桃蚜最佳人工全纯饲料的筛选*

叶 超** 王森山***

（甘肃农业大学植物保护学院，兰州 730070）

摘 要 **【目的】** 为了明确不同营养组分配方的人工全纯饲料对桃蚜 *Myzus persicae*(Sulze)生长发育的影响，筛选出适合室内饲养桃蚜的人工饲料配方。**【方法】** 本文以 5 组不同浓度的氨基酸溶液（A1 = 50 mmol/L、A2=100 mmol/L、A3=150 mmol/L、A4=200 mmol/L、A5=250 mmol/L）和 4 组不同浓度的蔗糖混合液（S1= 250 mmol/L、S2=500 mmol/L、S3=750 mmol/L、S4=1 000 mmol/L）组配的混合液饲喂桃蚜，测定了桃蚜的存活率、存活时间、平均产仔量和产仔率，并利用生命表技术，分析不同处理对桃蚜实验种群生命参数的影响。**【结果】** 结果表明，不同饲料配方对桃蚜的存活及繁殖均有一定的影响。存活率以 A1S3、A1S4 和 A3S4 最高，三者之间差异不显著（P>0.05）；存活时间以 A1S3、A1S4 和 A3S4 最长，分别达到了（34.00±1.00）d、（33.33±1.15）和（30.6±4.04）d，三者之间差异不显著（P>0.05）；平均产仔量和产仔率以 A3S1 和 A3S4 的最大，A3S1 分别达到了（9.75±2.71）头/成蚜和 43.33%±15.28%，A3S4 分别达到了（9.43±2.27）头/成蚜和 50.00%±10.00%，二者之间差异不显著（P>0.05）。种群生命参数中，A3S1 和 A3S4 的净生殖率分别达到了（4.43±2.31）和（4.63±1.25），二者之间差异不显著（P>0.05），与其他饲料配方差异显著（P<0.05）。**【结论】** 综合所有参数比较，确定 A3S4 为桃蚜的最佳人工饲料配方。

关键词 氨基酸，蔗糖混合液，生命表，存活率，种群生命参数

Testing artificial diets for captive rearing of *Myzus persicae* (Sulze) (Hemiptera: Aphididae)

YE Chao** WANG Sen-Shan***

(College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract **[Objectives]** To investigate the effects of artificial diets containing different nutritional components on the growth and development of the peach aphid, *Myzus persicae* (Sulze), and to develop a method to screen artificial diets for rearing the peach aphid in captivity. **[Methods]** Peach aphids were fed artificial diets containing one of 5 different concentrations of amino acid solution (A1=50 mmol/L, A2=100 mmol/L, A3=150 mmol/L, A4=200 mmol/L, A5=250 mmol/L) and one of 4 different concentrations of sucrose mixture (S1=250 mmol/L, S2=500 mmol/L, S3=750 mmol/L, S4=1 000 mmol/L). The survival, longevity, and fecundity, of aphids fed on each diet were determined, and the effects of the different diets on aphid life parameters were analyzed using life table techniques. **[Results]** Survival and fecundity were significantly affected by the different artificial diets. Aphids that received the A1S3, A1S4 and A3S4 diets had the highest survival rates. There was no significant difference in the longevity of aphids that received these three diets, which were (34.00±1.00) , (33.33±1.15) and (30.6±4.04)d, respectively. Aphids that received the A3S1 and A3S4 diets had the highest number of eggs laid per female and the highest average fecundity; (9.75±2.71) vs (9.43±2.27), and 43.33%±15.28% vs 50.00%±10.00%, respectively. There was no significant difference between these two diets in these parameters. The reproductive rates of aphids that received the A3S1 and A3S4 diets were (4.43±2.31) and (4.63±1.25), respectively; significantly higher (P<0.05) than those of aphids that

*资助项目 Supported projects：甘肃省科技计划（1506RJZA026）

**第一作者 First author，E-mail：yechao5150317@qq.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：wangsenshan@gsau.edu.cn

收稿日期 Received：2015-08-28，接受日期 Accepted：2016-04-19

received the other artificial diets. **[Conclusion]** The A3S4 was the best of the diets tested for captive rearing peach aphids.

