

钾钙营养与有机桃品质及褐腐病的关系及其调控研究

董民, 张顶武, 杜相革* (中国农业大学农学植物保护学院, 北京 100193)

摘要 [目的]研究钾、钙营养与有机桃果实品质及褐腐病之间的关系, 以及其有机生产调控措施。[方法]以农业生态系统健康为出发点, 研究土壤、叶片和果实的营养转化关系以及树体营养水平对果实品质及褐腐病的控制作用, 通过土壤与叶面定量施用有机生产允许的天然钾、钙等物质, 调节树体营养, 评价其提高果实品质、防控褐腐病的效果。[结果]有机桃单果重、可溶性固形物、总糖等指标均与果实钾元素含量呈显著正相关关系; 有机桃果实钙元素含量与褐腐病病情指数呈显著负相关关系。5月和6月叶片的钾元素含量与果实钾元素含量均呈极好的相关性, 可以作为早期树体营养诊断的依据。1 hm² 施入 2 250 kg 矿质钾镁肥+90 kg 稻醋液, 并叶面喷施 10% 草木灰浸出液可以有效增加有机桃叶片钾含量, 显著提高单果重、可溶性固形物和总糖含量; 1 hm² 施入 2 250 kg 矿物肥+90 kg 稻醋液, 并叶面喷施 500 倍氯化钙溶液, 可以显著提高有机桃果实钙含量, 显著降低褐腐病的病情指数。[结论]土壤补充天然矿质钙肥未能增加叶片、果实钙元素含量。

关键词 钾; 钙; 有机桃; 品质; 营养调控

中图分类号 S 662.1 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)01-0137-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.01.042



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Nutritional Management of Potassium, Calcium Nutrition and the Relationship between Them and Quality and Brown Rot of Organic Peach

DONG Min, ZHANG Ding-wu, DU Xiang-ge (College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193)

Abstract [Objective] To study the relationship between potassium, calcium nutrition and fruit quality and peach brown rot, and the control methods of organic production. [Method] Taking the health of agricultural ecosystem as the starting point, the relationship between nutrient transformation of soil, leaves and fruits and the control effect of tree nutrition level on fruit quality and brown rot were studied. Through quantitative application of natural potassium, calcium and other substances permitted by organic production in soil and leaf surface, tree nutrition was regulated and the effect of improving fruit quality and preventing and controlling brown rot was evaluated. [Result] There were significantly positive relationship between potassium content and fruit weight, soluble solids and total sugar content; there were significantly negative relationship between leaf calcium content and peach brown rot. There were great relationship between leaf calcium content and fruit calcium content in May, and between leaf potassium content and fruit potassium content, which can be used as the standard of tree nutrition. Leaf potassium content, fruit weight, soluble solids and total sugar content increased significantly in the treatment of soil application of potassium and magnesium fertilizer 90 kg + rice vinegar 2 250 kg and foliar application of 10% plant ash livivium. The leaf calcium content increased significantly and the disease index of peach. [Conclusion] Soil supplementation with natural mineral calcium fertilizer failed to increase the content of calcium in leaves and fruits.

Key words Potassium; Calcium; Organic peach; Quality; Nutritional management

桃树是我国北方重要果树之一, 近年来有机生产面积逐步扩大。由于有机生产禁止使用化学合成肥料及杀菌剂, 因此提高果实品质、防控褐腐病等病害^[1-2] 成为亟待解决的关键问题。研究表明, 补充化学合成钾肥可以有效增加葡萄、梨、桃、苹果等果实可溶性糖及 Vc 含量^[3-4]; 采前或采后补充钙元素, 可以降低红色悬钩子^[5]、草莓^[6-7]、苹果^[8]、葡萄^[9] 和甜樱桃^[10] 等果实由 *Botrytis cinerea* 引起的灰霉病发病率; 以硝酸钙的形式补充钙元素可以减少桃褐腐病的发病率^[11]; 然而有机生产调控措施尚未见系统报道。笔者以农业生态系统健康为出发点, 研究土壤、叶片和果实的营养转化关系以及树体营养水平对果实品质及褐腐病的控制作用, 通过土壤与叶面定量施用有机生产允许的天然钾、钙等物质, 调节树体营养, 评价其提高果实品质、防控褐腐病的效果, 旨在为有机果品生产提供新思路。

