

施用氮肥对设施红地球葡萄氮素吸收及产量和品质的影响

李强, 刘伟, 陈岩辉, 胡芳, 叶芳, 牟德生, 赵连鑫
(武威市林业科学研究院, 甘肃 武威 733000)

摘要: 为给祁连山沿山区设施红地球葡萄氮肥合理施用及产量品质提升提供技术指导。在4年生红地球葡萄大棚内, 设置浅施(20 cm)和深施(40 cm)2个施肥深度, 低氮(N 180 kg/hm²)、中氮(N 240 kg/hm²)和高氮(N 300 kg/hm²)3个氮素水平, 研究氮肥施用对祁连山沿山冷凉区设施红地球葡萄产量、品质及氮素吸收的影响。结果表明, 施用深度相同时, 氮肥施用量从180 kg/hm²增加到240 kg/hm², 葡萄发育期叶片和叶柄氮含量显著增加; 氮肥施用量从240 kg/hm²增加到300 kg/hm², 葡萄发育期叶片和叶柄氮含量变化不显著, 但收获期0~100 cm土层硝态氮残留量明显增加。氮肥施用量相同时, 随着施用深度的增加, 葡萄发育期叶片和叶柄氮含量显著降低, 收获期0~100 cm土层硝态氮残留量明显增加。综合考虑葡萄产量、品质、果实发育期叶片和叶柄氮含量, 以及收获期0~100 cm土层硝态氮残留量, 20 cm的施肥深度和240 kg/hm²的氮肥施用量为本试验条件下祁连山冷凉区设施红地球葡萄较为适宜的氮肥施用方式。

关键词: 氮肥; 红地球葡萄; 产量; 品质; 氮素吸收

中图分类号: S147.2; S663.1 文献标志码: A 文章编号: 2097-2172(2023)08-0768-07

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2023.08.017

Effects of Nitrogen Fertilizer Application on the Yield, Fruit Quality and Nitrogen Uptake of 'Red Globe' Grapes in Greenhouses

LI Qiang, LIU Wei, CHEN Yanhui, HU Fang, YE Fang, MOU Desheng, ZHAO Lianxin
(Wuwei Academy of Forestry, Wuwei Gansu 733000, China)

Abstract: The purpose of this study was to provide technical guidance for the rational application of nitrogen fertilizer and the improvement of yield and quality for the facility 'Red Globe' grape production along the Qilian Mountains. t-year-old 'Red Globe' grape in greenhouses was taken as the experimental material, 2 nitrogen application depths including shallow application (20 cm) and deep application (40 cm), and 3 nitrogen rates including low nitrogen (180 kg N/ha), medium nitrogen (240 kg N/ha) and high nitrogen (300 kg N/ha) were applied to study the effects of nitrogen fertilizer application on the yield, quality, and nitrogen uptake of greenhouse 'Red Globe' grapes in the cold and cool areas along the Qilian Mountains. The results showed that at the same application depth, the nitrogen contents in grape leaves and petioles were significantly increased during the development stage when the nitrogen fertilizer rate was increased from 180 kg/ha to 240 kg/ha. No significant changes in nitrogen contents of grape leaves and petioles during the development period were observed when the nitrogen fertilizer rate was increased from 240 kg/ha to 300 kg/ha. However, the residual amount of nitrate nitrogen under the 0 to 100 cm soil depth was significantly increased during the harvest period. Under the same nitrogen fertilizer rate, with the increase of application depth, the nitrogen contents in grape leaves and petioles during the development stage were significantly decreased, and the residual nitrate nitrogen under the 0 to 100 cm soil depth during the harvest period was significantly increased. When grape yield, quality, nitrogen contents in leaves and petioles during fruit development were fully taken into account, as well as residual nitrate nitrogen under 0 to 100 cm soil depth during harvest, a fertilization depth of 20 cm and a nitrogen fertilizer rate of 240 kg/ha were the most suitable nitrogen fertilizer application method for the greenhouse 'Red Globe' grape production in the cold and cool area of the Qilian Mountains under the current experimental condition.

