

兰州二阴地区磷肥施用量对紫叶莴笋 产量和品质的影响

薛 莲¹, 杨思存², 张 鹏¹, 王成宝², 高铁功¹, 闫宗芳³

(1. 兰州市农业科技研究推广中心, 甘肃 兰州 730030; 2. 甘肃省农业
科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070;
3. 兰州市农业广播学校, 甘肃 兰州 730030)

摘要: 在兰州二阴地区明确紫叶莴笋适宜的施磷量, 为紫叶莴笋的优质高效生产和土壤健康发展提供科学依据。试验共设4个施磷量处理, 低磷水平(144 kg/hm²)、中磷水平(180 kg/hm²)、高磷水平(216 kg/hm²)、对照(CK, 不施磷), 研究了紫叶莴笋产量和品质的影响。结果表明, 与不施磷处理相比, 不同施磷处理的紫叶莴笋株高提高5.34%~11.48%、茎粗提高18.07%~34.92%, 产量增加37.80%~52.44%, 茎部游离态氨基酸含量提高8.01%~39.50%, Vc含量提高4.08%~12.91%, 其中以施磷量为180 kg/hm² (中磷水平) 处理的株高、茎粗、单株重、产量、茎部游离态氨基酸和Vc含量最高, 施磷量为216 kg/hm² (高磷水平) 处理次之。施磷量为144 kg/hm² (低磷水平) 的硝酸盐含量较不施磷处理降低了4.95%, 而施磷量为180、216 kg/hm² 处理较不施磷处理分别提高78.22%、103.96%。综合评价, 中磷水平处理在兰州二阴地区紫叶莴笋的主要性状、产量及品质最优, 即在施N 525 kg/hm²、K₂O 375 kg/hm² 的条件下, 适宜的施P₂O₅量为180 kg/hm², 建议在当地推广。

关键词: 紫叶莴笋; 磷肥; 二阴地区; 产量; 品质

中图分类号: S147.22

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2025)04-0348-05

doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2025.04.010

Effects of Phosphorus Fertilizer Application Rates on the Yield and Quality of Purple-leaf Lettuce in High-humid Mountain Areas of Lanzhou

XUE Lian¹, YANG Sicun², ZHANG Peng¹, WANG Chengbao², GAO Tiegong¹, YAN Zongfang³

(1. Lanzhou Agricultural Science and Technology Research and Extension Centre, Lanzhou Gansu 730030, China; 2. Institute of Soil Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Lanzhou Agricultural Broadcasting School, Lanzhou Gansu 730030, China)

Abstract: This study aimed to determine the appropriate phosphorus application rate for purple-leaf lettuce in the high-humid mountain areas of Lanzhou, providing a scientific basis for high-quality and efficient production as well as soil health improvement in lettuce production. 4 treatments were included: low phosphorus(144 kg/ha), medium phosphorus(180 kg/ha), high phosphorus (216 kg/ha), and a control (CK, no phosphorus application), and application rate effect on the yield and quality of purple-leaf lettuce were studied. Results showed that compared with the control, plant height, stem diameter, yield, free amino acid content in stems, and vitamin C content under phosphorus treatments were increased by 5.34% to 11.48%, 18.07% to 34.92%, 37.80% to 52.44%, 8.01% to 39.50%, and 4.08% to 12.91%, respectively. The medium phosphorus level (180 kg/ha) resulted in the highest values in plant height, stem diameter, single plant weight, yield, stem free amino acids, and vitamin C content, followed by the high phosphorus level (216 kg/ha). The nitrate content under the low phosphorus level (144 kg/ha) was 4.95% lower than the control, while the 180 and 216 kg/ha treatments increased nitrate content by 78.22% and 103.96%, respectively. In summary, the medium phosphorus level demonstrated the best performance in terms of key parameters, yield, and quality of purple-leaf lettuce in the high-humid mountain areas of Lanzhou. Under nitrogen application of 525 kg/ha and potassium oxide(K₂O) of 375 kg/ha, the optimal phosphorus pentoxide (P₂O₅) application rate is 180 kg/ha, which is recommended for local adoption.

