果 树 学 报 2019,36(5):603-611
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20180469

海藻酸水溶肥对梨树生长与果实产量及品质的影响

于会丽[1],司 鹏[1*],邵 微[1,2],徐国益[1],乔宪生[1],王玉红[1],杨晓静[1]

([1]中国农业科学院郑州果树研究所,郑州 450009;[2]河南农业大学林学院,郑州 450002)

摘 要:【目的】探究海藻酸水溶肥对梨生长发育的影响,为当地梨产业合理施肥提供理论依据。【方法】以'黄金'梨和'酥梨'为试验材料,用常规施肥[NPK(C)]、传统水溶肥[NPK(F)]、等量NPK海藻酸水溶肥[NPK(HF)]、NPK用量减施25%海藻酸水溶肥[3/4NPK(HF)]和NPK用量减施50%海藻酸水溶肥[1/2NPK(HF)]处理梨树,测定比较处理间果实产量、品质、养分吸收和经济效益等指标。【结果】与NPK(C)和NPK(F)处理相比,'黄金'梨园区的3/4NPK(HF)处理提高果实糖酸比和叶片氮养分含量,显著降低果实石细胞含量,且各指标基本上高于NPK(HF)和1/2NPK(HF)处理。在'酥梨'园区,3/4 NPK(HF) 处理梨可溶性糖和叶片氮养分含量较NPK(F)处理分别显著提高12.38%和9.08%。同时,海藻酸水溶肥减量使用明显增加园区经济收益。【结论】在两梨园当前施肥量下,减施25%的海藻酸水溶肥处理不会导致梨显著减产和果实品质降低,其综合效果优于其他处理。

关键词:梨;海藻酸水溶肥;生长;产量;果实品质;养分含量

中图分类号:S661.2 文献标志码:A 文章编号:1009-9980(2019)05-0603-09

Effect of water soluble alginic acid fertilizer on the growth, yield and quality of pear

YU Huili[1], SI Peng[1*], SHAO Wei[1,2], XU Guoyi[1], QIAO Xiansheng[1], WANG Yuhong[1], YANG Xiaojing[1]

([1]Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, Henan, China; [2] College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract:【Objective】Effects of water soluble alginic acid fertilizer on the growth and fruit quality of pear were investigated in order to reduce the use of chemical fertilizers.【Methods】'Whangkeumbae' and 'Suli' pears were used as the materials for the experiment, which was performed in the villages of Liuhudong, Erqi district, Zhengzhou and in the villages of Yuzhuangzhai, Ningling county, Shangqiu. There were five treatments in the experiment, including the conventional fertilization treatment [NPK (C)], traditional water soluble fertilizer treatment [NPK (F)] with equivalent NPK, alginic acid water solution treatment with equivalent NPK [NPK(HF)], alginic acid solution with 25% reduction in NPK, and alginic acid solution with 50% reduction in NPK. All the treatments were with three randomly arranged replicates. In [NPK (C)] treatment, the total annual doses of N, P and K were 270 kg · hm^{-2}, 120 kg · hm^{-2} and 270 kg · hm^{-2} respectively in 'Whangkeumbae' orchard, and 337.5 kg · hm^{-2}, 150 kg · hm^{-2} and 337.5 kg · hm^{-2} respectively in 'Suli' orchard. In all the treatments, the fertilizers were applied during sprouting stage (March 20; March 25), the first fruit expanding stage (May 20; May 25), and the second fruit expanding stage (July 20; July 25), with 40%, 35% and 20% of total fertilizer application respectively in both 'Whangkeumbae' and 'Suli' pear orchards.【Results】The treatment of 3/4NPK(HF)

收稿日期:2018-11-28 接受日期:2019-01-30

基金项目:"十三五"国家重点研发计划项目(2016YFD0200405);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(1610192019502)

作者简介:于会丽,助理研究员,硕士,主要从事果树新型肥料研制与施肥技术研究。Tel:0371-55900985,E-mail:yuhuili@caas.cn

*通信作者 Author for correspondence. Tel:0371-55900985,E-mail:sipeng@caas.cn

had a leaf area 19.55% and 11.65% larger, a sugar acid ratio 27.87% and 7.67% higher, a N nutrition content in 19.56% and 6.08% greater, and stone cells 42.85% and 42.85% less than NPK(C) and NPK (F) treatments, respectively in ‘Whangkeumbae’ orchards. The fruit weight under 3/4NPK(HF) and 1/2NPK(HF) treatments was decreased significantly by 23.41% and 17.14%, respectively, compared with NPK(HF) treatment. However, there were no significant differences in the growth and quality (except for mean fruit weight) among alginic acid treatments. In addition, the treatment of 3/4NPK(HF) had no significant effect on the N, P and K nutrient uptake in fruit and leaves, but the N content in the leaves in 1/2NPK(HF) treatment was significantly decreased by 17.27% compared with NPK (HF) treatment. In ‘Suli’ pear orchard, the shoot length, hundred leaf fresh weight, soluble sugar and TSS contents under NPK(HF) treatment were 12.47%, 12.99%, 5.20% and 8.72% higher respectively compared with NPK (C) treatment. However, there was no significant difference in fruit nutrient contents between NPK(C) and NPK(HF) treatments. Moreover, the reductions in dose of alginic acid fertilizers had no significant effect on pear growth and yield (except for the shoot). Interestingly, leaf N nutrient content was significantly increased by 3/4NPK(HF) and 1/2NPK(HF) treatments, while soluble sugar and N contents in the fruit were decreased, especially for 1/2NPK(HF) treatment. Furthermore, correlation analysis showed that the quantity of alginic acid application was significantly negatively correlated with PEP, but significantly positively correlated with shoot length, fruit soluble sugar, TSS and N nutrient contents, indicating that the quality and N nutrient uptake of ‘Suli’ pear depended on the doses of fertilizer applied. Fertigation management increased the economic profits in pear orchard under the same fertilizer dosage. In comparison with NPK (HF) treatment, the economic profits under 3/4NPK(HF) and 1/2NPK(HF) treatments increased by 735 Yuan · hm^{-2} and 4 135.2 Yuan · hm^{-2} respectively for ‘Whangkeumbae’ orchard, and 398 Yuan /hm^2 and 3 936.1 Yuan · hm^{-2} respectively for ‘Suli’ pear orchards. 【Conclusion】The water soluble alginic acid fertilizer increased growth and quality of pears, and reduced manpower. Additionally, there was no significant decrease in the fruit quality and yield if the dosage of alginic acid was reduced. Among all the treatments examined, the optimal fertilizer treatment was 3/4NPK(HF).

