

## 饲料中添加甘薯黄粉对黄粉虫生长发育的影响

秦梦晗<sup>1</sup>, 司增志<sup>1</sup>, 曹丽娟<sup>2</sup>, 赵捷雄<sup>3</sup>, 吉庭锋<sup>4</sup>, 李祥龙<sup>5</sup>, 高桂生<sup>1</sup>, 吉志新<sup>1\*</sup>

(1. 河北科技师范学院, 河北秦皇岛 066004; 2. 蓝贝酒业集团有限公司, 河北滦州 063700; 3. 河北省昌黎县农业农村局, 河北秦皇岛 066004; 4. 河北农业大学海洋学院, 河北秦皇岛 066000; 5. 河北省特色动物种质资源挖掘与创新重点实验室, 河北秦皇岛 066004)

**摘要** [目的] 研究在饲料中添加不同比例的甘薯黄粉对黄粉虫各阶段生殖性能的影响, 确定甘薯黄粉最佳添加量。[方法] 喂食黄粉虫添加比例分别为 10%、20%、30%、40%、50% 的甘薯黄粉饲料, 测定黄粉虫幼虫阶段体重、体长、头宽、死亡率、饲料转化率、幼虫历期, 黄粉虫蛹阶段的化蛹率、蛹历期、蛹的重量和雌雄比以及成虫阶段的羽化率、成虫发育历期、成虫的产卵量和卵的孵化率。[结果] 喂食 50% 甘薯黄粉+50% 麦麸和 40% 甘薯黄粉+60% 麦麸的黄粉虫老熟幼虫体重、体长均极显著高于对照组 ( $P < 0.01$ ); 喂食 40% 甘薯黄粉+60% 麦麸的黄粉虫化蛹率显著高于对照组和其他处理组 ( $P < 0.05$ ); 喂食 50% 甘薯黄粉+50% 麦麸的黄粉虫蛹重最高; 饲料中添加 40% 甘薯黄粉+60% 麦麸的黄粉虫孵化率、羽化率最高且显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ); 随着甘薯黄粉添加量的增加, 老熟幼虫体重、体长、头宽、化蛹率、蛹重、羽化率、产卵量及孵化率均呈上升趋势, 而死亡率、饲料系数呈下降趋势。[结论] 考虑到经济成本因素, 在饲料中添加 40% 甘薯黄粉对黄粉虫的生殖性能效果最好, 对大批量生产黄粉虫具有较好的应用前景。

**关键词** 黄粉虫; 甘薯黄粉; 化蛹率

中图分类号 S899 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)13-0095-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.13.023



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Influences of Adding Sweet Potato Yellow Powder in the Feed on the Growth of *Tenebrio molitor* L.**QIN Meng-han<sup>1</sup>, SI Zeng-zhi<sup>1</sup>, CAO Li-juan<sup>2</sup> et al (1. Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao, Hebei 066004; 2. Lanbei Wine Group Co., Ltd., Luanzhou, Hebei 063700)

**Abstract** [Objective] To study the influences of adding different proportions of sweet potato yellow powder in the feed on the reproductive performance of *Tenebrio molitor* at each stage, and determine the optimal amount of sweet potato yellow powder. [Method] 10%, 20%, 30%, 40% and 50% *T. molitor* were added in the sweet potato yellow powder feed to determine the body weight, body length, head width, mortality, feed conversion rate, and larval duration of yellow mealworm at larva stage, the pupation rate, pupal duration, pupa weight and sex ratio at the pupae stage, the eclosion rate, adult duration, egg production and hatching rate at adult stage. [Result] *T. molitor* fed with 50% sweet potato yellow powder+50% wheat bran and 40% sweet potato yellow powder+60% wheat bran had significantly higher body weight and body length of mature larvae than the control group ( $P < 0.01$ ). The pupation rate of *T. molitor* fed with 40% sweet potato yellow powder + 60% wheat bran was significantly higher than that of the control group and other treatment groups ( $P < 0.05$ ). *T. molitor* fed with 50% sweet potato yellow powder + 50% wheat bran had the highest pupal weight. The hatching rate and pupation rate of *T. molitor* fed with the feed with 40% sweet potato yellow powder+60% wheat bran were the highest and significantly higher than those of the control group ( $P < 0.05$ ). With the increase of the adding amount of sweet potato yellow powder, the body weight, body length, head width, pupation rate, pupal weight, the eclosion rate, egg production and hatching rate showed upward trends, while the mortality and feed coefficient showed downward trends. [Conclusion] Considering economic cost factors, adding 40% sweet potato yellow powder in the feed had the best effects on the reproductive performance of *T. molitor*, and had a good application prospect for mass production of *T. molitor*.