Key words *Myzus persicae*, artificial diet, amino acid, sucrose mixture, life table, survival rate, population, life parameter

蚜虫人工饲料的研究起始于 1930 年，Hamilton（1930）最先尝试通过将蚜虫置于含有人工饲料的膜下进行饲养，对蚜虫传播病毒机制进行研究。后来，Bradley（1956）首次将石蜡膜（Parafilm M）应用于蚜虫的人工饲料饲养技术中，检测到了带病毒的蚜虫个体。20 世纪 60 年代初，Mittler 和 Dadd（1962）及 Auclair 和 Cartier（1963）在利用人工饲料饲养蚜虫的技术上取得历史性突破，使得蚜虫存活数周。到了 80 年代后期，Febvay 等人（1988）改进氨基酸的平衡，并用一种饲料配方饲养多种蚜虫。Prosser 和 Douglas（1992）在 Akey 和 Beck（1972）的饲料基础上进行改进，成功连续饲养豌豆蚜 *Acyrthosiphon pisum*。另有报道称加入微量胆固醇可以促进豌豆蚜的产仔率（Bouvaine *et al.*，2012）。

我国在蚜虫的人工饲料领域起步较晚，研究不多。1983 年柯礼道和钦俊德（1983）用化学纯饲料饲养桃蚜 *Myzus persicae*（Sulze），他们在 Dadd 的基本配方上进行修改，成功饲养桃蚜并测得桃蚜在人工饲料上的逐日生长量、若虫取食量和产幼蚜高峰期；陈巨莲等（2000）在 1995—1997 年以豌豆蚜饲料的配方为基础，经一系列改进研究，确定了麦长管蚜 *Sitobion avenae*（Fabricius）的人工饲料配方。李彩霞等（1997）通过改良人工饲料饲养麦蚜和棉蚜 *Aphis gossypii*（Glover），成功地进行了棉株体内营养成分变化和次生代谢产物与抗蚜关系以及抗蚜蛋白质的鉴定筛选。

经过半个多世纪的研究和发展，在实验室条件下蚜虫已经可以取食人工饲料并成功进行繁殖饲养（Cohen，2003）。人工饲料饲养昆虫可以应用在许多领域，比如研究豌豆蚜体内共生菌的相互作用（Douglas，1998）和生物防治。以人工饲料作为介质，还可以开展蚜虫传播病毒机制、营养生理、共生菌、毒理与杀虫活性物质生物测定等研究（纠敏和刘树生，2004），对于定量评价转基因植物表达的毒蛋白、农药等毒性物质对天敌昆虫的影响也有一定的借鉴意义。

本研究通过不同浓度的氨基酸和蔗糖混合液的两两配比，测定了桃蚜的存活率，存活时间、产蚜量（率），并结合生命表技术筛选出桃蚜最适宜的人工饲料配比。总结观察利用全纯人工饲料饲养桃蚜的情况状况，讨论影响桃蚜人工饲料饲养效果的关键因子，从而为进一步筛选饲养桃蚜的环境条件打好奠定基础，为室内人工饲养桃蚜节约人力、物力和空间。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

在甘肃农业大学试验田中采集桃蚜，于室内盆栽油菜上饲养，待产蚜后选用初产 2 日龄若蚜供试。供试虫源均为绿色型。

1.2 人工饲料组分

本研究所用试剂均为国产试剂，参照 Prosser 和 Douglas 于 1992 年发表的饲料配方并稍作修改，设置了 5 组不同的氨基酸处理浓度：50 mmol/L（A1）、100 mmol/L（A2）、150 mmol/L（A3）、200 mmol/L（A4）和 250 mmol/L（A5）；4 组蔗糖浓度：250 mmol/L（S1）、500 mmol/L（S2）、750 mmol/L（S3）、1 000 mmol/L（S4）。维生素、矿物质及其他微量元素均为固定浓度（表 1~表 4）。

1.3 人工饲料的配置方法

提前配制不同浓度氨基酸的储备液、矿物质储备液和维生素储备液，并冷冻于 -20℃无菌条件下；配制饲料前解冻上述储备液；蔗糖混合液为现配。

按照不同浓度所需称取蔗糖，再称取定量的抗坏血酸、柠檬酸、$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 混合（表 4），用 3 mL 双蒸水溶解，然后分别加入 5 mL 氨基酸储备液、0.1 mL 矿物质储备液和 0.5 mL 维生