Key words: Pear; Alginic acid water soluble fertilizer; Growth; Yield; Fruit quality; Nutrient content

据国家统计局统计，2016年我国梨栽培面积达111.3万 hm^2，产量1 596.3万t，占世界总产量60%左右，是我国梨产区农民经济收入的重要来源。近年来，果农对产量盲目追求，传统高肥水管理模式带来的问题日益凸显，不仅引起肥料流失和水资源浪费，还带来如土壤板结、酸化和盐渍化、养分失衡、树体抗逆性下降、品质降低等诸多问题[1-2]，直接影响到生态环境和果农的经济效益。

水肥一体化技术是提高作物水分、养分利用效率，实现作物绿色减肥增效的重要途径。陆春等[3]在香蕉上研究发现，水肥一体化技术较常规灌溉施肥节肥22.9%，节水49.6%；张婷等[4]在梅周金柚上连续3 a(年)试验有类似的结果，即采用滴灌技术肥料利用率提高34.4%。另外，水肥一体化技术一定程度能够提高果树产量和品质。路永莉等[5]在苹果上模拟试验结果表明，水肥一体化可使苹果增产13%以上，且能够显著促进氮磷钾养分吸收和改善果实品质。王立飞等[6]和呼生春等[7]分别在梨和葡萄上也有类似报道，与对照相比，在水肥一体化条件下提高了‘黄冠梨’单果质量，梨的可溶性固形物和可滴定酸含量分别提高16.2%和7.77%，葡萄可溶性总糖和糖酸比分别提高10.92%和29.21%，葡萄叶片氮、磷养分含量分别提高13.13%和43.68%。总之，水肥一体化技术在果树提高肥水利用率和增产提质等方面具有重要作用。

研究表明，海藻提取物富含海藻多糖类、海藻糖醇类、海藻酚类、氨基酸类及其衍生物和植物激素类等多种有机活性物质，既可单独施用，也可与肥料配

施，常作为肥料的增效剂[8]。它不仅能够改良土壤结构，促进种子萌发，改善作物根系结构，增加根系体积，促进养分吸收，提高作物坐果率，促进果实膨大，增加单果质量和提高果实品质[9-11]，还可以增加作物耐盐、耐旱和耐热等抗逆性[12-13]，在作物上提质增效和促进养分吸收等方面具有很大潜力。但关于海藻酸水溶肥在水肥一体化条件下对不同地区梨树的应用效果鲜有报道，尚未确定其最佳的应用条件。鉴于此，本研究以海藻酸水溶性肥料为试验材料，以郑州和宁陵的梨园区为试验点，选用‘黄金’梨和‘酥梨’2个品种，分别以常规施肥和传统水溶肥为对照，初步研究海藻酸水溶性肥料在水肥一体化条件下对梨树长势、果实品质及养分吸收等方面的影响，探讨在水肥一体化操作中海藻酸水溶肥对梨化肥减施增效的潜力，以期为建立梨产区化肥减施增效技术、推进当地梨产业绿色高效发展提供理论依据与技术支撑。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

郑州试验点在郑州二七区马寨镇刘胡垌村，海拔254.9 m，年平均气温为14.5 ℃，年降水量平均640 mm，年平均无霜期230 d。果区面积3.33 hm^2，品种为‘黄金’梨，树龄12 a，株行距2 m×2.5 m，梨树树体基本情况见表1。供试土壤为砂壤土，基本性状：有机质7.32 $g \cdot kg^{-1}$，全氮4.26 $mg \cdot g^{-1}$，有效磷80.33 $mg \cdot kg^{-1}$，速效钾135.67 $mg \cdot kg^{-1}$，pH值7.23。

宁陵试验点在宁陵县石桥镇于庄寨村，海拔50 m，年平均气温14.2 ℃，年平均降水量647 mm，年平均无霜期216 d。果区面积1.33 hm^2，品种为‘酥梨’，树龄20 a，株行距4 m×4 m，梨树树体基本情况见表1。供试土壤为砂壤土，基本性状：有机质含量（w，后同）4.41 $g \cdot kg^{-1}$，全氮含量3.95 $mg \cdot g^{-1}$，有效磷含量131.15 $mg \cdot kg^{-1}$，速效钾含量227 $mg \cdot kg^{-1}$，pH值7.13。

表1 试点梨树树势基本情况

Table 1 Basic situation of pear tree growth in trail

品种 Cultivar	树高 Tree height/cm	干高 Tree pole height/cm	干周 Tree pole perimeter/cm	冠径Crown diameter/cm 东西 East-west direction	冠径Crown diameter/cm 南北 North-south direction	主枝数 Number of main branches	树形 Tree shape	树势 Tree growth
黄金 Whangkeumbae	204.7	34.9	34.9	215.35	204.05	3.6	主干疏层形 Delay-open central leader shape	中庸 Medium level
酥梨 Suli	472	55.4	58.8	395.2	412	10	纺锤形 Spindle shape	中庸 Medium level

