



徐浩,王朝阳,徐阳春,等. 基于优化施肥下养分投入与梨产量品质的整合分析及施肥建议[J]. 南京农业大学学报,2024,47(4):680-688.
XU Hao,WANG Chaoyang,XU Yangchun,et al. Meta analysis and fertilization recommendations of nutrient inputs and pear yield and quality under optimal fertilization[J]. Journal of Nanjing Agricultural University,2024,47(4):680-688.

基于优化施肥下养分投入与梨产量品质的整合分析及施肥建议

徐浩,王朝阳,徐阳春,董彩霞*

(南京农业大学资源与环境科学学院/江苏省固体有机废弃物资源化高技术研究重点实验室/江苏省有机固体废弃物协同创新中心/教育部资源节约型肥料工程技术研究中心,江苏 南京 210095)

摘要:[目的]本文旨在明确我国梨主产区农户常规养分投入和产量现状,研究不同氮(N)、磷(P_2O_5)和钾(K_2O)优化施肥措施对梨产量和品质的影响,为通过养分优化管理协同提高我国梨产量和品质提供科学依据。[方法]搜集了1992—2022年公开发表的关于优化施肥对梨产量及品质影响的期刊文献112篇。通过对提取的数据进行整合分析,研究常规施肥和优化施肥下梨产量及N、 P_2O_5 和 K_2O 施用量间的关系,并基于产量效应对我国各梨主产区提出针对性施肥建议。[结果]从全国范围看,我国梨平均产量为 $31\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,N、 P_2O_5 和 K_2O 平均施用量分别为453、235和 $320\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,全国范围内普遍存在N、 P_2O_5 和 K_2O 肥养分投入量偏高及各主产区间差距大的现象。与常规施肥相比,优化N、 P_2O_5 和 K_2O 施肥分别提高果实可溶性糖含量5.5%~7.3%、果形指数1.5%~1.6%、维生素C含量3.0%~3.4%,降低总酸含量3.6%~7.3%和果皮硬度1.4%~2.2%。同时,一定程度上减施N、 P_2O_5 和 K_2O 有助于梨的增产提质,以此为依据可针对各主产区提出N、 P_2O_5 和 K_2O 适宜的施用区间:西部产区最佳投入量分别为 $292.9\sim 390.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $113.1\sim 169.6\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $71.0\sim 106.4\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;长江流域产区最佳投入量分别为 $289.0\sim 385.3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $221.7\sim 277.1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $158.7\sim 238.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;环渤海产区最佳投入量分别为 $228.1\sim 342.2\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $113.9\sim 170.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $261.6\sim 348.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;黄河故道产区最佳投入量分别为 $258.7\sim 388.1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $164.1\sim 218.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $330.1\sim 440.1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。[结论]优化施肥能够协同提高我国梨树产量和果实品质,以此为基础提出的针对性施肥建议有助于实现我国梨主产区的高效绿色可持续发展。

关键词:梨;优化施肥;产量;品质;整合分析

中图分类号:S661.2

文献标志码:A

文章编号:1000-2030(2024)04-0680-09

Meta analysis and fertilization recommendations of nutrient inputs and pear yield and quality under optimal fertilization

XU Hao,WANG Chaoyang,XU Yangchun,DONG Caixia*

(College of Resources and Environmental Sciences/Jiangsu Key Laboratory of Solid Organic Waste Recycling Research/Jiangsu Collaborative Innovation Center of Organic Solid Waste/Engineering and Technology Research Center of Resource-Saving Fertilizer,Ministry of Education,Nanjing Agricultural University,Nanjing 210095,China)

Abstract:[Objectives] In order to provide a scientific basis for improving yield and quality of pear through nutrient optimization management in China,the current situation of farmers' conventional fertilization management and yield in pear producing area was clarified,and the effects of different nitrogen(N),phosphorus(P_2O_5)and potassium(K_2O) fertilization measures on the yield and quality were studied.[Methods] The data of 112 journal articles published from 1992 to 2022 on the effect of optimal fertilization on pear yield and quality were integrated and analyzed to study the relationship between pear yield and N, P_2O_5 and K_2O application rates under conventional and optimal fertilization,and targeted fertilization suggestions were put forward for the main pear producing areas based on the yield effects.[Results] From a national perspective,the average yield of pear was $31\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ and the average amounts of N, P_2O_5 and K_2O application rates were 453,235 and $320\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ under conventional fertilization,while the nutrient inputs were relatively high and there were large differences between the main production areas. Compared with conventional fertilization,optimizing N, P_2O_5 and K_2O fertilization increased fruit soluble sugar content by 5.5%~7.3%,fruit shape index by 1.5%~1.6%,and vitamin C content by 3.0%~3.4%,and decreased total acid by 3.6%~7.3% and peel firmness by 1.4%~2.2%. Meanwhile,reducing N, P_2O_5 and K_2O to a certain extent was helpful to increase the yield and quality of pears. Based on this,the appropriate application intervals of N, P_2O_5 and K_2O could be proposed for each main production area;the optimal input in the

收稿日期:2023-06-20

基金项目:国家重点研发计划项目(2023YFD1702200);国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-28)

*通信作者:董彩霞,博士,教授,主要从事果树(梨)营养与施肥、矿质营养生理与分子方面的科研工作,E-mail:cxdong@njau.edu.cn。

western producing area were 292.9–390.5 kg·hm⁻², 113.1–169.6 kg·hm⁻² and 71.0–106.4 kg·hm⁻², respectively; the optimal inputs in the Yangtze River Basin producing area were 289.0–385.3 kg·hm⁻², 221.7–277.1 kg·hm⁻² and 158.7–238.0 kg·hm⁻², respectively; the best inputs in the Circum-Bohai Sea producing area were 228.1–342.2 kg·hm⁻², 113.9–170.8 kg·hm⁻² and 261.6–348.8 kg·hm⁻², respectively; the best inputs of the old Yellow River producing area were 258.7–388.1 kg·hm⁻², 164.1–218.8 kg·hm⁻², and 330.1–440.1 kg·hm⁻², respectively. [Conclusions] Optimized fertilization could synergistically improve the yield and fruit quality of pear, and the targeted fertilization recommendations based on this will also help to achieve efficient, green and sustainable development of the main pear producing areas in China.