Key words: Purple-leaf lettuce; Phosphorus fertilizer; High-humid mountain area; Yield; Quality

收稿日期: 2024-03-28; 修订日期: 2025-02-18

基金项目: 甘肃省现代农业科技支撑体系区域创新中心项目(2021GAAS53)。

作者简介: 薛 莲(1977—), 女, 甘肃永登人, 高级农艺师, 主要从事土壤肥料与农业节水工作。Email: 2603664198@qq.com。

通信作者: 杨思存(1971—), 男, 甘肃靖远人, 研究员, 主要从事土壤养分资源管理研究工作。Email: yangsicun@sina.com。

紫叶莴笋肉质鲜嫩, 营养丰富, 维生素、蛋白质、氨基酸等有机营养物质含量丰富, 备受广大消费者青睐, 并在我国各地广泛种植^[1]。紫叶莴笋喜冷凉, 适应性强, 在甘肃省二阴地区大面积种植, 是高原夏菜主栽品种^[2], 成为当地乡村振兴、农民致富的主要产业之一^[3]。磷肥是作物生长不可缺少的营养物质, 增施磷肥对农作物尤其是经济作物的产量形成及品质改善有着重要的影响^[4], 但磷肥不足或过量则会引起土壤质量下降, 地力衰退, 不仅影响肥料利用率, 还会造成土壤环境质量下降^[5]。研究发现, 从 20 世纪 90 年代到 21 世纪初, 我国农田土壤平均有效磷含量从 17.1 mg/L 增加到 33.3 mg/L, 经济作物土壤有效磷含量的急剧增加是导致我国土壤有效磷含量增加的主要因素^[6]。赵泽普等^[7]研究表明, 2016—2020 年陇中旱区瓜菜种植区土壤全磷平均含量较 2010—2015 年提高了 11.76%。施用磷肥提高了黄瓜可溶性糖和 Vc 含量, 同时可以显著提高土壤有效磷含量和黄瓜产量^[8]。王春玲等^[9]研究发现, 设施条件下合理的磷肥用量可以提高草莓含糖量和糖酸比, 廖广丞等^[10]的研究认为长期的高磷投入不利于辣椒品质的提升, 在有机肥施用的条件下, 合理的减施磷肥能有效提高辣椒微量元素含量。可见, 在我国化肥消费量居高不下的背景下, 合理调配磷肥在粮经作物上的用量, 不仅是作物产量品质协同提升的要求, 也是缓解生态环境压力的基础^[11]。

兰州市二阴地区是甘肃省高原夏菜主产区, 由于蔬菜产值高, 菜农长期采用高投入以换取高收益, 大量不合理地施用磷肥导致成本急剧上升, 但产量品质并不稳定。因此, 研究如何合理供应磷肥、提升磷养分的吸收利用效率, 减少土壤中多余磷肥的滞留是亟待解决的关键问题。为明确该区域紫叶莴笋适宜的施磷量, 通过大田试验研究不同磷肥量对紫叶莴笋农艺性状、产量和品质的影响, 筛选出最佳施磷量, 为当地紫叶莴笋的优质高效生产和土壤健康发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在兰州市永登县武胜驿镇大利村(东经 103° 7′ 57″, 北纬 36° 45′ 29″), 海拔 2 463 m, 属

半干旱半湿润二阴地区, 常年平均气温 5.3 ℃, 年降水量 310 ~ 360 mm, 蒸发量 2 340 mm, 无霜期 125 d。试验地土壤为灌漠土, 耕层土壤含有机质 20.5 g/kg、碱解氮 114 mg/kg、有效磷 21.2 mg/kg、速效钾 180 mg/kg, pH 8.21。

1.2 供试材料

供试紫叶莴笋品种为连天红, 由甘肃瑞尔丰农科贸有限公司提供。供试氮肥为尿素(含 N 46%), 由新疆心连心能源化工有限公司生产; 磷肥为普通过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%), 由美盛国际贸易大连有限公司生产; 钾肥为全水溶硫酸钾(含 K₂O 50%), 山东九重化工有限公司生产。

1.3 试验方法

试验共设 4 个施磷处理, 即处理 I (低磷水平, 144 kg/hm²)、处理 II (中磷水平, 180 kg/hm²)、处理 III (高磷水平, 216 kg/hm²)、对照(CK, 不施磷)。试验采用随机区组排列, 重复 3 次, 小区面积 105 m², 小区周围设置保护行。于 2023 年 4 月 25 日采用膜下滴灌一膜两行“品”字形模式播种, 垄面宽 40 cm, 垄沟宽 30 cm, 膜宽 80 cm, 株距 30 cm, 行距 20 cm, 播种密度为 83 300 株/hm²。各处理施肥量见表 1。磷肥全部基施, 氮、钾肥均基施 30%; 分别于莲座期和肉质茎膨大期各追肥 1 次, 其中莲座期(6月 15 日)追施氮肥 45%、钾肥 30%, 肉质茎膨大期(7月 13 日)追施氮肥 25%、钾肥 40%。7 月 31 日采收, 其余管理同大田。