表 1　维生素组成
Table 1　The constituent of vitamin

组分 Component	称取质量 Mass weighted [mg·(5mL)$^{-1}$]
生物素 Biotin	0.1
泛酸钙 D-calcium pantothenate	5.0
叶酸 Folic acid	2.0
烟酸 Nicotinic acid	10.0
吡哆醇 Pyridoxine	2.5
硫胺素 Thiamine	2.5
胆碱 Choline	50.0
肌醇 Myo-inositol	50.0

使用双蒸水溶解。下表同。Using distilled-deionized water to dissolve. The same below.

素储备液混合搅拌。称量 150 mg 的 $K_3PO_4 \cdot 3H_2O$ 溶于 1 mL 双蒸水中，最后添加至上述混合液中。保证混合液澄清，检测 pH 值为 7.0~7.5。最后用双蒸水定容至 10 mL，用 0.45 μm 细菌过滤器过滤混合液，分装至无菌塑料管中，保存在冰箱中（－20℃无菌条件）待用。饲料保存不能超过 3 个月。

1.4　饲养方法

本研究所用的饲养笼是由有机玻璃管加工而成（h=3 cm，d=2.5 cm）的双通管。拉伸石蜡膜（Parafilm M）封住养虫笼一端，用移液器添加饲料至膜上（每个为 100 μL），然后在上面再

表 2　L-氨基酸组成
Table 2　The constituent of L-amino acid

组分 Component	不同氨基酸浓度的质量 Mass of different amino acid concentration [mg·(50mL)$^{-1}$]					
	Mol (%)	A1(50 mmol/L)	A2(100 mmol/L)	A3(150 mmol/L)	A4(200 mmol/L)	A5(250 mmol/L)
丙氨酸 Ala	3.8	16.9	33.9	50.8	67.7	84.6
天冬酰胺-水物 Asn，H_2O	9.5	71.3	142.6	213.9	285.2	356.5
天冬氨酸 Asp	9.5	63.2	126.4	189.7	252.9	316.1
半胱氨酸-盐酸盐 Cys，HCl	1.8	14.2	28.4	42.5	56.7	70.9
谷氨酸 Glu	5.6	41.2	82.4	123.6	164.7	205.9
谷氨酰胺 Gln	11.0	80.4	160.7	241.1	321.4	401.8
甘氨酸 Gly	0.8	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0
脯氨酸 Pro	3.8	21.9	43.7	65.6	87.5	109.3
丝氨酸 Ser	3.8	20.0	39.9	59.9	79.9	99.8
酪氨酸 Tyr	0.4	3.6	7.2	10.9	14.5	18.1
精氨酸-盐酸盐 Arg, HCl	9.5	100.1	200.1	300.2	400.3	500.3
组氨酸-盐酸盐-水物 His，HCl，H_2O	5.8	60.8	121.6	182.4	234.1	303.9
异亮氨酸 Iso	5.8	38.0	76.1	114.1	152.2	190.2
亮氨酸 Leu	5.8	38.0	76.1	114.1	152.2	190.2
赖氨酸-盐酸盐 Lys，HCl	5.8	53.0	105.9	158.9	211.8	264.8
甲硫氨酸 Met	1.9	14.2	28.3	42.5	56.7	70.9
苯丙氨酸 Phe	1.9	15.7	31.4	47.1	62.8	78.5
苏氨酸 Thr	5.8	34.5	69.1	103.6	138.2	172.7
色氨酸 Trp	1.9	19.4	38.8	58.2	77.6	97.0
缬氨酸 Val	5.8	34.0	67.9	101.9	135.8	169.8

必须氨基酸占氨基酸总量的 50%。Fifty mol (%) of the amino acids are essentials.