Keywords: pear; optimizing fertilization; yield; quality; meta analysis

梨(*Pyrus*)是我国继柑橘和苹果之后的第三大水果。根据2023年联合国粮农组织(FAO)的统计数据,截至2021年底,我国梨种植面积约99万hm²,总产量约1924万t,均居世界首位^[1]。我国是梨的重要原产地,种质资源丰富,分布区域广,已形成东北、华北、西北、西南、黄河故道、长江流域、环渤海湾和新疆8个特色鲜明的优势产区^[2-3]。生产中为了追求更高的经济效益,大量使用肥料成为农户的首要选择。然而,化肥配比不合理、区域施肥水平差异大、养分管理水平低是影响我国梨产业可持续发展的突出问题^[4-6]。谢凯等^[7]对环渤海产区调查后发现:主要梨园氮素(N)的总投入水平接近1000 kg·hm⁻²,远远高于国外施氮量(150 kg·hm⁻²);磷、钾肥(P₂O₅和K₂O)投入量为400~500 kg·hm⁻²,土壤有效磷钾富集现象明显。陈启亮等^[8]对湖北省利川市梨园肥料投入调查发现,化肥N、P₂O₅和K₂O平均投入量为640.2、313.2和338.7 kg·hm⁻²,接近总N、P₂O₅和K₂O养分投入量的90%。过量投入氮磷肥不仅给土壤带来较高的氮、磷负荷,加剧土壤酸化,还导致种植区的次生环境风险严重,如水体富营养化、碳排放增加等^[9-12]。许晨阳等^[13]利用养分专家系统对梨园进行连续3年优化施肥后发现在常规施肥基础上减施36.0% N、28.8% P₂O₅和57.9% K₂O可显著提升梨果产量、品质、肥料利用率及经济效益。因此,根据梨的生长发育特性和养分需求规律,因地制宜优化养分管理提高产量和品质,减少养分损失,是梨产业绿色发展和环境保护并举的重要途径。以往针对梨树优化施肥的总结往往是根据1个或者几个田间试验,缺乏全国范围及多尺度的梨树施肥指导。本研究在全国梨优势产区划分的基础上,基于1992—2022年文献中优化施肥对梨树影响的研究数据,以当地常规施肥作为对照,运用Meta-analysis方法定量分析不同氮、磷、钾优化方式对梨产量和果实品质的影响,阐明不同优化方式对梨产量和品质的综合效应,为我国梨产业的绿色可持续发展提供科学的施肥依据。

1 材料与方法

1.1 梨优化施肥效应的数据库构建

使用Web of Science数据库以及中国知网(CNKI)进行相关文献的检索与搜集,在文章标题、摘要和关键词中,基于“梨(pear)”“优化施肥(optimize fertilization)”“施肥(fertilization)”“无机肥(inorganic fertilizer)”“氮(nitrogen)”“磷(phosphorus)”“钾(potassium)”“中微肥(medium and micro fertilizer)”“有机肥(organic fertilizer)”“粪肥(manure)”“堆肥(compost)”“稻草(straw)”“废弃物(waste)”“农家肥(farmyard manure, FYM)”和“FYM”等搜集了从1992至2022年公开发表的关于优化施肥对梨产量及品质影响的期刊文献。文献筛选标准要求:1)文献试验地点为中国;2)田间试验,排除室内和盆栽试验;3)文献中具有试验的重复数或者相关指标的平均值及标准偏差;4)文献中明确标明试验组和对照组的肥料用量、类型和施用方式;5)数据至少含有梨的产量和品质(可溶性固形物、总糖、总酸、维生素C、硬度和果形指数)相关指标中的一项。基于以上标准,共筛选出102篇中文和10篇英文,共112篇文献,涵盖我国梨各主产区。在对文献进行数据搜集和统计的过程中,如果文献中存在不同地点、不同品种、不同年份的试验数据,则将每个地点、品种、年份中所包含的数据各作为1组数据;如果数据不是以数字形式而是以图片形式展示,则采用软件GetData Graph Digitizer 2.2将图形数值化后再提取。为比较不同产区下不同优化施肥措施对梨产量和品质的影响,根据全国梨优势产区将112篇文献中所涉及的梨产区分为西部产区(新疆)、长江流域产区(福建、贵州、湖南、湖北、上海、云南、浙江、江西和四川)、环渤海产区(北京、河北、吉林、辽宁和山东)以及黄河故道产区(甘肃、陕西、山西、河南、安徽和江苏)。同时,将N、P₂O₅和K₂O优化的研究进一步细分为减施(≤25%、>25%~50%、>50%)和增施(≤25%、>25%~50%、>50%)2大类进行整理并计算。

1.2 数据统计

基于筛选的 112 篇文献的数据,统计肥料的施用量并按照其施用氮、磷、钾肥所含的 N、P₂O₅ 和 K₂O 的量进行折算;统计产量并按照 kg·hm⁻² 进行折算;统计品质指标(可溶性固形物、总糖、总酸、维生素 C、硬度和果形指数),且每个指标按照统一后的单位进行后续分析。

1.3 数据分析及方法

将 112 篇文献中提取的数据进行分类,并将产量和品质指标的处理组(X_1)与对照组(X_c)的平均值代入公式进行计算,得到梨优化施肥相关指标的效应值(L): $L = \ln R = \ln(X_1/X_c)$ 。式中: $\ln R$ 代表响应比(R)的自然对数,即效应值(L)的大小。

由于多于 50% 的文献没有列出标准偏差,而基于方差的加权函数可能会产生极端权重,因此采用重复数的权重(w)^[14]。其公式: $w = (N_c \times N_1) / (N_c + N_1)$,式中, N_c 和 N_1 代表各品质指标的对照组和试验组的样本重复数。一部分文献既没有标准偏差也没有试验的样本平均数,但在中国的田间试验中大多数采用 3~4 个重复,因此对于没给出样本平均数的试验,均以 4 次重复数计算权重。

将计算得到的效应值(L)和对应的权重(w)输入 MetaWin 2.1 软件中,利用软件的重取样(resampling tests)和靴襻法(bootstrap CI)进行 4 999 次迭代^[15],以确定其平均效应值和 95% 置信区间(CI)。

为了更加直观地反映优化施肥措施对梨产量和品质指标的影响,将效应值(L)以变化率(Z)的形式^[16]表示: $Z = (R-1) \times 100\%$ 。若 Z 的 95% 置信区间(CI)包含 0,则说明优化施肥对梨品质影响效果不显著;若 Z 的 95% 置信区间(CI)大于 0,则说明优化施肥导致梨产量和品质相关指标的增加;若 Z 的 95% 置信区间(CI)小于 0,则说明优化施肥导致梨产量和品质相关指标的下降。

