

宁夏贺兰山东麓洪积扇区酿酒葡萄对水肥一体化响应

王潇, 王振龙, 王锐, 孙权

(宁夏大学农学院, 银川 750021)

摘要: 按照有机农业生产要求, 通过田间试验, 研究水肥一体化条件下施用有机滴灌肥对宁夏贺兰山东麓洪积扇区酿酒葡萄产量、品质以及葡萄园土壤化学和生物学性状的影响, 探索半干旱区高山下洪积母质发育的瘠薄粗骨性灰钙土水肥高效利用途径。结果表明: 施用不同数量的有机滴灌肥各处理酿酒葡萄产量与品质差异显著 ($p < 0.05$), 其中 3.6 t/hm^2 处理产量最高, 达到 8.29 t/hm^2 。T_{4.5} 处理葡萄单果最重, 果粒最大; 与 CK 相比, 3.6 t/hm^2 处理能显著提升酿酒葡萄果实可溶性固形物、可溶性糖、总酚和花色苷等关键品质指标的含量 ($p < 0.05$)。酿酒葡萄品质指标与施肥处理间的关系分析表明, 3.6 t/hm^2 处理得分最高。在 0—20, 20—40, 40—60 cm 土层, 土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾等化学性质以及脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶、过氧化氢酶均呈现出随施肥量的增加而增大的趋势, 4.5 t/hm^2 处理达到最大值 ($p < 0.05$)。研究结果对地处大西北的宁夏贺兰山洪积扇生态脆弱区有限土肥水资源的高效利用, 并生产最高端有机酿酒葡萄和葡萄酒, 促进水土保持与经济效益的有机结合, 实现农民增收、农业增效具有重要作用。

关键词: 贺兰山东麓; 有机滴灌肥; 酿酒葡萄; 水肥高效; 土壤理化性质

中图分类号: S275.6; S663.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2020)02-0269-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbxb.2020.02.038

Response of Wine Grape to Water-fertilizer Integration in the Alluvial Sector at Eastern Foot of Helan Mountain, Ningxia

WANG Xiao, WANG Zhenlong, WANG Rui, SUN Quan

(School of Agricultural, Ningxia University, Yinchuan 750021)

Abstract: According to the requirements of organic agricultural production, through field experiment, we studied the effects of organic drip irrigation on the yield, quality of wine grape, as well as the soil chemical and biological properties of vineyard in the alluvial fan area at eastern foot of Helan Mountain in Ningxia. And the way of high-efficiency utilization of water and fertilizer in barren coarse bone gray ash soil developed from parent material of high mountain in semi-arid area was explored. The results showed that the yield and quality of wine grape treated with different amounts of organic drip irrigation were significantly different ($p < 0.05$), and the yield of the treatment of 3.6 t/hm^2 was the highest, which was 8.29 t/hm^2 . T_{4.5} treatment had the heaviest single fruit and the largest fruit grain. Compared with CK, 3.6 t/hm^2 treatment significantly increased the contents of soluble solids, soluble sugar, total phenols and anthocyanins in wine grape ($p < 0.05$). The analysis of the relationship between wine grape quality index and fertilization treatment showed that 3.6 t/hm^2 treatment had the highest score. In 0—20 cm, 20—40 cm and 40—60 cm soil layers, soil organic matter, alkali nitrogen, available phosphorus, available potassium and other chemical properties as well as biological indicators such as urease, alkaline phosphatase, invertase, catalase and so on all increased with the increasing of fertilization amount, and 4.5 t/hm^2 treatment had the maximum value ($p < 0.05$). The results of this study were great importance to the efficient utilization of limited soil and water resources in the ecologically fragile area of the Helan Mountain alluvial fan area in Ningxia, the production of the most high-end organic wine grape and wine, promote the organic combination of soil and water conservation and economic benefits, and the increase of farmers' income and agricultural efficiency.

