



施硼和赤霉素对‘李广杏’坐果率及果实品质的影响

赵通¹,程丽¹,张德¹,张继强²,郭荣³,陈翠莲^{2*}

(1甘肃农业大学,兰州 730070;2 甘肃省林业科学研究院,兰州 730070;3 敦煌市林业科技中心,甘肃敦煌 736200)

摘要:该研究以8年生盛果期的‘李广杏’植株为试材,于花蕾膨大期喷施0.1%(P1)、0.3%(P2)和0.5%(P3)硼砂和盛花初期喷施50(C1)、100(C2)和150 mg/L(C3)赤霉素,测定不同处理下李广杏的坐果率、果实品质及营养生长指标的变化,并用主成分分析不同处理的效果进行综合评价,为敦煌寒旱区‘李广杏’的栽培提供理论依据。结果表明:(1)‘李广杏’叶面积增长量在C1浓度处理下显著高于CK,不同浓度的硼处理对其均具有抑制作用,但C1、P2浓度下新稍生长量高于其他处理。(2)适宜浓度的硼和赤霉素处理可一定程度减少‘李广杏’花的败育率,从而有效提高果树的坐果率,其中硼处理以P3浓度下最优,但P3与P2处理下坐果率无显著差异,赤霉素处理以C2浓度下最优。(3)适宜浓度硼和赤霉素能够明显提高‘李广杏’果实品质,C1浓度处理下的果实糖酸比、可溶性固形物含量显著高于CK,P2处理下的果实维生素C、可滴定酸含量显著高于其他处理;适宜浓度赤霉素和硼对果实的单果重、果形指数、侧径有明显的促进作用。(4)主成分分析结果显示,各处理效果的综合得分由高到低依次为P2(1.20)>C2(0.91)>P1(0.13)>C1(-1.01)>CK(-1.68)>P3(-2.13)>C3(-7.76);果实可溶性糖、可溶性蛋白、糖酸比等主成分占比较高,可作为评价‘李广杏’果实品质的重要依据。研究发现,花期喷施适宜浓度的硼和赤霉素可有效提高‘李广杏’果树的生长状况、坐果率及果实品质,且甘肃敦煌地区以花蕾膨大期喷施0.3%硼和盛花初期喷施100 mg/L赤霉素效果最佳。

关键词:李广杏;硼;赤霉素;坐果率;果实品质

中图分类号:Q945.79

文献标志码:A

Effects of Boron and Gibberellin Spraying on Fruit Quality and Fruit Setting Rate of ‘Liguangxing’

ZHAO Tong¹, CHENG Li¹, ZHANG De¹, ZHANG Jiqiang², GUO Rong³, CHEN Cuilian^{2*}

(1 Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2 Gansu Academy of Forestry Sciences, Lanzhou 730070, China; 3 Dunhuang Forestry Science and Technology Center, Dunhuang, Gansu 736200, China)

Abstract: In order to provide a reference for the cultivation of ‘Liguangxing’ in Dunhuang area of Gansu Province, we used 8-year-old ‘Liguangxing’ as the test material. During the flower bud expansion period, 0.1% (P1), 0.3% (P2) and 0.5% (P3) boron were sprayed. Besides, 50 (C1), 100 (C2) and 150 mg/L (C3) gibberellin were sprayed in the early blooming period. The fruit quality, fruit setting rate and nutritional growth index of ‘Liguangxing’ under different treatments were measured. The advantages and disadvantages of different treatments with principal components were analyzed. The results showed that: (1) the leaf area growth of ‘Liguangxing’ was significantly higher than that of CK under C1 concentration. Boron treatment with different concentration had inhibitory effect on leaf area growth. However, the fresh

收稿日期:2019-10-18;修改稿收到日期:2020-02-20

基金项目:甘肃省科技厅重点研发计划项目资助(17YF1NA054)

作者简介:赵通(1995—),男,在读硕士研究生,主要从事果树栽培生理研究。E-mail:2452195806@qq.com

*通信作者:陈翠莲,高级工程师,主要从事经济林栽培。E-mail:554627121@qq.com

treetop growth rate of C1 and P2 was higher than that of other treatments. (2) Suitable concentration of boron and gibberellin can effectively reduce the abortion rate of 'Liguangxing' and improve the fruit setting rate of fruit trees. Boron treatment was the best at P3 concentration and gibberellin treatment was the best at C2 concentration. However, there was no significant difference in fruit setting rate between P3 and P2 treatments. (3) Boron and gibberellin could significantly improve the quality of plum and apricot fruit. The ratios of sugar to acid and soluble solids in C1 were significantly higher than that of CK. The contents of Vc and titratable acid in P2 treatment were significantly higher than that in others. The optimum concentration of gibberellin and boron can significantly promote the fruit weight, shape index and lateral diameter. (4) According to the comprehensive evaluation results of principal component analysis, the comprehensive scores of the treatment effects of each concentration were P2 (1.20), C2 (0.91), P1 (0.13), C1 (-1.01), CK (-1.68), P3 (-2.13) and C3 (-7.76) from high to low. The main components included soluble sugar, soluble protein and ratio of sugar to acid are higher, which could be used as an important basis for evaluating the quality of 'Liguangxing' fruit. It was found that spraying appropriate concentration of boron and gibberellin at flowering stage could effectively improve the growth status, fruit setting rate and fruit quality. In Dunhuang area of Gansu Province, spraying 0.3% boron at the stage of flower bud expansion and 100 mg/L gibberellin at the early stage of full bloom were the best.