1.4 数据处理

采用 Excel 2020 整理统计数据,采用 SPSS 26 和 MetaWin 2.1 软件进行分析计算,应用 GraphPad Prism 8 绘制图表。

2 结果与分析

2.1 各产区梨产量分布

对 1992—2022 年间收集的田间试验数据进行统计(图 1-a),发现位于西部产区、长江流域产区、环渤海产区和黄河故道产区的试验点数分别为 31、15、26 和 36。对梨产量数据(图 1-b)进行分析,发现梨的产量跨度为 10.2~119.9 t·hm⁻²,符合正态分布($P < 0.05$)。其中,约 80% 的梨产量数据集中分布于 10~40 t·hm⁻²。

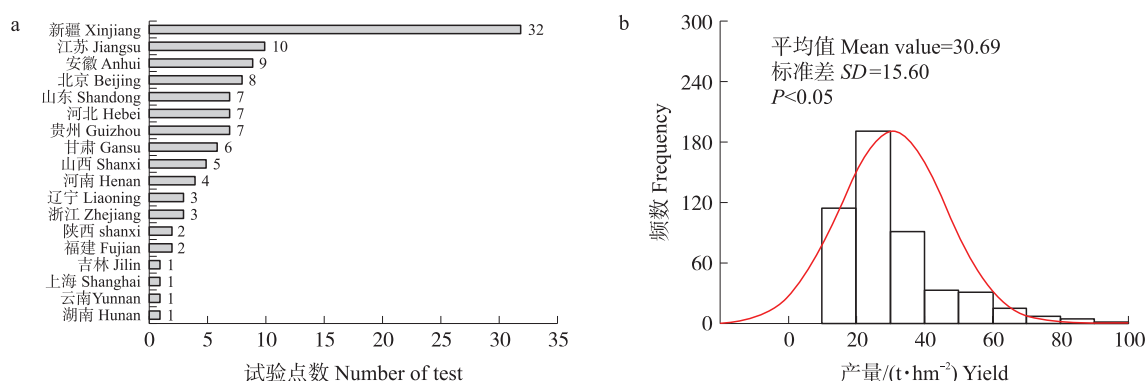


图 1 各地区试验点数(a)与梨产量频率分布图(b)

Fig. 1 Number of tests(a) and frequency distribution of pear yield (b)

2.2 梨产区产量和化肥施用现状

如图 2 所示,我国梨平均产量为 31 t·hm⁻²,除黄河故道产区的平均产量水平(40 t·hm⁻²)高于全国平均水平外,西部产区、长江流域产区和环渤海产区平均产量均低于全国平均产量水平,分别为 24、27 和 29 t·hm⁻²。从全国范围看,我国梨园 N、P₂O₅ 和 K₂O 养分平均投入量分别为 453、235 和 320 kg·hm⁻²,不同产区投入量存在较大差异。其中,黄河故道产区 N 和 K₂O 养分的平均投入量最高,分别为 517 和 440 kg·hm⁻²;西部产区、长江流域产区 N 平均投入量为 385~390 kg·hm⁻²,西部产区 K₂O 投入量最低,约 142

kg·hm⁻²;环渤海产区的 N、P₂O₅ 和 K₂O 养分平均投入量分别为 456、227 和 349 kg·hm⁻²。

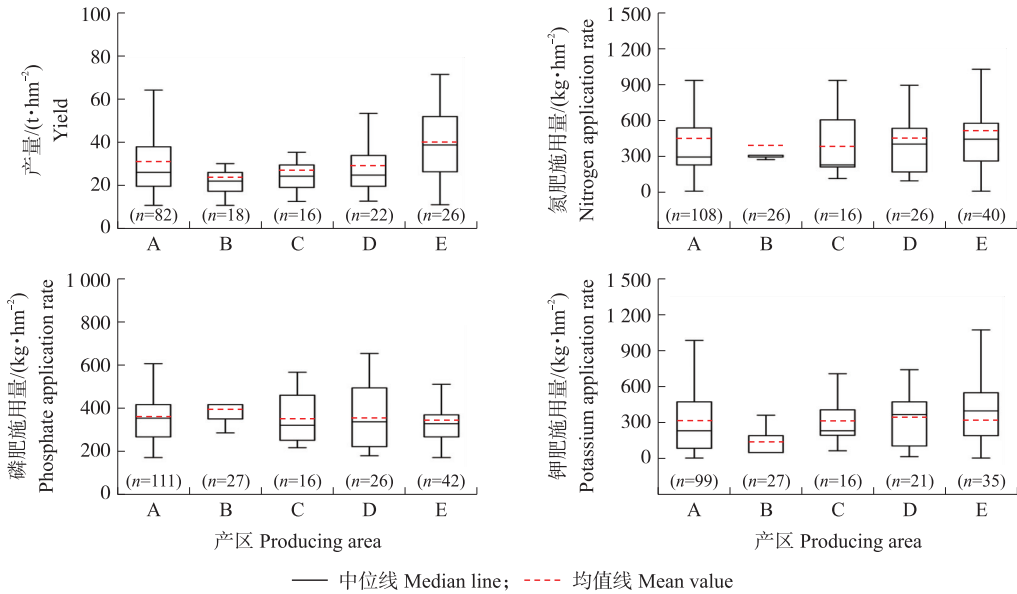


图 2 常规施肥下各主产区的梨产量水平及 N、P₂O₅ 和 K₂O 养分投入量

Fig. 2 Yield and nitrogen, phosphorus and potassium application rates of pear in different producing areas under conventional fertilization

A. 全部产区 All producing areas; B. 西部产区 The western producing area; C. 长江流域产区 The Yangtze River Basin producing area; D. 环渤海产区 The Circum-Bohai Sea producing area; E. 黄河故道产区 The old Yellow River producing area. n 为样本量 n represents the sample size.

2.2.1 优化施肥对梨产量、单果重和硬度的影响 由图 3 可知,优化氮、磷、钾施肥显著提高我国梨产量及单果重,分别提高了 2.8%~3.3%和 3.2%~3.6%,硬度降低 1.4%~2.2%。将数据进一步细分为减施 N、P₂O₅ 和 K₂O (≤25%、>25%~50%、>50%) 和增施 N、P₂O₅ 和 K₂O (≤25%、>25%~50%、>50%) 2 大类。从图 4 可见:当减施 N≤25%和增施 N>50%时,梨的产量和单果重均显著提高,硬度显著降低;除减施 P₂O₅>50%外,其余 P₂O₅ 优化处理均显著提高梨的产量和单果重,而硬度则在减施 P₂O₅≤25%、增施 >25%~50%以及增施>50%这 3 个优化 P₂O₅ 施肥区间显著降低;梨的产量和单果重随 K₂O 肥减施比例的增加而降低,随增施比例的增加而上升,且在>50%时达显著水平,其中单果重在减施 K₂O≤25%时显著提高。另外,减施 K₂O≤25%显著降低梨的硬度。