Key words: Nitrogen fertilizer; 'Red Globe' grape; Yield; Quality; Nitrogen uptake

适宜的氮肥施用对于提高作物产量、改善农产品品质意义重大^[1]。自20世纪80年代以来,

收稿日期: 2023-04-03; 修订日期: 2023-05-16

基金项目: 甘肃省民生科技专项(科技特派员专题)(20CX4NH006)。

作者简介: 李强(1985—), 男, 陕西子长人, 高级工程师, 主要从事葡萄水肥调控研究工作。Email: lq870817@126.com。

我国氮肥使用量快速上升, 已成为全球最大的氮肥消费国^[2]。我国用比较高的氮肥投入获得了粮食、蔬菜以及水果的基本自给, 但氮肥持续大量的使用不仅造成了农作物氮肥利用效率和增产效果的下降, 而且过量的氮素在土壤中积累造成了严重的环境污染^[3-4]。研究表明, 我国农业生产中氮肥的利用率只有 30%~35%, 远低于欧美发达国家^[5]。氮素如果不能被作物及时吸收, 则会在土层逐渐累积, 孔祥俊^[6]研究表明, 黄土高原部分苹果产区 0~500 cm 土层土壤硝态氮累积量高达 13 604 kg/hm², Ju^[7]研究表明, 果园长期过量施用氮肥, 0~400 cm 土层的硝态氮累积量可高达 2 155 kg/hm²。残存在土壤中的硝态氮, 会通过地表径流、淋溶、氨挥发以及反硝化等途径进入水体和大气中, 引起环境质量恶化, 对生态环境造成严重污染^[8-9]。

葡萄(*Vitis vinifera*)是世界最古老的果树树种之一, 具有丰富的营养和很高的医药价值。合适的氮肥施用量、施用深度可以明显促进葡萄树体对氮素的吸收利用, 进而保证了葡萄产量和品质的提升^[10-11]。武威地处河西走廊东端, 具有典型的冷凉气候特征, 是设施红地球葡萄栽培的首选地。自 2005 年引种红地球葡萄以来, 设施葡萄已成为农民的重要产业。设施红地球葡萄种植过程中, 果农长期依靠多年种植经验进行氮肥施用, 合理的氮肥施用量和施用深度无从考证, 相关研究也较少。我们以河西冷凉区设施红地球葡萄为研究对象, 通过田间试验研究了氮肥施用量和施用深度对设施红地球葡萄产量、品质及氮素吸收的影响, 以期为祁连山沿山冷凉区设施红地球葡萄氮肥合理施用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地基本情况

试验地点位于甘肃省武威市凉州区谢河镇叶家村(东经 102° 44'、北纬 37° 40'), 海拔 1 632 m, 年平均降水量 160 mm, 年均蒸发量 2 020 mm, 平

均气温 7.8 °C, 无霜期 154 d 左右, 日照时数 2 873.4 h, 温带大陆性干旱气候。供试葡萄大棚为南北行向, 长 60 m, 宽 9 m, 葡萄株行距 0.8 m × 2.5 m, 直立主干水平龙干 V 形。试验于 2020 年 1 月至 2021 年 12 月进行, 土壤为灌漠土, 试验前取 0~40 cm 土壤样品测定土壤基本理化性状, 结果见表 1。

1.2 试验方法

1.2.1 供试材料 供试材料为 4 年生红地球葡萄。供试氮肥为尿素(含 N 46%), 由甘肃刘化(集团)有限公司提供。

1.2.2 试验设计 试验采用随机区组设计, 设施肥深度和施氮量 2 个因素。施肥深度设浅施(D1)、深施(D2) 2 个水平, 施氮量参照当地水平设低氮(N1)、中氮(N2)、高氮(N3) 3 个水平。3 次重复, 具体氮肥施用量、施用时间和施用深度见表 2。2020 年 1 月选取长势一致且无病虫害的葡萄植株, 每小区 8 株, 前后均设保护株, 小区面积 16.0 m² (6.4 m × 2.5 m)。在距中心干 30 cm 处的架前和架后分别开条形沟, 沟宽 60 cm, 按试验方案将相应氮肥、普通过磷酸钙 225 kg/hm²、硫酸钾 225 kg/hm² 混匀后沟施覆土。试验棚 2020 年 11 月 22 日施羊粪 45 m³/hm² (含 N 0.70%~0.80%、P₂O₅ 0.20%~0.30%、K₂O 0.35%~0.45%)做基肥, 施肥后沟灌, 全生育期灌水 7 次, 每次灌水量 750 m³/hm²。其他田间管理同常规。

表 2 氮肥施用深度和施用量

处理	氮肥施用量/(kg/hm ²)				施肥深度/cm
	总量	萌芽前	开花前	果实膨大期	
N ₁ D ₁	180	90	60	30	20
N ₂ D ₁	240	120	80	40	20
N ₃ D ₁	300	150	100	50	20
N ₁ D ₂	180	90	60	30	40
N ₂ D ₂	240	120	80	40	40
N ₃ D ₂	300	150	100	50	40