Key words: Liguangxing; boron; gibberellin; fruit setting rate; fruit quality

甘肃是杏的原产中心之一。敦煌‘李广杏’(*Prunus armeniaca* L. var. *glabra* Sun S. X.)为甘肃三大名杏之一,在甘肃的敦煌、阿克赛、肃北以及新疆东部等地都有种植,至今已有2000多年的栽培历史,被评为国家地理标志保护产品^[1]。‘李广杏’果实色泽金黄、果皮光亮、味甜多汁、品质极上,被誉为上品。但目前因栽培分散、管理粗放、生产投入少以及传统种植和管理模式等综合因素致使‘李广杏’产量和品质下降,果实商品性差,不适合产业化的发展和需求。此外,‘李广杏’开花较早,受敦煌地区晚霜和沙尘天气的影响,加上其自花结实率和坐果率均不高,严重制约了敦煌‘李广杏’的栽培发展^[2]。因此,采用适宜栽培措施提高果实品质及保花保果迫在眉睫。

近年来,随着果树集约化栽培模式的发展,应用植物生长调节剂和微量元素调节果树生长发育、提高果实品质日益受到重视,其中硼(B)和赤霉素(GA₃)的应用最为广泛^[3]。首先,赤霉素作为生长调节剂能有效促进植物生长,在果树生长上主要表现为提高果实产量和品质^[4]。喷施适宜浓度GA₃可增加果实产量、着果量以及果形指数^[5]。周洲^[6]研究结果表明,GA₃处理的甜樱桃果实单果重增加,果肉硬度降低,可溶性固形物含量较对照降低。许晖等^[7]发现,不同浓度的GA₃涂抹幼果可使黄玉果实成熟期提前。在实际生产中,常通过喷施GA₃以提高李广杏坐果率,但在提高经济效益的同时,也出现了生长调节剂滥用的问题,产生严重的负面效果。要从根本上解决这些问题,须深入研究适宜浓度的GA₃对果实品质形成的影响^[8]。其次,硼(B)

作为一种微量元素,对果树的生长和生产具有重要作用。外源喷施硼能刺激果树花粉的萌发和花粉管的伸长,使授粉顺利进行,提高坐果率。此外,硼处理能促进植物体内碳水化合物的运转,增加果实中维生素和可溶性糖的含量,降低总酸量,提高糖酸比,从而提高果实品质^[9-10]。目前,关于叶面喷硼促进果树植株生长发育,提高果实品质已经有很多报道^[11-12]。韦剑锋等^[13]报道,喷施不同浓度的硼能够显著提高龙眼果实组织中矿质元素的营养水平,同时提高龙眼的耐贮性,增加果实中蔗糖含量,改善有效果皮光泽度及果实品质。虽然目前关于杏栽培技术措施的研究日益广泛和深入,但主要集中在栽种行距、大量元素对杏产量的影响等方面,而对必需微量元素应用的研究较少。本研究以8年生的李广杏为试材,通过在花蕾膨大期及开花初期喷施不同浓度的硼和赤霉素,筛选出能提高‘李广杏’坐果率和果实品质的各自适宜浓度范围,并试图探讨其作用机理,以便为其在杏树上的广泛应用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验在甘肃省敦煌市合水村杏园进行,该园树势强健,集约型管理,供试品种为8年生盛果期的李广杏,株行距3.0 m×4.0 m。主干直径约13~17 cm,树冠直径约1.5~2.2 m。行间设置排水沟,田间采用常规管理。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,试验用硼为北京化工

厂生产的分析纯硼砂,赤霉素为上海同瑞生物科技有限公司生产的75%赤霉酸结晶粉,试验浓度设置参见郝庆等^[10]方法。硼砂(B)处理设置3个浓度水平,分别为0.1%(P1)、0.3%(P2)和0.5%(P3);赤霉素(GA₃)处理亦设3个浓度水平,分别为50 mg/L(C1)、100 mg/L(C2)和150 mg/L(C3),二者均以喷清水(CK)为对照,每处理重复6次(株),单株小区。硼砂和赤霉素处理时采用背负式喷雾器对全树或全枝细致淋洗式喷施,硼砂的喷施时期在花蕾膨大期(3月29日),赤霉素的喷施时期在盛花初期(4月1日),二者相隔2 d。喷施后在树体外围中部的东南西北四个方向上分别选取生长势一致的结果枝调查开花量、坐果数,并计算坐果率,结果取平均值。

1.3 指标测定

1.3.1 生长指标 于处理后第1天和第32天测量树体新稍茎粗、新梢长度、叶面积、叶片干鲜比和比叶重等生长指标。其中,新梢长度用卷尺测量,新稍茎粗用游标卡尺测量。每个处理的100片叶子采下后迅速用电子天平测量鲜重,再将叶片用自封袋封装入冰盒中,带回实验室用YMJ-C型叶面积仪测量叶面积,并计算叶面积增长量,然后将这100片叶子放入烘箱,在温度110℃条件下杀青30 min,之后80℃烘至恒重,称量干重,计算干鲜比和比叶重。

1.3.2 成花率及坐果率 于4月下旬统计各处理的成花数,未成花的芽数,再计算成花率。成花率=成花数/(成花数+未成花的芽数)×100%;坐果率=坐果个数/总花数×100%。

1.3.3 果实品质指标 在果实成熟时期(6月下旬)

每组重复按东、西、南、北方位采摘中上部大小中等的果实,随机选取100个果实,每处理共计选取300个果样,供品质分析。可溶性糖含量用蒽酮比色法测定^[14],果实滴定酸含量用氢氧化钠滴定法测定,可溶性蛋白质含量用考马斯亮蓝染色法测定^[15],Vc含量采用2%草酸浸提,0.001 mol/L 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定。用游标卡尺测果实纵横径和侧径,计算果形指数(横径/纵径),用电子顶载天平称量单果重,用手持折糖仪测量可溶性固形物含量,分别求其平均值,并进行差异显著分析,试验设6次重复。

1.4 数据处理与分析

应用Excel 2013及Origin 2017软件进行数据处理及作图,运用SPSS 22.0进行数据差异显著分析和相关性分析。统计分析采用单因素ANOVA的LSD比较差异的显著性($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 外源喷施硼和赤霉素对‘李广杏’生长影响

2.1.1 叶片生长 由表1可知,李广杏叶面积增长量在C1浓度处理下为7.11 cm²,比CK(2.27 cm²)显著增加213%,C3浓度处理下的增长量为2.91 cm²,与CK相比,增幅为28.2%。 $(P<0.05)$ 。在其余浓度处理下均不同程度低于CK,分别为C2(1.15 cm²)、P1(1.78 cm²)、P2(1.59 cm²)、P3(0.38 cm²),且P3处理下叶面积增长量最小,显著低于CK。可见,喷施适宜浓度的赤霉素可以显著提高李广杏叶面积增长量,但不同浓度的硼处理对其具有抑制作用,且浓度越高,抑制作用越明显。不同处理