1.2 试验设计

挑选生长正常、树势一致的梨树作为试验材料。试验共设5个处理，每个处理3次重复，完全随机排列。处理分别为：NPK常规施肥、等量NPK传统水溶肥、等量NPK海藻酸水溶肥、NPK减施25%的海藻酸水溶肥、NPK减施50%的海藻酸水溶肥，为了方便描述将其分别简化为NPK（C）、NPK（F）、NPK（HF）、3/4NPK（HF）和1/2NPK(HF)，常规NPK（C）施肥量结合根据2个园区的施肥习惯和产量确定，郑州地区全年氮磷钾投入量分别为270 $kg \cdot hm^{-2}$、120 $kg \cdot hm^{-2}$和270 $kg \cdot hm^{-2}$，宁陵园区全年氮磷钾投入量分别为337.5 $kg \cdot hm^{-2}$、150 $kg \cdot hm^{-2}$和337.5 $kg \cdot hm^{-2}$。郑州和宁陵的所有处理均分别3次同期施入：萌芽期（3月20日和3月25日）、第1次膨大期（5月20日和5月25日）和第2次膨大期（7月20日和7月25日），各时期氮、磷、钾投入量分别是全年氮磷钾投入量的40%、35%和25%。试验中NPK（C）处理，氮、磷、钾分别采用尿素（含N 46%）、普通过磷酸钙（含P_2O_5 12%）和水溶性氯化钾（含K_2O 62%）。其他处理所用氮肥均选用尿素（含N 46%），磷、钾肥选用磷酸二氢钾（含P_2O_5 52%，K_2O 34%），钾肥不足的部分由水溶性氯化钾（含K_2O 62%）补充，NPK（HF）、3/4NPK（HF）和1/2NPK（HF）处理中，海藻酸含量均为3%。水溶肥处理均采用简易装置的水肥一体化施肥技术，即每次施肥前均在树冠周围滴入一定体积的水，再将肥料溶于一定体积的纯水中，搅拌均匀，使其完全溶解，然后以相同流速缓慢滴入根冠四周土壤，最后再滴入一定体积的水，全程模拟水肥一体化施肥过程。其他田间管理措施与当地传统管理保持一致。

1.3 测定方法

春梢和叶片采集及测定：每处理于6月中旬随机选取新梢30个，测定其长度并采集中部叶片。采

用 H_2SO_4-H_2O_2 消煮[14]，全自动间断化学分析仪（Clever Chem 380，德国）测定叶片N含量和P含量，火焰光度计测定叶片K含量[14]。

果实样品的采集与测定：在树体东、西、南、北4个方向随机采集20个果实，组成混合样带回实验室。一部分用于果实养分含量测定，另一部分用于品质分析。养分含量测定方法与叶片相同。品质分析，采用蒽铜比色法测定可溶性糖含量[15]，氢氧化钠滴定法测定果实可滴定酸含量[14]，重量法测定梨石细胞含量[16]，WYT-4型糖量计测定可溶性固形物含量，GY-1型硬度仪测定果实硬度。同时，游标卡尺测量果实的横径（cm）和纵径（cm），然后通过果实纵、横径的比值计算果形指数（V/H）。化肥偏生产力PFP（$kg\cdot kg^{-1}$）=施肥后作物产量（$kg\cdot hm^{-2}$）/化肥纯养分投入量（$kg\cdot hm^{-2}$）。

1.4 数据分析

试验数据的整理和统计应用Excel 2007、SAS 9.2、SPSS 23和Canoco for Windows 4.5软件进行。

2 结果与分析

2.1 不同处理对梨树体长势和产量的影响

由表2可知，NPK（HF）处理的新梢、叶面积和单果质量均高于NPK（C）和NPK（F）处理。在‘黄金’梨园区，3/4 NPK（HF）和1/2 NPK（HF）处理的新梢、百叶鲜重、果型指数和产量与NPK（HF）处理间无显著差异；1/2 NPK（HF）处理的单果质量和叶面积较NPK（HF）处理分别显著降低17.14%和12.09%。在‘酥梨’园区，与NPK（HF）相比，1/2 NPK（HF）处理和3/4NPK（HF）处理的梨树叶面积、百叶鲜重、产量等指标无显著变化，但新梢长度分别显著降低7.13%和5.96%。由此说明，在当前两品种栽培条件下，减施50%的海藻酸水溶肥降低了梨树长势，减施25%的海藻酸水溶肥对梨长势影响不大。

表2 不同处理对梨树长势和产量的影响

Table 2 Effects of different treatments on pear growth and yield

品种 Cultivar	处理 Treatment	新梢长 Shoot length/cm	叶面积 Leaf area/cm^2	百叶鲜重 Hundred leaf fresh weight/g	单果质量 Mean fruit mass/g	果形指数 Fruit shape index	产量 Yield/($kg\cdot hm^{-2}$)
黄金 Whangkeumbae	NPK（C）	71.70 a	46.40 c	114.67 b	236.83 b	0.87 a	51 990.30 a
	NPK（F）	73.74 a	49.68 bc	137.03 a	288.02 a	0.88 a	51 562.05 a
	NPK（HF）	85.80 a	52.96 ab	128.24 ab	290.00 a	0.88 a	47 909.25 a
	3/4 NPK（HF）	75.93 a	55.47 a	125.52 ab	222.17 b	0.88 a	51 451.20 a
	1/2 NPK（HF）	78.54 a	46.56 c	127.16 ab	240.30 b	0.87 a	49 432.65 a
酥梨 Suli	NPK（C）	52.38 b	37.47 a	81.78 b	368.33 a	0.88 b	92 345.70 ab
	NPK（F）	55.11 b	37.41 a	88.05 ab	365.00 a	0.89 b	82 943.25 b
	NPK（HF）	58.91 a	39.61 a	92.37 a	388.50 a	0.89 ab	101 415.30 ab
	3/4 NPK（HF）	55.40 b	39.46 a	93.81 a	356.33 a	0.93 a	84 463.95 b
	1/2 NPK（HF）	54.71 b	37.51 a	90.64 ab	371.00 a	0.91 ab	119 891.25 a

注：表中不同小写字母表示处理间差异显著（$p < 0.05$），下同。

Note: The different small letters indicate significant difference at $p < 0.05$. The same below.