1.3 样品采集与指标测定

1.3.1 样品采集 土壤样品采集于设施葡萄萌芽

表 1 试验区土壤基本理化性状

土层深度/cm	有机质/(g/kg)	pH	容重/(g/cm ³)	全氮/(g/kg)	有效磷/(mg/kg)	速效钾/(mg/kg)	矿质氮/(mg/kg)	
							NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N
0~20	9.91	8.15	1.35	0.61	3.49	87.15	12.05	2.4
20~40	8.58	8.24	1.47	0.32	2.54	70.1	9.4	1.7

期和收获期分别采集。各小区避开施肥带，选取 4 个土壤采样点，用土钻分别采集 0~100 cm 剖面土壤样品，每 20 cm 为 1 层，4 个采样点的同层土壤混合作为 1 个分析样品。

葡萄成熟期(2020 年 11 月 10 日和 2021 年 11 月 13 日)各小区果穗全部采收测产，并随机采集结果部位一致、形态相近且无病虫害的果穗 10 串，从果穗上、中、下选取 100 粒果实，其中 60 粒果实用于可溶性固形物与可滴定酸含量的测定，其余 40 粒用液氮速冻后超低温冰箱中保存，用于可溶性糖含量测定。

1.3.2 指标测定 土壤矿质氮测定采用鲜土样，用 1 mol/L 的 KCl 溶液浸提，液土比 10:1，分光光度计测定，并换算成用烘干土重表示的土壤硝态氮含量^[12]。

土壤硝态氮残留量=(土层厚度×土壤面积×土壤容重×土壤硝态氮含量)/1000000

果实可溶性固形物含量采用 PAL- 福型手持糖度计进行测定，可滴定酸采用 NaOH 滴定法进行测定^[13]，可溶性糖采用蒽酮试剂比色法进行测定^[13]。幼果发育期(2020 年 5 月 29 日和 2021 年 6 月 1 日)、果实膨大期(2020 年 6 月 24 日和 2021 年 6 月 23 日)、果实着色期(2020 年 8 月 27 日和 2021 年 9 月 1 日)、果实成熟期，每小区葡萄植株分上、中、下 3 层随机采取葡萄叶片 100 片，用剪刀将葡萄叶片的叶柄和叶片分开，烘干粉碎后保存，用于测定全氮含量，全氮含量用 H₂SO₄-H₂O₂ 法消解，半微量法测定^[14]。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 进行数据分析和图表制作，用 DPS 7.05 软件进行差异性分析(Duncan 新复极差法)。

2 结果与分析

2.1 氮肥施用对红地球葡萄土壤氮素残留量的影响

从图 1、图 2 可以看出，2020、2021 年葡萄收获期各处理 0~100 cm 土层均出现了不同程度硝态氮残留。其中 2020 年各处理在 60~80 cm 土层形成了明显的硝态氮累积峰，2021 年各处理在 80~100 cm 土层形成了明显的硝态氮累积峰，硝态氮累积峰明显下移了 20 cm。分析收获期各处理 0~100 cm 土层硝态氮残留量，氮肥施用深度相同

时，0~100 cm 土层硝态氮残留量均随着氮肥施用量的增加而增加；氮肥施用量相同时，0~100 cm 土层硝态氮残留量随着氮肥施用深度的增加而增加。D₁N₁、D₁N₂、D₁N₃、D₂N₁、D₂N₂、D₂N₃ 处理 0~100 cm 的平均硝态氮总残留量分别为 66.36、92.22、150.58、83.68、111.56、173.82 kg/hm²。D₁ 条件下，N₃ 处理平均 0~100 cm 土层硝态氮总残留量较 N₂、N₁ 处理分别增加 63.28%、126.91%；D₂ 条件下，N₃ 处理平均 0~100 cm 土层硝态氮总残留量较 N₂、N₁ 处理分别增加了 55.81%、107.72%。N₁、N₂、N₃ 条件下，D₂ 处理平均 0~100 cm 土层硝态氮总残留量分别较 D₁ 处理增加 26.10%、20.97%、15.43%。可见，氮肥深施、增施明显增加了土层硝态氮的累积，也增加了土层累积硝态氮向下淋失的风险。