表1 外源喷施硼和赤霉素条件下李广杏叶面积、叶片干鲜比及比叶重的变化

Table 1 The leaf area, leaf dry-fresh ratio and specific leaf weight of ‘Liguangxing’ spraying with exogenous boron and gibberellin

处理 Treatment	叶面积 Leaf area/cm ²		叶面积增长量 Leaf area growth/cm ²	叶片干鲜比 Ratio of dry to fresh leaves		比叶重 Specific leaf weight/(g/cm ²)	
	1d	32d		1d	32d	1d	32d
C1	24.32±0.84b	31.43±2.76a	7.11±0.13a	0.37±0.026a	0.32±0.015ab	0.0090±0.0003c	0.0088±0.0041d
C2	30.40±1.60a	31.55±0.54a	1.15±0.08d	0.32±0.019b	0.31±0.015b	0.0103±0.0027bc	0.0092±0.0026c
C3	28.27±0.91a	31.18±3.24a	2.91±0.07b	0.37±0.008a	0.29±0.011bc	0.0118±0.0031a	0.0095±0.0024c
P1	23.19±2.14b	24.97±1.12b	1.78±0.05bc	0.31±0.021c	0.36±0.008a	0.0114±0.0011b	0.0103±0.0012bc
P2	28.95±1.33a	30.54±1.45a	1.59±0.05bc	0.35±0.014ab	0.29±0.025c	0.0113±0.0019b	0.0089±0.0013d
P3	28.86±2.34a	29.24±0.79ab	0.38±0.01e	0.32±0.024b	0.29±0.011bc	0.0121±0.0014a	0.0137±0.0023a
CK	28.16±1.21a	30.43±2.21a	2.27±0.07b	0.34±0.005ab	0.30±0.014bc	0.0119±0.0017a	0.0124±0.0019b

注:C1~C3分别为50、100和150 mg/L赤霉素(GA₃)处理,P1~P3分别为0.1%、0.3%和0.5%硼砂(B)处理,CK为清水对照;同列不同小写字母表示处理间在0.05水平存在着选择性差异;下同

Note: C1—C3 were treated with 50, 100 and 150 mg/L gibberellin (GA₃), P1—P3 were treated with 0.1%, 0.3% and 0.5% boron (B), respectively, CK was the control; The different normal letters within same column indicate significant difference among treatments at 0.05 level; the same as below

下的叶片干鲜比和比叶重无明显变化。

2.1.2 新稍及茎粗生长量 由图1,A可知,李广杏新稍生长量在C1、C3和P2浓度处理下分别比CK显著增加74.9%、67.9%和56.9%($P<0.05$),在其余浓度处理下均不同程度低于CK,但均未达到显著水平($P>0.05$)。同时,由图1,B可知,李广杏茎粗生长量在P3处理下显著低于CK 33.1%。在其余浓度的赤霉素和硼砂处理下均不同程度高于对照CK,但仅P1处理达到显著水平,增幅为46.8%。可见,喷施适宜浓度的赤霉素可以显著提高李广杏新稍生长量,但对径粗的生长无显著影响;适当浓度的硼处理可以同时有效提高新稍和径粗生长,但浓度过高过低对其具有抑制作用。

2.2 外源喷施硼和赤霉素对‘李广杏’坐果率的影响

表2显示,各喷施赤霉素和硼处理李广杏完全

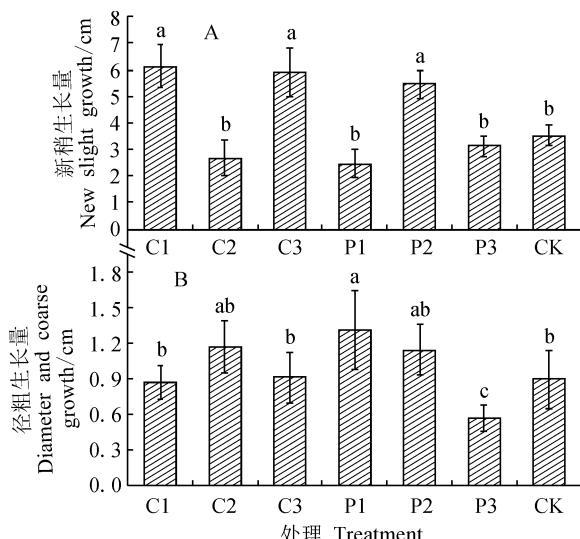


图1 不同浓度赤霉素和硼处理下‘李广杏’新稍及茎粗生长量的变化

Fig. 1 The growth of new slight and stem thickness of ‘Liguangxing’ under different concentration of gibberellin and boron

花所占比例均在19.40%~25.89%之间,明显高于CK(16.56%),并以C2(25.43%)和P1(25.89%)处理明显较高,分别与CK相比增加53.4%和56.3%。各处理李广杏败育花比例均在74.11%~81.91%之间,均不同程度地低于对照(83.44%),其中赤霉素处理以C3(79.57%)最高,硼处理以P2(81.91%)最高。各处理完全花坐果率在19.65%~41.60%之间,除P1处理外均高于对照(27.43%);其中赤霉素处理以C2(32.54%)最高,硼处理以P3(41.60%)最高。各处理调查花的总坐果率在5.08%~8.27%之间,均不同程度地高于对照(4.54%),其中赤霉素处理以C2(8.27%)最高,硼处理以P3(8.07%)最高,总坐果率与正常花坐果率成正比;喷施赤霉素和硼处理的李光杏坐果率分别比对照提高32.4%~82.2%和11.9%~77.8%。由此说明,不同浓度的硼和赤霉素处理可以一定程度减少李广杏花的败育率,同时有效提高其坐果率。

2.3 外源喷施赤霉素和硼处理对‘李广杏’果实品质的影响

2.3.1 果实内在品质 各浓度赤霉素和硼砂处理李广杏果实可溶性糖含量均不同程度地高于对照,且C1、C3、P2、P3处理增幅均达到显著水平,并两类处理分别以C3(12.78%)和P2(12.44%)最高,分别比CK显著增加27.8%和24.4%(图2,A)。各浓度赤霉素和硼砂处理李广杏果实糖酸比除P1外均不同程度地高于CK,但仅赤霉素处理(C1~C3)与CK差异达到显著水平,增幅为21.1%~26.2%,且三者之间差异不显著;各浓度硼处理杏果实的糖酸比与CK差异均不显著(图2,B)。各赤霉素和硼砂处理李广杏果实可溶性蛋白含量随处理液浓度的增加呈先升后降趋势,也均不同程度高于CK,且其中C1、C2、C3和P2处理增幅都达到显著水平,最高的C2和P2处理分别比CK显著增加