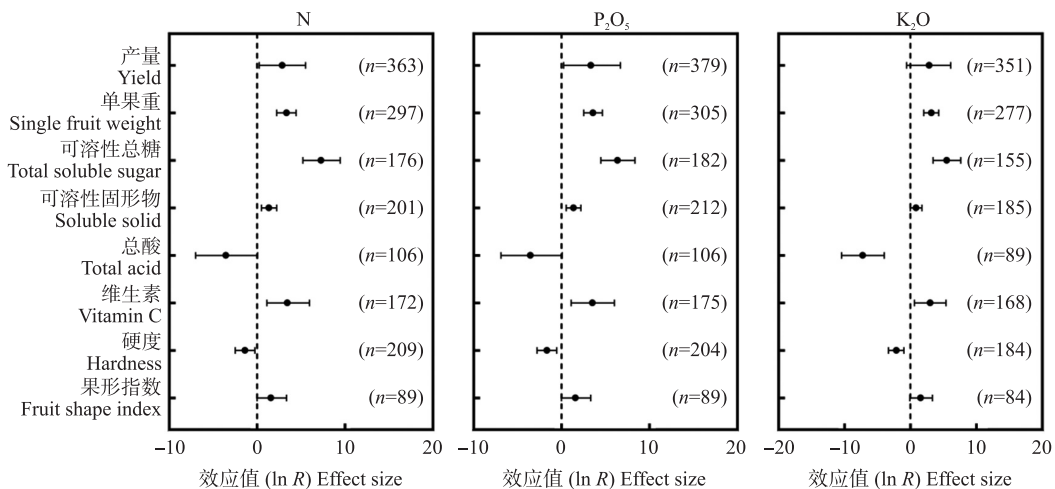


图 3 优化施肥对梨产量和品质的影响

Fig. 3 Effects of optimal fertilization on fruit yield and quality in pears

2.2.2 优化施肥对梨可溶性总糖、可溶性固形物和总酸含量的影响 优化施肥处理梨果实可溶性糖含量显著提高 5.5%~7.3%。其中,当减施 N、P₂O₅ 和 K₂O 比例<50%时,梨的可溶性糖含量随减施比例增加而提高,当减施比例>50%时可溶性总糖含量降低。同时,增施 N、P₂O₅ 和 K₂O 肥均提高了可溶性糖含量;

优化施肥处理可溶性固形物含量提高 0.8%~1.4%。其中,减施 N \leq 25%、减施 P₂O₅>25%~50%、增施 P₂O₅>50%和增施 K₂O \leq 25%均使梨的可溶性固形物含量增加,而减施 N>50%使之显著下降;在优化施肥处理下总酸含量降低 3.6%~7.3%,其中,除减施 K₂O \leq 25%显著降低总酸含量外,减施 N、P₂O₅和 K₂O 肥对梨的总酸含量影响不大,而增施 P₂O₅、增施 N 和 K₂O>50%均使总酸含量降低(图 5)。

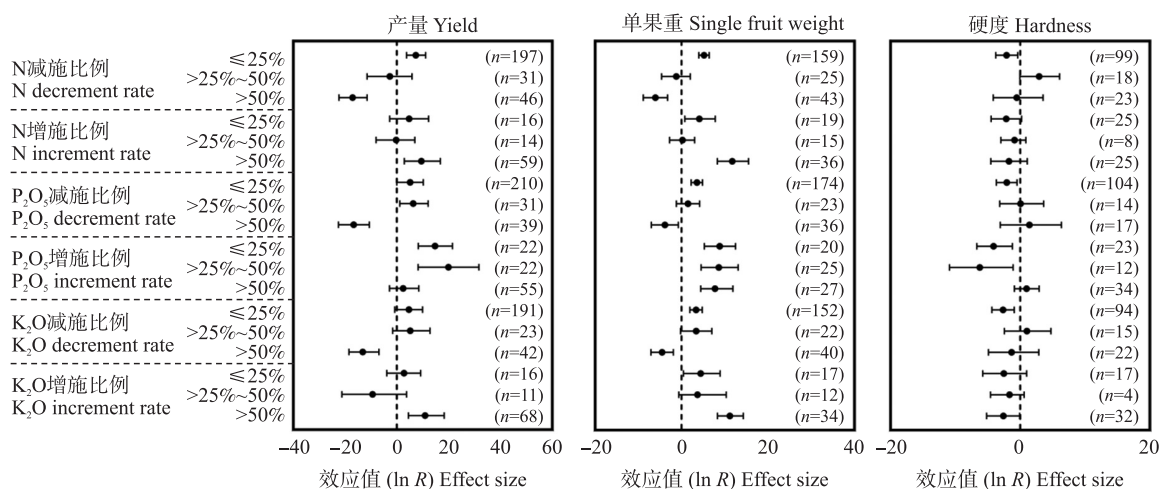


图4 优化施肥对梨产量、单果重和硬度的影响

Fig. 4 Effects of optimal fertilization on fruit yield, single fruit weight and hardness in pears

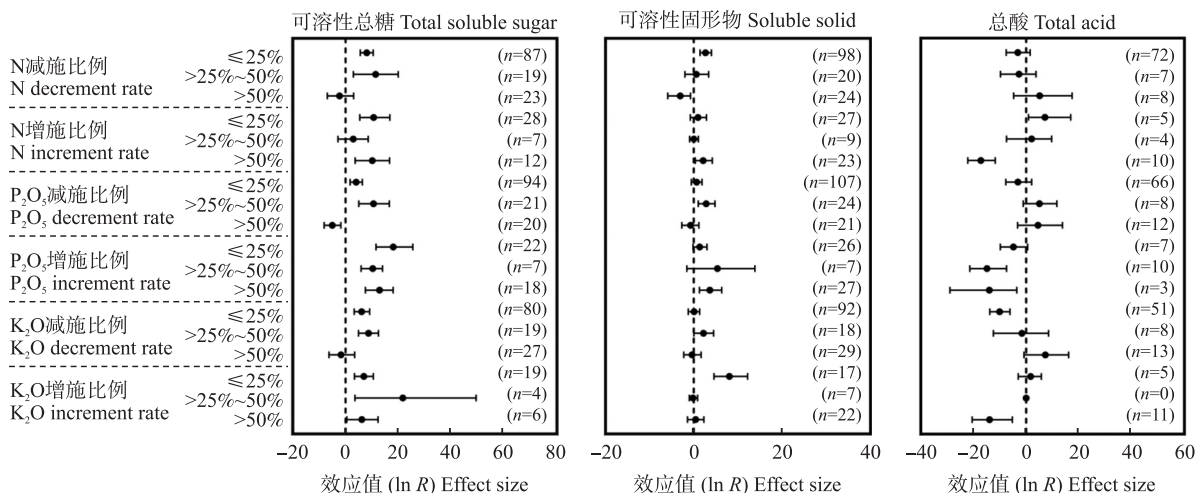


图5 优化施肥对梨可溶性糖、可溶性固形物和总酸的影响

Fig. 5 Effects of optimal fertilization on total soluble sugar, soluble solid and total acid in pears