1 材料与与方法

1.1 试验地概况 试验于 4—10 月在北京市平谷区马昌营

镇前芮营村有机桃基地(117°06' E, 40°09' N, 海拔 16~30 m) 进行。该基地面积 55 hm², 地势平坦, 有机质含量 54 g/kg, pH 8.1。基地周边环境环绕杨树和柳树, 与其他果园相距 5 km 以上, 桃树品种主要有大久保、北京 24 等, 树高 4 m, 树龄 7 年, 株行距为 3 m×6 m。该地区年平均气温 10℃左右, 平均无霜期 189 d, 年平均降水量 616 mm, 气候、土壤和水利条件适宜桃树栽培。

1.2 试验材料 桃树品种为北京 24 号。

1.3 试验方法

1.3.1 果实钾、钙元素及品质和病害调查。 果园内采用棋盘式 5 点取样, 每样点选择具代表性的桃树 1 棵, 挂牌固定。按照东、西、南、北 4 个方位, 选取每株树冠外围中部近成熟的果实 3 个。果实着生方位、果个大小及着色尽量一致。果实采收后立即测定单果重、硬度、可滴定酸、可溶性固形物及总糖含量, 杀酶干燥后测定 N、P、K、Ca 等元素含量^[12]。同时, 上述每株桃树按东、南、西、北方向随机调查 100 枚果实, 统计褐腐病情指数^[13]。取样、调查时间为 9 月上旬。

1.3.2 叶片钾、钙元素调查。 取树冠外围中部东、西、南、北 4 个方向正常生长的一年生中庸新梢的中部叶片各 25 片(健康、成熟、无病虫害及机械损伤, 带叶柄)。叶片样品放入新聚乙烯自封袋带回室内, 经清洗、杀酶、烘干及粉碎后测定

基金项目 北京市科技计划项目“生态涵养区有机果园设施节水与生物节水技术集成与示范”。

作者简介 董民(1973—), 男, 北京人, 讲师, 博士, 从事有机农业生产技术研究。* 通信作者, 教授, 博士, 博士生导师, 从事农产品安全生产研究。

收稿日期 2018-08-08

N、P、K、Ca 等元素的含量^[12]。5—9月,每月中旬取样1次。

1.3.3 营养调控措施对有机桃品质及褐腐病的影响。试验共设5个处理,1个对照。处理①:1 hm² 施入 2 250 kg 矿质钾镁肥+90 kg 稻醋液+叶面喷施 10% 草木灰浸出液;处理②:1 hm² 施入 2 250 kg 矿质钾镁肥+90 kg 稻醋液+叶面喷施 500 倍 CaCl₂ 溶液;处理③:1 hm² 施入 2 250 kg 矿质钾镁肥+90 kg 稻醋液+叶面喷施 500 倍生物硅酸;处理④:1 hm² 施入 2 250 kg 矿质钾镁肥+90 kg 稻醋液;CK:土壤无处理+叶面喷清水。

土壤处理时间 3 月 25 日;方法为沟施,随基肥混匀施入。叶面肥施用时间从 4 月 29 日至 9 月 2 日,每 10 d 喷施 1 次。每处理面积约 2 668 m²,各处理间加 1 行(667 m²) 保护行。