表2 不同浓度的硼和赤霉素处理对‘李广杏’坐果率的影响

Table 2 Effects of different concentration of boron and gibberellin on fruit setting rate of ‘Liguangxing’

处理 Treatment	调查花数 Number of flowers investigated	完全花 Complete flower		败育花 Abortive flower		坐果 Fruit bearing	
		数量 Number	比例 Proportion/%	数量 Number	比例 Percentage/%	数量 Number	占完全花比率 Percentage of total flowers/%
C1	682±32a	141±4b	20.67±0.13b	541±21ab	79.33±2.83a	41±2.2b	29.07±1.11b
C2	665±12b	169±2a	25.41±1.02a	496±19b	74.59±2.23b	55±3.8a	32.54±0.96b
C3	695±19a	142±9b	20.43±0.56b	553±14a	79.57±3.62a	42±3.1b	29.57±0.65b
P1	668±41b	173±4a	25.89±0.98a	495±11b	74.11±4.55b	34±2.5c	19.65±1.02c
P2	641±24c	116±5c	18.09±1.11bc	525±23b	81.91±3.55a	46±3.2b	39.65±1.01a
P3	644±19c	125±3c	19.40±1.12b	539±15ab	80.60±5.21a	52±2.6a	41.60±0.84a
CK	682±14a	113±3c	16.56±0.22c	569±13a	83.44±3.67a	31±2.6c	27.43±0.55bc

58.6%和39.1%(图2,C);李广杏果实可溶性固形物含量在各浓度赤霉素和硼处理下均比CK不同程度增加,且C1、C3、P1和P2处理还达到显著水平,但赤霉素处理间和硼处理间均无显著差异;其中,C1和P2处理分别比CK显著增加48.8%和39.7%(图2,D)。各处理李广杏果实VC含量也不同程度高于对照,且C1、C3、P3和P2处理还达到显著水平,其余处理与CK无显著差异;其中,C1和P2处

理与CK相比分别显著增加13.1%和18.4%(图2,E)。李广杏果实可滴定酸含量在C1、C2处理下稍低于CK,在其余处理下不同程度高于对照,且在P1和P2处理下达到显著水平,分别比CK显著增加10.2%和6.8%(图2,F)。可见,外源喷施适宜浓度的赤霉素和硼能有效改善李广杏果实的内在品质,并以C1(50 mg/L赤霉素)和P2(0.3%硼砂)效果较佳。

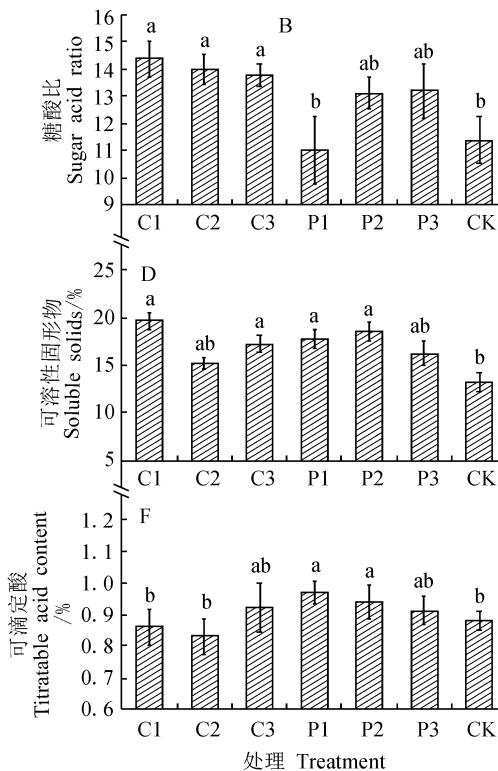
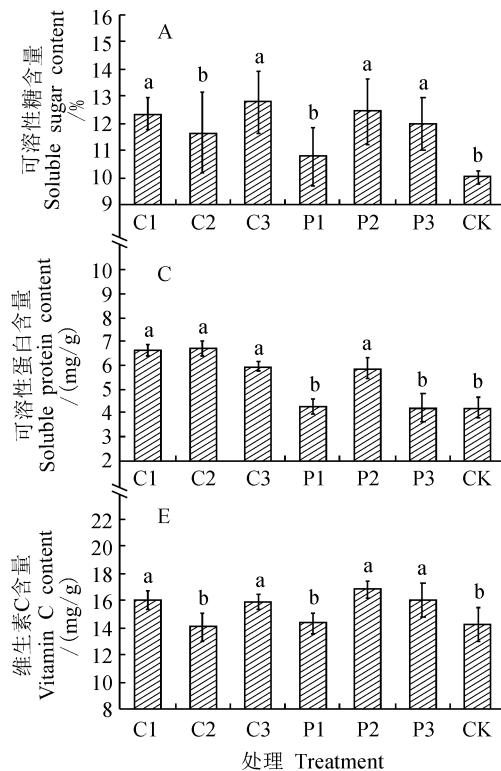


图2 不同浓度的赤霉素和硼处理下‘李广杏’果实内在品质的变化

Fig. 2 The fruit quality of ‘Liguangxing’ under different concentration of gibberellin and boron