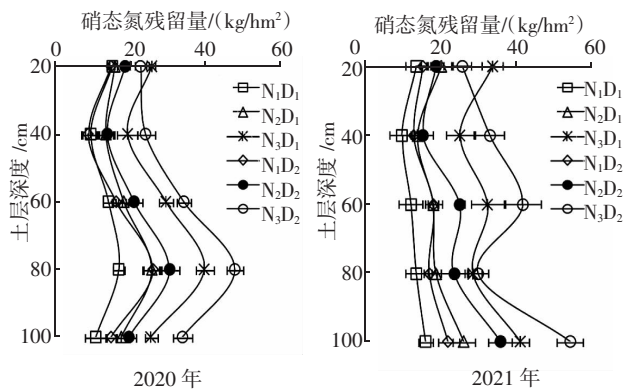


图 1 设施红地球葡萄收获期不同处理 0~100 cm 土层硝态氮残留量

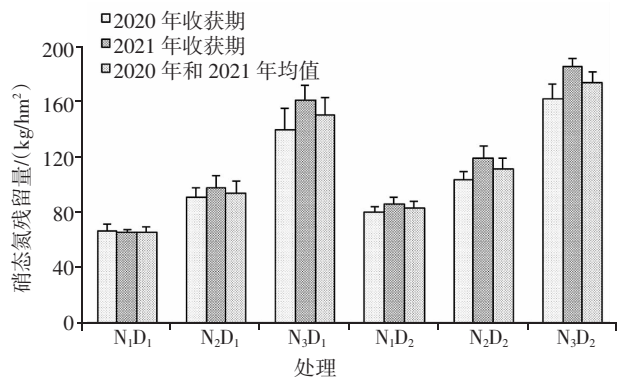


图 2 设施红地球葡萄收获期不同处理硝态氮总残留

2.2 各处理对设施红地球葡萄果实发育期叶片和叶柄氮含量的影响

从图 3、图 4 可以看出，葡萄果实发育期间，叶片含量氮总体呈先下降后上升的趋势，叶柄氮含量总体呈先下降后上升再降低的趋势。氮肥施用

深度和施用量不同, 果实发育期间葡萄叶片和叶柄中的氮元素含量也发生了不同程度的变化。氮肥施用深度相同时, 幼果发育期、果实膨大期、果实着色期、果实成熟期, 随着氮肥施用量从 N_1 增加到 N_2 水平时, 2020、2021 年叶片和叶柄氮含量均显著增加; 随着氮肥施用量从 N_2 水平增加到 N_3 水平时, 除 2020 年幼果发育期 D_2 条件下葡萄叶片氮含量差异显著, 以及 2020 年果实成熟期 D_1 条件下叶柄氮含量差异显著外, 其余条件下均差异不明显。氮肥施用量相同时, 随着氮肥施用深度的增加, 除 2020 年果实成熟期 N_2 条件下叶柄的氮含量外, 2020、2021 年叶片和叶柄氮含量均呈降低趋势。综合 2 a 的试验结果, 幼果发育期、果实膨大期、果实着色期、果实成熟期, 在 N_2 条件下, D_2 处理的平均叶片氮含量较 D_1 处理分别降低 15.64%、13.82%、11.38%、11.80%; 在 N_3 条件下, D_2 处理的平均叶片氮含量较 D_1 处理分别降低 11.73%、14.42%、11.17%、13.62%。

2.3 各处理对设施红地球葡萄产量的影响

从表 3 可以看出, 氮肥施用深度和施用量对

表 3 氮肥不同处理的设施红地球葡萄产量

处理	产量(kg/hm ²)	
	2020年	2021年
N_1D_1	27 671 c	23 068 d
N_2D_1	33 930 a	33 028 a
N_3D_1	35 104 a	34 142 a
N_1D_2	22 646 d	19 939 e
N_2D_2	30 901 b	29 399 c
N_3D_2	31 640 b	31 109 b
显著性检验 P 值		
D	0.024 0	0.003 2
N	0.013 5	0.000 7
D×N	0.179 5	0.784 7

葡萄产量影响显著 ($P < 0.05$), 但二者交互作用对葡萄产量影响不显著 ($P > 0.05$)。 D_1 条件下, N_2 与 N_3 之间产量差异不显著, 均显著高于 N_1 ; N_2 与 N_1 相比, 2020、2021 年产量显著增加 22.6%、43.2%。 D_2 条件下, N_2 与 N_3 之间 2020 年产量差异不显著, 均显著高于 N_1 ; 2021 年 N_2 与 N_3 之间产量差异显著, 均显著高于 N_1 ; N_2 与 N_1 处理相比, 2020、2021 年产量显著增加 36.5%、47.4%。氮肥施用量相同时, 随着氮肥施用深度的增加, 葡萄