2.2 不同处理对梨果品质的影响

NPK（F）和NPK（HF）处理的梨果实糖酸比、可溶性固形物和维生素C较NPK（C）处理均有增加，果实硬度和石细胞呈降低趋势。其中，与NPK(C)处理相比，‘黄金’梨NPK（HF）处理果实石细胞和硬度分别显著降低42.86%和5.18%，‘酥梨’NPK（HF）处理果实可溶性固形物显著提高8.72%，等养分水溶肥处理提高品质顺序为：NPK（HF）>NPK（F）>NPK（C）。在‘黄金’梨园区，与NPK（HF）处理相比，减施海藻酸水溶肥处理果实品质无显著差异，但3/4NPK(HF)处理的处理可溶性糖和糖酸比最高，较NPK（C）处理分别提高20.79%和27.87%。在‘酥梨’园区，与NPK（HF）处理相比，减施海藻酸水溶肥处理3/4NPK（HF）和1/2 NPK（HF）的可溶性糖、糖酸比、可溶性固形物呈降低趋势，石细胞和维生素C呈增加趋势，处理间除1/2 NPK（HF）处理的可溶性糖外，无显著差异（表3）。

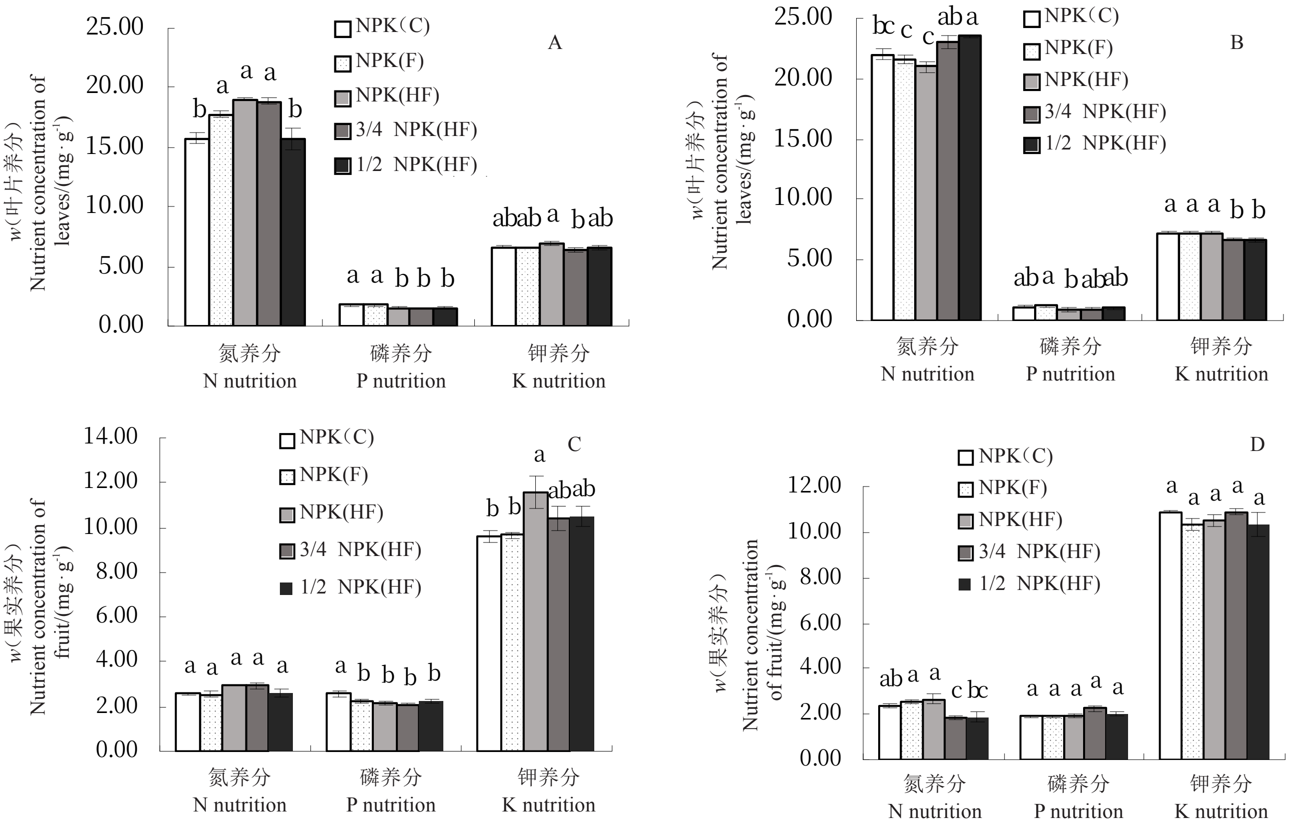
2.3 不同处理对梨树叶片和果实氮磷钾含量的影响

图1-A可知，不同处理对‘黄金’梨叶片氮磷钾养分含量有不同程度的影响。与NPK（C）相比，

表3 不同处理对梨果品质的影响

Table 3 Effects of different treatments on fruit quality of pears

品种 Cultivar	处理 Treatment	*w*(可溶性糖) Soluble sugar/%	*w*(可滴定酸) Titratable acid/%	糖酸比 Sugar acid ratio	*w*(可溶性固形物)TSS/%	*w*(石细胞) Stone cell/%	果实硬度 Hardness/(kg·cm^{-2})	*w*(维生素C) Vc/(mg·100g^{-1})
黄金 Whangkeumbae	NPK(C)	6.78 b	0.15 a	47.97 a	13.96 a	0.07 a	2.70 a	3.40 a
	NPK(F)	8.25 a	0.15 a	56.97 a	14.12 a	0.07 a	2.48 c	3.02 a
	NPK(HF)	7.63 ab	0.14 a	55.73 a	14.24 a	0.04 b	2.56 bc	4.28 a
	3/4 NPK(HF)	8.19 a	0.14 a	61.34 a	14.05 a	0.04 b	2.52 bc	3.34 a
	1/2 NPK(HF)	7.81 a	0.14 a	58.44 a	13.48 a	0.04 b	2.59 b	3.27 a
酥梨 Suli	NPK(C)	5.79 ab	0.09 a	65.03 a	10.32 b	0.60 a	2.46 a	7.80 a
	NPK(F)	5.41 bc	0.08 a	64.32 a	11.03 ab	0.59 a	2.20 ab	7.55 a
	NPK(HF)	6.09 a	0.09 a	67.38 a	11.22 a	0.52 a	2.20 ab	7.68 a
	3/4 NPK(HF)	6.08 a	0.09 a	58.44 a	10.63 ab	0.59 a	2.13 b	8.05 a
	1/2 NPK(HF)	5.29 c	0.10 a	66.32 a	10.55 ab	0.70 a	2.22 ab	7.80 a



A 和 C 为‘黄金’梨；B 和 D 为‘酥梨’。

A and C show results of ‘Whangkeumbae’; B and D show results of ‘Suli’.