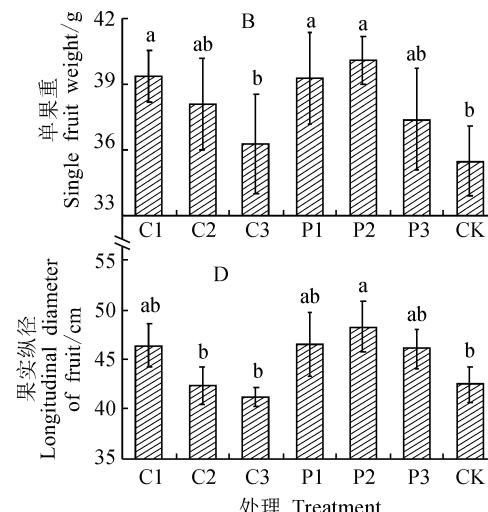
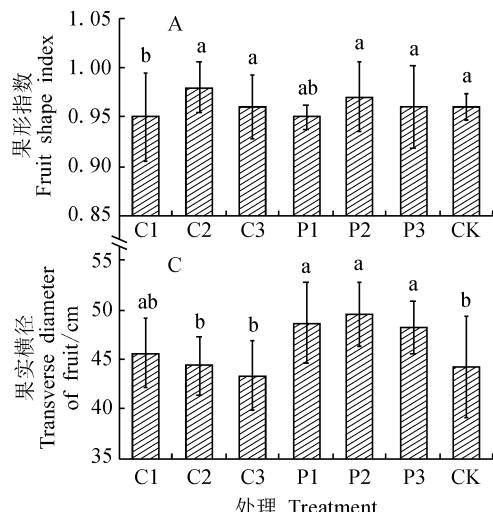


图3 不同浓度的硼和赤霉素处理下‘李广杏’果实外观品质的变化

Fig. 3 The appearance quality of ‘Liguangxing’ under different concentration of boron and gibberellin

2.3.2 果实外观品质 图3显示,各浓度赤霉素和硼处理下李广杏的果形指数变化在0.95~0.98之间,除C1处理显著低于对照外,其余处理均无显著变化。李广杏的单果重在不同浓度赤霉素处理下逐渐下降,在不同浓度硼处理下先升高后降低,且各浓度处理均不同程度高于CK,其中的C1、P1、P2增幅达到显著水平,C1和P2分别比CK显著增加10.9%和13.1%。李广杏果实横径和纵径均随赤霉素浓度增加呈逐渐降低趋势,均随着硼处理浓度的增加而先升后降,但赤霉素处理间和硼处理间均无显著差异;与对照相比,赤霉素处理果实的横径和纵径均无显著变化,硼处理果实的横径均显著增加(增幅8.8%~11.9%),其果实的纵径也均不同程度增加(增幅8.5%~13.7%),但仅P2处理达到显著水平。以上结果说明,外源喷施适宜浓度的赤霉素和硼能有效改善李广杏果实的外观品质,并以C1(50 mg/L赤霉素)和P2(0.3%硼砂)效果较佳。

2.4 不同浓度硼和赤霉素处理效果的综合评价

对不同浓度硼和赤霉素处理下的李广杏16个指标进行主成分分析,提取特征值大于1的5个主成分,其累计贡献率达到了96.71%,能够较好地代表数据反映的信息(表3),第一主成分对16个变量指标的信息提取充分(表4),主要有叶面积、糖酸比、可溶性蛋白、可溶性糖及新稍长度,说明喷施不同浓度的硼和赤霉素主要通过影响叶面积及新稍长

度等生长指标来改善提高果实品质。将上述5个主成分的得分值代入综合评价函数,利用相关公式 $F=(F_1 \times 33.68\% + F_2 \times 62.57\% + F_3 \times 79.77\% + F_4 \times 90.11\% + F_5 \times 96.71)$ 计算出每个处理5个公因子的综合得分,并依据综合得分对其进行排序(表5)发现,不同处理下的综合得分为P2(1.20)>C2(0.91)>P1(0.13)>C1(-1.01)>CK(-1.68)>P3(-2.13)>C3(-7.76)。据此可知,P2、C2浓度处理下的‘李广杏’的果实品质、新稍生长及叶面积等方面都优于其他处理。

3 讨论

果树正常花的数量直接决定坐果的多少与果实品质的好坏,李广杏因雌花败育现象严重制约了这一地理标志产品的经济效益^[3]。适宜浓度的硼和赤

表3 主成分列表及方差贡献率

Table 3 List of principle components, percentage of variance, cumulative percentage

主成分 Component	特征根(λ) Eigen value	方差贡献率 Proportion of variance/%	累计方差贡献率 Cumulative variance/%
1	5.39	33.68	33.68
2	4.62	28.89	62.57
3	2.75	17.20	79.77
4	1.66	10.34	90.11
5	1.06	6.60	96.71

表4 因子负荷矩阵和得分系数矩阵

Table 4 Component matrix and score coefficient matrix

指标 Index	载荷 Load					特征向量 Eigenvector				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
可溶性固形物 Soluble solids	0.177	0.983	-0.042	0.217	-0.202	0.033	0.203	-0.015	0.131	-0.191
可溶性糖 Soluble sugar	0.725	0.587	-0.073	0.054	0.132	0.135	0.127	-0.027	0.032	0.126
可溶性蛋白 Soluble protein	0.784	0.291	0.504	-0.032	-0.189	0.145	0.063	0.183	-0.020	-0.179
V _c 含量 V _c content	0.462	0.662	-0.536	-0.093	0.227	0.086	0.143	-0.195	-0.056	0.215
糖酸比 Sugar acid ratio	0.892	0.246	0.084	-0.139	-0.226	0.165	0.053	0.031	-0.084	-0.214
可滴定酸 Titratable acid	-0.554	0.481	-0.261	0.337	0.527	-0.103	0.104	-0.095	0.204	0.500
果实纵径 Fruit longitudinal diameter	-0.349	0.800	-0.265	-0.373	-0.099	-0.065	0.173	-0.096	-0.225	-0.094
果实横径 Fruit transverse diameter	-0.531	0.688	-0.220	-0.404	0.175	-0.098	0.149	-0.080	-0.244	0.165
单果重 Single fruit weight	-0.127	0.887	0.282	-0.286	-0.160	-0.023	0.192	0.102	-0.173	-0.152
果形指数 Fruit shape index	-0.377	0.237	-0.494	0.607	-0.431	-0.070	0.051	-0.179	0.367	-0.409
坐果率 Fruit setting rate	-0.172	0.441	0.864	-0.064	0.096	-0.032	0.095	0.314	-0.038	0.091
叶面积 Leaf area	0.923	-0.234	-0.015	-0.218	-0.051	0.171	-0.051	-0.006	-0.131	-0.048
叶片干鲜比 Dry fresh ratio of leaves	0.695	-0.326	-0.312	-0.340	0.421	0.129	-0.071	-0.113	-0.206	0.399
比叶重 Specific leaf weight	0.596	0.135	0.330	0.645	0.310	0.111	0.029	0.120	0.390	0.293
新稍长度 Fresh treetop	0.707	0.422	-0.291	0.332	0.014	0.131	0.091	-0.106	0.201	0.013
新稍径粗 New branch diameter	-0.345	-0.272	0.805	0.126	0.209	-0.064	0.059	0.292	0.076	0.198