**Key words** *Tenebrio molitor* L.; Sweet potato yellow powder; Pupation rate

黄粉虫(*Tenebrio molitor* L.)原产于南美洲,是一种重要的世界性仓储害虫<sup>[1]</sup>。黄粉虫干品脂肪含量约 30%,蛋白质含量在 50%以上,此外还含有多种常量元素和微量元素<sup>[2]</sup>,被广泛应用于饲养鱼类、禽类、仔猪等经济价值较高的动物<sup>[3-5]</sup>,在食品、医药保健品、抗菌蛋白等方面具有较高的利用价值<sup>[6-7]</sup>。

甘薯黄粉是甘薯在加工过程中,经过淀粉的沉淀和甘薯渣的去除,最后留下的物质经干燥后加工而成的灰黑色粉末状物质,其中含有大量的蛋白质、淀粉和少量的纤维。甘薯黄粉与甘薯渣的营养成分有很大差异<sup>[8]</sup>,甘薯黄粉的营养成

分比甘薯渣更丰富,用部分甘薯黄粉代替麦麸饲喂黄粉虫能够促进黄粉虫的生长发育。目前,关于在黄粉虫饲料中添加甘薯黄粉对黄粉虫生长发育影响的研究未见报道。笔者研究了黄粉虫麦麸饲料中添加不同浓度的甘薯黄粉对黄粉虫幼虫、蛹及成虫时期生长发育的影响,探索甘薯黄粉的最佳添加比例,探讨甘薯黄粉作为黄粉虫饲料的可行性,旨在为扩大黄粉虫饲料来源提供一条经济、有效的途径。

**1 材料及方法**

**1.1 试验材料及条件** 供试虫源由河北科技师范学院植物保护实验室提供的黄色型黄粉虫 1 龄幼虫;甘薯黄粉、麦麸由河北科技师范学院植物保护实验室提供。试验在 22 ℃ 恒温、相对湿度 70% 的培养箱中进行。

**1.2 试验设计** 为了探究甘薯黄粉对黄粉虫生长发育的影响,试验按以下方案进行。共设 6 个处理:①F<sub>1</sub>, 50% 甘薯黄粉+50% 麦麸;②F<sub>2</sub>, 40% 甘薯黄粉+60% 麦麸;③F<sub>3</sub>, 30% 甘薯黄粉+70% 麦麸;④F<sub>4</sub>, 20% 甘薯黄粉+80% 麦麸;⑤F<sub>5</sub>, 10% 甘薯黄粉+90% 麦麸;⑥CK (100% 麦麸)。每个处理 200 头虫

**基金项目** 河北省科技厅重点研发计划项目(17227302D);河北科技师范学院海洋专项项目(2018HY019);秦皇岛市科技局科学技术研究与发展计划项目(201901B017);河北省重大科技成果转化专项(20286701Z);河北省重点研发计划项目(19226335D);河北省现代农业产业技术体系蛋鸡肉鸡创新团队遗传资源(坝上长尾鸡)开发利用项目(HBCT2018150201)。