Keywords: eastern foot of Helan Mountain; organic drip irrigation fertilizer; wine grape; high efficiency of water and fertilizer; soil physical and chemical properties

收稿日期: 2019-08-22

资助项目: 宁夏重点研发计划重大项目(2016BZ0602, 2018BBF02021, 106001000000150012, 2017BN05)

第一作者: 王潇(1993—), 女, 硕士研究生, 主要从事干旱区农业资源高效利用研究。E-mail: wxnxdx@163.com

通信作者: 孙权(1965—), 男, 博士, 教授, 主要从事干旱区土肥水高效利用研究。E-mail: sqnxu@sina.com

宁夏贺兰山东麓地区(37°43′00″—39°05′03″N, 105°45′39″—106°27′35″E)位于中温带干旱气候区,属于典型的大陆性气候。该区大部分位于贺兰山山前洪积扇,成土母岩以洪积物为主,植被为荒漠草原,地形倾斜向东,小地形起伏较小,沟壑小而浅,降雨量与洪水产生量小,土壤侵蚀度较轻。低降雨量及低植被覆盖度条件下发育干旱土土纲,钙成干旱土亚纲,正常钙成干旱土土类(俗称灰钙土土类),土层厚度 40—100 cm,土质多为砂壤土,富含石砾,钙积层明显,pH 8.5 左右。

该区光能资源丰富,日照时间长,全年日照时间为 2 851~3 106 h,年平均温度≥10 ℃,有效积温 1 500 ℃左右,在 8 月初至 8 月下旬葡萄转色期,以及 8—9 月葡萄浆果成熟期间,昼夜温差大(10~15 ℃),葡萄的糖分可以充分积累,同时葡萄的酚类物质含量也较高,有发展葡萄种植的优越条件,为葡萄酒产业的发展提供优越的自然基础。独特的风土条件和地处全球 38°纬度线酿酒葡萄种植黄金带,2002 年获得了国家地理标志产品保护区^[1],已成为我国最适宜发展葡萄种植的地区之一。

但瘠薄的土壤肥力特征和水资源严重不足已成为制约宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄优势特色产区葡萄与葡萄酒产业可持续发展的瓶颈。该区传统葡萄种植由于长期过量施用化肥和大水漫灌^[2],导致水肥渗漏损失严重,土壤与地下水环境受到污染,酿酒葡萄产量低而不稳,果实品质下降,进一步导致葡萄酒品质降低^[3]。改变贺兰山东麓洪积扇区酿酒葡萄园水土肥管理模式势在必行。

瘠薄砂质土壤增施有机肥来替代化肥实现改土培肥、增进地力、减少污染,已成为现代农业提质增效的必然选择。已有研究^[4]表明,施用有机肥能显著改善葡萄种植土壤的理化性质,增强土壤的保水保肥能力,提高水肥利用效率。生产实践中,有机肥施用技术主要为有机肥底肥+化肥基追肥^[5]、有机肥底肥+水肥一体^[6-8]等。其中,水肥一体化技术通过人为定量调控水肥供应,满足作物在关键生育期“吃饱喝足”的需要,肥效快,养分利用率高,有效避免肥料施在较干的表土层易引起的挥发损失、溶解慢、肥效差等问题,且极大降低过量施肥漫灌而造成的水肥渗漏与土壤及水体污染等问题,既节约肥料又有利于环境保护,还可达到作物的产量和品质双重提升的目标,从而在我国北方,以及全球范围内被广泛采用。

长期以来,关于滴灌条件对酿酒葡萄产量、品质和葡萄园土壤肥力的影响多集中在化肥的施用^[9-12],符合有机农业要求的水肥一体化技术对葡萄园土壤肥力^[13]和对葡萄产量、品质的影响少见报道。因此,在水肥一体化栽培条件下,选择符合有机投入品评估

要求的有机滴灌肥,既能补充水溶性有机碳营养,同时供应来自生物源的多种营养元素,探讨其田间适宜的滴灌肥施用量,对发挥贺兰山东麓洪积扇区优势风土条件、生产高品质的有机酿酒葡萄与葡萄酒以及提高有限水土资源的高效利用具有重要作用。本文基于田间试验,以酿酒葡萄“赤霞珠”为对象,研究水肥一体化条件下不同有机滴灌肥对酿酒葡萄生长发育、产量品质和葡萄园土壤化学及生物学性状的影响,为宁夏贺兰山东麓国际酿酒葡萄黄金带葡萄与葡萄酒产业的可持续发展提供理论和现实依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2018 年 4—10 月在宁夏贺兰山东麓永宁县闽宁镇立兰酒庄葡萄基地进行,海拔 1 060 m,年均气温 8.9 ℃,年积温 3 289 ℃,年均降水量 220 mm,年均蒸发量 1 600 mm,全年日照时间 2 851~3 106 h,无霜期 176 d。供试土壤为干旱土土纲,钙成干旱土亚纲,正常钙成干旱土土类,质地为砂壤土。土壤基本理化性质见表 1 和表 2。