表 3 矿物质组成
Table 3 The constituent of mineral

组分 Component	称取质量 Mass weighted [mg·(10mL)$^{-1}$]
$FeCl_3·6H_2O·$	13.1
$CuCl_2·2H_2O$	1.7
$MnCl_2·4H_20$	4.0
$ZnCl_2$	13.6
$MgSO_4·7H_2O$	11.0

覆一层石蜡膜，避免饲料溢出虫笼。用小毛笔挑取初孵 2 日龄若蚜转接至饲养笼内的石蜡膜上，倒置 30 s 以保证蚜虫固定取食，再将饲养笼放正。

选取不同浓度的氨基酸和蔗糖，将不同浓度配比的人工饲料加入饲养笼中试验共设 5 个浓度的氨基酸和 4 个浓度的蔗糖，共计 20 个处理，每处理 3 组重复，每重复单体饲养 10 头，共计 30 头。置于温度为（24±1）℃光周期为 L∶D=16∶8，湿度为 RH=（70±5）%的人工气候箱（RXZ 型）内饲养。接虫后第 2 日起统计观察各处理桃蚜的生长发育情况，记录桃蚜的死亡、存活、繁殖量等情况。

表 4 蔗糖混合液组成
Table 4 The constituent of sucrose mixture

组分 Component		称取质量 Mass weighted [mg·(10mL)$^{-1}$]			
抗坏血酸 Ascorbic acid		10			
柠檬酸 Citric acid		1			
$MgSO_4·7H_2O$		11			
蔗糖 Sucrose	浓度 Concentration (mmol/L)	250	500	750	1 000
	混合质量 Milligram (mg) in mix	850	1 700	2 600	3 400

1.5 数据处理

利用 Excel 统计数据，对产蚜的饲料配方建立实验种群生命表，用 SPSS 22.0 软件分析种群参数，从而筛选出桃蚜室内人工饲料饲养的最佳配方。

2 结果与分析

2.1 不同浓度的人工饲料对桃蚜的生长和繁殖的影响

不同组分配方的人工饲料对桃蚜的生长和繁殖的影响结果见表５。第 6 天存活率在 A1S2、A1S3、A1S4、A3S4、A5S3、A5S4 间差异不显著（P>0.05），分别为 86.67%±5.77%、93.33%±5.77%、96.67%±5.77%、93.33%±5.77%、83.33%±15.28%、73.33%±5.77%，其中 A1S4 与 A1S1、A2S1、A2S2、A2S3、A2S4、A3S1、A3S2、A3S3、A4S1、A4S2、A4S3、A4S4、A5S1、A5S2 间其他 13 种饲料差异显著（P<0.05）；第 12 天存活率在 A1S3、A1S4、A3S4 间差异不显著（P>0.05），均为 56.67%，三者与其他饲料间差异显著（P<0.05）；第 20 天存活率在 A1S3、A1S4、A3S4 间差异不显著（P>0.05），为 30.00%、33.33%、36.67 %，三者与其他饲料间差异显著（P<0.05）。

A1S1、A2S1、A3S2、A4S1、A4S2、A4S3、A5S1 的最长存活时间均低于 10 d；A1S3、A1S4 和 A3S4 的最长存活时间分别为 34.00、33.33、30.67 d，三者间差异不显著（P>0.05），三者与其他饲料间差异显著（P<0.05）。

A1S1、A2S1、A2S2、A3S2、A4S1、A4S2、A4S3 和 A5S1 的平均产仔量水平均为 0，说明这 8 种饲料配方不利于桃蚜的繁殖；A2S3、A2S4、A4S4 和 A5S2 的平均产仔量低于 2 头/成蚜，说明桃蚜取食这 3 种配比的饲料不利于并不能促进蚜种群发展；A3S1 和 A3S4 平均产仔量最高，分别为 9.75 头/成蚜和 9.43 头/成蚜，二者间差异不显著（P>0.05），与其他饲料间差异显著（P<0.05）可能会是比较好。

表 5　饲料中不同氨基酸和蔗糖浓度对桃蚜生长和繁殖的影响

Table 5　Influence of dietray variation of amino acid and sucrose concentration on peach aphid growth and fecunity