**作者简介** 秦梦晗(1997—),女,内蒙古呼伦贝尔人,硕士研究生,研究方向:资源昆虫开发与利用。\*通信作者,教授,硕士,从事经济昆虫研究。

**收稿日期** 2020-10-06; **修回日期** 2021-04-08

子,设4次重复,将虫子放入已配制好的饲料中,并进行少量多次地饲喂。

### 1.3 测定指标与方法

**1.3.1 老熟幼虫体长和头宽。**在各处理幼虫达到老熟后,从每个处理的前3个重复中每个重复随机抽取10头,置于70℃的热水中烫死,取出后使用游标卡尺测其体长,在显微镜下通过镜台测微尺测量其头宽,重复3次,统计老熟幼虫体长和头宽。

**1.3.2 老熟幼虫体重、蛹重和饲料系数。**各处理随机抽取50头老熟幼虫放于MP200型千分之一电子天平上称重,计算单头老熟幼虫的平均体重,重复3次。每处理有蛹出现时,置于MP200A型千分之一电子天平上进行称重,计算出每个蛹的平均重量。按以下公式计算饲料系数:饲料系数=每个处理总投饲料量/每个处理幼虫总重量。

**1.3.3 幼虫、蛹及成虫历期。**蛹出现后,统计50头黄粉虫从卵开始孵化到老熟幼虫期所经历的时间,计算平均值,即幼虫历期;选取50头已知化为蛹的具体时间的黄粉虫,计算其从幼虫开始化蛹到成虫羽化所经历的时间的平均值,即蛹历期;记录50头已知羽化时间的黄粉虫,计算从蛹羽化成成虫到成虫死亡所经历的时间的平均值,即成虫发育历期。

**1.3.4 蛹的雌雄比。**将称好重的蛹置于电子显微镜下观察腹部末端,腹部末端有一对“八”字形尾刺,乳突粗大,末端分开的是雌虫;乳突短小,基部并合的是雄虫<sup>[9]</sup>。按以下公式计算雌雄比:雌雄比=每处理雌蛹数量/每处理雄蛹数量。

**1.3.5 单雌成虫产卵量。**统计每个处理成虫的产卵量和雌成虫数,计算出每条成虫的产卵量。按以下公式计算单雌成虫产卵量:单雌成虫产卵量=每处理产卵量/每处理雌成虫数。

**1.3.6 幼虫死亡率、化蛹率、羽化率和卵的孵化率。**统计每个处理幼虫死亡数、化蛹总量、成虫数量和卵的孵化量,计算幼虫死亡率、化蛹率、羽化率、卵的孵化率。

死亡率=死亡虫数/总的虫口数×100%

化蛹率=每处理化蛹量/每处理幼虫总数量×100%

羽化率=每处理羽化的成虫数量/每处理化蛹量×100%

孵化率=每处理孵化幼虫数/每处理卵量×100%

**1.4 数据处理** 使用DPS 7.05软件将每个处理组各项指标的数据进行单因素方差分析,分析添加不同比例甘薯黄粉对幼虫阶段体重、体长、头宽、死亡率、幼虫历期及饲料系数,黄粉虫蛹阶段的化蛹率、蛹历期、蛹的重量、雌雄比和成虫阶段的羽化率、成虫的产卵量、卵孵化率的影响,对差异显著者采用最小显著差数法(LSD)进行多重比较。试验数据均以平均值±标准误表示。

## 2 结果与分析

**2.1 饲喂不同比例甘薯黄粉对黄粉虫幼虫生长发育的影响** 由表1、2可知,F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>组黄粉虫老熟幼虫体重、体长均极显著高于对照组( $P<0.01$ );F<sub>2</sub>组黄粉虫头宽显著大于对照组和其他处理组( $P<0.05$ );F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>组之间幼虫历期无显著差异( $P>0.05$ )。F<sub>2</sub>组黄粉虫的饲料系数和死亡率最低,

随着甘薯黄粉添加量的增加,黄粉虫老熟幼虫体重、体长、头宽均呈上升趋势,幼虫历期、饲料系数、死亡率均呈下降趋势。这说明喂食甘薯黄粉对黄粉虫幼虫生长发育具有促进作用,添加40%的甘薯黄粉最有利于幼虫生长。

表1 饲喂不同比例的甘薯黄粉对黄粉虫老熟幼虫体重、体长和头宽的影响

Table 1 The effects of feeding different proportions of sweet potato yellow powder on the body weight, body length and head width of mature larvae of *T. molitor*

