

# 蜜蜂人工代用花粉中适宜钙磷水平的初步研究\*

李迎军\*\* 郑本乐 杨维仁 胥保华\*\*\*

(山东农业大学动物科技学院 泰安 271018)

**摘要** 钙磷是蜜蜂饲料中必需的常量元素。为了探讨蜜蜂人工代用花粉中适宜的钙磷水平,本试验选取蜂王、群势基本一致的意大利蜜蜂 *Apis mellifera ligustica* Spinola 70 群,随机分为 14 个组,每组 5 群蜂,前 12 组饲喂采用均匀设计法配制的不同钙磷水平的人工代用花粉。第 13 组饲喂不加钙磷的人工代用花粉为负对照,第 14 组饲喂纯油菜花粉为正对照。试验从春繁开始,到刺槐流蜜期结束为止。试验期间测定蜂群的采食量、蜂群群势、幼蜂初生重,成蜂蜂体组织内钙磷含量。结果表明:当人工代用花粉中钙磷水平分别为 0、0.65% 时,蜂群的采食量、蜂群群势、幼蜂初生重均取得最大值;成蜂蜂体组织内钙含量与人工代用花粉中钙磷含量成正相关,成蜂蜂体组织内磷含量与人工代用花粉中钙磷含量之间没有相关性。

**关键词** 意大利蜜蜂, 人工代用花粉, 钙磷水平

## Research on optimal level of calcium and phosphorus in pollen substitutes

LI Ying-Jun\*\* ZHENG Ben-Le YANG Wei-Ren XU Bao-Hua\*\*\*

(College of Animal Science, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

**Abstract** In order to determine the optimal levels of calcium and phosphorus required in pollen substitutes, different levels of  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  were added to the pollen substitutes provided to experimental colonies of *Apis mellifera ligustica* Spinola. 70 *A. mellifera ligustica* colonies of equal size, queen quality and age were randomly allocated to 14 treatment groups (5 replications of each group). The 14th group was fed pure rape pollen (control treatment), the 13th group was fed diets with no  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (negative control treatment), and the others were fed pollen substitutes with different levels of  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (groups 1–12). The trial ran from spring to the end of the honey locust flow. The total intake of each colony, the overall honeybee population and the emergence weight and mineral content of adult honeybees, were monitored during the trial period. Regression analysis was used to determine the optimal levels of  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . The results show that maximal values of total intake for colonies, total population size and emergence weight can be obtained at a dosage of 0 calcium and 0.65% phosphorus. In conclusion, there is the positive correlation between the calcium content of adult honeybees and the level of calcium and phosphorus in pollen substitutes, but no such relationship exists for phosphorus.

**Key words** *Apis mellifera ligustica*, pollen substitute, optimal level of calcium and phosphorus

蜂蜜和花粉是蜜蜂发育、维持生活的基本饲料,其中花粉为蜜蜂提供生长发育所需的蛋白质、脂肪、维生素、矿物质等营养素(周冰峰,2002)。春季是蜂群的恢复发展时期,外界没有花粉源,加上蜂产品的商业化,这时期会出现蜂群内花粉储

备不足的情况,需要配制人工代用花粉来满足蜂群的生长繁殖。蜂巢内蜜蜂依靠蛋白质饲料(主要是花粉)和碳水化合物(主要是蜂蜜和糖浆)培育幼虫(胥保华等,2009)。人为干预蜜蜂饲料营养物质供应的实验也取得了一些结果。Haydak

\* 资助项目:国家蜂产业技术体系建设专项资金(CARS-45-KXJ15)、公益性行业(农业)科研专项(200903006)。

\*\*E-mail: lyjwdqwy@163.com

\*\*\*通讯作者,E-mail: bhxu@sdau.edu.cn

收稿日期:2011-01-11,接受日期:2011-04-17

(1967) 向花粉中添加一定量蛋白、脂肪、维生素、矿物质等补充料, 饲喂效果优于饲喂纯花粉组。Herbert 等 (1980) 饲喂笼养的蜜蜂 5%、10%、23%、30% 和 50% 蛋白水平的代用花粉, 发现最适宜的蛋白质浓度为 23%。50% 的代用花粉饲料抑制工蜂的哺育活动。肖培新和胥保华 (2010) 研究了不同人工代用花粉对蜂群群势和生产性能的影响, 结果表明含有添加剂的各代用花粉组与纯花粉组蜂群的蜂子数量、王浆产量及蜂王浆中的 10-HDA、水分、蛋白质的含量及酸度差异均不显著, 饲喂含有 60% 花粉 + 40% 豆粕 + 添加剂 1 组与纯花粉组的产蜜量没有明显的差异。Elton 等 (1977) 对饲喂人工代用花粉和纯花粉的蜜蜂的哺育能力进行了比较, 结果表明饲喂添加 2% 或 4% 油脂的人工代用花粉组的工蜂哺育能力显著高于纯花粉组。