不同饲料配比 Different diets composition	存活率 Survival rate (%)			最长存活时（d） Survival long-days	平均产仔量（头/成蚜） Average progeny produced	产仔率（%） Progeny produced rate
	6 d	12 d	20 d			
A1S1	0±0f	0±0d	0±0c	6.00±0fg	0±0d	0±0f
A1S2	86.67±5.77ab	13.33±5.77cd	6.67±5.77bc	24.67±5.13bc	5.00±2.65b	6.67±5.77ef
A1S3	93.33±5.77ab	56.67±5.77a	30.00±10.00a	34.00±1.00a	4.67±2.31b	30.00±10.00bc
A1S4	96.67±5.77a	56.67±25.17a	33.33±11.55a	33.33±1.15a	5.50±0.50b	30.00±26.46bc
A2S1	0±0f	0±0d	0±0c	5.33±0.58g	0±0d	0±0f
A2S2	50.00±26.46cde	0±0d	0±0c	10.75±1.89efg	0±0d	0±0f
A2S3	53.33±25.17cde	20.00±0bcd	3.33±5.77c	21.33±3.21cd	0.33±0.58d	3.33±5.77ef
A2S4	46.67±15.28cde	23.33±11.55bc	10.00±10.00bc	20.67±6.11cd	1.33±1.15cd	6.67±5.77ef
A3S1	53.33±5.77cde	33.33±20.82b	16.67±11.55b	28.00±3.46ab	9.75±2.71a	43.33±15.28ab
A3S2	46.67±5.77cde	0±0d	0±0c	9.00±1.41fg	0±0d	0±0f
A3S3	66.67±20.82bcd	13.33±23.09cd	6.67±11.55bc	16.00±9.54de	4.67±4.73b	20.00±17.32cde
A3S4	93.33±5.77ab	56.67±15.28a	36.67±5.77a	30.67±4.04a	9.43±2.27a	50.00±10.00a
A4S1	0±0f	0±0d	0±0c	5.67±0.58fg	0±0d	0±0f
A4S2	36.67±15.28e	0±0d	0±0c	9.00±0.00fg	0±0d	0±0f
A4S3	40.00±20.00de	0±0d	0±0c	9.00±0.00fg	0±0d	0±0f
A4S4	66.67±30.55bcd	3.33±5.77d	0±0c	11.00±3.46efg	0.33±0.58d	3.33±5.77ef
A5S1	0±0f	0±0d	0±0c	6.00±0fg	0±0d	0±0f
A5S2	46.67±20.82cde	0±0d	0±0c	10.67±1.53efg	1.50±1.32cd	20.00±20.00cde
A5S3	83.33±15.28ab	0±0d	0±0c	12.00±0ef	3.00±1.73bcd	10.00±0.00def
A5S4	73.33±5.77abc	6.67±11.55cd	0±0c	12.00±2.65ef	4.06±0.59bc	26.67±5.77bcd

表中数据为 3 组重复的平均值。数据后标有不同字母表示差异显著（Duncan's 检验，$P<0.05$）。下表同。

Data are average of three repetitions in the table, and followed by the different letters indicate significantly different at the 0.05 level by Duncan's multiple range test. The same below.

A3S1 和 A3S4 的产仔率最高，分别为 43.33%±15.28%和 50.00%±10.00%，二者间差异不显著（$P>0.05$），其中 A3S4 的产仔率与其他饲料间差异显著（$P<0.05$）。较高的产仔率在一定程度上能够说明该饲料整体较适宜蚜虫种群的生存与繁殖。

根据存活和产仔参数，初步筛选出存活时间长且可繁殖产仔的 7 种饲料配方，分别为 A1S2、A1S3、A1S4、A3S1、A3S3、A3S4 和 A5S4，组建实验种群生命表，从种群生命参数方面进行深入筛选。

2.2　不同浓度的人工饲料对桃蚜的种群生命参数的影响

由表 6 可知，A3S1 和 A3S4 的净生殖率 R_0 间差异不显著（$P>0.05$），分别为 4.43 和 4.63，与 A1S2、A1S3、A1S4、A3S3、A5S4 间差异显著($P<0.05$)；A1S3、A1S4、A3S1、A3S4 和 A5S4 间差异不显著（$P>0.05$），A1S3、A1S4、A3S1、A3S4、A5S4 的内禀增长率 r_m 间差异不显著（$P>0.05$），A1S2 和 A3S3 的内禀增长率 r_m 是负值，分别为 - 0.08 和 - 0.03，说明这两种饲料不利于桃蚜的种群发展；A1S4 与 A1S2、A1S3、