处理 Treatment	老熟幼虫体重 Body weight of mature larva//g	体长 Body length//cm	头宽 Head width//mm
F <sub>1</sub>	0.142 0±0.010 0 aA	2.440 0±0.086 0 aA	2.447 6±0.066 7 bAB
F <sub>2</sub>	0.142 1±0.014 0 aA	2.490 0±0.109 0 aA	2.544 4±0.053 6 aA
F <sub>3</sub>	0.135 6±0.005 5 abAB	2.420 0±0.164 1 aA	2.429 3±0.040 4 bAB
F <sub>4</sub>	0.127 3±0.008 6 bcABC	2.230 0±0.021 7 bB	2.367 9±0.041 3 bcB
F <sub>5</sub>	0.120 4±0.008 6 cdBC	2.110 0±0.025 2 bcBC	2.396 6±0.052 0 bcB
CK	0.112 4±0.005 8 dC	2.030 0±0.057 2 cC	2.310 4±0.107 0 cB

注:同列不同小写字母表示在0.05水平上差异显著,不同大写字母表示在0.01水平上差异显著

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level, and different capital letters in the same column indicated significant difference at 0.01 level

表2 饲喂不同比例的甘薯黄粉对黄粉虫老熟幼虫历期、饲料系数和死亡率的影响

Table 2 The effects of feeding different ratios of sweet potato yellow powder on the larval duration, feed coefficient and mortality rate of mature larvae of *T. molitor*

处理 Treatment	幼虫历期 Larvae duration d	饲料系数 Feed coefficient	死亡率 Mortality rate %
F <sub>1</sub>	106.100 0±3.338 0 cD	6.205 4±0.623 2 cBC	15.674 8±1.333 6 dD
F <sub>2</sub>	106.000 0±0.939 4 cD	5.740 1±0.151 6 cdBC	8.159 1±1.247 6 eE
F <sub>3</sub>	108.200 0±1.925 9 cCD	5.751 1±0.218 2 dC	16.916 8±3.047 5 dD
F <sub>4</sub>	113.900 0±1.529 7 bBC	6.431 3±0.532 8 cB	33.577 0±3.209 2 cC
F <sub>5</sub>	117.600 0±1.379 3 bB	7.224 6±0.349 3 bA	43.876 2±2.016 9 bB
CK	127.400 0±6.052 2 aA	7.931 7±0.716 9 aA	53.680 1±1.946 0 aA

注:同列不同小写字母表示在0.05水平上差异显著,不同大写字母表示在0.01水平上差异显著

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level, and different capital letters in the same column indicated significant difference at 0.01 level

**2.2 饲喂不同比例甘薯黄粉对黄粉虫蛹生长发育的影响** 由表3可知,F<sub>2</sub>组黄粉虫化蛹率显著高于对照组和其他处理组( $P<0.05$ );F<sub>1</sub>组蛹重最高,F<sub>1</sub>与F<sub>2</sub>组蛹重无显著差异( $P>0.05$ );各处理组雌雄比无显著差异( $P>0.05$ );F<sub>4</sub>组蛹历期与F<sub>5</sub>、CK组存在显著差异( $P<0.05$ )。随着甘薯黄粉添加量的增加,化蛹率和蛹重呈上升趋势,而甘薯黄粉添加量对蛹历期和雌雄比没有明显影响。喂食40%甘薯黄粉+60%麦麸是最佳经济选择。

**2.3 饲喂不同比例甘薯黄粉对黄粉虫成虫生长发育的影响** 由表4可知,F<sub>2</sub>组羽化率最高且极显著高于CK组( $P<0.01$ ),除了F<sub>5</sub>组与CK组差异不显著外,其他处理均显著高于CK组( $P<0.05$ );F<sub>1</sub>与F<sub>2</sub>组的黄粉虫产卵量无显著差异( $P$

>0.05),与其他处理组均有显著差异( $P<0.05$ ); $F_2$  组孵化率最高且极显著高于 CK 组( $P<0.01$ ),且与  $F_1$  组间不显著;CK 组成虫历期最长,且与其他处理有显著差异( $P<0.05$ ), $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  组之间差异不显著( $P>0.05$ )。