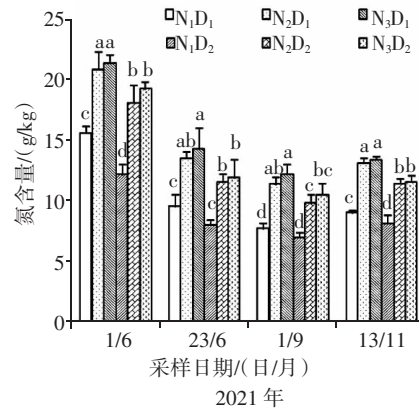
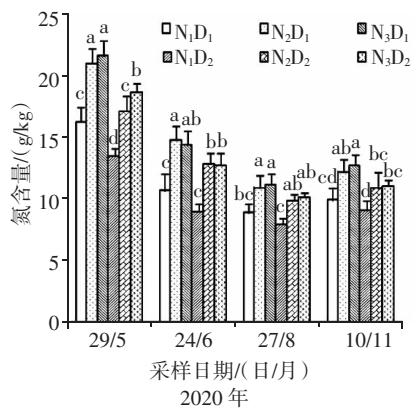


图 3 氮肥施用对设施红地球葡萄果实发育期间叶片氮含量的影响

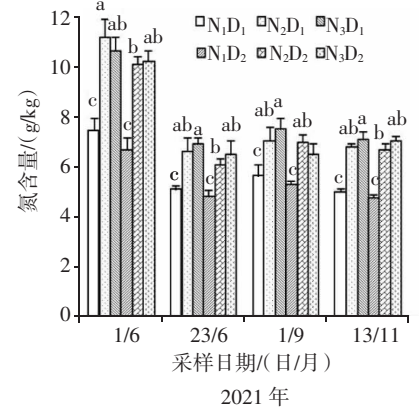
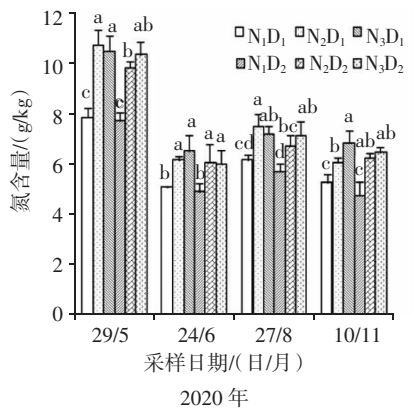


图 4 氮肥施用对设施红地球葡萄果实发育期间叶柄氮含量的影响

产量显著降低。N₁条件下, D₂处理与 D₁处理相比, 2020、2021年葡萄产量显著降低 18.2%、13.6%; N₂条件下, D₂处理与 D₁处理相比, 2020、2021年葡萄产量显著降低 8.9%、11.0%; N₃条件下, D₂处理与 D₁处理相比, 2020、2021年葡萄产量显著降低 9.9%、8.9%。可见, 氮肥施用量过低, 无法满足葡萄生长的氮素需求, 影响了葡萄产量的提升, 氮肥施用量过高, 葡萄产量不再增加。氮肥施用过深也不利于葡萄产量的提升。

2.4 各处理对设施红地球葡萄果实品质的影响

由表 4 可知, 氮肥施用深度对葡萄可溶性固形物、可溶性糖含量影响显著 ($P < 0.05$), 氮肥施用量对葡萄各品质均影响显著, 二者的交互作用对葡萄可溶性固形物、可溶性糖含量也影响显著 ($P < 0.05$)。D₁条件下, N₂处理与 N₁处理相比, 2020年可溶性固形物、可滴定酸、可溶性糖含量分别显著增加 16.62%、14.63%、5.64%, 2021年可溶性固形物、可溶性糖含量显著增加 13.43%、11.92%; 随着氮肥施用量从 N₂水平增加到 N₃水平, 2020、2021年可滴定酸含量分别显著增加 25.53%、24.49%, 可溶性固形物分别显著减少 2.42%、2.02%。D₂条件下, N₂处理与 N₁处理相比, 2020年可溶性固形物、可滴定酸、可溶性糖含量显著增加 19.03%、7.14%、6.01%, 2021年分别显著增加 14.18%、9.76%、13.70%; 随着氮肥施用量从 N₂水平增加到 N₃水平, 2020、2021年可滴定酸含量显著增加 26.67%、28.89%, 可溶性固形物含量显著降低 5.39%、1.03%。同一施氮水平下, D₁处理葡萄可溶性固形物、可溶性糖含量