注:PC1~PC5分别表示主成分1~5

Note: PC1~PC5 indicate principal component 1~5, respectively

表 5 不同浓度的硼和赤霉素理处下的综合评价

Table 5 Comprehensive evaluation of different concentration of boron and gibberellin

处理 Treatment	各公因子得分 Score of each common factor					综合得分 Comprehensive score	排序 Order
	F1	F2	F3	F4	F5		
C1	0.757	0.798	-0.303	0.301	-1.858	-1.01	4
C2	-1.894	0.623	0.641	0.824	-0.089	0.91	2
C3	1.102	-0.207	-0.075	1.644	0.942	-7.76	7
P1	0.517	-0.683	1.792	-0.922	-0.223	0.13	3
P2	0.245	1.271	-0.079	-0.925	1.265	1.20	1
P3	-0.241	-0.117	-1.388	-0.905	-0.055	-2.13	6
CK	-0.486	-1.683	-0.587	-0.016	0.019	-1.68	5

霉素处理能够有效减少李广杏败育率,提高正常花比例,同时对提高果实品质有积极作用。GA₃对果树的处理多在开花期,研究表明GA₃的合理使用能有效提高果树正常花的比例,有利于提高果树的坐果率及产量,有效扩大叶面积,加快幼枝生长,利于代谢产物的积累^[16]。李洪明等^[17]研究发现GA₃能提高果实的坐果率及果实生长量,改善果实品质。赵金凤等^[18]发现GA₃处理显著提高了长白山欧李的坐果率及正常花比例,对生理落果具有明显的抑制作用,本研究与前人研究结果相符。在开花期喷施GA₃对提高李广杏果实的坐果率及正常花比例起了积极的促进作用,其中浓度为100 mg/L时坐果率及正常花所占比例最高,且新稍的径粗生长量及叶面积显著高于CK。

同时,喷施硼的浓度与李广杏坐果率呈显著正相关,有研究表明花期喷施硼可显著提高杏树的坐果率^[19]。在油橄榄上的试验也得出了相同的结果,花期喷施硼砂处理的坐果率可提高,并且有效减少了败育花的数量^[20]。本研究中,随着喷施硼浓度的增加,李广杏正常花所占比例增加,且坐果率显著高于CK。说明花蕾膨大期喷施硼肥对李广杏坐果率有正向效应,适量喷施硼肥有利于杏的坐果和果实发育,这与前人的研究结果相一致。这主要是花期喷硼能维持柱头新鲜,硼能够与雌性决定物质形成络合物,保证授粉受精的正常进行。硼还可通过促进花粉萌发和加速花粉管生长来保证授粉受精过程的顺利完成,从而提高坐果率^[9-10]。硼对叶片的发育也有显著的影响。不同浓度硼处理李广杏植株叶面积低于CK,可能是因为浓度的差异引起植物叶片物理特征改变。

果实品质是决定果实商品性的主要因素之一^[21]。植物激素对调节果实的生长发育和品质形成起着重要作用。目前,GA₃已广泛应用于果树生产中,但其具体效果因果树种类、品种、使用浓度、使

用时期等不同而存在差异^[22]。关军峰等^[23]发现GA₃处理能够降低黄冠梨果实果肉细胞壁物质和原果胶含量,增加可溶性果胶含量,同时降低果实可滴定酸含量,促进果实成熟,本研究结果与之存在差异。本试验研究发现,GA₃处理可维持李广杏果实较高的可溶性糖、可溶性蛋白含量、糖酸比及可溶性固形物,保持果实较好的品质和风味,但对可滴定酸含量和Vc含量无显著影响。可能是因为GA₃的浓度变化一定程度上抑制了与酸和Vc积累有关酶的合成或喷施GA₃后改变了果实的内源条件,从而影响正常细胞分裂等生理过程,最终影响果实可滴定酸与Vc的含量。同时,赤霉素的施用浓度及时期对果实外在品质的影响也有关系。本研究结果表明,开花初期50 mg/L的GA₃处理可显著增加李广杏果重,果形指数最大,这与Mapelli等^[24]在番茄上的研究结果相似;但100和150 mg/L GA₃处理的李广杏单果重显著下降,这可能是因为高浓度的外源GA₃处理影响了种子的正常发育,导致果实早期停止发育,干扰了果实内源激素的合成及平衡。Hassan等^[25]研究表明,一定浓度的GA₃对李果实纵横径的生长具有促进作用;杨文莉等^[26]也发现一定浓度的GA₃处理能有效促进轮台白杏果实纵径、横径的生长。本研究结果表明,施用50 mg/L的GA₃时,李广杏果实横径比CK显著增加;当赤霉素的浓度过高时果实纵横径、单果重等各项指标都有下降趋势,这可能与高浓度的GA₃干扰了果实内源激素的合成及平衡有关。这与Cline等^[27]在甜樱桃上的研究结果一致。

硼是植物正常生长发育所必需的营养元素,是果树生长发育、产量和品质形成的物质基础。硼也是植物开花结实和幼果发育中起重要作用而又最易缺乏的重要微量元素,它参与花芽发育、花粉管生长和代谢产物运输等生命过程^[28]。樊伟国等^[29]发现,花期喷硼能够明显减轻刺梨的生理落果,提高着