表 3 饲料中添加薯渣粉对黄粉虫化蛹率、蛹重、蛹的发育历期和雌雄比的影响

Table 3 The effects of adding potato residue powder in the feed on the pupation rate, pupae weight, pupal duration, and male-female ratio of *T. molitor*

处理 Treatment	化蛹率 Pupation rate//%	蛹历期 Pupae duration//d	蛹重 Pupae weight//g	雌雄比 Male-female ratio
$F_1$	82.213 2±6.111 5 bB	8.000 0±0.934 2 abA	0.133 6±0.004 0 aA	52.500 0±3.777 6 aA
$F_2$	91.110 9±3.296 7 aA	8.100 0±0.686 8 abA	0.132 1±0.002 8 aAB	54.000 0±4.102 5 aA
$F_3$	83.715 2±6.167 2 bAB	8.300 0±0.327 8 abA	0.126 5±0.002 8 bB	53.800 0±7.239 2 aA
$F_4$	65.893 0±4.619 7 cC	8.700 0±0.909 0 aA	0.120 3±0.002 3 cC	55.800 0±3.351 4 aA
$F_5$	55.663 8±3.461 3 dCD	7.900 0±0.316 7 bA	0.113 3±0.002 4 dD	58.200 0±4.374 7 aA
CK	45.969 9±3.744 3 dD	7.600 0±0.396 4 bA	0.106 5±0.001 6 eE	53.900 0±10.440 0 aA

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level, and different capital letters in the same column indicated significant difference at 0.01 level

表 4 饲料中添加薯渣粉对黄粉虫羽化率、产卵量、孵化率和发育历期的影响

Table 4 The effects of adding potato residue powder in the feed on the eclosion rate, egg production, hatching rate and adult duration of *T. molitor*

处理 Treatment	羽化率 Eclosion rate//%	产卵量 Egg production//粒	孵化率 Hatching rate//%	成虫历期 Adult duration//d
$F_1$	93.188 4±5.691 9 abAB	243.300 0±5.296 0 aA	72.724 1±4.486 7 abAB	31.500 0±1.550 7 cC
$F_2$	96.779 8±2.241 6 aA	246.000 0±9.927 7 aA	76.849 8±3.084 0 aA	29.000 0±4.284 8 cC
$F_3$	94.995 0±2.570 1 abAB	189.000 0±9.317 2 bB	67.389 8±4.947 0 bBC	33.100 0±2.519 4 cC
$F_4$	93.918 8±4.984 8 abAB	104.000 0±8.794 3 cC	59.441 2±2.204 5 cC	46.700 0±5.353 0 bB
$F_5$	90.940 3±3.728 3 bcAB	85.700 0±4.175 7 dD	48.810 1±2.758 7 dD	48.900 0±1.840 0 bAB
CK	85.044 9±4.454 4 cB	70.500 0±8.639 4 eD	48.170 1±8.114 7 dD	54.900 0±5.669 4 aA

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level, and different capital letters in the same column indicated significant difference at 0.01 level

### 3 讨论

该试验研究黄粉虫饲料中添加不同浓度的甘薯黄粉对黄粉虫生长发育的影响。结果表明,添加甘薯黄粉对黄粉虫老熟幼虫体重、体长、头宽、饲料系数、幼虫历期、死亡率,黄粉虫化蛹率、蛹重以及黄粉虫成虫羽化率、产卵量、孵化率、发育历期均有显著影响,对黄粉虫蛹历期和雌雄比没有显著影响,说明辅以甘薯黄粉为黄粉虫幼虫饲料是可行的。