以往对于蜜蜂营养需要的研究主要集中在蛋白需要量和脂类需要量上, 而对矿物质需要量的研究甚少。矿物质是蜜蜂生命活动不可缺少的物质, 其中钙磷在蜜蜂的表皮形成、蜕皮、消化、能量代谢等过程中都起着重要的作用。本实验使用均匀设计的方法, 研究不同钙磷水平对蜂群采食量、群势、初生重的影响, 对不同钙磷水平对应的成蜂体内不同的钙磷沉积量进行了分析。试验结果为养蜂生产中合理的添加钙磷提供了科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

意大利蜜蜂 *Apis mellifera ligustica* Spinola、油菜花粉、膨化豆粕、玉米粉 (膨化、粉碎, 过 120 目, 即颗粒大小为:  $(125 \pm 5.8) \mu\text{m}$ 、花生分离蛋白、荆条蜜、蔗糖、 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、1% 维生素 + 矿物质预混料。主要试验用具: 烘箱, 原子吸收分光光度计 (AAS) (仪器型号: AAS-180-80), 脱粉器, J230023 型电子天平, T6 新世纪紫外可见分光光度计, 电子秤 (ACS-ZL), 高温炉等。

### 1.2 试验设计

立春前后选取蜂王、群势基本一致的意大利蜜蜂 70 群, 随机分为 14 个组 (A ~ N), 每组 5 群蜂, 试验期间, 蜂群巢门均安装脱粉器控制外界花粉进入蜂巢。

运用均匀设计的方法, 将碳酸钙, 一水磷酸二氢钠组合成不同的水平, 不同水平的碳酸钙和一水磷酸二氢钠与玉米粉、豆粕、花生分离蛋白等物质配制成 13 种人工代用花粉 (参考油菜花粉营养标准, 代用花粉的基础日粮中钙的含量为 0.1%, 非植酸磷的含量为 0.2%, 代用花粉中除了钙磷含量不一样其余的营养成分基本上都一样), 配方见表 1。

实验组 A ~ L, 饲喂不同钙磷水平的代用花粉; 第 M 组饲喂不添加钙磷的代用花粉作为负对照, N 组饲喂 100% 油菜蜂花粉作为正对照。

### 1.3 试验方法

**1.3.1 饲喂方法** 将日粮 500 g + 100 g 白糖 + 250 g 荆条蜜 + 300 g 水分别放入干净的容器内。用手来回揉搓, 直到无块状, 然后用干净的塑料布盖上, 搅拌至用手刚刚能攥成团状, 放开手后又能慢慢散开时, 焖 5 h 使水分被充分吸收后, 放在框梁上让蜜蜂自由取食 (余林生和孟祥金, 2002)。每次饲喂 500 g, 每隔 12 d 查看 1 次蜂群, 检查蜂群时, 若发现巢内框梁上饲粮不足, 及时对蜂群进行再次饲喂, 使蜂群处于蜜、粉充足状态。

**1.3.2 测群势** 试验从春繁开始, 到刺槐流蜜期结束为止, 早春定群后, 放王后的第 21、42、63 天, 即第 1、2、3 批蜂出房时用目测法估测各群蜂量 (余林生等, 2003, 2007)

**1.3.3 测初生重** 取刚要出房的幼蜂 10 只放在离心管中称重 (离心管重量已知), 重复 3 次, 共取 30 只蜜蜂测初生重, 然后计算出单只幼蜂初生重的平均值。

**1.3.4 测蜂体内钙磷含量** 实验结束前随机取 60 只成年蜜蜂, 测蜂体内钙磷的含量。取鲜蜜蜂 2 g 左右, 60℃ 烘干 3 h, 105℃ 烘干 3 h, 经碳化、灰化等一系列处理后, 用原子吸收法测  $\text{Ca}^{2+}$  含量 (Silva *et al.*, 2009), 用采用钼黄比色法对成蜂体内总磷量进行测定。