表 1 不同处理肥料用量

处理	施肥量/(kg/hm ²)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	525	0	375
I	525	144	375
II	525	180	375
III	525	216	375

1.4 项目测定和方法

1.4.1 农艺性状的测定 在紫叶莴笋达到采收标准时, 每小区随机选取长势一致的 12 株, 去除不可食用的叶片和根部, 削平茎干底部, 并测量自然长度为株高, 从根部以上 10 cm 处用软尺环绕一周量取茎粗, 并称量单株商品质量, 同时计算产量。

1.4.2 品质的测定 成熟期采取茎部可食部分,

采用茚三酮溶液显色法，通过 570 nm 荧光分光光度计测定茼蒿茎部游离氨基酸含量^[12]；采用 2，6-二氯酚靛酚显色法通过 570 nm 紫外分光光度计测定茎部 Vc 含量^[12]。采用硝基水杨酸法，切取茼蒿鲜样 2 g，研磨成浆放入干净试管中密封，经测试液处理后在紫外分光光度计 420 nm 波长下测定茼蒿茎部硝酸盐含量^[13]。

1.5 数据分析

试验数据采用 Excel 2019、SPSS 26 进行计算和显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同磷肥水平对紫叶茼蒿株高和茎粗的影响

由表 2 可知，不同施磷处理均提高了紫叶茼蒿的株高和茎粗，并且随着磷肥量的增加株高和茎粗表现出先增加后降低的趋势。其中株高以处理 II 最高，为 56.32 cm，较 CK 增加 11.48%；其次是处理 III，为 55.11 cm，较 CK 增加 9.09%；处理 I 最低，为 53.22 cm，较 CK 增加 5.34%。茎粗以处理 II 的最高，为 17.62 cm，较 CK 增加 34.92%，较处理 I、处理 III 分别增加 14.27%、2.03%；其次是处理 III，为 17.27 cm，较 CK 增加 32.24%；处理 I 最低，为 15.42 cm，较 CK 增加 18.07%。紫叶茼蒿的株高和茎粗均为处理 II 和处理 III 之间差异不显著，均与处理 I 和 CK 差异显著；处理 I 和 CK 之间差异不显著。这表明施用磷肥能够显著提高紫叶茼蒿的株高和茎粗，但达到较高水平后株高和茎粗并不提高，甚至有降低的趋势。

表 2 不同施氮处理紫叶茼蒿的株高和茎粗		
处理	株高 /cm	茎粗 /cm
CK	50.52±2.31 c	13.06±1.26 c
I	53.22±0.63 b	15.42±0.96 b
II	56.32±0.58 a	17.62±0.80 a
III	55.11±1.27 a	17.27±1.13 a

2.2 不同磷肥水平对紫叶茼蒿产量的影响

由表 3 可知，施磷处理均显著提高了茼蒿的单株重和产量，其中以处理 II 的单株重和折合产量最高，单株重为 1.25 kg，产量为 95 789.52 kg/hm²，较 CK 增产 52.44%，显著高于其他处理(P<0.05)；其次是处理 III，单株重为 1.16 kg，产量为 88 892.38 kg/hm²，较 CK 增产 41.46%；处理 I 最低，单株重

表 3 不同施氮处理紫叶茼蒿的产量					
处理	单株重 /kg	小区平均产量 /(kg/105 m ²)	折合产量 /(kg/hm ²)	增产率 /%	位次
CK	0.82±0.08 c	659.80	62 838.10 c		4
I	1.13±0.09 b	909.23	86 593.33 b	37.80	3
II	1.25±0.05 a	1 005.79	95 789.52 a	52.44	1
III	1.16±0.05 b	933.37	88 892.38 b	41.46	2

为 1.13 kg，产量为 86 593.33 kg/hm²，较 CK 增产 37.80%。紫叶茼蒿的单株重和产量均为处理 II 显著高于其余处理，处理 III 和处理 I 之间差异不显著，均与 CK 差异显著。