表 1 试验地土壤基本物理性质

土层深度/cm	容重/(g·cm ⁻³)	总孔隙度/%	自然含水量/%	田间持水量/%	饱和含水量/%
0—20	1.52	48	16.34	27.13	29.23
20—40	1.60	44	14.78	20.32	28.28
40—60	1.47	45	15.91	21.58	31.33

表 2 试验地土壤基本化学性质

土层深度/cm	有机质含量/(g·kg ⁻¹)	碱解氮含量/(mg·kg ⁻¹)	有效磷含量/(mg·kg ⁻¹)	速效钾含量/(mg·kg ⁻¹)
0—20	5.35	20.48	11.57	193.42
20—40	5.31	18.82	10.62	163.16
40—60	5.03	18.47	9.33	120.03

1.2 试验材料

供试酿酒葡萄品种为欧亚种(*Vitis. vinifera* L.)‘赤霞珠’(Cabernet Sauvignon),于 2012 年定植,“厂”字整形。供试有机水溶肥为某企业获得有机投入品评估证明的水溶型“生物有机肥”,含 N 2.9%,P₂O₅ 3.6%,K₂O 5.2%,有机质含量 52%,其他指标均符合 NY 884—2012 要求。采用滴灌追肥,滴头流量 2.2 L/h,滴头间距 30 cm,滴灌管绑缚于距地面 30 cm 的第 1 根铁丝上。

1.3 试验设计

采用单因素多水平随机区组设计,在全部处理基施由羊粪腐熟发酵的 4.5 t/hm²生物有机肥的基础上,设置 6 个施用量的有机水溶肥追施水平,分别为对照(CK)、0.9 t/hm²(T_{0.9})、1.8 t/hm²(T_{1.8})、2.7 t/hm²(T_{2.7})、3.6 t/hm²(T_{3.6})和 4.5 t/hm²(T_{4.5}),各处

理重复 3 次,随机排列。各处理统一灌溉量(5 250 m³/hm²),分 12 次滴入,每次灌溉量为 437.5 m³/hm²;于 5 月 18 日(萌芽期)、6 月 3 日(开花期)、7 月 19 日和 7 月 26 日(膨大期)、8 月 16 日和 8 月 24 日(着色期)6 次追肥,每次施入总肥料的 16.7%。酿酒葡萄抹芽、修剪、除草、病虫害生物防治等同常规田间管理。

1.4 样品采集与测定

1.4.1 土壤性状指标测定 果实成熟期进行土壤样品的采集,避开施肥和滴灌点,按“5 点”法于各小区取距葡萄主干 25 cm 的土壤,并分层(0—20,20—40,40—60 cm)取样。有机质含量采用重铬酸钾容量法外加一硫酸亚铁滴定法测定;碱解氮含量采用碱解扩散法测定;有效磷含量采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用 1 mol/L NH₄ Ac 浸提—火焰光度法测定^[14]。土壤脲酶活性、碱性磷酸酶活性、蔗糖酶活性和过氧化氢酶活性分别采用苯酚钠—次氯酸钠比色法、磷酸苯二钠比色法、3,5—二硝基水杨酸比色法和高锰酸钾滴定法^[15]测定。

1.4.2 葡萄产量性状的测定 各处理在果实成熟期随机选取 30 株葡萄树,实际测产,记录单株产量,最后统一折算成理论产量;随机选取 10 穗中部果穗,按 1∶1∶1 的比例随机在果穗上、中、下部选取 100 粒葡萄,电子天平测定百粒重;游标卡尺测定果实横、纵

径;直尺测定果穗长。

1.4.3 葡萄品质性状的测定 在果实成熟期各处理随机选取 10 穗适量无病虫害果穗,用保温冰箱带回实验室后进行品质测定。可溶性固形物含量采用手持糖量计测定;可滴定酸含量采用 NaOH 滴定法测定;可溶性糖采用苯酚法测定;单宁、总酚、花色苷含量测定前先将葡萄粒在液氮中速冻后于-80 ℃超低温冰箱冰冻保存备用,单宁含量采用福林—丹尼斯法测定;花色苷的含量采用 pH 示差法测定;总酚含量采用福林—肖卡法测定^[16]。

1.5 数据处理

试验数据分别采用 Excel 2010、SPSS 21.0 软件对数据进行计算和统计分析;采用 Origin 9.1 绘制图形,显著性水平为 $p<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 有机滴灌肥施用量对酿酒葡萄产量的影响