### 1.4 数据处理

试验数据采用 SAS 9.1 统计软件对试验数据进行双因子方差分析, 同时对数据进行了多元线性回归分析 (孙尚拱, 2000)、偏回归分析, 并用 Duncan 氏法进行了多重比较。

表 1 试验日粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air dry basis) (%)

项目 Items	处理 Treatments						
	A	B	C	D	E	F	G
原料 Ingredients							
玉米 Corn	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
豆粕 Soybean mea	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
花生分离蛋白 Peanut gluten meal	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
白砂糖 White sugar	34.99	36.02	34.53	33.52	31.87	35.14	33.62
油菜花粉 Rape pollen	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	1.04	2.31	0.091	1.22	2.95	0.73	1.99
CaCO <sub>3</sub>	0	0.875	1.00	1.125	1.25	1.375	1.50
预混料 <sup>1</sup> Premix <sup>1</sup>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
抗氧化剂 Antioxidant	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
柠檬酸钠 Sodium citrate	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels							
GE/(MJ/kg)	19.52	19.70	19.51	19.26	18.97	19.55	19.28
CP	24.94	24.94	24.94	24.94	24.94	24.94	24.94
Ca	0.10	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70
P	0.43	0.71	0.22	0.57	0.85	0.36	0.64

项目 Items	处理 Treatments						
	H	I	J	K	L	M	N
原料 Ingredients							
玉米 Corn	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	0
豆粕 Soybean mea	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0
花生分离蛋白 Peanut gluten meal	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	0
白砂糖 White sugar	35.27	32.53	31.56	33.61	32.35	36.50	0
油菜花粉 Rape Pollen	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	99.40
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	0	1.36	2.63	0.41	1.68	0	0
CaCO <sub>3</sub>	1.63	1.75	1.87	2.00	2.12	0	0
预混料 <sup>1</sup> Premix <sup>1</sup>	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0
抗氧化剂 Antioxidant	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
柠檬酸钠 Sodium citrate	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels							
GE/(MJ/kg)	19.57	19.16	18.92	19.28	19.04	19.85	18.35
CP	24.94	24.94	24.94	24.94	24.94	24.94	24.94
Ca	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.10	0.20
P	0.50	0.78	0.29	0.27	0.57	0.20	0.20

<sup>1</sup> 预混料可为每千克全价料提供: VA 5 000 IU; VB<sub>1</sub> 5.4 mg; VB<sub>2</sub> 6 mg; VC 265.4 mg; VE 240 mg; VD 2 000 IU; VB<sub>6</sub> 7 mg; 叶酸 20 mg; 烟酸 18 mg; 肌醇 318 mg; Zn 7.20 mg; Fe 89.48 mg; Mg 1.25 mg。下表同。

<sup>1</sup> The premix provides following per kg of diet: VA 5 000 IU; VB<sub>1</sub> 5.4 mg; VB<sub>2</sub> 6 mg; VC 265.4 mg; VE 240 mg; VD 2 000 IU; VB<sub>6</sub> 7 mg; folic acid 20 mg; niacin 18 mg; inositol 318 mg; Zn 7.20 mg; Fe 89.48 mg; Mg 1.25 mg. The same below.

## 2 结果与分析

### 2.1 采食量

对总采食量数据进行多元线性回归分析,同时利用代用花粉中钙磷含量与总采食量的相关性作了曲面图(图1),得出 $Y$ (总采食量)关于 $X_1$ (钙添加量) $X_2$ (磷添加量)的回归方程: $Y = -1.283.2 X_1 + 2.013X_2 + 2.587$   $P = 0.0029$ ;  $R = 0.81$ ;  $F = 10.45$ 。在均匀设计的范围内可知,当 $X_1 = 0$ ;  $X_2 = 0.65$ 时, $Y$ 取得最大值。(基础日粮中钙磷含量Ca:0.1%; P:0.2%),可知采食量取得最大值的适宜钙水平为0,磷为0.65%。