2.3 不同磷肥水平对紫叶茼蒿品质的影响

从表 4 可以看出，紫叶茼蒿的茎部游离态氨基酸和 Vc 含量随着施磷量的增加表现出先增加后降低的趋势。处理 II 的茎部游离态氨基酸和 Vc 含量均最高，茎部游离态氨基酸为 255.82 mg/kg，较 CK 增加 39.50 %；Vc 含量为 124.50 mg/kg，较 CK 增加 12.91 %，均显著高于其他处理(P<0.05)。处理 III，茎部游离态氨基酸为 235.96 mg/kg，较 CK 增加 28.67%；Vc 含量为 117.98 mg/kg，较 CK 增加 7.00%；处理 I 最低，茎部游离态氨基酸为 198.07 mg/kg，较 CK 增加 8.01 %；Vc 含量为 114.76 mg/kg，较 CK 增加 4.08%。随着磷肥用量的增加，茼蒿硝酸盐含量呈升高趋势，处理 I 的硝酸盐含量最低，为 0.96 g/kg，较 CK 减少 4.95%；其余处理均高于 CK，其中处理 II 为 1.80 g/kg，较 CK 增加 78.22%；处理 III 为 2.06，较 CK 增加 103.96%。说明施磷处理均显著提高了氨基酸和 Vc 含量，施用量低的磷肥处理减少了植株中硝酸盐含量，随着磷肥的逐渐增加硝酸盐含量也随之增加。

表 4 不同施氮处理紫叶茼蒿的品质			
处理	茎部游离态氨基酸 /(mg/kg)	Vc /(mg/kg)	硝酸盐 /(g/kg)
CK	183.38±9.35 d	110.26±2.31 d	1.01±20.56 c
I	198.07±10.52 c	114.76±1.24 c	0.96±18.22 d
II	255.82±8.67 a	124.50±1.18 a	1.80±33.75 b
III	235.96±11.29 b	117.98±2.01 b	2.06±28.91 a

3 讨论与结论

磷是作物必需的营养元素，在植物体中的含量仅次于氮和钾，它参与光合作用、呼吸作用、

能量储存和传递,促进根系发育和生物能量转化,缺失或不足都会影响作物生长发育^[14]。但施磷过量也会破坏各元素之间的平衡关系,从而影响磷素及其他矿质元素的吸收,不利于作物产量的形成以及品质的改善^[15]。杨启睿等^[16]研究表明,施磷 90 kg/hm² 时显著提高了花生叶片 SPAD 值及生物学特性,但继续施磷并不利于磷素养分吸收积累。本研究中,中磷水平(180 kg/hm²)处理下紫叶莴笋的株高、茎粗以及产量均达到最高值,但在继续投入磷肥后,相关指标有小幅降低。这与黄伟等^[17]在棉花中的研究结果类似,适当的磷肥能够促进作物对氮、磷、钾的吸收效果,但过量施磷后产量有降低趋势。

施磷对瓜菜的品质影响也十分明显,适宜的磷肥量可以显著提高番茄的番茄红素、可溶性蛋白、可溶性固形物含量,磷肥过高时影响了钾素的吸收^[18]。马忠明等^[19]的研究也明确了砂田种植中西瓜产量和含糖量在施磷量为 130~170 kg/hm² 时达到最高,继续增加则会下降。本研究中,施磷量为 180 kg/hm² 时莴笋的茎部游离态氨基酸含量为 255.82 mg/kg、Vc 含量为 124.50 mg/kg,均达到最高,继续增加磷肥量后莴笋的茎部氨基酸、Vc 含量有所降低,施磷量为 216 kg/hm² 时,茎部游离态氨基酸含量为 235.96 mg/kg, Vc 含量为 117.98 mg/kg。说明适量的磷肥通过促进植株吸收养分而提高品质,但过量会抑制营养元素吸收^[20],而且,磷肥影响了莴笋产量的形成和养分积累,并对地上生物量的提升至关重要^[21]。从科学饮食的角度来讲,长期过量摄入硝酸盐会危害人体健康,磷肥能够促进氮肥吸收和转化从而增加了紫叶莴笋硝酸盐含量的风险^[22],因此施用磷肥应该掌握在一定的范围之内。