矿物肥钾镁肥成分:MgO 7.3%;CaO 29.5%;SiO₂ 30.6%;K₂O 8.4%;稻醋液成分:有机酸 9.0%;生物硅酸:SiO₂ 15.0%。

5—9月,每月中旬取样1次。叶片和果实取样,K、C 元素及品质检测、病害调查方法同“1.2.1”。

1.4 数据分析 相关性分析采用 SPSS 软件处理,不同处理

的多重比较采用 Duncan 法^[14]。

2 结果与分析

2.1 钾、钙营养元素与有机桃品质及褐腐病的关系 对果实各元素指标与有机桃品质和褐腐病病情指数进行偏相关分析,结果见表 1。由表 1 可知,N、P、K 和 Ca 等元素均与有机桃单果重呈正相关关系,其作用大小为钾>钙>磷>氮,其中钾元素与有机桃单果重呈显著正相关关系,相关系数为 0.936 6。因此,在合理范围内适当补充大、中量元素,可以增加有机桃单果重;增加果实中钾含量能够显著提高单果重。上述 4 种元素均与有机桃果实的可溶性固形物与总糖呈正相关关系,其作用大小为钾>钙>磷>氮,其中钾元素与果实可溶性固形物和总糖含量均呈显著正相关关系,相关系数分别达 0.976 8 和 0.878 7。说明通过营养调节措施,提高钾元素含量可以增加果实的可溶性固形物及总糖含量。上述各元素均与有机桃果实褐腐病病情指数呈负相关关系,其作用大小为钙>磷>氮>钾>镁,其中钙元素呈显著负相关,相关系数为-0.916 0。说明在合理范围内,补充大、中量元素可以减少褐腐病的发生;增加果实中钙含量能够显著降低有机桃褐腐病的病情指数。

表 1 有机桃果实各种元素含量与品质及褐腐病的关系

Table 1 Relationships between mineral nutrient contents and quality and brown rot of organic peach

| 指标 Index | N | P | K | Ca |
|------------------------------------|----------|----------|----------|-----------|
| 单果重 Single fruit weight | 0.244 8 | 0.416 9 | 0.936 6* | 0.597 5 |
| 硬度 Fruit firmness | -0.626 0 | -0.358 3 | 0.370 9 | 0.029 5 |
| 可溶性固形物 TSS | 0.346 8 | 0.509 8 | 0.976 8* | 0.579 9 |
| 总糖 TS | 0.269 0 | 0.319 3 | 0.878 7* | 0.396 3 |
| 褐腐病病情指数 Disease Index of brown rot | -0.691 4 | -0.726 6 | -0.665 5 | -0.916 0* |

注:*表示在 0.05 水平显著相关

Note:* means significant correction($P<0.05$)

选择对果实品质和病害影响较大的钾和钙元素,分析其在 5—9 月叶片及成熟果实中含量的相关性(表 2、3),以期为早期树体营养诊断提供理论依据。按照各生长时期叶片营养与果实营养的相关性比较,6 月叶片的钾元素含量与果实钾元素含量具有极好的相关性,相关系数为 0.901 2。其回

归分析结果: $K_{\text{果实}}=0.065 41K_{\text{叶(6月)}}+0.177$ 。5 月和 6 月叶片中的钙元素含量与果实中的钙元素含量呈极好的相关性,其中 5 月相关系数最高为 0.947 3。其回归分析结果: $Ca_{\text{果实}}=0.008 66Ca_{\text{叶(5月)}}+62.571$ 。因此,可以尝试利用 6 月叶片中钾含量和 5 月叶片中钙含量作为树体早期营养检测指标。

表 2 各生长时期有机桃叶片、果实钾元素关系

Table 2 Relationships between leaves K and fruit K of organic peach

| 器官 Organ | 叶(5月) Leaf(May) | 叶(6月) Leaf(Jun) | 叶(7月) Leaf(July) | 叶(8月) Leaf(Aug) | 叶(9月) Leaf(Sep) | 果实 Fruit |
|------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------|
| 叶(5月) Leaf(May) | 1.000 0 | 0.985 7 | 0.774 7 | 0.294 6 | 0.558 0 | 0.830 3 |
| 叶(6月) Leaf(Jun) | 0.985 7** | 1.000 0 | 0.721 2 | 0.271 2 | 0.489 8 | 0.901 2* |
| 叶(7月) Leaf(July) | 0.774 7 | 0.721 2 | 1.000 0 | 0.727 8 | 0.951 6* | 0.584 3 |
| 叶(8月) Leaf(Aug) | 0.294 6 | 0.271 2 | 0.727 8 | 1.000 0 | 0.761 8 | 0.371 9 |
| 叶(9月) Leaf(Sep) | 0.558 0 | 0.489 8 | 0.951 6* | 0.761 8 | 1.000 0 | 0.396 1 |
| 果实 Fruit | 0.830 3 | 0.901 2* | 0.584 3 | 0.396 1 | 0.371 9 | 1.000 0 |