饲养黄粉虫的传统饲料为麦麸,麦麸可以提供黄粉虫所需的蛋白质。但长期使用一种饲料,黄粉虫会出现营养元素缺乏的情况,会影响黄粉虫质量<sup>[10]</sup>,且麦麸成本较高,不是大批量生产黄粉虫的最佳经济饲料。在黄粉虫人工饲养研究中,关于在黄粉虫麦麸饲料中添加其他物质对黄粉虫生长发育的影响有很多研究报道,例如杨文乐等<sup>[11]</sup>发现在饲料中添加 15%~30%豆渣,可以提高黄粉虫生长发育速率,还可减少饲喂成本;Xu 等<sup>[12]</sup>以玉米、麦麸和玉米秸秆为原料饲喂黄粉虫,结果表明复合饲料对黄粉虫幼虫粗蛋白含量、化蛹率、羽化率等均有显著影响。该试验用添加甘薯黄粉的麦麸饲料饲喂黄粉虫,随着甘薯黄粉添加量的增加,老熟幼虫体重、体长、头宽、化蛹率、蛹重、羽化率、产卵量及孵化率呈上升趋势,死亡率和饲料系数呈下降趋势,且麦麸中添加 40%甘薯黄粉在老熟幼虫体重、体长、头宽、幼虫历期、死亡率、化蛹率、羽化率、产卵量、成虫历期等方面效果最佳。市场上甘薯黄粉的价格低于麦麸,且与麦麸相比,甘薯黄粉对黄粉虫

生长发育有显著影响,因此以甘薯黄粉作为黄粉虫的饲料是绝对可行的,但甘薯黄粉添加量的控制要根据生产指标来决定。在实际生产过程中,可根据具体经济生产目标来决定甘薯黄粉的用量,再添加果皮、尾菜等喂食黄粉虫,以达到环保、高产、低成本的效果。

在试验过程中发现,试验前期随着甘薯黄粉浓度的增大,雌蛹所占比例也较大,但试验后期这种情况不明显,最终导致试验结果的雌雄比例各处理间没有显著差异,这种情况可能是由于试验时间和饲养环境的影响所致;此外,对甘薯黄粉添加对黄粉虫成虫历期的影响还有待进一步研究。

### 参考文献

- [1] 陈耀溪. 仓库害虫[M]. 北京: 农业出版社, 1989: 87.
- [2] 朱琳, 王向誉, 聂磊, 等. 黄粉虫的主要功能成分及其应用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(3): 10-12, 14.
- [3] 苏时萍, 杨启超, 苏雷, 等. 2 种虫源性蛋白替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长、体成分和蛋白酶活性的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2010, 39(6): 608-613.
- [4] 马彦彪, 王学炳, 安海燕, 等. 饲喂黄粉虫对鸡肉品质的影响[J]. 甘肃畜牧兽医, 2012, 42(3): 19-22.
- [5] 杨海英, 杨在宾. 黄粉虫和蝇蛆粉对仔猪生产性能影响的研究[J]. 江西饲料, 2010(2): 9-11, 14.
- [6] GASCO L, DABBOU S, TROCINO A, et al. Effect of dietary supplementation with insect fats on growth performance, digestive efficiency and health of rabbits[J]. Journal of animal science and biotechnology, 2019, 10(2): 501-509.
- [7] 何晓辉, 王立霞, 方琴, 等. 黄粉虫抗菌肽对耐药粪肠球菌抑菌效果的研究[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(2): 317-323.

因的低表达量对开花过程难以发挥抑制作用,从而保证金花茶能够正常开放。*MFT* 或 *FT* 同源基因在龙眼<sup>[33]</sup>、麻风树 (*Jatropha curcas*)<sup>[34]</sup> 等植物繁殖器官中中度表达的情况较为常见,类似的同源基因可能具有维持繁殖器官发育的作用<sup>[34-35]</sup>,因此推断在金花茶开花某个阶段中度表达的 *MFT-like* 亚家族基因 *CnPEBP 3*、*FT-like* 亚家族基因 *CnPEBP 7* 可能也具有维持繁殖器官发育的功能,但具体的生物学功能仍需研究。该研究获取了金花茶 *PEBP* 基因家族成员的序列和部分功能信息,为进一步了解金花茶 *PEBP* 基因家族成员的组成及其开花调控机理打下基础。