均高于 D₂处理, 可滴定酸含量差异不显著。N₁条件下, D₂处理平均可溶性固形物、可溶性糖含量较 D₁处理显著降低 5.99%、3.32%; N₂条件下, D₂处理平均可溶性固形物、可溶性糖含量较 D₁处理显著降低 4.78%、2.41%; N₃条件下, 平均可溶性固形物、可溶性糖含量较 D₁处理显著降低 5.79%、2.73%。可见, 氮肥施用量过低或者施用过深均不利于葡萄果实品质的提升。氮肥施用量过高, 虽然提高了葡萄果实可溶性固形物、可溶性糖含量, 同样也增加了果实可滴定酸含量, 使糖酸比降低, 导致果实品质总体下降。

3 讨论与结论

合理使用氮肥既要考虑产量因素, 又要考虑土壤、品种、农艺管理措施等因素, 还要考虑氮素残留损失等问题^[15]。本研究表明, 随着氮肥施用量从 180 kg/hm²增加到 240 kg/hm², 葡萄产量显著增加, 品质明显提升。氮肥施用量从 240 kg/hm²增加到 360 kg/hm², 葡萄产量变化不明显, 但可滴定酸含量显著增加, 糖酸比降低, 品质下降。一方面是低氮处理下氮肥投入量过低, 无法满足树体对氮素的吸收, 影响了葡萄产量的增加和品质的提升; 另一方面是高氮处理下氮肥投入量超过了葡萄最高产量所需, 葡萄植株无法吸收盈余的氮素, 导致产量不再增加和品质不再提升; 氮肥施用量同样可能会抑制葡萄根系的生长, 影响了根系对氮素的吸收, 影响了产量的增加和品质的提升。上述结果与同一区域下黄英等^[16]在设施红地球葡萄、史星雲等^[17]在酿酒葡萄马瑟兰上的研究类似。在作物根系集中分布的区域进行施肥,

表 4 氮肥不同处理的设施红地球葡萄果实品质

处理	2020年				2021年			
	可溶性固形物 /(g/kg)	可滴定酸 /(g/kg)	可溶性糖 /(g/kg)	糖酸比	可溶性固形物 /(g/kg)	可滴定酸 /(g/kg)	可溶性糖 /(g/kg)	糖酸比
N ₁ D ₁	152.2 e	4.1 d	120.5 d	29.39	152.6 e	4.4 b	113.3 d	25.75
N ₂ D ₁	177.5 a	4.7 c	127.3 ab	27.09	173.1 a	4.9 b	126.8 b	25.88
N ₃ D ₁	173.2 b	5.9 a	128.1 a	27.71	169.6 b	6.1 a	128.2 a	21.02
N ₁ D ₂	141.9 f	4.2 d	116.5 e	27.74	144.6 f	4.1 c	109.5 e	26.71
N ₂ D ₂	168.9 c	4.5 c	123.5 c	27.44	164.9 c	4.5 b	124.5 c	27.67
N ₃ D ₂	159.8 d	5.7 b	125.1 bc	21.95	163.2 d	5.8 a	124.2 c	21.41
显著性检验 P 值								
D	0.012 7	0.513 1	0.006 7		0.005 0	0.319 0	0.021 6	
N	0.005 8	0.012 5	0.003 5		0.001 7	0.004 4	0.002 7	
D×N	0.008 6	0.029 7	0.009 2		0.026 9	0.113 9	0.005 2	

能够显著提高肥料的利用率^[18]。孙权等^[19]研究表明, 与 20 cm 和 60 cm 施肥深度相比, 40 cm 的施肥深度更有利于提高肥料的利用率, 从而促进葡萄的营养生长, 提高产量和品质。汪新颖^[20]研究表明, 与表层撒施和 40 cm 施肥深度相比, 20 cm 施肥深度能够保证红地球葡萄根系对氮素的吸收利用, 更有利于果树的生长和生殖。本研究表明, 与 20 cm 施肥深度相比, 40 cm 的氮肥施用深度下葡萄产量、可溶性固形物及可溶性糖含量显著降低, 主要是因为 40 cm 处葡萄根系分布较少, 根系对氮素的吸收减弱, 加之受当地大水漫灌的影响, 氮素更容易淋失损失, 不利于树体对氮素的吸收, 进而影响产量的增加和品质的提升。