由表 3 可知,T_{4.5}处理的单果横径最大,CK 处理的单果纵径最小,两者之间差异显著($p<0.05$),其他处理间差异不显著($p>0.05$),表明 T_{4.5}处理使果粒体积增大、重量增加最为显著;同时该处理下百粒重达到最大,较 CK 增幅达 12.44%,各处理果穗单株产量和产量均在 T_{3.6}处理处达显著差异($p<0.05$),果穗长在各处理间无显著差异($p>0.05$)。

表 3 有机滴灌肥施用量对葡萄果实生物学性状和产量的影响

处理	横径/ mm	纵径/ mm	百粒重/ g	果穗长/ cm	单株 产量/kg	产量/ (t·hm ⁻²)
CK	12.06±0.14b	12.95±0.14b	128.90±2.13e	14.67±3.20a	1.63±0.03c	6.83c
T _{0.9}	12.65±0b	13.26±0.89ab	137.03±0.41cd	14.44±2.70a	1.74±0.09bc	7.32bc
T _{1.8}	12.74±0.40b	13.50±0.40ab	140.32±1.14bc	14.33±2.33a	1.81±0.09abc	7.59abc
T _{2.7}	12.19±0.47b	13.17±0.47ab	135.64±1.93d	14.67±2.73a	1.92±0.05ab	8.06ab
T _{3.6}	12.92±0.13b	13.84±0.13ab	141.81±0.67ab	14.33±3.72a	1.97±0.03a	8.29a
T _{4.5}	13.03±0.11a	14.29±0.11a	144.94±0.96a	14.89±3.13a	1.84±0.08abc	7.74abc

注:同列数据后不同字母表示处理间差异达到显著水平($p<0.05$)。下同。

2.2 有机滴灌肥施用量对酿酒葡萄浆果品质的影响

由表 4 可知,葡萄果实可溶性固形物和总酚含量均以 T_{2.7}和 T_{3.6}处理最高,二者之间无显著性差异($p>0.05$),分别较 CK 提升 6.75%和 8.06%,25.02%和 23.53%。其他处理相较 CK,可溶性固形物和总酚含量均有不同程度的提升。可溶性糖含量在 T_{2.7}处理达到最大,较 CK 提升 4.47%,CK 和 T_{0.9}处理间差异不显著($p>0.05$)。适当的糖酸比可以提高酿造葡萄酒的风味,同时提升酿酒葡萄的品质。从表 4 可知,各个追肥处理与 CK 均存在显著性差异。当追肥量达到 3.6 t/hm²时,对糖酸比的提升效果最为显著,达到 26.53,提升了 17.13%。在各追肥处理间,花色苷含量差异不显著($p>0.05$),说明滴灌追施有机肥对酿酒葡萄果实可溶性固形物、总酚和花色苷含量的提

升有积极作用。可滴定酸质量分数和单宁含量均以 CK 最高,分别高达 0.79%和 16.29 mg/g,其中可滴定酸质量分数在 T_{2.7}和 T_{3.6}处理降幅最为显著,分别降低 7.59%和 11.39%。当肥料追施肥量达到 1.8~4.5 t/hm²时,均可使果实中单宁含量显著降低,表明滴灌追施有机肥能降低果实酸涩感,对果实品质的提升效果显著。

2.3 葡萄果实品质因子的主成分分析

对酿酒葡萄果实的可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸、单宁、花色苷和总酚 6 个指标进行主成分分析,发现只有 1 个主成分因子特征值大于 1,记做第 1 主成分因子,第 1 主成分因子累计贡献率达到 90.97%,基本涵盖了葡萄品质的全部信息,能够综合指示品质特征。将各主成分因子载荷转换成规格化的特征向量,

可得反映葡萄品质特征的主成分表达式为：

$$Y=0.40X_1+0.41X_2-0.40X_3-0.42X_4+0.39X_5+0.42X_6$$

(1)

式中： Y_1 表示第 1 主成分因子； X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 分别表示可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸、单宁、花色苷和总酚含量。