从图1中我们可以直观地观察到当 $X_1 = 0$ ;  $X_2 = 0.65$ 时, $Y$ (总采食量)取得最大值,验证了上述的实验结果。

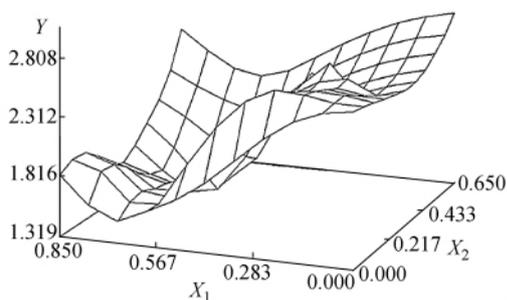


图1 钙磷添加量对采食量的影响  
Fig.1 Influence of calcium and phosphate on total intake

$X_1$ : 代用花粉中钙添加量(%);  $X_2$ : 代用花粉中磷添加量(%);  $Y$ : 总采食量(kg).  
 $X_1$ : amount of calcium in pollen substitutes (%);  $X_2$ : amount of phosphate in pollen substitutes (%);  $Y$ : total intake of colony (kg).

### 2.2 群势

按照表1的实验方案进行试验得到群势的实测值 $Y$ ,对数据进行多元线性回归分析,得出钙磷影响意大利蜜蜂群势的一个回归方程为: $Y = -0.76906X_1 + 1.08459X_2 + 3.38671$ ;  $F = 16.81$ ,  $R = 0.87$ ,  $P = 0.0005$  ( $P < 0.01$ )。分别对钙磷添加量进行了偏回归分析,回归曲线如图2,3。

回归方程表明:(1)显著性常数 $P < 0.01$ ,说明建立的多元回归方程有统计学意义。(2)假设检验 $F = 16.81 > F_{0.01}(2, 11) = 7.20$ ,说明蜂群群

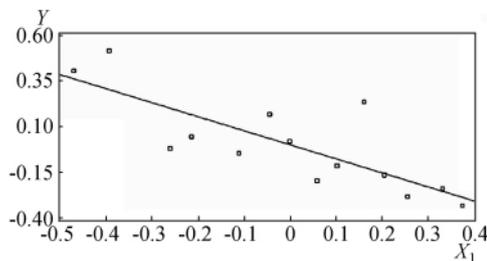


图2  $X_1$ 对 $Y$ 值的偏回归线

Fig.2 Partial regression plot about  $X_1$  and  $Y$

$X_1$  代用花粉中钙添加量; $Y$ : 群势。  
 $X_1$ : amount of calcium in pollen substitutes;  
 $Y$ : honeybee population (colony).

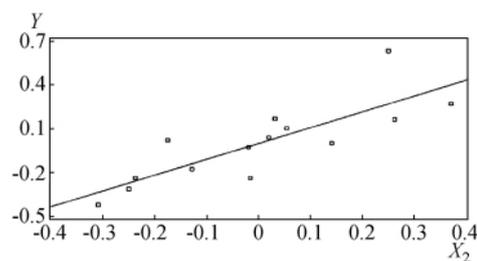


图3  $X_2$ 对 $Y$ 值的偏回归线

Fig.3 Partial regression plot about  $X_2$  and  $Y$

$X_2$  代用花粉中磷添加量; $Y$ : 群势。  
 $X_2$ : amount of phosphate in pollen substitutes;  
 $Y$ : honeybee population (colony).

势的增长与碳酸钙、一水磷酸二氢钠的添加量之间有线性关系。(3)复相关系数 $R = 0.87$ ,说明应变量蜂群群势 $Y$ 与自变量钙添加量( $X_1$ )和磷添加量( $X_2$ )之间的线性关系密切。(4)偏回归系数 $b_2 = 1.08459 > b_1 = -0.76906$ ,说明在影响蜂群群势方面,磷的添加量是待考查二因素中的主要因素。通过回归分析的结果和图2,3偏回归线可以得出:蜂群群势的增长与钙、磷的添加量密切相关;在均匀设计范围内,磷的添加量是影响蜂群群势增长的主要因素。群势与钙的添加量成负相关,与磷的添加量成正相关。

通过对回归方程分析可知,在均匀设计的实验点中,预测 $X_1 = 0$ ,  $X_2 = 0.65$ 时蜂群的群势最大,此条件下蜂群群势增长最快。

### 2.3 初生重

对数据进行多元回归分析,得出钙磷影响意大利蜜蜂初生重的一个回归方程为: $Y =$

$-0.00642X_1 + 0.00643X_2 + 0.10637$ ;  $F = 8.58$ ,  $R = 0.78$ ,  $P = 0.0057$  ( $P < 0.01$ ) 钙磷添加量与蜂体初生重之间相关性显著。