图1 不同处理对梨树叶片果实养分含量的影响

Fig. 1 Effect of different treatments on nutrient contents in the leaves and fruits of pears in different orchards

NPK(F)、NPK(HF)和3/4 NPK(HF)处理的叶片氮养分含量分别显著提高12.70%、20.80%和19.62%，1/2 NPK(HF)处理叶片氮养分含量低于NPK(C)处理；施用海藻酸水溶肥处理的叶片磷含量均显著低于NPK(C)和NPK(F)处理，海藻酸水溶肥处理间叶片磷含量无显著差异；NPK(HF)处理梨叶片钾含量最高，较NPK(C)和NPK(F)处理分别提高4.85%和5.21%，3/4 NPK(HF)处理梨片钾含量显著低于NPK(HF)处理，且3/4 NPK(HF)处理与其他处理无显著差异。在‘酥梨’园区(图1-B)，NPK(F)和NPK(HF)处理与NPK(C)处理间的叶片氮磷钾养分含量差异不显著，与NPK(HF)处理相比，3/4 NPK(HF)和1/2NPK(HF)处理叶片氮养分含量分别显著提高10.11%和12.08%，叶片钾养分含量分别显著降

低7.14%和7.47%。

‘黄金’梨NPK（HF）处理果实钾养分含量较NPK（C）和NPK（F）处理分别显著提高20.14%和19.65%，而在‘酥梨’处理间差异不显著（图1-C和图1-D）。与NPK（HF）相比，3/4 NPK（HF）和1/2NPK（HF）处理的‘黄金’梨果实氮磷钾含量差异不显著，而‘酥梨’3/4 NPK（HF）和1/2NPK（HF）处理的果实氮养分含量分别显著降低30.00%和28.90%，果实磷和钾养分含量在处理间有一定变化，但差异不显著。

2.4 不同处理对梨园生产经济效益的影响

肥料偏生产力（PFP）是施用某一特定肥料下的作物产量与施肥量的比值，是反映当地土壤基础养分水平和化肥施用量综合效应的重要指标。本研究显示（图2），与NPK（F）相比，‘黄金’梨3/4NPK（HF）和1/2NPK（HF）处理的PEP分别显著提高43.19%和106.36%，且1/2NPK（HF）处理的PEP显著高于3/4NPK（HF）处理。在‘酥梨’园区，NPK（HF）和3/4NPK（HF）处理PEP较NPK（C）处理分别提高9.82%和21.95%，但差异不显著；当肥料用量减少50%时，1/2NPK（HF）处理的PFP最高，显著高于其他处理。

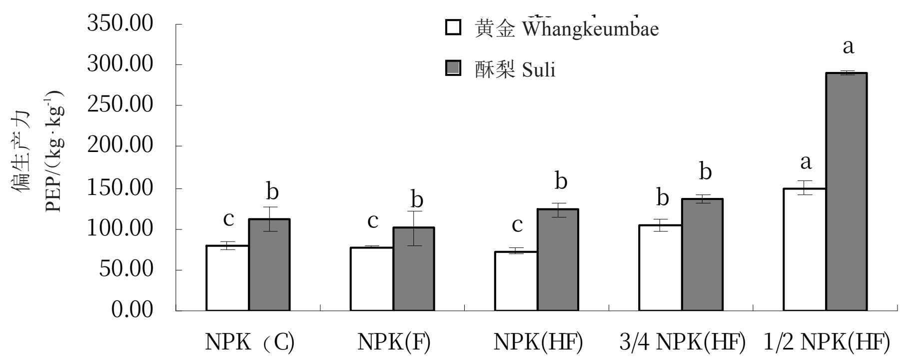


图2 不同处理对化肥偏生产力的影响

Fig. 2 Effect of different treatments on partial factor productivity (PFP)

2.5 不同施肥处理测定指标主成分分析和相关分析

对不同处理梨树长势、品质和养分情况进行主成分分析。由图3可知，PCA分析图中第一主成分（PCA1）为72.1%，第二主成分（PCA2）为10.7%，其中前2个主成分贡献率达到82.8%，说明分析结果基本上综合了处理各个指标的结果。如图3所示，‘酥梨’和‘黄金’梨施肥处理样品点分布在不同区域，说明不同品种梨的这些参数指标区别明显。‘酥梨’的NPK（C）、NPK（F）和NPK（HF）处理在X轴和Y轴上距离很小，即等养分处理下样品点分布相近，表明在等养分处理下施用这3种肥料对酥梨的参数指标作用不明显，NPK（HF）、3/4NPK（HF）和1/2NPK