表 4 施用量生物有机肥对酿酒葡萄浆果品质的影响							
处理	可溶性固形物/%	可溶性糖/%	可滴定酸/%	糖酸比	单宁/(mg·g ⁻¹)	花色苷/(mg·g ⁻¹)	总酚/(mg·g ⁻¹)
CK	23.69±0.15c	17.89±0.11c	0.79±0.12a	22.65±0.65d	16.29±0.06a	9.36±0.64b	11.39±0.01d
T _{0.9}	23.94±0.09bc	17.94±0.02c	0.78±0.08b	23.00±1.23c	15.69±0.14b	10.37±0.01a	12.15±0.01c
T _{1.8}	24.15±0.01b	18.41±0.01b	0.75±0.03b	24.55±0.74b	14.90±0.10bc	10.54±0.12a	13.26±0.02b
T _{2.7}	25.29±0.02a	18.69±0.11a	0.73±0.11c	25.60±0.68ab	14.43±0.34c	10.93±0.14a	14.24±0.03a
T _{3.6}	25.60±0.16a	18.57±0.04ab	0.70±0.04c	26.53±0.82a	14.65±0.12c	10.82±0.13a	14.07±0.06a
T _{4.5}	24.86±0.21ab	18.32±0.12bc	0.75±0.11b	24.43±0.03b	14.79±0.15c	10.76±0.29a	13.98±0.03ab

将各处理 6 个指标的标准化值带入表达式(1)，以第 1 主成分的方差贡献率为权重，对主成分进行加权求和，得到各处理葡萄品质的得分(表 5)。

表 5 葡萄园不同追肥处理的主成分因子及果实品质综合得分

处理	Y_1	综合得分	综合排名
CK	-3.54	-1.52	5
T _{0.9}	-0.04	-0.02	4
T _{1.8}	-0.04	-0.02	4
T _{2.7}	0.17	0.07	2
T _{3.6}	0.85	0.37	1
T _{4.5}	0.15	0.06	3

由表 5 可知，各追肥处理的葡萄品质均高于 CK，且当追施量达 3.6 t/hm²(T_{3.6}处理)时得分最高，说明追肥量在 3.6 t/hm²时，对综合提升葡萄果实品质的效果最好。

2.4 有机滴灌肥施用量对土壤化学性状的影响

由表 6 可知，各施肥处理下 0—20，20—40，40—

60 cm 土层的有机质含量均显著高于 CK，而且随着肥料施入量的增加，各层土壤中有有机质含量呈现逐渐上升的趋势，依次为 T_{4.5}>T_{3.6}>T_{2.7}>T_{1.8}>T_{0.9}>CK。土壤有机质在各施肥处理间差异显著($p<0.05$)，T_{4.5}处理较 CK 在各层分别提高 41.69%，32.26%和 11.69%。土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量在各土层呈现出与有机质含量相同的变化规律，即 T_{4.5}>T_{3.6}>T_{2.7}>T_{1.8}>T_{0.9}>CK。各施肥处理下碱解氮、有效磷和速效钾含量均在 T_{4.5}处理最高，与 CK 差异显著。在 0—20 cm 土层中，土壤速效养分分别提高 15.14%，38.27%和 32.36%；在 20—40 cm 土层中，土壤速效养分分别提高 11.05%，36.40%和 27.82%；在 40—60 cm 土层中，土壤速效养分分别提高 8.91%，27.81%和 24.68%，说明施用有机肥对提升土壤肥力的效果显著，表层土壤的提升效果优于次表层和深层土壤。

表 6 有机滴灌肥对土壤有机质和速效养分含量的影响					
土层深度/cm	处理	有机质含量/(g·kg ⁻¹)	碱解氮含量/(mg·kg ⁻¹)	有效磷含量/(mg·kg ⁻¹)	速效钾含量/(mg·kg ⁻¹)
0—20	CK	6.74±0.14d	26.09±1.01e	11.55±1.11d	181.33±9.13e
	T _{0.9}	7.31±0.26c	28.03±1.67d	12.23±1.59c	205.21±7.23d
	T _{1.8}	8.26±0.43bc	28.52±2.34c	14.97±0.53b	216.29±0.88c
	T _{2.7}	8.59±0.49b	29.20±2.65b	15.32±0.48ab	231.86±3.37b
	T _{3.6}	8.89±0.37ab	29.53±2.31ab	15.56±0.39ab	232.67±3.71b
	T _{4.5}	9.55±0.48a	30.04±1.22a	15.97±0.57a	240.00±4.48a
20—40	CK	5.58±0.10d	25.51±1.06c	10.22±0.33c	143.33±2.73d
	T _{0.9}	5.63±0.97c	26.05±2.22bc	10.89±1.93c	155.00±3.06c
	T _{1.8}	5.98±1.21c	26.23±1.93bc	12.63±0.74b	162.67±1.86b
	T _{2.7}	6.65±0.48b	27.10±2.32b	13.85±0.66a	171.33±2.19b
	T _{3.6}	6.86±0.41ab	27.72±0.53ab	13.91±0.88a	182.39±4.34a
	T _{4.5}	7.38±0.47a	28.33±0.67a	13.94±0.94a	183.20±6.06a
40—60	CK	5.56±0.66d	24.36±1.02d	9.67±0.39d	123.67±5.21d
	T _{0.9}	5.63±1.11c	24.53±0.68d	10.49±0.45c	132.33±1.67c
	T _{1.8}	5.80±0.63bc	25.23±1.84c	11.74±1.31b	144.65±4.91b
	T _{2.7}	5.98±0.60b	26.16±1.35b	12.26±1.37a	149.26±5.90b
	T _{3.6}	6.06±0.45ab	26.46±1.21a	12.33±2.04a	151.41±3.43a
	T _{4.5}	6.21±0.68a	26.53±0.55a	12.36±1.62a	154.19±4.67a