注:*表示在 0.05 水平显著相关;**表示在 0.01 水平显著相关

Note:* means significant correction($P<0.05$);** means significant correction($P<0.01$)

2.2 营养调控措施对有机桃叶片钾和钙含量的影响 不同处理对有机桃叶片、果实钾和钙含量的影响见表 4、5。由表 4 可知,处理②叶片钙含量显著高于其他处理,6 月后上升较

快,钙含量为 1.31%~2.34%,满足有机桃生长需求^[15]。叶面补充钙元素能够有效提高叶片钙元素含量。CK 与处理④无显著差异,土壤补充含钙矿质肥未能有效提高叶片钙含量。

表 3 各生长期有机桃叶片、果实钙元素关系

Table 3 Relationships between leaves Ca and fruit Ca of organic peach

| 器官 Organ | 叶(5月) Leaf(May) | 叶(6月) Leaf(Jun) | 叶(7月) Leaf(July) | 叶(8月) Leaf(Aug) | 叶(9月) Leaf(Sep) | 果实 Fruit |
|-----------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------|
| 叶(5月)Leaf(May) | 1.000 0 | 0.742 5 | 0.497 2 | 0.490 0 | 0.629 4 | 0.947 3* |
| 叶(6月)Leaf(Jun) | 0.742 5 | 1.000 0 | 0.235 8 | 0.354 7 | 0.414 1 | 0.877 9* |
| 叶(7月)Leaf(July) | 0.497 2 | 0.235 8 | 1.000 0 | 0.367 7 | 0.492 2 | 0.264 7 |
| 叶(8月)Leaf(Aug) | 0.490 0 | 0.354 7 | 0.367 7 | 1.000 0 | 0.980 7** | 0.464 5 |
| 叶(9月)Leaf(Sep) | 0.629 4 | 0.414 1 | 0.492 2 | 0.980 7** | 1.000 0 | 0.566 4 |
| 果实 Fruit | 0.947 3* | 0.877 9* | 0.264 7 | 0.464 5 | 0.566 4 | 1.000 0 |

注: * 表示在 0.05 水平显著相关; ** 表示在 0.01 水平显著相关

Note: * means significant correction ($P < 0.05$); ** means significant correction ($P < 0.01$)

表 4 不同处理对叶片钙元素含量的影响

Table 4 Effect of different treatments on leaves Ca contents

| 处理 Treatments | 5月 May | 6月 Jun | 7月 July | 8月 Aug | 9月 Sep |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ① | 1.13±0.05 b | 1.18±0.09 b | 1.49±0.01 b | 1.68±0.25 b | 1.70±0.11 b |
| ② | 1.19±0.03 a | 1.31±0.17 a | 1.68±0.04 a | 2.03±0.29 a | 2.34±0.28 a |
| ③ | 1.15±0.06 b | 1.24±0.20 b | 1.50±0.22 b | 1.63±0.36 b | 1.71±0.41 b |
| ④ | 1.14±0.04 b | 1.23±0.05 b | 1.45±0.19 b | 1.61±0.28 c | 1.68±0.21 c |
| CK | 1.13±0.23 b | 1.21±0.32 b | 1.44±0.15 b | 1.64±0.20 d | 1.67±0.43 c |

注: 表中数据为平均数±标准差; 同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Data in the table were mean ± standard deviation; the data followed by different lowercase letters in the same column mean significant differences ($P < 0.05$) among different treatments

表 5 不同处理对叶片钾元素含量的影响

Table 5 Effect of different treatments on leaves K contents

| 处理 Treatments | 5月 May | 6月 Jun | 7月 July | 8月 Aug | 9月 Sep |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ① | 1.52±0.10 a | 2.11±0.29 a | 1.89±0.03 a | 2.01±0.13 a | 1.50±0.13 a |
| ② | 1.47±0.24 a | 1.69±0.28 b | 1.51±0.17 b | 1.58±0.33 b | 1.42±0.14 b |
| ③ | 1.49±0.06 a | 1.64±0.05 b | 1.53±0.09 b | 1.62±0.06 b | 1.46±0.21 b |
| ④ | 1.48±0.12 a | 1.63±0.17 b | 1.50±0.04 b | 1.60±0.09 b | 1.45±0.18 b |
| CK | 1.35±0.18 b | 1.42±0.05 c | 1.30±0.24 c | 1.39±0.25 c | 1.27±0.09 c |