2.2.3 优化施肥对梨维生素 C 和果形指数的影响 如图 6 所示,优化施肥处理提高了梨维生素 C 含量和果形指数,分别提高了 3.0%~3.5%和 1.6%。除减施 N、P₂O₅和 K₂O \leq 25%及增施 P₂O₅>25%显著提高了梨维生素 C 含量,其余氮、磷、钾肥优化处理均对维生素 C 含量影响不大。减施 N、P₂O₅和 K₂O \leq 25%均提高了梨果形指数,而增施 \leq 25%并未对果形指数产生影响。且无论是增施还是减施,果形指数在施肥比例 0%~50%均表现出降低的趋势。当减施>50%时,果形指数虽然显著增加,但低于减施 \leq 25%。另外,增施 N、K₂O>50%和增施 P₂O₅>25%~50%显著降低梨果形指数。

2.3 优化施肥对不同产区梨产量的影响

如图 7 所示:对于西部产区,N 肥减施 \leq 25%、P₂O₅ 肥增施 \leq 25%和>25%~50%以及 K₂O 肥增施>50%均显著提高梨产量;减施 N 肥>25%、减施 P₂O₅、K₂O 肥>50%以及增施 K₂O 肥>25%~50%均显著降低梨产量;其他优化施肥处理下的产量水平变化不大。对于长江流域产区,增施 N、P₂O₅ 肥 \leq 25%和增施 K₂O 肥>25%~50%显著提高梨产量;减施 N、P₂O₅ 和 K₂O 肥>50%显著降低梨产量。对于环渤海产区,减施 N、P₂O₅ 和 K₂O 肥 \leq 50%、增施 N、K₂O 肥>25%~50%显著提高梨产量;减施 P₂O₅ 肥>50%显著降低梨产量。对于黄河故道产区,减施 N、P₂O₅ 和 K₂O 肥 \leq 50%以及增施 N、P₂O₅ 和 K₂O 肥>50%均显著提高梨产量,其他优化施肥处理下的梨产量变化不大。

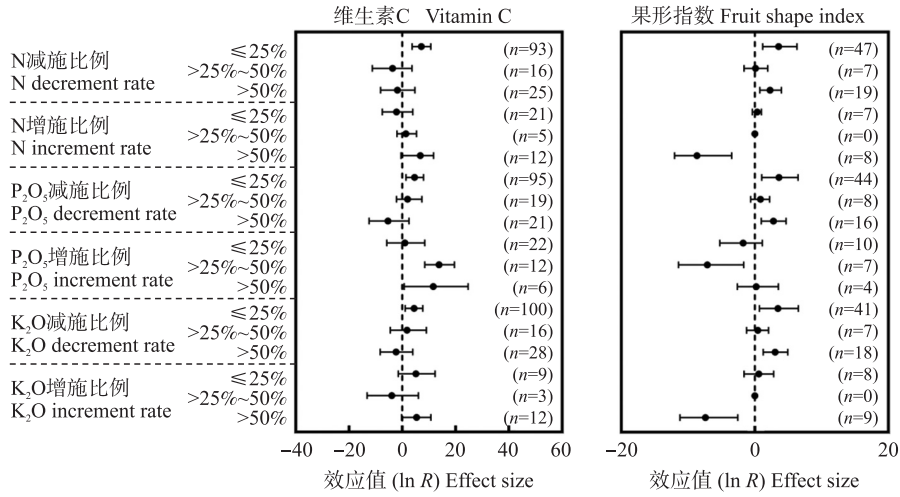


图 6 优化施肥对梨维生素 C 和果形指数的影响

Fig. 6 Effects of optimal fertilization on vitamin C and fruit shape index in pears