2.5 有机滴灌肥施用量对土壤酶活性的影响

2.5.1 有机滴灌肥施用量对土壤脲酶活性的影响

由图 1 可知,随着土壤土层深度的增加,脲酶含量逐渐降低。表层土壤脲酶活性最高,其次为心土层,底土层含量最低,说明 0—20 cm 土层土壤氮素含量较高,不同有机滴灌肥追施水平对土壤脲酶活性有较大影响。随着追施量的增加,脲酶活性逐渐增大,于 $T_{4.5}$ 处理处脲酶含量达到最大值,与 CK 相比提升 54.70%。在 20—40, 40—60 cm 土层土壤脲酶活性的变化趋势为先逐渐上升后保持稳定,在 $T_{2.7}$ 、 $T_{3.6}$ 和 $T_{4.5}$ 处理间差异不显著($p>0.05$),说明渗移入深层土壤的有机肥较少,致使心土层和底土层土壤脲酶活性没有表层土壤显著。

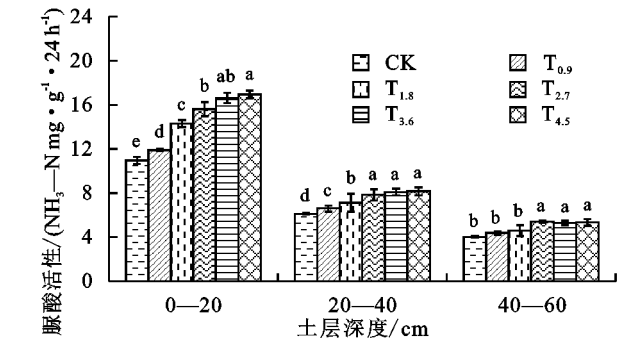


图 1 有机滴灌肥对酿酒葡萄果园土壤脲酶活性的影响

2.5.2 有机滴灌肥施用量对土壤碱性磷酸酶活性的影响

由图 2 可知,各施肥处理在 0—20 cm 土层土壤碱性磷酸酶活性均显著高于 CK,呈现出 $T_{4.5}>T_{2.7}>T_{3.6}>T_{1.8}>T_{0.9}>CK$ 的变化趋势, $T_{4.5}$ 处理与其他处理存在显著差异,酶活性较 CK 提高 51.04%; 20—40 cm 土层呈现出 $T_{2.7}$ 、 $T_{3.6}$ 和 $T_{4.5}>T_{1.8}>T_{0.9}>CK$ 的变化趋势, $T_{2.7}$ 、 $T_{3.6}$ 和 $T_{4.5}$ 分别较 CK 提升 29.84%, 32.73% 和 33.40%; 在 40—60 cm 土层中, $T_{2.7}$ 、 $T_{3.6}$ 和 $T_{4.5}$ 与 $T_{1.8}$ 、 $T_{0.9}$ 和 CK 均无显著性差异($p>0.05$),说明滴灌施用量有机肥对酿酒葡萄果园土壤碱性磷酸酶活性产生显著影响,但过多的施入有机肥并不能持续增加土壤碱性磷酸酶的含量;同时随着土层深度的增加,土壤碱性磷酸酶活性逐渐降低。由于土壤有效磷含量与土壤碱性磷酸酶活性显著相关,这与土壤有效磷含量变化相吻合。