注: 表中数据为平均数±标准差; 同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Data in the table were mean ± standard deviation; the data followed by different lowercase letters in the same column mean significant differences ($P < 0.05$) among different treatments

由表 5 可知, 与钙元素不同, 土壤施入矿质钾镁肥并叶面补钾后, 各处理钾含量均显著高于 CK, 但 5 月各处理间无显著差异; 6 月后, 处理①叶片钾元素含量上升较快, 为 1.50%~2.11%, 显著高于其他处理, 满足有机桃生长需求^[15]。土壤补充矿质钾镁肥和天然酸能够有效增加叶片钾含量; 在此基础上进行叶面补钾, 可在关键时期显著增加叶片钾含量。这表明土壤、叶面综合措施可以在关键时期有效提高有机桃叶片的钾、钙元素含量。

2.3 营养调控措施对有机桃果实钙含量、品质及抗病性的影响 各营养调控措施对有机桃品质及褐腐病的效果见表 6。由表 6 可知, 各处理单果重和可溶性固形物含量均显著高于对照。4 种处理中, 处理①效果最好, 单果重达 324.33 g, 可溶性固形物含量为 13.15%, 总糖含量为 12.75%, 均显著大于处理②、③和④。这表明土壤补充矿质钾镁肥和天然酸, 并在此基础上进行叶面补钾, 能够有效增加有机桃果实单果重、可溶性固形物和总糖含量; 叶面喷施

表 6 不同处理对有机桃品质和褐腐病的影响

Table 6 Effect of different treatments on quality and brown rot of organic peach

| 处理 Treatments | 单果重 Mean fruit weight/g | 可溶性固形物 TSS//% | 总糖 TS//% | 果实钙含量 Fruit Ca contents//mg/kg | 褐腐病病指 Disease Index of brown rot |
|------------------|----------------------------|------------------|---------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| ① | 324.33±10.62 a | 13.15±0.18 a | 12.75±0.51 a | 175.32±8.66 a | 2.50±0.26 ab |
| ② | 298.98±12.25 b | 11.84±0.89 b | 11.60±0.21 bc | 197.21±7.55 b | 1.63±0.02 a |
| ③ | 292.62±20.72 b | 12.01±0.32 b | 12.00±0.49 b | 177.31±4.73 b | 3.04±0.45 b |
| ④ | 288.93±5.79 b | 11.62±0.40 b | 12.01±0.15 b | 176.15±9.54 b | 3.75±0.97 b |
| CK | 264.33±10.92 c | 10.53±0.25 c | 11.04±0.15 c | 170.79±13.73 b | 5.43±1.63 c |

注: 表中数据为平均数±标准差; 同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Data in the table were mean ± standard deviation; the data followed by different lowercase letters in the same column mean significant differences ($P < 0.05$) among different treatments

钙、硅元素未能有效提高果实品质。处理②有机桃果实钙含量达 197.21 mg/kg,显著高于其他处理;其余处理差异不显著。各处理褐腐病病情指数均显著低于对照,其中处理②的病情指数最低为 1.63,显著低于处理③和处理④。叶面喷钙可以有效增加果实钙含量,显著降低有机桃褐腐病的病情指数。

3 结论与讨论

植物的营养水平取决于其体内元素的种类和比例,处于最佳营养状态的植物具有最强的抗病能力^[16]。钾具有促进光合速率和叶绿体合成^[17]、提高光合产物从叶片向储存组织转移速率^[18-19]等功能,在糖分合成和转移过程中起着重要作用,是提高作物产量和品质的关键因素^[20-22]。钙能够在细胞间层形成多聚半乳糖醛酸钙,有效提高细胞壁的稳定性和通过维护细胞壁和细胞膜的功能和结构完整性,增强寄主对部分病原菌的抗性^[23]。通过合理平衡的施肥措施,提高果实品质,增强抗病力,是切实可行的一个新型研究领域。