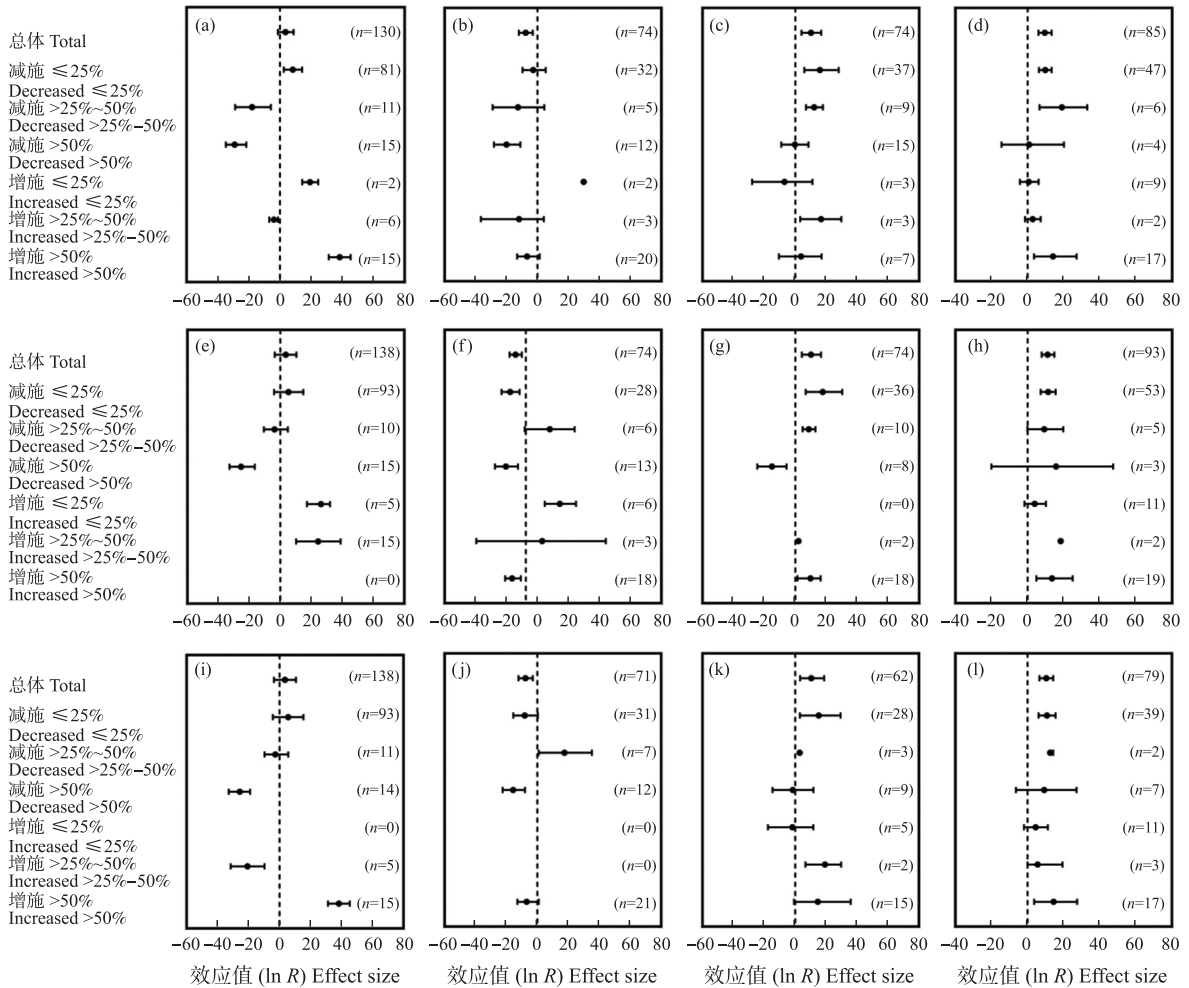


图 7 不同产区优化施肥对梨产量的影响

Fig. 7 Effect of optimal fertilization on pear yield in different producing areas

a,e,i 代表优化 N、P₂O₅ 和 K₂O 肥对西部产区的影响;b,f,j 代表优化 N、P₂O₅ 和 K₂O 肥对从长江流域产区的影响;c,g,k 代表优化 N、P₂O₅ 和 K₂O 肥对环渤海产区的影响;d,h,l 代表优化 N、P₂O₅ 和 K₂O 肥对黄河故道产区的影响。

a, e and i represent the effects of optimized N, P₂O₅ and K₂O fertilizers in the western production area. b, f, j represent the effects of optimizing N, P₂O₅ and K₂O fertilizers in the Yangtze River Basin; c, g, k represent the effects of optimizing N, P₂O₅ and K₂O fertilizers in the Circum-Bohai Sea production area; d, h, l represent the effects of optimized N, P₂O₅, and K₂O fertilizers in the old Yellow River.

2.4 基于常规和优化施肥下产量变化提出的施肥策略

基于优化氮、磷、钾肥提高梨产量及增加经济效益和减少环境污染的原则,对各产区提出施肥策略以提高梨产业的绿色可持续发展。从表1可知:西部产区的N、P₂O₅和K₂O肥料施用量分别以292.9~390.5 kg·hm⁻²、113.1~169.6 kg·hm⁻²和71.0~106.4 kg·hm⁻²为佳;长江流域产区的N、P₂O₅和K₂O肥料施用量分别以289.0~385.3 kg·hm⁻²、110.9~166.3 kg·hm⁻²和158.7~238.0 kg·hm⁻²为佳;环渤海产区的N、P₂O₅和K₂O肥料施用量分别以228.1~342.2 kg·hm⁻²、113.9~170.8 kg·hm⁻²和261.6~348.8 kg·hm⁻²为佳;黄河故道产区的N、P₂O₅和K₂O肥料施用量分别以258.7~388.1 kg·hm⁻²、164.1~218.8 kg·hm⁻²和330.1~440.1 kg·hm⁻²为佳。

表1 基于产量和效应值推荐的施肥策略

Table 1 Recommended fertilization strategies based on yield and effect size

产区 Producing area	常规产量/ (t·hm ⁻²) Conventional yield	施肥策略 Fertilization strategy	推荐氮、磷、钾施用量/ (kg·hm ⁻²) Recommended N, P ₂ O ₅ and K ₂ O application	每吨果实推荐氮、磷、钾施用量/kg Recommended N, P ₂ O ₅ and K ₂ O application
西部产区 Western producing area	23.7	N:减施≤25% Reduced by ≤25% P ₂ O ₅ :减施>25%~50% Reduced by >25%~50% K ₂ O:减施>25%~50% Reduced by >25%~50%	N:292.9~390.5 P ₂ O ₅ :113.1~169.6 K ₂ O:71.0~106.4	N:12.4~16.5 P ₂ O ₅ :4.8~7.2 K ₂ O:3.0~4.5
长江流域产区 Yangtze River Basin producing area	27.2	N:减施≤25% Reduced by ≤25% P ₂ O ₅ :减施>25%~50% Increased by >25%~50% K ₂ O:减施>25%~50% Reduced by >25%~50%	N:289.0~385.3 P ₂ O ₅ :110.9~166.3 K ₂ O:158.7~238.0	N:10.6~14.2 P ₂ O ₅ :4.1~6.1 K ₂ O:5.8~8.8
环渤海产区 Circum-Bohai Sea producing area	29.1	N:减施>25%~50% Reduced by >25%~50% P ₂ O ₅ :减施>25%~50% Reduced by >25%~50% K ₂ O:减施≤25% Reduced by ≤25%	N:228.1~342.2 P ₂ O ₅ :113.9~170.8 K ₂ O:261.6~348.8	N:7.8~11.8 P ₂ O ₅ :3.9~5.9 K ₂ O:9.0~12.0
黄河故道产区 Old Yellow River producing area	40.1	N:减施>25%~50% Reduced by >25%~50% P ₂ O ₅ :减施≤25% Reduced by ≤25% K ₂ O:减施≤25% Reduced by ≤25%	N:258.7~388.1 P ₂ O ₅ :164.1~218.8 K ₂ O:330.1~440.1	N:6.5~9.7 P ₂ O ₅ :4.1~5.5 K ₂ O:8.2~11.0

3 讨论

本课题组前期对国家梨产业技术体系18个梨综合试验站的744个主要梨园的施肥状况分析后发现,我国梨园的化肥施用存在严重的盲目施肥和经验施肥现象,并提出我国梨产区化肥的优化施用潜力巨大^[11]。本文结果表明,从全国范围看,常规投入N、P₂O₅和K₂O肥分别为453、235和320 kg·hm⁻²(比例为1:0.52:0.71),远高于张虹^[17]基于专家施肥系统对重庆主要梨园推荐的平均用量(293、151和270 kg·hm⁻²),说明我国梨生产整体上N、P、K养分施用量变幅较大,且过量施肥现象突出。这是由区域品种分布特性、土壤类型差异、土地利用方式改变、市场效益反馈调节施肥行为等综合因素所共同决定的^[18]。因此,根据不同产区和产量水平因地制宜进行优化施肥(化肥减施)尤为重要。