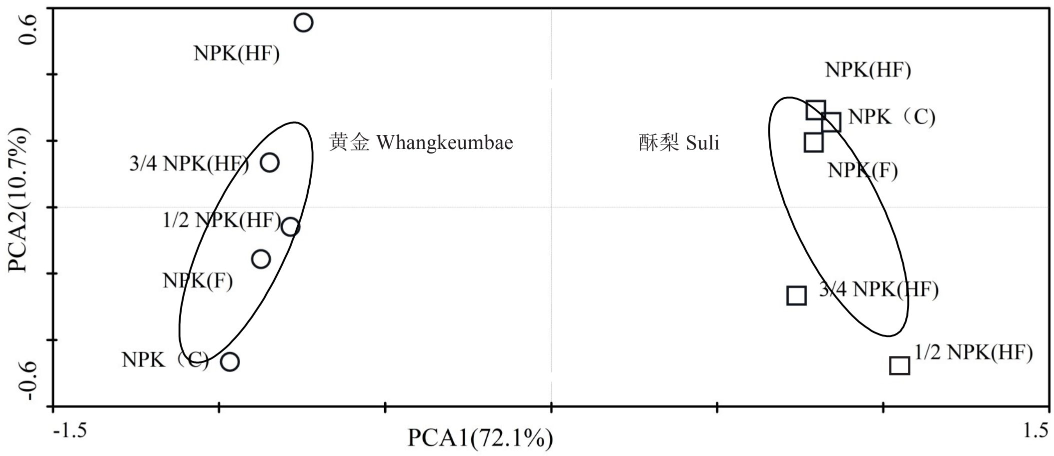


图3 不同处理主成分（PCA）分析

Fig. 3 PCA chart of different treatments

(HF)处理在Y轴上距离较大，说明酥梨参数指标与施肥量有关；‘黄金’梨的各处理样品点分布的差异主要集中在Y轴上，表明黄金梨的参数指标不仅与施用肥料种类有关，而且与施肥量存在密切联系。另外，根据‘酥梨’和‘黄金’梨海藻酸水溶肥施用量与梨树长势、品质及养分吸收量之间的相关性分析（表4），‘黄金’梨海藻酸水溶肥施用量与Vc和叶片N养分含量之间呈显著正相关（r=0.716*，r=0.796*），而与偏生产力达极显著负相关水平（r=−0.955**）；在‘酥梨’园区海藻酸水溶肥施用量与新梢、可溶性固形物之间达显著正相关水平（r=0.875**，r=0.873**），与可溶性糖和果实氮养分含量之间呈显著正相关（r=0.775*，0.700*），但与叶片氮养分含量和达极显著负相关水平（−0.827**，−0.895**），表明减少藻酸水溶肥施用量提高了化肥偏生产力，但降低了梨果实养分含量和‘酥梨’果实可溶性固形物和可溶性糖含量。

表4 海藻酸水溶肥施用量与梨树长势、品质和养分吸收之间的相关性(r 值)

Table 4 The correlations between quantity of alginic acid fertilizer applied and shoot growth，fruit quality and nutrient uptake in pears

品种 Cultivar	新梢 Shoot	可溶性糖 Soluble sugar	可溶性固形物 TSS	维生素C Vc	叶片氮含量 N content of leave	果实氮含量 N content of fruit	偏生产力 PEP
黄金 Whangkeumbae	0.524	−0.140	−0.212	0.76*	0.796*	0.581	−0.955**
酥梨 Suli	0.875**	0.775*	0.873**	−0.149	−0.827**	0.700*	−0.895**

注：* α = 0. 05；** α = 0. 01。

Note: * indicates α = 0. 05；** indicates α = 0. 01.

2.6 不同处理对梨园生产经济效益的影响

果园经济效益直接关系到果农的切身利益。本试验结合对郑州和宁陵园区市场信息的调查，估算了单位面积梨园的经济效益。由表5可知，本试验水肥耦合技术的应用可以使2个果园的经济效益明显提高，果园经济效益提高主要通过节肥和省工两方面获得，其中，因肥料减施的收益对总收益的贡献最大。与NPK(C)相比，郑州和宁陵园区水肥处理节省人工增加的收益分别是1 080 Yuan·hm^{-2}和720 Yuan·hm^{-2}。当肥料用量减低25%和50%时，3/4NPK（HF）和1/2NPK（HF）处理较NPK（HF）处理在郑州果园增收分别为735 Yuan·hm^{-2}和4 135.2 Yuan·hm^{-2}，在宁陵果园增收分别为398 Yuan·hm^{-2}和3 936.1 Yuan·hm^{-2}。

表5 水肥一体化处理对梨生产经济效益的影响

Table 5 The economic profit of fertigation used in pear production compared with conventional fertilization [NPK(C)]

品种 Cultivar	处理 Treatment	因节肥增加收入 Increment of profit due to fertilizer reduction/（Yuan·hm^{-2}）	因增产增加收入 Increment of profit due to production increment /（Yuan·hm^{-2}）	因人工增加收入 Increment of profit due to by manpower reduction/（Yuan·hm^{-2}）	总收益 Total increment of economic profits/（Yuan·hm^{-2}）
黄金 Whangkeumbae	NPK（F）	0.0	−398.4	900.0	402.0
	NPK（HF）	0.0	−655.2	900.0	81.0
	3/4 NPK（HF）	1 887.8	−1 692.0	900.0	879.1
	1/2 NPK（HF）	3 771.4	652.8	900.0	5 899.4
酥梨 Suli	NPK（F）	0.0	−564.6	720.0	−126.9
	NPK（HF）	0.0	544.2	720.0	1 536.3
	3/4 NPK（HF）	1 887.8	−473.4	720.0	2 104.0
	1/2 NPK（HF）	3 771.4	1 652.4	720.0	7 382.0

注：计算节肥量增加收益时，N、P_2O_5 和 K_2O 纯养分价格分别按 4.3 Yuan·kg^{-1}、7.6 Yuan·kg^{-1} 和 9.1 Yuan·kg^{-1}。计算梨增产的收益时，均按当地的市场价为基准计算，即黄金梨价格为 4 Yuan·kg^{-1}，酥梨价格为 2 Yuan·kg^{-1}。计算省工量的收益时，全年水肥一体化追肥可节省 9 个工·hm^{-2}，按照当地用工费用计算，郑州黄金梨园区 120 元·工$^{-1}$，宁陵酥梨园区 80 元·工$^{-1}$。

Note: The saved fertilizer amount is also different. The prices of 4.3 Yuan·kg^{-1} for N，7.6 Yuan·kg^{-1} for P_2O_5 and 9.1 Yuan·kg^{-1} for K_2O were used to calculate the economical benefits enhancement caused by fertilizer reduction. The Whangkeumbae and Suli price of 4.0 Yuan·kg^{-1} and 2.0 Yuan·kg^{-1} respectively was used to calculate the economical benefits enhancement caused by production increase according to the local market price. According to the survey，the fertigation can save 9 workers·hm^{-2} within a year，the labor price of 120 Yuan·work^{-1} and 80 Yuan·work^{-1} respectively in Zhengzhou Whangkeumbae and Ningling Suli orchards was used to calculate the economical benefits enhancement caused by manpower reduction.