该研究结果表明,在合理范围内,适当补充钾、钙等大、中量元素调节树体营养,尤其是增加果实中的钙含量,能够显著提高果实品质,降低褐腐病的发生。1 hm² 施入 2 250 kg 矿质钾镁肥+90 kg 稻醋液,并叶面喷施 500 倍氯化钙溶液,可以显著提高有机桃果实钙含量,显著降低褐腐病的病情指数。1 hm² 施入 2 250 kg 矿质钾镁肥+90 kg 稻醋液,并叶面喷施 10% 草木灰浸出液可以有效增加有机桃叶片钾含量,显著提高果实单果重以及可溶性固形物和总糖的含量。由于钙素的被动吸收特性^[24]以及北京地区有机桃栽培中的套袋措施对果实蒸腾速率的影响,土壤补充钙肥的措施未能增加果实钙元素含量。

参考文献

- [1] PASCAL T, LEVIGNERON A, KERVELLA J, et al. Evaluation of two screening methods for resistance of apricot, plum and peach to *Monilinia laxa* [J]. *Euphytica*, 1994, 77(1/2): 19-23.
- [2] 钟亚凤, 张彦威, 陈笑瑜, 等. 北京地区桃褐腐病初侵染源的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(S1): 262.
- [3] 李家康, 徐美德, 梁德印, 等. 我国北方施用硫酸钾对提高蔬菜和果树产量与品质的作用[J]. 土壤肥料, 1996(6): 1-5.
- [4] 曹富强, 辛绍钢. 不同钾、氮水平对红富士苹果品质的影响[J]. 河北林业科技, 2007(5): 4-6, 9.
- [5] MONTEALEGRE A J, VALDES D J. The effect of calcium applied before

harvest on susceptibility of raspberry fruit to *Botrytis cinerea* [J]. *Fitopatologia*, 1993, 28(2): 93-98.

- [6] PENNISI A M, AGOSTEO G E, FUNARO M, et al. Control of pre and post-harvest rot of strawberry using alternative active ingredients [J]. *Atti, giornate fitopatologiche*, 2002, 2: 443-448.
- [7] CHÉOUR F, WILLEMOT C, ARUL J, et al. Foliar application of calcium chloride delays postharvest ripening of strawberry [J]. *Journal of the American society for horticultural science*, 1990, 115(5): 789-792.
- [8] CONWAY W S, SAMS C E, WANG C Y, et al. Additive effects of postharvest calcium and heat treatment on reducing decay and maintaining quality in apples [J]. *Journal of American society for horticultural science*, 1994, 119(1): 49-53.
- [9] CHARDONNET C, L'HYVERNAY A, DONECHE B. Effect of calcium treatment prior to *Botrytis cinerea* infection on the changes in pectic composition of grape berry [J]. *Physiol Mol Plant Pathol*, 1997, 50(4): 213-218.
- [10] IPPOLITO A, SCHENA L, PENTIMONE I, et al. Control of postharvest rots of sweet cherries by pre- and postharvest applications of *Aureobasidium pullulans* in combination with calcium chloride or sodium bicarbonate [J]. *Postharvest biology and technology*, 2005, 36(3): 245-252.
- [11] WOJCIK P. "Dabrowicka Prune" fruit quality as influenced by calcium spraying [J]. *Journal of plant nutrition*, 2001, 24(8): 1229-1241.
- [12] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [13] 中国农业大学植物保护学部. 普通植物病理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2004: 40-43.
- [14] SPSS Inc. SPSS base 10.0 user's guide [M]. Chicago, IL: SPSS, 1999.
- [15] 李港丽, 苏润宇, 沈隽. 从叶分析结果试论提高我国几种落叶果树产量和品质的问题 [J]. 中国农业科学, 1988, 21(2): 56-63.
- [16] 管致和. 植物医学导论 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1996: 58-66.
- [17] DEKOV I, VELICHKOV D. Ultrastructural and functional changes in the chloroplasts of maize plants at various levels of potassium nutrition and water stress [J]. *Plant physiology*, 1992, 18(1): 3-9.
- [18] ASHLEY D A, GOODSON R D. Effect of time and plant K status on 14C-labeled photosynthate movement in cotton [J]. *Crop science*, 1972, 12(5): 686-690.
- [19] MENGEL K. Effect of potassium on the assimilate conduction to storage tissue [J]. *Plant biology*, 1980, 93(1): 353-362.
- [20] 方金豹, 田莉莉, 陈锦永, 等. 猕猴桃源库关系的变化对果实特性的影响 [J]. 园艺学报, 2002, 29(2): 113-118.
- [21] HARTZ H K, MIYAO G, MULLEN R J, et al. Potassium requirements for maximum yield and fruit quality of processing tomato [J]. *Journal of the American society for horticultural science*, 1999, 124(2): 199-204.
- [22] 李会合, 贺方云. 氮和钾对蔬菜营养品质效应研究进展 [J]. 重庆文理学院学报(自然科学版), 2007, 26(1): 31-34.
- [23] YUEN M C. Postharvest handling of tropical fruits [C] // Proceedings of the international conference on postharvest handling of tropical fruit. Chiang Mai, Thailand: ACIAR, 1993: 19-21.
- [24] DAVID G, ROBERT F. The calcium cycle: Uptake and distribution in apple trees [J]. *Hortscience*, 1983, 18(2): 147-149.