## 参考文献

- [1] 黄昌艳,周主贵,王晓国,等. 金花茶种子萌发与快速繁殖技术研究[J]. 南方农业学报,2016,47(5):611-616.
- [2] 孔桂菊,袁胜涛,孙立. 金花茶药理作用研究进展[J]. 时珍国医国药,2016,27(6):1459-1461.
- [3] DAI L, LI J L, LIANG X Q, et al. Flowers of *Camellia nitidissima* cause growth inhibition, cell-cycle dysregulation and apoptosis in a human esophageal squamous cell carcinoma cell line[J]. Molecular medicine reports, 2016, 14(2):1117-1122.
- [4] WANG W X, LIU H Y, WANG Z N, et al. Phytochemicals from *Camellia nitidissima* Chi inhibited the formation of advanced glycation end-products by scavenging methylglyoxal[J]. Food chemistry, 2016, 205(3):204-211.
- [5] HE D Y, LI X Y, SAI X, et al. *Camellia nitidissima* C. W. Chi: A review of botany, chemistry, and pharmacology[J]. Phytochemistry reviews, 2018, 17(2):327-349.
- [6] 曹芬,樊兰兰. 金花茶研究进展[J]. 中国药业, 2013, 22(4):95-96.
- [7] 廖美兰,王华新,周修任,等. 广西二十种金花茶观赏价值综合评价[J]. 北方园艺, 2015(9):67-70.
- [8] KARLGRÉN A, GYLLENSTRAND N, KÄLLMAN T, et al. Evolution of the *PEBP* gene family in plants: Functional diversification in seed plant evolution[J]. Plant physiology, 2011, 156(4):1967-1977.
- [9] DANILEVSKAYA O N, MENG X, HOU Z L, et al. A genomic and expression compendium of the expanded *PEBP* gene family from maize[J]. Plant physiology, 2008, 146(1):250-264.
- [10] 杜丽,李勇鹏,姚瑶. 成花基因 *FT/TFL1* 基因家族及其对植物成花转变遗传改良的研究进展[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(7):9-12.
- [11] 孙洪波,贾贞,韩天富. *PEBP* 家族基因在植物发育调控中的作用[J]. 植物生理学通讯, 2009, 45(8):739-747.
- [12] LIU Y Y, YANG K Z, WEI X X, et al. Revisiting the phosphatidylethanolamine-binding protein (*PEBP*) gene family reveals cryptic *FLOWERING LOCUS T* gene homologs in gymnosperms and sheds new light on functional evolution[J]. New phytologist, 2016, 212(3):730-744.
- [13] VARKONYI-GASIC E, MOSS S M A, VOOGD C, et al. Homologs of *FT*, *CEN* and *FD* respond to developmental and environmental signals affecting growth and flowering in the perennial vine kiwifruit[J]. The new phytologist, 2013, 198(3):732-746.
- [14] 张礼凤,徐冉,张彦威,等. 大豆 *PEBP* 基因家族的初步分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(1):151-157.
- [15] MOHAMED R, WANG C T, MA C, et al. *Populus CEN/TFL1* regulates first onset of flowering, axillary meristem identity and dormancy release in *Populus*[J]. The plant journal, 2010, 62(4):674-688.
- [16] CARMONA M J, CALONJE M, MARTINEZ-ZAPATER J M. The *FT/*

*TFL1* gene family in grapevine[J]. Plant molecular biology, 2007, 63(5):637-650.