3 讨 论

本试验条件下，等量海藻酸水溶肥处理较常规施肥和传统水溶肥处理均能提高‘黄金’梨和‘酥梨’单果质量，这可能与海藻酸水溶肥中海藻酸类物质有关，海藻酸类物质具有促进植物生长发育和根系生长，促进果实膨大的作用，能够提高果实单果质量[17]。同时在‘黄金’梨上研究发现，与等量海藻酸水溶肥处理相比，海藻酸水溶肥用量减施 25% 和 50% 处理的产量呈增加趋势，显著提高化肥偏生产力，这与路永莉等[5]在苹果减量施肥的研究结果类似，减少肥料用量反而可提高产量。在‘酥梨’上研究却发现，海藻酸水溶性肥用量减施 50%对产量带来不利影响，这可能是水肥耦合的增产效应在不同土壤条件下存在一个相应阈值，低于阈值，增加水肥投入增产效果显著，高于阈值，增加水肥互作增产效应不显著，且造成水肥投入的浪费。可见，实践中应结合果园土壤肥力特征，采用适宜海藻酸肥料用量进行水肥一体化操作才能获得最佳效果。

水肥一体化技术可以改善苹果和葡萄果实品质，提高果实矿质养分含量[18]。本试验显示，等量海藻酸水溶肥处理和传统水溶肥处理提高果实可溶性固形物和降低石细胞的效果优于常规施肥处理，且等量海藻酸水溶肥处理效果最佳，此结果与 Sabir 等[19]和丁宁[20]使用海藻类物质及其与化肥配施在苹果和葡萄上研究结果相似。分析其原因，可能是因为海藻水溶肥中含有海藻酸分子，含有很多游离羧基与羟基，易与金属离子螯合形成高分子聚合物，高度交联的聚合物网络体系可提高土壤保水能力[21]，改善土壤结构，增强微生物活性，刺激根系生长[22]，从而促进营养吸收，改善果实品质。同时研究发现，海藻酸水溶肥用量减少 25%和 50%处理的‘黄金’梨果实品质指标与全量海藻酸水溶肥处理无显著差异，而‘酥梨’园区海藻酸水溶肥用量减少 50%时对梨品质带来不利影响，这可能主要与两果园土壤的供肥能力差异有关，‘酥梨’园区土壤有机质含量为 4.41 $g\cdot kg^{-1}$，较为贫瘠，海藻酸水溶肥施用量与果实可溶性糖含量和可溶性固形物间呈显著线性正相关关系，果实品质提升对外源化肥投入的依赖性强，所以肥料用量减少 50%，很可能会影响梨品质。

近年来，我国肥料增值技术迅速发展，海藻酸类物质具有促进养分吸收和提高养分有效性功能，且抗逆、安全和环保等优势，被作为新型肥料增效剂。周勇明等[23]和张运红等[24]分别在小麦和玉米上研究发现，海藻酸类增值尿素可提高小麦和玉米氮利用率，降低其氮素损失，还促进玉米对磷、钾的吸收。另外，李志坚等[25]研究报道，海藻酸增效磷肥较普通磷酸一铵提高小麦吸磷量，海藻酸能提高土壤磷养分有效性。本研究表明，与等量传统水溶肥相比，等量海藻水溶肥处理提高了‘黄金’梨叶片和果实氮、钾养分含量，对梨果实磷养分含量影响不大，但显著降低了梨叶片磷养分含量，其具体原因有待进一步研究。本研究还表明，海藻酸水溶肥施用量减少对梨叶片和果实磷、钾养分吸收影响不大，但海藻酸水溶肥用量减施 50%显著降低‘黄金’梨叶片氮养分含量和‘酥梨’果实氮养分含量，说明海藻酸水溶肥用量大幅度的降低对梨树氮养分吸收有一定的影响。

从经济效益分析，本试验条件下，水溶性肥料均能提高两个梨园的经济效益，与常规施肥相比，施用传统水溶肥和等量海藻酸水溶肥在郑州果园可分别增收 681.4 元$\cdot hm^{-2}$和 424.8 元$\cdot hm^{-2}$，宁陵园区分别增加 155.4 元$\cdot hm^{-2}$和 1 264.2 元$\cdot hm^{-2}$，同时发现，海藻酸水溶肥用量减少 25%和 50%时，两园区的经济效益明显的增加，经济效益增加主要取决于节肥和省工。如果该技术大规模推广上应用，前期设备投入和应用使用维护，以及优果率和环境效益等经济收益需要评估，本试验未涉及，需要进一步推广评估。

4 结 论

海藻酸水溶肥不仅能改善梨果实品质，促进养分吸收，还能减少经济投入，增加经济效益。综合考虑果实产量、品质、养分吸收以及经济效益等参数指标，在本试验条件下，第一年海藻酸水溶肥减施 25%可实现梨园节肥增效的目的。

参考文献 References:

[1] 卢树昌，陈清，张福锁，贾文竹 . 河北果园主分布区土壤磷素投入特点及磷负荷风险分析[J]. 中国农业科学，2008，41（10）：3149-3157.
LU Shuchang，CHEN Qing，ZHANG Fusuo，JIA Wenzhu. Characteristics of soil phosphorus input and phosphorus load risk in majororchards region of Hebei [J]. Scientia Agricultura Sinica，2008，41(10): 3149-3157.

[2] 董彩霞，姜海波，赵静文，徐阳春 . 我国主要梨园施肥现状分析[J]. 土壤，2012，44（5）：754-761.
DONG Caixia，JIANG Haibo，ZHAO Jingwen，XU Yangchun. Current fertilization in pear orchards in China[J]. Soils，2012，44

(5): 754-761.

[3] 陆春，李红姝，覃正兴．香蕉肥水一体化滴灌技术试验[J]. 中国果树，2011(5)：48-50.
LU Chun，LI Hongmei，TAN Zhengxing. Banana fertilizer and water integrated drip irrigation technology [J]. China Fruits，2011(5): 48-50.

[4] 张婷，梁醒玲，钟宁江，李美珍，潘琳，李梅．水肥一体化技术在梅州金柚种植上的应用[J]. 现代园艺，2013(19)：39-40.
ZHANG Ting，LIANG Xingling，ZHONG Ningjiang，LI Meizhen，PAN Lin，LI Mei. Application of fertigation on golden pomelo in Meizhou[J]. Modern Horticultural，2013(19): 39-40.

[5] 路永莉，白凤华，杨宪龙，李茹，高义民，同延安．水肥一体化技术对不同生态区果园苹果生产的影响[J]. 中国生态农业学报，2014，22(11)：1281-1288.
LU Yongli，BAI Fenghua，YANG Xianlong，LI Ru，GAO Yimin，TONG Yan'an. Effect of fertigation on apple production in different ecological- regions orchards[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture，2014，22(11): 1281-1288.