果率及果实中可溶性固形物、可溶性总糖、可滴定酸和维生素C含量。本试验结果表明,不同浓度硼处理可以有效提高李广杏坐果率,主要是因为适当浓度的硼有效促进了花粉萌发、花粉管伸长及子房的发育,从而提高了坐果率。同时,硼还可以提高李广杏果实总糖含量,其可溶性固形物、可滴定酸含量及糖酸比显著高于CK,且适宜浓度硼处理下李广杏的果实单果重、纵横径显著高于CK。该结果与前人在猕猴桃^[30]、‘砀山酥梨’^[31]的研究结果基本一致。硼能够有效地抑制果实离层纤维素酶的活性,具有调节养分吸收与利用的平衡等重要作用。硼还可以提高单位体积的细胞数目,促进代谢库细胞对同化物的吸收和调运,使果实成为强“库”,使可溶性固形物等物质的积累加快。硼可以通过影响糖代谢而影响总糖含量的变化,植物体内硼参与合成的尿嘧啶是葡萄糖二磷酸尿苷(UDPG)的前体物质,而UDPG则是合成蔗糖所必需的辅酶。所以,适量的硼可促进植物体内糖的合成。而且硼与糖可形成复合物,有利于糖的运转,促进糖的合成。但是当喷施硼浓度过高时,果实可溶性糖含量显著下降,主要是因为硼是微量元素,果树对硼的要求是量少而必需,硼过量时就会破坏元素间的营养平衡,甚至出现硼中毒现象,同时也会影响植物体内糖类物质的合成

与运输,引起可溶性糖含量下降。果实中酸含量的变化与有机酸的代谢密切相关,通常有机酸在果实生长过程中积累,成熟过程中作为糖酵解、三羧酸循环等呼吸基质而被消耗,叶面喷硼处理增加了果实中可滴定酸的含量可能与果实的呼吸作用有关^[32]。

另外,该研究选用了李广杏新稍生长量、叶面积、单果质量、果形指数、可溶性固形物含量、可溶性糖含量、可滴定酸含量、可溶性蛋白含量、维生素C含量等16个指标对不同浓度硼和赤霉素处理效果进行综合评价,既有相对独立性,又存在一定的相关性。主成分分析是目前最常用的综合评价方法,主成分携带信息量与其贡献量呈正相关,能更加全面、合理评价其果品质。本研究中,PC1的主要影响因子是可溶性糖、可溶性蛋白、叶面积及新稍长度,PC2主要的影响因子是可溶性固形物,PC3主要影响的因子是坐果率,可见不同浓度的硼与赤霉素处理对李广杏的果品质及坐果率有一定的促进作用。根据主成分分析综合评价,各浓度的硼和赤霉素处理效果的综合得分表现为P2(1.20)>C2(0.91)>P1(0.13)>C1(-1.01)>CK(-1.68)>P3(-2.13)>C3(-7.76)。据此可知,P2、C2浓度处理下的李广杏的果品质、新稍生长及坐果率等方面都较优于其他处理,为该地区较适宜的处理浓度。

参考文献:

- [1] 陈翠莲,张继强,赵通,等.追施氮肥对‘李广杏’树体营养及光合特性的影响[J].经济林研究,2019,37(2):13-22.
CHEN C L, ZHANG J Q, ZHAO T, et al. Effects of top dressing with nitrogen on nutrition and photosynthetic characteristics of ‘Liguang Xing’[J]. Nonwood Forest Research, 2019, 37(2): 13-22.
- [2] 余生明,蔺创业.敦煌李光杏低产原因及其防治措施初探[J].甘肃林业科技,2013,38(3):48-51,61.
YU S M, LIN C Y. Preliminary exploration on reason for low yield of *Armeniaca vulgaris* var. *Glabra* and its prevention measures[J]. *Journal of Gansu Forestry Science and Technology*, 2013, 38(3): 48-51, 61.
- [3] SUWANDI T, DEWI K, CAHYONO P. Pineapple harvest index and fruit quality improvement by application of gibberellin and cytokinin[J]. *Fruits*, 2016, 71(4): 209-214.
- [4] WEBSTER A D, SPENCER J E, DOVER C, et al. The influence of sprays of gibberellin acid (GA₃) and aminoethoxyvinylglycine (AVG) on fruit abscission, fruit ripening and quality of two sweet cherry cultivars[J]. *Acta Horticulturae*, 2006, (727): 467-472.
- [5] 高兆银,胡美姣,朱敏,等.采前喷施赤霉素(GA₃)对杧果果实时产量、品质和采后贮藏特性的影响[J].果树学报,2017,34(6):744-751.
GAO Z Y, HU M J, ZHU M, et al. Effects of pre-harvest GA₃ spraying on yield, quality and storability of mango fruit [J]. *Journal of Fruit Science*, 2017, 34(6): 744-751.
- [6] 周洲.采前赤霉素(GA₃)处理对甜樱桃生物活性物质和果品质的影响[J].中国果业信息,2016,33(10):70.
ZHOU Z. Effect of GA₃ on bioactive substances and fruit quality of sweet cherry [J]. *China Fruit News*, 2016, 33(10): 70.
- [7] 许晖,胡铭铎,刘晓第.赤霉素对甜樱桃黄玉果生长发育及品质的影响[J].果树科学,1996,13(1):33-34.
XU H, HU M D, LIU X D. Effect of gibberellin on the growth, development and quality of sweet cherry Topaz fruit [J]. *Journal of Fruit Science*, 1996, 13(1): 33-34.
- [8] USENIK V, KASTELEC D, VEBERI Č R, et al. Quality changes during ripening of plums (*Prunus domestica* L.)[J]. *Food Chemistry*, 2008, 111(4): 830-836.
- [9] ABD-ALLAH, A. S. Effect of spraying some macro and micro nutrients on fruit set, yield and fruit quality of Washington Navel orange trees[J]. *J. Appl. Sci. Res.* 2006, 2(11): 1 059-1 063.
- [10] 郝庆,杨波,车玉红,等.硼和赤霉素对提高色买提杏座果率和果品质的初步研究[J].新疆农业科学,2007,(5):571-574.
HAO Q, YANG B, CHE Y H, et al. Preliminary study on the effect of boron and gibberellin on the improvement of fruit setting rate and fruit quality of semeti apricot [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2007, (5): 571-574.
- [11] GOWDA K M, HALPYATI A S, et al. Yield, nutrient uptake and economics of pigeonpea as influenced by soil applica-