表 6 种群生命参数
Table 6 Population life table parameters

不同饲料配方 Different diets composition	净生殖率 R_0 Net reproduction rate	内禀增长率 r_m Innate capacity for increase	世代周期 T Generation length	种群加倍时间 The doubling times (Dt)	周限增长率 λ Finite rate for increase
A1S2	0.50±0.26b	-0.08±0.07bc	11.92±4.84abc	-16.50±15.45a	0.92±0.07c
A1S3	1.57±1.02b	0.01±0.92abc	12.10±2.49abc	4.85±10.44a	1.01±0.09ab
A1S4	1.57±1.34b	0.01±0.05abc	15.02±1.87a	—	1.02±0.06ab
A3S1	4.43±2.31a	0.12±0.49a	11.53±1.07abc	6.85±3.60a	1.13±0.05a
A3S3	1.44±2.30b	-0.13±0.22c	9.46±1.74bc	0.05±4.81a	0.89±0.21c
A3S4	4.63±1.25a	0.11±0.03ab	13.53±0.88ab	6.41±1.63a	1.12±0.04a
A5S4	1.20±0.40b	0.02±0.05abc	7.96±0.44c	4.70±27.94a	1.12±0.03a

A3S1、A3S4 的世代周期 T 间差异不显著（P>0.05），与 A3S3 和 A5S4 间差异显著（P<0.05）；A1S2、A1S3、A3S1、A3S3、A3S4、A5S4 的种群加倍时间 Dt 间差异不显著（P>0.05），A1S4 的种群加倍时间 Dt 为无效值；A1S3、A1S4、A3S1、A3S4、A5S4 周限增长率 λ 间差异不显著（P>0.05），这 5 种饲料与 A1S2 和 A3S3 间差异显著（P<0.05）。

3 小结与讨论

氨基酸和糖是构成昆虫虫体的重要物质，是昆虫生长发育的物质基础，也是昆虫最主要的能源物质（高文兴等，2012）。在人工饲料中必须氨基酸的含量为 45%~50%，有时为了研究需要，饲料中的必须氨基酸浓度会高达 55%（Karley *et al.*，2002）。然而，同一物种不同地域的蚜虫对必须氨基酸的需求不尽相同（Srivastava *et al.*，1985）。Auclair 和 Cartier（1963）确定了适宜豌豆蚜饲养的蔗糖浓度为 20%~35%。Srivastava 和 Auclair（1971）发现当蔗糖浓度为 0~5%时完全不适宜蚜虫生长，浓度为 10%~20%时，蔗糖才具有助食作用，也较适宜豌豆蚜的生长，在此浓度区间蚜虫的日均体重增加、死亡率、生存时长和成蚜率均无显著差异。当蔗糖浓度达到 35%时，豌豆蚜的各项参数达到最高，超过 35%对蚜虫有害。但需要指出，不同的饲料配方所用的蔗糖浓度有所差异，最适的蔗糖浓度一定要结合氨基酸的配比和梯度来筛选（Febvay *et al.*，1988）。

研究蚜虫人工饲料的基本目的在于能够使蚜虫在实验室条件下正常生长发育，并保证繁殖产仔，可持续培养，为实验室饲养蚜虫节省人力、物力和空间。平均产仔量、产仔率、存活率、最长生存时间等参数均为衡量昆虫种群发展的重要指标。由此综合评价选出 A1S2、A1S3、A1S4、A3S1、A3S3、A3S4 和 A5S4 这 7 种饲料较适于蚜虫的生长发育，且在上述参数中没有显著差异。

由于生命表可以最为详细地反应环境因子对蚜虫生长发育的影响（赵惠燕等，1995），故本研究组建了上述 7 种饲料的生命表。综合生物学参数和实验种群生命表参数，结果表明 A3S1 和 A3S4 这两种饲料配比更加适合蚜虫的生长发育。但在蚜虫存活率的 3 个梯度上，A3S1 与 A3S4 相比差异显著（P<0.05），即 A3S4 的存活率更高。因此，本研究结果显示 A3S4 是更加适宜的桃蚜饲料配方。