本文根据产量效应针对每个梨产区提出相应的优化氮、磷、钾施肥策略。在平均产量为24 t·hm⁻²的西部产区(新疆),推荐N、P₂O₅和K₂O肥的平均用量分别为292.9~390.5 kg·hm⁻²、113.1~169.6 kg·hm⁻²和71.0~106.4 kg·hm⁻²,换算为每吨果实需要投入N、P₂O₅和K₂O肥分别为12.4~16.5 kg、4.8~7.2 kg和3.0~4.5 kg。柴仲平等^[19]提出在新疆库尔勒香梨20 t·hm⁻²产量下的推荐施肥量为每吨果实投入N、P₂O₅和K₂O分别为15.0 kg、15.0~18.8 kg和3.4~3.8 kg。本文N和K₂O肥推荐量与其一致,而P₂O₅肥的推荐量降低,这更接近梨的氮、磷、钾养分需求规律,也可有效避免过量投入磷肥。环渤海产区(北京、河北、吉林、辽宁和山东)的平均产量为29 t·hm⁻²,推荐每吨果实需要投入N、P₂O₅和K₂O肥分别为7.8~11.8 kg、3.9~5.9 kg和9.0~12.0 kg,与许晨阳等^[13]在河北省梨主产区每吨果实推荐投入氮、磷、钾量(12.8、4.2、7.0 kg)相近。黄河故道产区(甘肃、陕西、山西、河南、安徽和江苏)的平均产量为40 t·hm⁻²,推荐每吨果实需要投入N、P₂O₅和K₂O分别为6.5~9.7 kg、4.1~5.5 kg和8.2~11.0 kg,与吴寅卯等^[20]对砀山酥梨的研究中推荐用量相近。本研究中,在平均产量为27 t·hm⁻²的长江流域产区(福建、贵州、湖南、湖北、上海、云南、浙江、江西和四川),推荐每吨果实需要投入N、P₂O₅和K₂O肥分别为10.6~14.2 kg、4.1~6.1 kg和5.8~8.8 kg,而黄若展^[21]对24 t·hm⁻²产量下福建早熟梨园的每吨果实推荐投入N、P₂O₅和K₂O量分别为

11.3、5.6 和 11.3 kg,其 K_2O 推荐量较高的原因可能与福建地区雨热共存导致土壤发生强烈的淋溶作用有关^[22]。4 个产区推荐施肥存在较大差异,其中西部产区较其他产区的推荐 N 肥施用量较高,而推荐 K_2O 肥施用量较低,这可能是由于推荐施肥量是在各产区常规施肥量的基础上基于产量和效应值计算得到的,且符合各产区的肥料优化管理策略。

优化 N、 P_2O_5 和 K_2O 施肥量能显著提高我国整体水平上的梨产量,其中西部产区、环渤海产区和黄河故道产区在优化施肥下分别增产 9.5%、2.4% 和 8.8%,其增产的原因可能是改善了产量构成因素,特别是单果重,分别提高了 3.4%、3.6% 和 3.2%。在提高产量的同时对品质的提升效果也是本文关注的重点。整体而言,优化 N、 P_2O_5 和 K_2O 施肥量显著提升了梨的果实品质。其中,优化 N、 P_2O_5 和 K_2O 肥处理梨的可溶性糖含量分别提高了 7.3%、6.4% 和 5.5%,总酸含量分别降低了 3.6%、3.6% 和 7.3%,维生素 C 含量分别提高了 3.4%、3.5% 和 3.0%。值得注意的是,本结果表明在一定程度上减施 N、 P_2O_5 和 K_2O 对梨产量和品质的增益要优于增施,虽然部分原因可能是由其他优化施肥措施及不同优化处理的叠加效益引起的,但我国梨产区存在明显的氮、磷、钾肥过量施用,适度减施有利于提高梨产量和品质^[7,23]。

“减肥”是现阶段我国梨各产区的肥料施用政策与研究的重点,也是协调土壤质量提升、产业持续发展和环境生态友好的必经之路。优化施肥不能只关注肥料的减施,还应针对当地土壤及树体营养、产量和往年肥料施用情况等进行整体分析,因地制宜有针对性制定方案^[19,24-26]。

参考文献 References:

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Data of crop production[EB/OL]. (2022-12-08) [2023-04-01]. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- [2] 张绍铃,钱铭,殷豪,等. 中国育成的梨品种(系)系谱分析[J]. 园艺学报,2018,45(12):2291-2307.
Zhang S L, Qian M, Yin H, et al. Pedigree analysis of pear varieties (lines) bred in China[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2018, 45(12): 2291-2307 (in Chinese with English abstract).
- [3] 张绍铃,谢智华. 我国梨产业发展现状、趋势、存在问题与对策建议[J]. 果树学报,2019,36(8):1067-1072.
Zhang S L, Xie Z H. Current status, trends, main problems and the suggestions on development of pear industry in China[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(8): 1067-1072 (in Chinese with English abstract).
- [4] 柴仲平,王雪梅,盛建东,等. 不同元素处理对库尔勒香梨果实品质的影响[J]. 中国农学通报,2013,29(28):179-182.
Chai Z P, Wang X M, Sheng J D, et al. Influence on fruit quality of Korla fragrant pear under different element deficiency[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(28): 179-182 (in Chinese with English abstract).
- [5] 纪迎琳,蔺世姣,王盼盼,等. 乙烯利、脱落酸和 1-MCP 对早酥和早金酥梨果实后熟的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2022,53(5):513-519.
Ji Y L, Lin S J, Wang P P, et al. Effects of ethephon, abscisic acid and 1-MCP on ripening of Zaosu and Zaojinsu pear fruits[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2022, 53(5): 513-519 (in Chinese with English abstract).
- [6] 董彩霞,谢昶琰,李红旭,等. 黄河流域主要梨园土壤养分丰缺状况[J]. 土壤,2021,53(1):88-96.
Dong C X, Xie C Y, Li H X, et al. Soil nutrient status in main pear orchards of Yellow River Basin area[J]. Soils, 2021, 53(1): 88-96 (in Chinese with English abstract).
- [7] 谢凯,李元军,乐文全,等. 环渤海湾地区主要梨园土壤养分状况及养分投入研究[J]. 土壤通报,2013,44(1):132-137.
Xie K, Li Y J, Le W Q, et al. A study on soil nutrient status and nutrients input in the main pear orchards around Bohai Bay region[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2013, 44(1): 132-137 (in Chinese with English abstract).
- [8] 陈启亮,杨晓平,范净,等. 利川市梨园养分投入及土壤养分状况分析[J]. 湖北农业科学,2021,60(21):69-72,93.
Chen Q L, Yang X P, Fan J, et al. Analysis of nutrient input and soil nutrient content in pear orchard of Lichuan city[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2021, 60(21): 69-72, 93 (in Chinese with English abstract).
- [9] 卢树昌,陈清,张福锁,等. 河北省果园氮素投入特点及其土壤氮素负荷分析[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(5):858-865.
Lu S C, Chen Q, Zhang F S, et al. Analysis of nitrogen input and soil nitrogen load in orchards of Hebei Province[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2008, 14(5): 858-865 (in Chinese with English abstract).
- [10] 卢树昌,陈清,张福锁,等. 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 S C, Chen Q, Zhang F S, et al. Characteristics of soil phosphorus input and phosphorus load risk in major orchards region of Hebei[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(10): 3149-3157 (in Chinese with English abstract).
- [11] 董彩霞,姜海波,赵静文,等. 我国主要梨园施肥现状分析[J]. 土壤,2012,44(5):754-761.
Dong C X, Jiang H B, Zhao J W, et al. Current fertilization in pear orchards in China[J]. Soils, 2012, 44(5): 754-761 (in Chinese with English abstract).
- [12] 王会,梁雪,胡国庆,等. 山东省梨树施肥现状、存在问题及对策[J]. 落叶果树,2021,53(3):32-35.
Wang H, Liang X, Hu G Q, et al. Current situation, problems and countermeasures of pear fertilization in Shandong Province[J]. Deciduous Fruits, 2021, 53(3): 32-35 (in Chinese with English abstract).