利用 SAS9.1 对  $Y$  (初生重) 关于  $X_1, X_2$  (钙磷添加量) 作曲线图, 结果见图 4。方程和图都说明  $Y$  (初生重) 取最大值时的钙水平为 0, 磷 0.65%。

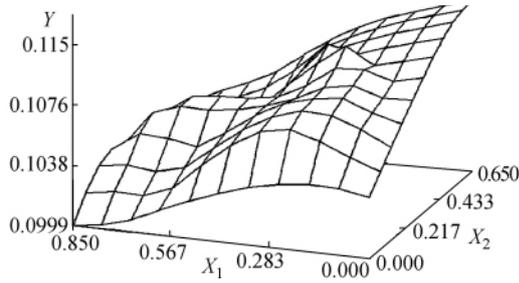


图 4 钙磷添加量对幼蜂初生重的影响

Fig.4 Influence of calcium and phosphate on the birth weight

$X_1$ : 代用花粉中钙添加量 (%);  $X_2$  代用花粉中磷添加量 (%);  $Y$ : 初生重 ( $10^{-3}$  kg)。

$X_1$ : amount of calcium in pollen substitutes (%);  $X_2$ : amount of phosphate in pollen substitutes (%);  $Y$ : the birth weight ( $10^{-3}$  kg) .

2.4 蜂体内得钙磷含量

2.4.1 蜂体内的钙含量 采用 SAS 9.1 对测的各组成蜂体内钙含量数据进行了 Duncan 氏法多重比较, 结果见表 2。由表 2 中的数据可以得出 B 组成蜂体内钙含量显著高于其他组, M 组代用花粉 (钙含量 0.1%) 与花粉组成蜂体内钙沉积量相同, 显著低于其他组。说明不同配比的钙磷影响钙在蜂体的吸收。采用 SAS 软件对数据进行多元线性回归分析, 得到的回归方程:  $Y = 1.1X_1 + 0.2X_2 + 1.17434$ ;  $P = 0.0137$ ,  $F = 6.49$ ,  $R = 0.73$ 。回归方程表明: (1) 显著性常数  $P < 0.05$ , 说明建立回归方程有统计学意义。(2) 假设检验  $F = 6.49 > F_{0.05}(2, 11) = 3.98$ , 说明  $Y$  (成蜂体内钙的沉积量) 与自变量  $X_1$  (钙添加量) 和  $X_2$  (磷添加量) 之间的线性关系密切。(3) 偏回归系数  $b_1 = 1.1 > b_2 = 0.2$ , 说明在影响蜂体内钙含量方面, 钙的添加量是待考查二因素中的主要因素。

通过试验数据可知, 在均匀设计的试验点中, 蜂体内钙的的沉积与代用花粉中添加的钙磷量呈正相关。也就是说, 随着钙磷添加量的增加, 蜂体内钙含量是逐渐增加的。

表 2 成蜂体内的钙含量

Table 2 Amount of calcium in adult honeybee

处理 Treatments	蜂体内钙的含量(‰) Amount of calcium in adult honeybee	处理 Treatments	蜂体内钙的含量(‰) Amount of calcium in adult honeybee
A	1.484 ± 0.024d	H	1.929 ± 0.057b
B	2.441 ± 0.039a	I	1.871 ± 0.150bc
C	1.751 ± 0.021bc	J	2.281 ± 0.079a
D	1.627 ± 0.042c	K	1.665 ± 0.077bc
E	1.540 ± 0.023cd	L	1.643 ± 0.013bc
F	1.614 ± 0.037cd	M	0.890 ± 0.091c
G	1.787 ± 0.047bc	N	0.8902 ± 0.118c

注: 表中数据为 mean ± SD, 同列数据后标有相同的小写字母表示差异不显著 ( $P > 0.01$ ), 不同字母代表差异显著 ( $P < 0.01$ )。表 3 同。

Data are mean ± SD, and followed by the same letters in the same column indicate no significant difference at 0.01 level, and followed by the different letters in the same column indicate significant difference at 0.01 level. The same for Fig. 3.