充足的氮素供应能够促进植物细胞不断的分裂和增长, 使植物生长更加茂盛, 并有助于植物光合作用, 维持体内碳氮平衡和循环, 促进植物生长发育^[21]。叶片中的氮减少会导致果树叶片生长不良, 花芽分化延迟, 植株矮小, 果实品质差, 产量低等^[22]。果树的叶片是各器官中对土壤矿质营养反应最为敏感的部位, 通过分析叶片氮素含量可以为果树潜在的营养状况的诊断提供理论依据, 葡萄上建议采用叶柄^[23]。本研究低氮处理的氮素供应不足, 直接影响了葡萄树体对氮素的吸收, 而中氮处理相对于高氮处理在减少氮肥施用量的同时又能保证葡萄叶片对氮素的吸收, 这与贺雅娟等^[24]关于施氮量对葡萄叶片生理生化指标及果实品质的影响、孙聪伟等^[25]关于施氮量对巨峰葡萄生长和果实品质的影响的结论相似。关于氮肥施用深度对葡萄叶片和叶柄氮含量的影响, 孙权等^[19]研究表明, 40 cm 施肥深度能够显著增加 6 年生酿酒葡萄赤霞珠叶片氮含量, 而叶柄中氮含量随施肥深度增加而发生的变化很小; 孙海高^[11]的研究表明, 21 ~ 40 cm 施肥深度下整个生育期的葡萄叶片全氮含量均达到最高。本研究设计的 20 cm 施肥深度促进了葡萄根系对氮素的吸收征调能力, 运输到地上部的氮素也较多, 向叶片的分配自然增加, 进而提高了植株光合作用, 增加了产量。上述结果与孙海高^[11]、孙权等^[19]的研究有所差异, 主要是树龄、灌水等栽培管理措施的差异所致。

氮肥施用量过高, 盈余的氮素如果不能被树

体及时吸收, 则极易随灌水或降水淋溶到深层土壤, 形成明显的硝态氮累积^[26]。本研究条件下, 2020 年、2021 年葡萄成熟期各处理 0 ~ 100 cm 土层均出现了不同程度硝态氮残留, 且 2021 年与 2020 年相比硝态氮累积峰发生了明显下移, 高氮处理 0 ~ 100 cm 土层硝态氮残留尤为明显。主要原因是高氮处理的氮肥施用量超过了葡萄最高产量所需, 盈余的氮素不能被树体吸收, 逐渐在土层累积, 受当地大水漫灌的影响, 盈余的氮素极易随灌水淋失到葡萄根层之外, 硝态氮淋失的风险增加。前人在小麦、苹果等上的研究结果也与此类似^[27-28]。葡萄根系不同生长期在土壤中的分布变化不大, 主要集中在 0 ~ 40 cm 土层, 而细根则多集中在 5 ~ 15 cm 土层^[29]。本研究条件下, 40 cm 的施肥深度将氮肥施到根系集中分布层的下边缘, 氮素如果不能被树体及时吸收, 则极易在大水漫灌的影响下淋失到葡萄根系吸收范围之外, 故 0 ~ 100 cm 土层硝态氮残留量较 20 cm 的浅施处理明显增加。这与汪新颖^[20]在葡萄、杨云马等^[30]在夏玉米上的研究结果类似。

综合考虑设施红地球葡萄产量、品质、果实发育期叶片和叶柄氮含量以及成熟期 0 ~ 100 cm 土层硝态氮残留量, 浅施中量氮肥处理, 即 20 cm 的施肥深度和 240 kg/hm² 的氮肥施用量在促进葡萄树体氮素吸收、保证果实产量的同时, 明显降低了收获期 0 ~ 100 cm 土层硝态氮残留量, 可作为为本试验条件下祁连山沿山冷凉区设施红地球葡萄较为适宜的氮肥施用方式加以推广应用。

参考文献:

- [1] 朱华清, 杨叶华, 黄兴成, 等. 氮肥减施对猕猴桃产量与果实品质及经济效益的影响[J]. 中国果树, 2023 (1): 47-51.
- [2] 王响玲, 宋柏权. 氮肥利用率的研究进展[J]. 中国农学通报, 2020, 36(5): 93-97.
- [3] LU C Q, TIAN H Q. Net greenhouse gas balance in response to nitrogen enrichment: perspectives from a coupled biogeochemical model[J]. Global Change Biology, 2013, 19: 571-588.
- [4] SMITH P. Agricultural greenhouse gas mitigation potential globally, in Europe and in the UK: what have we learnt in the last 20 years[J]. Global Change Biology, 2012, 18: 35-43.