通过试验研究发现，当氨基酸浓度为 A2（100 mmol/L）和 A4（200 mmol/L）时，人工饲料完全不适用于饲养桃蚜，A5（250 mmol/L）次之。氨基酸浓度为 A1（50 mmol/L）和 A3（150 mmol/L）时，饲养效果总体较佳，但二者在产仔量上又呈明显差异，即 A3 好于 A1。所以当人工饲料的氨基酸浓度为 A3 时，桃蚜的生长发育效果更佳，故此推测氨基酸浓度的平衡可能对桃蚜蚜虫的生长发育及繁殖有较深远的影

响积极作用。当氨基酸浓度为 A3 时，在 4 个不同蔗糖浓度梯度下，低蔗糖浓度的 S1 (250 mmol/L) 和高蔗糖浓度的 S4 (1 000 mmol/L) 的饲养效果明显好于中间两个蔗糖浓度的饲料 S2 (500 mmol/L) 和 S3 (750 mmol/L)，说明蔗糖浓度对桃蚜生长发育及繁殖的影响呈“U”型趋势。从表 5 中分析可得，S4 的存活率显著高于 S1 的存活率 (P<0.05)，说明高浓度蔗糖可以更好的维持桃蚜种群的发展，即 A3S4 是更适宜桃蚜的人工饲养。

影响蚜虫在人工饲料上生长发育的因素有很多。植食性昆虫，包括蚜虫所需的营养物质都被饲料中的氮素所限制 (Abisgold *et al.*, 1994)。生活在寄主植物上的无翅桃蚜在 19.9℃到 26.0℃的平均产仔量为 31~84 头/成蚜 (刘树生, 1991)，这项参数远高于本文作者在人工饲料上饲养的桃蚜的平均产仔量。为了保证蚜虫能够充分摄取营养物质，人工饲料中的氨基酸和蔗糖浓度均远高于植物韧皮部，然而尽管如此，蚜虫的取食量却依然远低于植物韧皮部，这是由于人工饲料缺少的正压和寄主植物中的某些物理及化学因子导致蚜虫的取食量降低 (Prosser and Douglas, 1992)。Sasaki 等在 1991 年提出假设：用非平衡氨基酸组成的人工饲料饲喂蚜虫对其繁殖有显著影响，这是由于蚜虫细胞内存有大量的共生菌，这些细胞被称为共生菌胞，用人工饲料饲养蚜虫，共生菌会抑制蚜虫产仔，在寄主植物上饲养蚜虫，共生菌反而促进蚜虫的产仔。后来有研究者提出由于使用了石蜡膜覆盖饲料，限制了蚜虫的取食能力 (Wille and Hartman, 2008)。

蚜虫的人工饲料的发展已经接近一个世纪，但与寄生在植株体上的蚜虫相比，人工饲料无论在生物学参数和生命表种群参数上都有着不小的差距，其中更大的难点在于如何让蚜虫在人工全纯饲料上连续繁殖，并防止其发生退化。蚜虫的生活习性，包括体内的共生菌的作用还需深入研究，人工饲料还需要更深入的改进。

参考文献 (References)

Abisgold J, Simpson S, Douglas AE, 1994. Nutrient regulation in the pea aphid *Acyrthosiphon pisum*: application of a novel geometric framework to sugar and amino acid consumption. *Physiological Entomology*, 19(2): 95–102.

Akey DH, Beck SD, 1972. Nutrition of the pea aphid, *Acyrthosiphon pisum*: Requirements for trace metals, sulphur and cholesterol. *Journal of Insect Physiology*, 18(10): 1901–1914.

Auclair JL, Cartier JJ, 1963. Pea aphid: rearing on a chemically defined diet. *Science*, 142(3595): 1068–1069.

Bouvaine S, Behmer ST, Lin GG, Marie-Line F, Faure ML, Grebenok RJ, Douglas AE, 2012. The physiology of sterol nutrition in the pea aphid *Acyrthosiphon pisum*. *Journal of Insect Physiology*, 58(11): 1383–1389.

Bradley RH, 1956. Effects of depth of stylet penetration on aphid transmission of potato virus Y. *Candian Journal of Microbiology*, 2(6): 539–547.

Chen JL, Ni HX, Ding HJ, Sun JR, 2000. Studies on a chemically defined diet of English grain aphid. *Agricultural Sciences in China*, 33(3): 54–59. [陈巨莲, 倪汉祥, 丁红建, 孙京瑞, 2000. 麦长管蚜全纯人工饲料的研究. 中国农业科学, 33(3): 54–59.]