2.4.2 蜂体内磷的含量 采用钼黄比色法对蜂体中总磷量进行测定, 得出结果见表 3。对测得的数据进行多元回归分析得出  $P = 0.8024$ , 说明建立的多元回归方程没有统计学意义。各组之间进行

比较可知, 组与组之间有差异, B 组显著高于其他组, N 组 (花粉组) 显著低于其他组。说明不同配比的钙磷同时也影响磷在蜂体内的吸收。

表 3 成蜂体内的磷含量  
Table 3 Amount of phosphate in adult honeybee

处理 Treatments	蜂体内磷的含量(‰) Amount of phosphate in adult honeybee	处理 Treatments	蜂体内磷的含量(‰) Amount of phosphate in adult honeybee
A	7.799 ± 0.363bcde	H	8.175 ± 0.297bc
B	13.688 ± 0.742a	I	6.703 ± 0.330ed
C	7.371 ± 0.324bcde	J	8.457 ± 0.101b
D	8.234 ± 0.369bc	K	6.489 ± 0.520e
E	6.617 ± 0.647e	L	8.052 ± 0.446bcd
F	6.876 ± 0.574bcde	M	6.852 ± 0.247cde
G	8.506 ± 0.224b	N	7.195 ± 0.456bcde

### 3 讨论

均匀设计是一种全新的试验设计方法,是“模拟”走向“数字”的突破,它是我国科学家方开泰和王元在 20 世纪中研究火箭问题时候提出的一种最新的试验设计方法(曾昭君,1994),该法可在最短的时间内,进行最少的试验次数,寻得优化条件下的理想结果。它是一种多因素多水平试验设计方法,该方法通过各因素及交互项与测定指标之间建立回归模型,找出各因素及交互项的测定指标的相关性及显著性,再通过通径系数进一步寻找该配方中各因素及交互项对其的影响(高景莘和余涛,2002;辛志伟等,2009)最终优选出适宜的饲料配方。本试验利用均匀设计的方法总结出:人工代用花粉中钙磷添加量与采食量之间的回归方程:  $Y = -1283.2X_1 + 201.3X_2 + 2587.42$ ;人工代用花粉中钙磷添加量与群势之间的回归方程:  $Y = -0.76906X_1 + 1.08459X_2 + 3.38671$ ;人工代用花粉中钙磷添加量与初生重之间的回归方程:  $Y = -0.00642X_1 + 0.00643X_2 + 0.10637$ 。从方程表达式可知钙添加量为 0,磷添加量为 0.65% 时蜂群的采食量、群势、初生重得到最大值。可以粗略地得出人工代用花粉中适宜的钙磷添加量。

对成蜂体内的钙磷含量进行了测定,得出钙体内沉积量与钙磷添加量之间的回归方程:  $Y = 1.1X_1 + 0.2X_2 + 1.17434$ 。从方程表达式可以得出随着钙磷添加量的增加蜂体内沉积的钙含量会随着增加的。Stoche 等(2005)研究结果表明蜂体内矿物质和微量元素含量会随着不同地区,不同花期有所改变,与本试验结果一致。但是,田学军

(1994)报道成年蜜蜂吃了矿物质含量过高的食物是有害的。过量的矿物质将使蜜蜂过早地死亡或缩短寿命。用含 1% 无机盐的糖水喂笼养蜜蜂,蜜蜂仅能存活 4 d。冬季用矿物质含量高的蜂蜜喂蜂,蜂群死亡率高。用矿物质含量分别为 0.83%、0.14% 的甘露蜜和油菜蜜代替糖浆喂蜂群,蜜蜂中肠内容物较大地增加,并有大量气体充填其中,围食膜破裂。本研究测的成蜂体内(干物质)钙含量范围为  $0.890‰ \pm 0.09‰ \sim 2.441‰ \pm 0.039‰$ ,磷含量范围为  $6.489‰ \pm 0.0520‰ \sim 13.6884 \pm 0.7418‰$ ,花粉组含量最低,B 组含量最高,这与 Silva 等(2009)测得的蜂体内 Ca 平均值  $59.88 \times 10^{-6}$  相比偏低,与张坚等(1995)采用原子发射光谱测的幼虫干粉中钙含量 0.05% 相差不多,这可能与地区差异有关。

然而对蜜蜂钙磷需要量的研究还需要进行更进一步的探索。国内外专家已经进行了大量的工作。Anderson 和 Harvey (1966)运用电子显微镜观察 5 日龄惜古天蚕幼虫 *Hyalophora cecropia* 中肠的形态学结构,根据其研究的形态学资料和离子穿越中肠上皮细胞的生理学信息,可以推知在钾从血淋巴和中肠之间穿梭的过程中,质膜中的杯状细胞起着重要的作用。Bicker(1996)利用钙成像技术,研究蜜蜂头部蕈状体神经细胞在乙酰胆碱的刺激下,细胞内钙离子作为信号原子引起细胞内的一系列反应。Toth 和 Robinson(2005)确定营养状况(胸部脂肪含量)是否与意大利蜜蜂不同分工有关系,通过试验初步总结出蜂群的营养状况决定它们的分工。Woods 等(2002)通过给烟草天蛾幼虫饲喂高磷、低磷含量的叶子,研究幼虫生长速度与磷添加量的回归方程、幼虫血淋巴中有