- tion of micronutrients and foliar spray of macronutrients. [J]. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 2015, **28**(2): 266-268.
- [12] ULLAH S, KHAN A S, MALIK A U, et al. Foliar application of boron influences the leaf mineral status, vegetative and reproductive growth, yield and fruit quality of ‘kinnow’ mandarin (*Citrus reticulate* Blanco.) [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2012, **35**(13): 2 067-2 079.
- [13] 韦剑锋, 梁和, 韦冬萍, 等. 钾与钙、硼混合喷施对龙眼果实品质及耐贮性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008,(2): 35-39.
- WEI J F, LIANG H, WEI D P, et al. Effects of spraying the potassium cooperated with calcium and boron on quality and storability of longan fruits[J]. *Soils and Fertilizer Sciences in China*, 2008,(2): 35-39.
- [14] 林雪茜, 彭森, 吴少平, 等. ‘中蕉9号’与‘巴西蕉’果实后熟过程中可溶性糖积累差异的原因分析[J]. 果树学报, 2019, **36**(11): 1 524-1 539.
- LIN X X, PENG M, WU S P, et al. A comparative analysis of the differences in starch degradation and soluble sugar accumulation between ‘Zhongjiao No. 9’ and ‘Baxijiao’ during fruit ripening[J]. *Journal of Fruit Science*, 2019, **36**(11): 1 524-1 539.
- [15] 李加好, 冯梅, 李志军. 胡杨叶片碳水化合物及可溶性蛋白特征与叶形变化和个体发育阶段的关系[J]. 植物研究, 2015, **35**(4): 521-527.
- LI J H, FENG M, LI Z J. Carbohydrate, soluble protein and morphometric changes in leaves of *Populus euphratica* Oliv. individuals under different developmental stages[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2015, **35**(4): 521-527.
- [16] ULLAH S, ANWAR S, REHMAN M, et al. Interactive effect of gibberellic acid and N,P,K fertilizer combinations on ramie yield and bast fibre quality[J]. *Scientific Reports*, 2017, **7**: 10 647.
- [17] 李洪明, 杨明江, 徐宁, 等. 赤霉素在果树生产中的应用[J]. 黑龙江农业科学, 2013,(1): 150-151.
- LI H M, YANG M J, XU N, et al. Application of gibberellin in fruit production [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2013,(1): 150-151.
- [18] 赵金凤, 周广丽, 乔国栋, 等. 赤霉素对长白山欧李产量及品质的影响[J]. 北方园艺, 2011,(18): 50-51.
- ZHAO J F, ZHOU G L, QIAO G D, et al. Effect of GA₃ on the yield and quality of Changbai Mountain *Prunus humilis* [J]. *Northern Horticulture*, 2011,(18): 50-51.
- [19] SINGH R, SHARMA R R, TYAGI S K. Pre-harvest foliar application of calcium and boron influences physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) [J]. *Scientia Horticulturae*, 2007, **112**(2): 215-220.
- [20] KHAN A S, ULLAH W, et al. Exogenous applications of boron and zinc influence leaf nutrient status, tree growth and fruit quality of Feutrell’s Early (*Citrus reticulata* Blanco.). [J]. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 2012, **49**(2): 113-119.
- [21] ZURAWICZ A, KRZESINSKI W, KNAFLEWSKI M. Changes in soluble solid content in green *Asparagus* spears during harvest season[J]. *Acta Horticulturae*, 2008,(776): 435-444.
- [22] SERRANI J C, FOS M, et al. Effect of gibberellin and auxin on parthenocarpic fruit growth induction in the cv micro-tom of tomato[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2007, **26**(3): 211-221.
- [23] 关军锋, 马文会, 及华, 等. 套袋和膨大剂对黄冠梨钙、果胶含量和果实品质的影响[J]. 科技导报, 2008, **26**(21): 73-76.
- GUAN J F, MA W H, JI H, et al. Effects of bagging and fruit-expander on Ca, pectin content and the quality of Huangguan pear fruits[J]. *Science & Technology Review*, 2008, **26**(21): 73-76.
- [24] MAPELLI S, FROVE C, TORTI G, et al. Relationship between set, development and activities of growth regulators in tomato fruits[J]. *Plant and Cell Physiology*, 1978, **19**(7): 1 281-1 288.
- [25] HASSAN H S A, SARRWY S M A, MOSTAFA E A M. Effect of foliar spraying with liquid organic fertilizer, some micronutrients, and gibberellins on leaf mineral content, fruit set, yield, and fruit quality of “Hollywood” plum trees [J]. *Agriculture & Biology Journal of North America*, 2010, **1**(4): 638-643.
- [26] 杨文莉, 周伟权, 赵世荣, 等. GA₃对轮台白杏坐果及果实品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2017, **54**(4): 597-604.
- YANG W L, ZHOU W Q, ZHAO S R, et al. Effects of GA₃ on fruit setting and fruit quality of Luntai *Amerniaca vulgaris*[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2017, **54**(4): 597-604.
- [27] CLINE J A, TROUGHT M. Effect of gibberellin acid on fruit cracking and quality of Bing and Sam sweet cherries[J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 2007, **87**(3): 545-550.
- [28] KHAYYAT M, TAFAZOLI E, ESHGHI S, et al. Effect of nitrogen, boron, potassium and zinc sprays on yield and fruit quality of date palm [J]. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 2007, **2**: 289-296.
- [29] 樊卫国, 叶双全. 花期喷硼对刺梨果实产量及品质的影响[J]. 中国南方果树, 2016, **45**(4): 111-113.
- FAN W G, YE S Q. Effect of boron spraying on the yield and quality of *Rosa roxburghii* fruit [J]. *South China Fruits*, 2016, **45**(4): 111-113.
- [30] 龙友华, 张承, 吴小毛, 等. 叶面喷施硼肥对猕猴桃产量及品质的影响[J]. 北方园艺, 2015,(5): 9-12.
- LONG Y H, ZHANG C, WU X M, et al. Effect of foliar application of boron nutrition on kiwifruit quality and yield[J]. *Northern Horticulture*, 2015,(5): 9-12.
- [31] 潘海发, 徐义流, 张怡, 等. 硼对砀山酥梨营养生长和果实品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, **17**(4): 1 024-1 029.
- PAN H F, XU Y L, ZHANG Y, et al. Effects of boron on the growth and fruit quality of Dangshansu pear (*Pyrus bretschneideri* cv. Dangshansu)[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, **17**(4): 1 024-1 029.
- [32] ARSENEAULT M H, CLINE J A. AVG, NAA, boron, and magnesium influence preharvest fruit drop and fruit quality of ‘Honeycrisp’ apples[J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 2018, **98**(3): 741-752.