Cohen AC, 2003. Insect Diets: Science and Technology. CRC Press. 324.

Douglas AE, 1998. Nutritional interactions in insect-microbial symbioses: aphids and their symbiotic bacteria *Buchnera*. *Annual Review of Entomology*, 43(1): 17–37.

Febvay G, Delobel B, Rahbé Y, 1988. Influence of the amino acid balance on the improvement of an artificial diet for a biotype of *Acyrthosiphon pisum* (Homoptera: Aphididae). *Canadian Journal of Zoology*, 66(11): 2449–2453.

Gao WX, Wang MQ, Chen HY, 2012. Progress in research and application of aphids' artificial diet. *Chinese Journal of Biological Control*, 28(1): 121–127. [高文兴, 王孟卿, 陈红印, 2012. 蚜虫人工饲料的研究及应用进展. 中国生物防治学报, 28(1): 121–127.]

Hamilton MA, 1930. Notes on the culturing of insects for virus work. *Annals of Applied Biology*, 17(3): 487–492.

Jiu M, Liu SS, 2004. Aphid rearing with artificial diets. *Entomological Journal of East China*, 13(2): 102–109. [纠敏, 刘树生, 2004. 利用人工饲料饲养蚜虫的技术. 华东昆虫学报, 13(2): 102–109.]

Karley AJ, Douglas AE, Parker WE, 2002. Amino acid composition and nutritional quality of potato leaf phloem sap for aphids. *Journal of Experimental Biology*, 205(19): 3009–3018.

Ke LD, Qin JD, 1983. Rearing *Myzus persicae* of Beijing on an artificial diet. *Entomological Knowledge*, 26(1): 17–23. [柯礼道, 钦俊德, 1983. 以化学纯饲料饲养北京的桃蚜. 昆虫知识, 26(1): 17–23.]

Li CX, Gao LF, Gao LL, Li RZ, 1997. Study on the rearing of aphids on a artificially holidicdiets. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 17(3): 225–228. [李彩霞, 高丽锋, 高玲玲, 李润植, 1997. 全纯人工营养液饲养蚜虫的研究. 山西农业大学学报, 17(3): 225–228.]

Liu SS, 1991. The influence of temperature on the population increase of *Myzus persicae* and *Lipaphis erysimi*. *Acta Entomologica Sinica*. 34(2): 189–197. [刘树生, 1991. 温度对桃蚜和胡萝卜蚜种群增长的影响. 昆虫学报, 34(2): 189–197.]

Mittler TE, Dadd RH, 1962. Artificial feeding and rearing of the aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), on a completely defined synthetic diet. *Nature*, 195(4839): 404.

Prosser WA, Douglas AE, 1992. A test of the hypotheses that nitrogen is upgraded and recycled in an aphid (*Acyrthosiphon pisum*) symbiosis. *Journal of Insect Physiology*, 38(2): 93–99.

Sasaki T, Hayashi H, Ishikawa H, 1991. Growth and reproduction of the symbiotic and aposymbiotic pea aphids, *Acyrthosiphon pisum* maintained on artificial diets. *Journal of Insect Physiology*, 45(1): 71–75.

Srivastava PN, Gao Y, Levesque J, 1985. Differences in amino acid requirements between two biotypes of the pea aphid, *Acyrthosiphon pisum*. *Canadian Journal of Zoology*, 63(3): 603–606.

Srivastava PN, Auclair JL, 1971. Influence of sucrose concentration on diet uptake and performance by the pea aphid, *Acyrthosiphon pisum*. *Annals of the Entomological Society of America*, 64(3): 739–743.

Wille B, Hartman G, 2008. Evaluation of artificial diets for rearing aphis glycines (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 101(4): 1228–1232.

Zhao HY, Wang SZ, Yuan F, Dong YC, Zhang GS, 1995. Life table of *Myzus persicae* under different temperature and host plant conditions. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 6(Suppl.): 83–87. [赵惠燕, 汪世泽, 袁锋, 董应才, 张改生, 1995. 不同温度与寄主条件下桃蚜生命表的研究. 应用生态学报, 6(Suppl.): 83–87.]