合理增施磷肥可通过促进氮钾肥的吸收而提高紫叶莴笋的株高、茎粗、产量和品质等指标,本试验结果表明,与不施磷处理相比,不同施磷处理的紫叶莴笋株高提高 5.34%~11.48%、茎粗提高 18.07%~34.92%,产量提高 37.80%~52.44%,茎部游离态氨基酸提高 8.01%~39.50%,Vc 含量提高 4.08%~12.91%,其中以施磷量为 180 kg/hm² 处理的株高、茎粗、单株重、产量、茎部游离态氨基酸和 Vc 含量最高,施磷量为 216

kg/hm² 处理次之。硝酸盐含量随着磷肥用量的增加呈升高趋势,施磷量为 144 kg/hm² 的硝酸盐含量较不施磷处理降低了 4.95%,而施磷量为 180、216 kg/hm² 处理较不施磷处理分别提高 78.22%、103.96%。通过本试验中紫叶莴笋农艺性状、产量与品质的综合评价,而综合评价最高的是中磷水平处理,在施 N、K₂O 分别为 525、375 kg/hm² 的条件下,适宜的 P₂O₅ 施用量为 180 kg/hm²,建议在当地推广;评价最低的是对照不施磷处理,说明磷肥缺失对紫叶莴笋的多个指标影响较大。由于本试验只在当地进行了 1 a,结果尚具有局限性,若经过不同年份、不同品种、不同土壤基础等条件下的多次对比试验,应该能提供更为科学的理论依据。

参考文献:

- [1] 王晓巍,张玉鑫,马彦霞,等. 甘肃省蔬菜产业现状及推进发展对策[J]. 甘肃农业科技, 2017(7): 67-71.
- [2] 张玉鑫,潘新,高军,等. 甘肃省蔬菜比较优势区域差异分析[J]. 甘肃农业科技, 2019(8): 17-26.
- [3] 中共永登县委,永登县人民政府. 绿色转型促发展奋楫争先谱新篇永登县加快建设黄河流域生态文明强县[J]. 发展, 2023(11): 25-27.
- [4] 吉冰洁,李文海,徐梦洋,等. 不同磷肥品种在石灰性土壤中的磷形态差异[J]. 中国农业科学, 2021, 54(12): 2581-2594.
- [5] 冯海萍. 施磷对宁南山区花椰菜产量、磷素利用效率及平衡的影响[J]. 北方园艺, 2023(17): 7-14.
- [6] 马进川. 我国农田磷素平衡的时空变化与高效利用途径[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018.
- [7] 赵泽普,薛亮,马忠明,等. 甘肃省西甜瓜主产区土壤养分评价[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(12): 1133-1139.
- [8] 程启鹏,熊启中,徐雅婷,等. 滴灌水肥一体化条件下磷肥减量对黄瓜磷素利用效率和产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2023(1): 65-72.
- [9] 王春玲,曲明山,赵永志,等. 磷肥用量对设施草莓产量及品质的影响[J]. 中国农技推广, 2018, 34(8): 9-51.
- [10] 廖广丞,陈晓萍,余烨颖,等. 磷肥减量与有机替代对露地辣椒产量品质及土壤肥力的影响[J]. 农业环境科学学报, 2024, 43(3): 617-626.
- [11] 朱兆良,金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J].

- 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 259–273.
- [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] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [14] 张学昕, 刘淑英, 王平, 等. 不同氮磷钾配施对棉花干物质积累、养分吸收及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(8): 107–113.
- [15] 刘项宇, 郭徐鹏, 陈宇红, 等. 植物低磷响应策略及其分子机制[J]. 分子植物育种: 1–12. (2025–03–13). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20230906.1318.002.html>.
- [16] 杨启睿, 李岚涛, 张铎, 等. 施磷对夏花生产量品质、光温生理特性及根系形态的影响[J]. 作物学报, 2024, 50(7): 1841–1854.
- [17] 黄伟, 王西和, 贾宏涛, 等. 不同磷水平对棉花养分吸收和磷肥利用效率的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2024, 41(3): 558–566.
- [18] 郭孝宇, 路强, 张宇涵, 等. 喷施磷肥对樱桃番茄品质和营养元素含量的影响[J]. 山东农业科学, 2022, 54(5): 120–127.
- [19] 马忠明, 杜少平, 薛亮. 磷钾配施对旱砂田西瓜产量、品质及养分利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(3): 687–695.
- [20] 张旭东, 安世杰, 支金虎, 等. 不同氮磷用量对红枣果实品质和产量的影响[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(5): 468–474.
- [21] 赵家熙, 张一鹤, 韩晓增, 等. 东北黑土区长期不同磷肥施用量对大豆生长及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(5): 116–121.
- [22] 张富林, 杨利, 范先鹏, 等. 蔬菜硝酸盐累积控制措施研究进展[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(9): 2247–2252.