- [17] TAMAKI S, MATSUO S, WONG H L, et al. Hd3a protein is a mobile flowering signal in rice[J]. Science, 2007, 316(5827):1033-1036.
- [18] KOJIMA S, TAKAHASHI Y, KOBAYASHI Y, et al. Hd3a, a rice ortholog of the *Arabidopsis FT* gene, promotes transition to flowering downstream of *Hd1* under short-day conditions[J]. Plant and cell physiology, 2002, 43(10):1096-1105.
- [19] 刘莹,郝心愿,郑梦霞,等. 茶树成花机理研究进展[J]. 茶叶科学, 2019, 39(1):1-10.
- [20] ZHOU X W, LI J Y, ZHU Y L, et al. *De novo* assembly of the *Camellia nitidissima* transcriptome reveals key genes of flower pigment biosynthesis[J]. Frontiers in plant science, 2017, 8:1-15.
- [21] LI X L, FAN Z Q, GUO H B, et al. Comparative genomics analysis reveals gene family expansion and changes of expression patterns associated with natural adaptations of flowering time and secondary metabolism in yellow *Camellia*[J]. Functional & integrative genomics, 2018, 18(6):659-671.
- [22] MARCHLER-BAUER A, BO Y, HAN L Y, et al. CDD/SPARCLE: Functional classification of proteins via subfamily domain architectures[J]. Nucleic acids research, 2017, 45(D1):D200-D203.
- [23] WILKINS M R, GASTEIGER E, BAIROCH A, et al. Protein identification and analysis tools in the ExPASy server[J]. Methods in molecular biology, 1999, 112:531-552.
- [24] BAILEY T L, BODEN M, BUSKE F A, et al. MEME SUITE: Tools for motif discovery and searching[J]. Nucleic acids research, 2009, 37:W202-W208.
- [25] KUMAR S, STECHER G, LI M, et al. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms[J]. Molecular biology and evolution, 2018, 35(6):1547-1549.
- [26] 焦义然,陈文焯,杨帆,等. 小麦 *FT* 基因编码蛋白结构及功能的生物信息学分析[J]. 江西农业学报, 2018, 30(10):1-6.
- [27] 刘新宇,刘杨,葛海燕,等. 茄子开花相关基因 *SmFT* 的克隆和表达分析[J]. 分子植物育种, 2015, 13(6):1297-1301.
- [28] ABE M, KOBAYASHI Y, YAMAMOTO S, et al. *FD*, a bZIP protein mediating signals from the floral pathway integrator *FT* at the shoot apex[J]. Science, 2005, 309(5737):1052-1056.
- [29] 林知宝,樊正炎,董妙霞,等. 龙眼 *TFL1* 基因的克隆与表达[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2016, 45(3):269-276.
- [30] ZHANG X H, WANG C C, PANG C Y, et al. Characterization and functional analysis of *PEBP* family genes in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. PLoS One, 2016, 11(8):1-20.
- [31] MIMIDA N, KOTODA N, UEDA T, et al. Four *TFL1/CEN*-like genes on distinct linkage groups show different expression patterns to regulate vegetative and reproductive development in apple (*Malus domestica* Borkh.) [J]. Plant and cell physiology, 2009, 50(2):394-412.
- [32] 高用顺,汪以,朱云美,等. *TFL1* 调控蔷薇科植物开花时间的分子机制[J]. 果树学报, 2016, 33(8):1007-1013.
- [33] CHEN Y K, XU X P, CHEN X H, et al. Seed-specific gene *MOTHER OF FT* and *TFL1(MFT)* involved in embryogenesis, hormones and stress responses in *Dimocarpus longan* Lour. [J]. International journal of molecular sciences, 2018, 19(8):1-21.
- [34] LI C Q, LUO L, FU Q T, et al. Identification and characterization of the *FT/TFL1* gene family in the biofuel plant *Jatropha curcas*[J]. Plant molecular biology reporter, 2015, 33(2):326-333.
- [35] SMART M, RODEN L C. Initiation of flowering in *Protea compacta* × *Protea neriifolia* hybrid 'Carnival' coincides with expression of the *FLOWERING LOCUS T* homologue[J]. Plant molecular biology reporter, 2014, 32(2):372-381.

(上接第 97 页)

- [8] 梁陈冲,于会民,王月超,等. 甘薯渣的饲用价值及应用[J]. 饲料与畜牧, 2012(12):34-36.
- [9] 马金生,吕传会,张霞,等. 黄粉虫繁殖生物学研究[J]. 山东教育学院学报, 2001, 16(5):81-83.
- [10] 柴培春,张润杰. 饲养密度对黄粉虫幼虫生长发育的影响[J]. 昆虫知

识, 2001, 38(6):452-455.

- [11] 杨文乐,徐敬明. 不同饲料配方对黄粉虫幼虫生长发育的影响研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2013(21):92-94.
- [12] XU S C, XI Z J, SHEN X J, et al. Feed production for *Tenebrio molitor* L. by fermentation of corn stalks[J]. Animal husbandry and feed science, 2013, 5(21):244-248.