- [5] LIU J G, YOU L Z, AMINI M, et al. A high-resolution assessment on global nitrogen flows in cropland[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107(17): 8035-8040.
- [6] 孔祥俊. 黄土高原苹果园养分投入及土壤氮素累积特征[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [7] JU X. Significant accumulation of nitrate in Chinese semi-humid croplands[D]. Beijing: China Agricultural University, 2016.
- [8] 王朝辉, 李生秀, 王西娜, 等. 旱地土壤硝态氮残留淋溶及影响因素研究[J]. *土壤*, 2006, 38(6): 676-681.
- [9] MENG L, DING W X, CAI Z C. Long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer on N₂O emissions, soil quality and crop production in a sandy loam soil[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2005, 37(11): 2037-2045.
- [10] 范富, 张庆国, 侯迷红, 等. 优化施肥对沙地栽培葡萄产量及品质的影响[J]. *果树学报*, 2013, 30(6): 983-988.
- [11] 孙海高. 有机无机肥配施对葡萄果实品质和主要矿质营养影响研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- [12] 李强, 王朝辉, 戴健, 等. 氮肥调控与地表覆盖对旱地冬小麦氮素吸收及残留淋失的影响[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(7): 1380-1389.
- [13] 曹健康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [14] 王慧. 半微量蒸馏法测定植物的全氮含量[J]. *现代农业科技*, 2012, 22: 226.
- [15] 张亦涛, 王洪媛, 雷秋良, 等. 农田合理施氮量的推荐方法[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(15): 2937-2947.
- [16] 黄英, 安进强, 张芮, 等. 水肥调控对设施延后栽培葡萄产量和品质的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2015, 33(2): 191-195; 202.
- [17] 史星雲, 李强, 张军, 等. 滴灌条件下水肥耦合对酿酒葡萄生长发育及果实品质的影响[J]. *西北农业学报*, 2019, 28(2): 225-236.
- [18] 刘照霞. 根区优化施肥对苹果生长发育及氮素吸收利用的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2021.
- [19] 孙权, 王静芳, 王素芳, 等. 不同施肥深度对酿酒葡萄叶片养分和产量及品质的影响[J]. *果树学报*, 2007, 24(4): 55-459.
- [20] 汪新颖. 施肥深度对葡萄氮素营养特征及土体硝态氮迁移的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2015.
- [21] 宁改星, 马宗桓, 毛娟, 等. 施氮量对荒漠区‘蛇龙珠’葡萄叶片质量的影响[J]. *果树学报*, 2020, 37(9): 1336-1345.
- [22] 黄成能, 卢晓鹏, 肖玉明. 施氮对椴柑叶片氮同化叶绿素合成关键酶基因表达的影响[J]. *果树学报*, 2014, 31(1): 7-12.
- [23] 杨儒琳, 康艳玲, 王玉红, 等. 巨峰葡萄营养诊断取样时期及部位的探讨[J]. *中国果树*, 1993(2): 41-42.
- [24] 贺雅娟, 卢慧慧, 郭艳兰, 等. 施氮量对葡萄叶片生理生化指标及果实品质的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2021, 56(6): 56-63.
- [25] 孙聪伟, 杨丽丽, 陈展, 等. 施氮量对巨峰葡萄生长和果实品质的影响[J]. *河北农业科技*, 2017, 21(5): 38-41.
- [26] ZHU X Q, FU W H, KONG X J, et al. Nitrate accumulation in the soil profile is the main fate of surplus nitrogen after land-use change from cereal cultivation to apple orchards on the Loess Plateau[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2021, 319(6): 107574.
- [27] 黄明, 吴金芝, 李友军, 等. 耕作方式和氮肥用量对旱地小麦产量、蛋白质含量和土壤硝态氮残留的影响[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(24): 5206-5219.
- [28] WEN B B, LI C, FU X L, et al. Effects of nitrate deficiency on nitrate assimilation and chlorophyll synthesis of detached apple leaves[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2019, 142: 363-371.
- [29] 刘俊, 刘崇怀. 龙眼葡萄棚架栽培条件下的根系分布[J]. *果树学报*, 2006, 23(3): 379-383.
- [30] 杨云马, 孙彦铭, 贾良良, 等. 氮肥基施深度对夏玉米产量、氮素利用及氮素残留的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(3): 830-837.