[6] 王立飞，刘水林，李英丽，乐文全，徐金涛，张建光．水肥耦合对黄冠梨叶片光合效能及果实品质的影响[J]. 北方园艺，2015(17):1-4.
WANG Lifei，LIU Shuilin，LI Yingli，LE Wenquan，XU Jintao，ZHANG Jianguang. Effect of water and fertilize coupling modeson leaf photosynthetic efficiency and fruit quality in Huangguan pears[J]. Northern Horticulture，2015(17): 1-4.

[7] 呼生春，张永飞，张旭东，张亚红，王文举．不同水溶肥对土壤养分及'红地球'葡萄产量和品质的影响[J]. 北方园艺，2016(10)：166-170.
HU Shengchun，ZHANG Yongfei，ZHANG Xudong，ZHANG Yahong，WANG Wenju. Effect of different water soluble fertilizer on soil nutrient，yied and quality of 'Red Globe' grape[J]. Northern Horticulture，2016(10): 166-170.

[8] 耿银银，尹媛红，沈宏．海藻功能物质的提取工艺、理化性质以及在农业领域中的应用[J]. 生态学杂志，2017，36(10)：2951-2960.
GENG Yinyin，YIN Yuanhong，SHEN Hong. Process technologies and chemical- physical properties of seaweed extracts as well as their application in agriculture[J]. Chinese Journal of Ecology，2017，36(10): 2951-2960.

[9] MANCUSO S，AZZARELLO E，MUGNAI S，BRIAND X. Marine bioactive substances (IPA extract) improve ion fluxes and water stress tolerance in potted *Vitis vinifera* plants[J]. Advances in Horticultural Scicence，2006，20: 156-161.

[10] KHAN A S，AHMAD B，JASKANI M J，RASHID A，MALIK A U. Foliar application of mixture of amino acids and seaweed (*Ascophylum nodosum*) extract improve growth and physicochemical properties of grapes[J]. International Journal of Agriculture and Biology，2012，14(3): 383-388.

[11] NORRIE J，KEATHLEY J P. Benefits of ascophyllum nodosum marine-plant extract applications to 'Thompson Seedless' grape production[J]. Acta Horticulturae，2005，727: 243-247.

[12] ZHANG X，ERVIN E H. Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance[J]. Crop Scicence，2004，44(5): 1737-1745.

[13] ZHANG X，ERVIN E H. Impact of seaweed extract-based cytokinins and zeatin riboside on creeping bentgrass heat tolerance [J]. Crop Scicence，2008，48(1): 364-370.

[14] 鲁如坤．土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社，2000.
LU Rukun. Analytical methods of soil and agricultural chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press，2000.

[15] 王学奎，章文华，郝再彬，厉秀茹，张玉琼，王双明．植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社，2006.
WANG Xuekui，ZHANG Wenhua，HAO Zaibin，LI Xiuru，ZHANG Yuqiong，WANG Shuangming. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiments[M]. Beijing: Higher Education Press，2006.

[16] 聂继云，李静，杨振锋，张红军，李明强．冷冻法测定梨的石细胞含量[J]. 果树学报，2006，23(1): 133-135.
NIE Jiyun，LI Jing，YANG Zhenfeng，ZHANG Hongjun，LI Mingqiang. Study on the conditions for measuringstone cell content in pear flesh by freezing method [J]. Journal of Fruit Science，2006，23(1): 133-135.

[17] ABDEL-MAWGOUDA M R，TANTAWAY A S，HAFEZ M M，HABIB H A. Seaweed extract improves growth，yield and quality of different watermelon hybrids [J]. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences，2010，6(2): 161-168.

[18] 章伟．渭北旱塬苹果及葡萄水肥一体化技术研究[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2016.
ZHANG wei. Application of fertigation apple and grape orchard in Weibei arid plateau [D]. Yangling: Northwest A&F University，2016.

[19] SABIR A，YAZAR K，SABIR F，KARA Z，YAZICI M A，GOKSU N. Vine growth，yield，berry quality attributes and leaf nutrient content of grapevines as influenced by seaweed extract (Ascophyllum nodosum) and nanosize fertilizer pulverizations [J]. Scientia Horticulturae，2014，175:1-8.

[20] 丁宁．海藻肥对石榴品质及生长情况的影响研究[J]. 中国园艺文摘，2018，34(5):15-16.
DING Ning. The research of seaweed fertilizer affecting on the quality and growth of pomegranate[J]. Chinse Horticulture Abstracts，2018，34(5): 15-16.

[21] CHEN S K，EDWARDS C A，SUBLER S. The influence of two agricultural biostimulants on nitrogen transformations，microbial activity，and plant growth in soil microcosms[J]. Soil Biology and Biochemistry，2003，35(1): 9-19.

[22] LATTNER D，FLEMMING H C，MAYER C. 13C-NMR study of the interaction of bacterial alginate with bivalent cations[J]. International Journal of Biological Macromolecules，2003，33(1-3): 81-88.

[23] 周勇明，商照聪，宝德俊，袁亮．海藻酸尿素对夏玉米产量和氮肥利用率的影响[J]. 中国土壤与肥料，2014(3):23-26.
ZHOU Yongming，SHANG Zhaocong，BAO Dejun，YUAN Liang. Effect of applying alginic acid urea on summer maize yield and N use efficiency [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China，2014(3): 23-26.

[24] 张运红，姚健，和爱玲，杜君，郑春风，张洁梅．尿素硝酸铵溶液减量增效施用对小麦产量和氮素吸收利用的影响[J]. 河南农业科学，2017，46(11)：6-12.
ZHANG Yunhong，YAO Jian，HE Ailing，DU Jun，ZHENG Chunfeng，ZHANG Jiemei. Effects of the reducing and efficiency-increasing application of urea ammonium nitrate solution on the yield and nitrogen uptake and utilization of wheat [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences，2017，46(11): 6-12.

[25] 李志坚，林治安，赵秉强，袁亮，李燕婷，温延臣．增效磷肥对冬小麦产量和磷素利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2013，19(6):1329-1336.
LI Zhijian，LIN Zhian，ZHAO Bingqiang，YUAN Liang，LI Yanting，WEN Yanchen. Effects of value-added phosphate fertilizers on yield and phosphorus utilization of winter wheat [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer，2013，19(6): 1329-1336.