源*, 2005(3): 21-23.
- [11] THOMSEN M H, HOLM-NIELSEN J B, OLESKOWICZ-POPIEL P, et al. Pretreatment of whole-crop harvested, ensiled maize for ethanol production [J]. *Applied biochemistry and biotechnology*, 2008, 148(1/2/3): 23-33.
- [12] KIM O, MAGNUS W, LIDEN G. Controlled feeding of celluloses improves conversion of xylose in simultaneous saccharification and co-fermentation for bioethanol production [J]. *Journal of biotechnology*, 2010, 145(2): 168-175.
- [13] KIM O, BENNY P, LIDEN G. Improving simultaneous saccharification and co-fermentation of pretreated wheat straw using both enzyme and substrate feeding [J]. *Biotechnology for biofuels*, 2010, 3: 17.
- [14] RISHI G, GIRIJA M, YOGENDER P K, et al. Fungal delignification of lignocellulosic biomass improves the saccharification of celluloses [J]. *Biodegradation*, 2011, 22(4): 797-804.
- [15] 张文举, 王加启, 龚月生, 等. 秸秆饲料资源开发利用的研究进展 [J]. *中国畜牧兽医*, 2001, 28(3): 15-18.
- [16] 卓少明, 刘聪. 几种废弃物作添加剂养殖黄粉虫的试验 [J]. *中国资源综合利用*, 2009, 27(9): 7-19.
- [17] 刘玉升, 张大鹏. 基于白星花金龟幼虫转化玉米秸秆的微循环农牧场模式研究 [J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(31): 85-87.
- [18] 林璐璐, 牛长缨, 雷朝亮. 抗癌药用昆虫研究进展 [J]. *时珍国医国药*, 2009, 20(3): 620-622.
- [19] 朱彬彬, 牛长缨, 姜勇, 等. 家蝇气味结合蛋白基因 cDNA 片段的克隆与序列分析 [J]. *昆虫学报*, 2005, 48(5): 804-809.
- [20] 吕树臣, 王春清, 马铭龙, 等. 发酵玉米秸秆对黄粉虫幼虫生产性能的影响 [J]. *畜牧与兽医*, 2013, 45(5): 42-44.
- [21] 彭健. 饲料分析与检测技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [22] 惠文森, 王康英, 申晓蓉, 等. 酵母菌发酵玉米秸秆试验研究 [J]. *草业学报*, 2011, 06(20): 180-185.
- [23] 张丽丽. 筛选高效半纤维素降解菌及利用秸秆发酵酒精研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [24] 王春清, 马铭龙, 丁秀文, 等. 不同比例麦麸和玉米秸秆对黄粉虫幼虫生长性能的影响 [J]. *中国畜牧兽医*, 2013, 40(1): 210-212.
- [25] 范如芹, 罗佳, 高岩, 等. 农业废弃物的基质化利用研究进展 [J]. *江苏农业学报*, 2014, 30(2): 442-448.
- [26] 刘怀如, 杨兆芬, 檀东飞, 等. 黄粉虫粪的肥效研究 [J]. *泉州师范学院学报(自然科学版)*, 2003, 21(4): 68-71.

## Effects of three fermented crop straws on mass rearing of *Musca domestica* (Diptera: Muscidae)

LIU Ying QI Xuewei LI Zhihao NIU Changying

College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

**Abstract** To realize the recycling use of crop straws, artificial diets were fermented by mixing crop straw powder with wheat bran and used for mass rearing of house flies, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). The results showed that the efficiency of converting corn straw into dietary requirements by *M. domestica* was the best, followed by wheat straw and rice straw. The content of crude protein and crude fat of corn straw in artificial diets significantly decreased after insect feeding. Similar effect were found in the contents of soluble sugar, starch, crude protein and crude fat in the artificial wheat straw diet. The best diet for mass rearing of the house fly was the fermented corn or wheat straws mixed with wheat bran at the proportion 1 : 1 each. For the feeding assays, 200 mg of *M. domestica* newly-hatched larvae was supplied with 250 g of diet.

**Keywords** crop straw; artificial diet; *Musca domestica*

(责任编辑: 张志钰)