- [13] 许晨阳,蒲全明,邱玉玲,等. 养分专家系统推荐施肥提高梨果产量及品质[J]. 植物营养与肥料学报,2021,27(5):849-857.
Xu C Y, Pu Q M, Qiu Y L, et al. Fertilizer recommendation based on Nutrient Expert system to improves pear yield and quality[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2021, 27(5): 849-857 (in Chinese with English abstract).
- [14] Lam S K, Chen D L, Norton R, et al. Nitrogen dynamics in grain crop and legume pasture systems under elevated atmospheric carbon dioxide concentration: a meta-analysis[J]. Global Change Biology, 2012, 18(9): 2853-2859.
- [15] Adams D C, Gurevitch J, Rosenberg M S. Resampling tests for meta-analysis of ecological data[J]. Ecology, 1997, 78(4): 1277-1283.
- [16] Hedges L V, Gurevitch J, Curtis P S. The meta-analysis of response ratios in experimental ecology[J]. Ecology, 1999, 80(4): 1150-1156.
- [17] 张虹. 重庆永川梨树优化施肥及氮磷钾养分周年变化规律探究[D]. 重庆:西南大学,2018.
Zhang H. Studies on optimal fertilization and annual nitrogen, phosphorus and potassium cycle of pear trees in Yongchuan, Chongqing [D]. Chongqing: Southwest University, 2018 (in Chinese with English abstract).
- [18] 刘秀春. 南果梨养分吸收积累分配特征与施肥调控研究[D]. 北京:中国农业大学,2015.
Liu X C. Characteristics of nutrient uptake accumulation and distribution and related fertilization control in 'Nanguo' pear trees [D]. Beijing: China Agricultural University, 2015 (in Chinese with English abstract).
- [19] 柴仲平,王雪梅,陈波浪,等. 不同施肥处理对库尔勒香梨长势与产量的影响[J]. 水土保持研究,2013,20(3):172-175.
Chai Z P, Wang X M, Chen B L, et al. Impact of different fertilization treatments on growth and yield of Korla Fragrant pear[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(3): 172-175 (in Chinese with English abstract).
- [20] 吴寅卯,陈白凤. 酥梨测土配方施肥做法与建议[J]. 农业技术与装备,2015(5):61-62.
Wu Y M, Chen B F. Practice and suggestions of soil testing formula fertilization of Crisp Pear[J]. Agricultural Technology & Equipment, 2015(5): 61-62 (in Chinese with English abstract).
- [21] 黄若展. 福建德化梨园土壤养分与施肥试验[J]. 中国果树,2010(2):16-19.
Huang R Z. Experiment on soil nutrients and fertilization in Dehua pear orchard of Fujian Province [J]. China Fruits, 2010(2): 16-19 (in Chinese).
- [22] 韩天富,柳开楼,黄晶,等. 近30年中国主要农田土壤pH时空演变及其驱动因素[J]. 植物营养与肥料学报,2020,26(12):2137-2149.
Han T F, Liu K L, Huang J, et al. Spatio-temporal evolution of soil pH and its driving factors in the main Chinese farmland during past 30 years[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2020, 26(12): 2137-2149 (in Chinese with English abstract).
- [23] 路超,王金政. 山东省苹果园梨园土壤肥力状况及改良技术措施[J]. 落叶果树,2008,40(2):24-28.
Lu C, Wang J Z. Soil fertility status of apple orchard and pear orchard in Shandong Province and improvement measures[J]. Deciduous Fruits, 2008, 40(2): 24-28 (in Chinese).
- [24] 谢昶琰,王迪,安祥瑞,等. 滴灌减量施肥对梨树体养分及果实产量、品质的影响[J]. 江苏农业学报,2021,37(6):1526-1533.
Xie C Y, Wang D, An X R, et al. Effects of drip irrigation and reducing fertilization on tree nutrient, fruit yield and quality of pear[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2021, 37(6): 1526-1533 (in Chinese with English abstract).
- [25] 魏树伟,王少敏,董肖昌,等. 不同类型钾肥对'新梨7号'果实风味品质的影响[J]. 果树学报,2018,35(增刊1):101-108.
Wei S W, Wang S M, Dong X C, et al. Effect of different K fertilizers on fruit flavor quality of 'Xinli No. 7' pears[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(Suppl 1): 101-108 (in Chinese with English abstract).
- [26] 刘亚南,白美健,张宝忠,等. 黄金梨产量及水肥生产率对水氮耦合的响应[J]. 灌溉排水学报,2020,39(11):68-75.
Liu Y N, Bai M J, Zhang B Z, et al. Impact of different water-nitrogen couplings on yield and water-nitrogen productivity of Golden pear[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(11): 68-75 (in Chinese with English abstract).

责任编辑:刘怡辰