(上接第 133 页)

- [5] 陈罗湘, 周尚泉, 陈远贵, 等. 不同施肥处理对水稻病虫害及天敌发生的影响 [J]. 作物研究, 2006, 22(6): 330-334.
- [6] 赵丹丹, 周丽琪, 张帅, 等. 二化螟对双酰胺类杀虫剂的抗性监测和交互抗性研究 [J]. 中国水稻科学, 2017, 31(3): 307-314.
- [7] 俞晓平, 吕仲贤, 陈建明, 等. 我国植物源农药的研究进展 [J]. 浙江农业学报, 2005, 17(1): 42-48.
- [8] 徐红星, 郑许松, 田俊策, 等. 我国水稻害虫绿色防控技术的研究进展与应用现状 [J]. 植物保护学报, 2017, 44(6): 925-939.
- [9] 杨亚军, 徐红星, 郑许松, 等. 中国水稻纵卷叶螟防控技术进展 [J]. 植物保护学报, 2015, 42(5): 691-701.
- [10] 张亦冰. 新内吸杀虫剂——呋虫胺 [J]. 世界农药, 2003, 25(5): 46-47.
- [11] 汪爱娟, 李阿根, 张舟娜. 呋虫胺等几种新药剂防治水稻稻飞虱与黑尾叶蝉药效试验 [J]. 江西农业学报, 2015, 27(3): 53-55.
- [12] 曾霞, 倪钰萍, 马亚芳, 等. 8 个烟碱类杀虫剂生物活性比较研究 [J].

现代农药, 2013, 12(6): 1-5.

- [13] 项庆奶, 廖璇刚. 呋虫胺对水稻二化螟的防治效果 [J]. 浙江农业科学, 2015, 56(6): 835-836.
- [14] 刘翠云, 李国清, 刘明贤, 等. 20% 呋虫胺 SG 防治水稻二化螟田间药效试验 [J]. 湖北植保, 2016, 28(5): 19-20.
- [15] 农业部农药检定所生测室. 农药田间药效试验准则(一) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2000: 1-5.
- [16] 李保同, 裴春梅, 石庆华, 等. 阿维菌素对二化螟和稻纵卷叶螟的生物活性及稻田天敌的影响 [J]. 植物保护学报, 2009, 36(6): 550-554.
- [17] 吕仲贤, 俞晓平, HEONG K L. 稻田氮肥施用量对黑肩盲蝽捕食功能的影响 [J]. 昆虫学报, 2005, 48(1): 48-56.
- [18] 刘其全, 邱良妙, 吴玮, 等. 11 种稻田常用杀虫剂对拟环纹豹蛛的室内安全性评价 [J]. 福建农业学报, 2016, 31(11): 1226-1230.
- [19] 董涛海, 章小根, 姚张明, 等. 呋虫胺防治稻飞虱田间药效试验 [J]. 浙江农业科学, 2014, 55(5): 701-702.