机磷、无机磷、PH 值、 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  和  $\text{HPO}_4^{2-}$  等指标,说明磷在其生长过程中起着重要作用。这些试验方法在以后的研究过程中有一定的借鉴作用。

### 参考文献 (References)

- Anderson E, Harvey WR, 1966. Active transport by the *Cecropia* midgut II. Fine structure of the midgut epithelium. *J. Cell Biol.*, 31 (1) :107—134.
- Bicker G, 1996. Transmitter-induced calcium signalling in cultured neurons of the insect brain. *J. Neurosci. Meth.*, 69 (1) :33—41.
- Elton W, Herbert Jr, Shimanuki H, Caron D, 1977. Optimum protein levels required by honeybees (Hymenoptera, Apidae) to initiate and maintain brood rearing. *Apidologie*, 8 (2) :141—146.
- Haydak MP, 1967. Bee nutrition and pollen substitutes. *Misc. J. Serie*, 1:1232—1236.
- Herbert EW Jr, Shimanuki H, Shasha BS, 1980. Brood rearing and food consumption by honeybee colonies fed pollen substitutes supplemented with starch-encapsulated pollen extracts. *J. Apicult. Res.*, 19 (2) :115—118.
- Silva LR, Videira R, Monteiro AP, Valentão P, Andrade PB, 2009. Honey from Luso region (Portugal) : Physicochemical characteristics and mineral contents. *Microchem. J.*, 93 (1) :73—77.
- Stocker A, Schramel P, Kettrup A, Bengsch E, 2005. Trace and mineral elements in royal jelly and homeostatic effects. *J. Trace Elem. Med. Biol.*, (19) :183—189.
- Toth AL, Robinson GE, 2005. Worker nutrition and division of labour in honeybees. *Anim. Behav.*, 69 (2) :427—435.
- Woods HA, Perkins MC, Elser JJ, Harrison JF, 2002. Absorption and storage of phosphorus by larval *Manduca sexta*. *J. Insect Physiol.*, 48 (5) :555—564.
- 曾昭君, 1994. 均匀设计及其应用. 沈阳: 辽宁人民出版社. 209—210.
- 高景莘, 余涛, 2002. 正确运用均匀设计和正交设计法. 基层中药杂志, 16 (5) :25—26.
- 孙尚拱, 2000. 均匀设计中有重复实验的统计分析. 数理统计与管理, 19 (2) :24—29.
- 田学军, 1994. 蜜蜂食物矿物质成分分析. 昆虫知识, 31 (3) :173—175.
- 肖培新, 胥保华, 2010. 不同人工代花粉对蜂群群势和生产性能的影响. 昆虫知识, 47 (5) :900—903.
- 辛志伟, 张仲林, 臧志和, 钟玲, 2009. 均匀设计和回归分析法用于小鼠耳廓肿胀优化实验条件探索的研究. 西南国防医药, 19 (1) :33—34.
- 胥保华, 康明江, 杨维仁, 王桂芝, 刘锋, 2009. 蜂群精细化饲养技术的内涵. 山东畜牧兽医, 30 (10) :56—57.
- 余林生, 孟祥金, 2002. 安徽两种蜜蜂种群的春季繁殖及数量动态特征. 应用生态学报, 13 (9) :1127—1130.
- 余林生, 孟祥金, 汪时佳, 宋晓明, 丁健, 2007. 九州岛岛意蜂品系选育及生产性能试验的研究. 中国蜂业, 58 (1) :9—12.
- 余林生, 孟祥金, 朱永胜, 吴承武, 2003. 九华 EH-R 意蜂生产性能试验报告. 蜜蜂杂志, (9) :6—8.
- 张坚, 王晋, 康胜利, 许子俊, 刘凤云, 1995. 蜜蜂幼虫与幼虫干粉营养成分的对比分析研究. 蜜蜂杂志, (10) :6—7.
- 周冰峰, 2002. 蜜蜂饲养管理学. 厦门: 厦门大学出版社. 89—102.