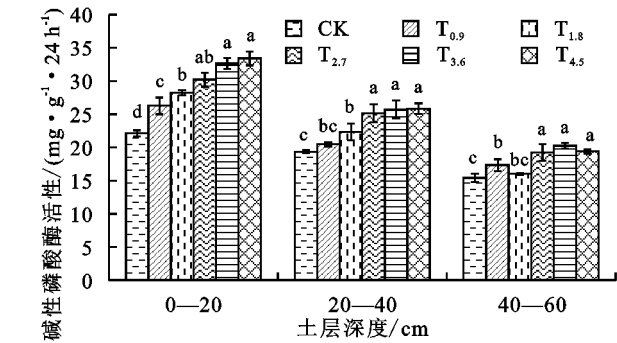


图 2 有机滴灌肥对酿酒葡萄果园土壤碱性磷酸酶活性影响

2.5.3 有机滴灌肥施用量对土壤蔗糖酶活性的影响

由图 3 可知,滴灌追施生物有机肥使土壤蔗糖酶活性发生不同程度的提升,同时各处理土壤蔗糖酶活性随着土层深度的增加而降低,具体表现为 $0-20\text{ cm}>20-40\text{ cm}>40-60\text{ cm}$ 。各层土层中 $T_{3.6}$ 处理与 $T_{4.5}$ 处理间差异均不显著,但相较于 CK 分别提升 56.48% 和 58.91%、52.06% 和 54.91% 以及 41.95% 和 44.42%。说明适量施肥有利于土壤蔗糖酶活性的提升,但持续提高有机肥料的投入量并不能增大土壤蔗糖酶的活性。

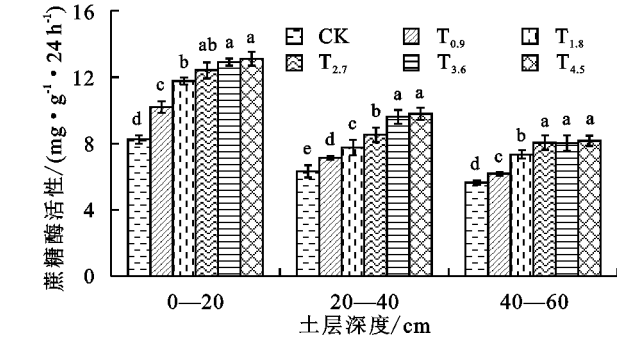


图 3 有机滴灌肥对酿酒葡萄果园土壤蔗糖酶活性影响

2.5.4 有机滴灌肥施用量对土壤过氧化氢酶活性的影响

由图 4 可知,滴灌追施有机肥后,随着肥料追施量的增加,过氧化氢酶活性在表层、次表层和深层土壤均呈现出逐渐上升的趋势,可能是因为有机底肥和滴灌追肥增加了土壤中的有机质含量,使得土壤过氧化氢酶活性显著提升。追肥处理的过氧化氢酶活性与 CK 均存在显著性差异。在 0—20 cm 土层, $T_{4.5}$ 处理过氧化氢酶活性最高,相较 CK 增幅达 56.36%,其次是 $T_{2.7}$ 和 $T_{3.6}$ 处理,二者之间无显著性差异($p>0.05$),增幅达 43.64% 和 50.91%。在 20—40, 40—60 cm 土层中, $T_{2.7}$ 、 $T_{3.6}$ 和 $T_{4.5}$ 处理处于同一水平,处理间差异不显著($p>0.05$),可能是因为深层土壤养分含量较表层低,肥料投入较表层低,因而变化不显著。

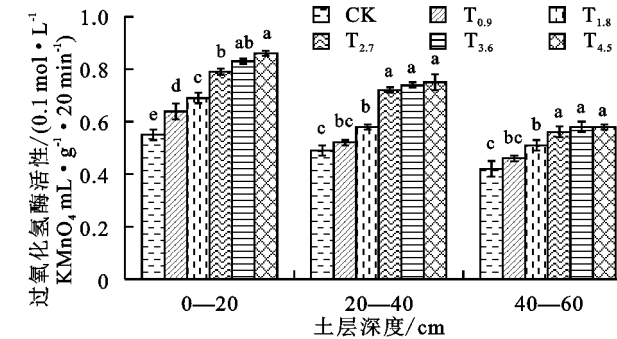


图 4 有机滴灌肥对酿酒葡萄果园土壤过氧化氢酶活性影响

2.6 施用有机滴灌肥经济效益分析

由表 7 可知,随着肥料追施量的增加,酿酒葡萄产值先升后降。对“产值”与“肥料追施量”的关系采用二次多项式拟合,得到:

$$Y = -0.1206x^2 + 0.776x + 6.4911, R^2 = 0.9407$$

由公式(2)可知,有机栽培下酿酒葡萄的当季产值 90%取决于有机滴灌追肥的施用量。

通过求解,有机滴灌肥追肥量在 3.22 t/hm²下产值最高,达到 7.74 万元/hm²,比对照增值 17.99%,经济效益较不追施肥增加 13.38%。追施有机滴灌肥后,收益稳定在 4.55~4.94 万元/hm²,其中在追肥量达到 3.6 t/hm²时,收益较不追施提高 15.96%。从产投比可以看出,随着肥料追施量的增加,产投比呈现逐渐下降的趋势,说明过多的肥料投入并不能收获更高的收益。在大田生产中,合理控制肥料的投入量对收获高产值大有裨益。

表 7 有机滴灌肥施用量对酿酒葡萄经济效益的影响

处理	产量/ (t·hm ⁻²)	产值/ (万元·hm ⁻²)	成本/ (万元·hm ⁻²)	经济效益/ (万元·hm ⁻²)	产投比
CK	6.83c	6.56	2.30	4.26	2.85
T _{0.9}	7.32bc	7.03	2.48	4.55	2.83
T _{1.8}	7.59abc	7.38	2.63	4.75	2.81
T _{2.7}	8.06ab	7.74	2.84	4.90	2.73
T _{3.6}	8.29a	7.91	3.02	4.94	2.62
T _{4.5}	7.74abc	7.43	3.20	4.46	2.32

注:酿酒葡萄当年价格 9.6 元/kg;生物有机肥 1 200 元/t;有机水溶肥 6 000 元/t;水费 0.2 元/m³;葡萄采摘费 4 500 元/hm²;其他费用 1.2 万元/hm²。

3 讨论

3.1 有机滴灌肥施用量对酿酒葡萄果实产量和品质的影响

合理的水肥投入管理对葡萄果树生长有直接作用,对葡萄果实产量的提高和品质的提升有促进作用^[17]。滴灌水肥管理能根据葡萄生育期不同需肥量合理调节水肥供给量,在节水节肥的同时,提升葡萄果实产量品质^[18-19]。张杰等^[9]研究表明,肥水一体的灌溉方式能够提升葡萄果实产量,改善葡萄品质。在本试验中,各处理间单株产量和公顷产量均存在显著性差异,均在 T_{3.6} 处理处达到最大值;果实横纵径和百粒重在 T_{4.5} 处理处最高,对果实外观形态的改变最为显著;糖、酸和酚等物质在葡萄果实中的含量对葡萄果实品质有直接的影响^[20]。本试验中,T_{3.6} 处理果实可溶性固形物、可溶性糖、总酚和花色苷的含量显著高于不追肥,随着肥料滴灌量的增加,可滴定酸和单宁的含量显著降低,这与葛新伟^[21]、许晓瑞等^[22]关于葡萄施用有机肥的结果保持一致。采用主成分分析的方法对酿酒葡萄可溶性固形物、单宁、花色苷等品质指标进行综合评定,发现第 1 主成分因子累计贡献率达 90.97%,对原变量信息覆盖度较高。通过加权求和计算各处理得分,发现 T_{3.6} 处理综合得分最高,对葡萄果实品质改变最为显著。本研究结果表明,通过滴灌的方式追施有机肥,能够在省水省肥的

同时提高酿酒葡萄的产量和品质。但过高的追施量不会对葡萄果实品质的提升产生积极作用。因此,在今后贺兰山东麓洪积扇区酿酒葡萄果园大田推广生产中,应注意确定合理的肥料投入量,避免因过量投入带来经济损失。

3.2 有机滴灌肥施用量对酿酒葡萄果园土壤速效养分和酶活性的影响

土壤供给果树生长所需的大部分营养物质,土壤中营养物质的含量对果树生长发育产生直接影响^[23]。同时,土壤速效养分含量状况是影响生态系统结构和功能的重要因素之一。通过常规施用生物有机肥+滴灌有机肥的方式,显著提高了土壤有机质含量,这与 Kang 等^[24]、张兴国等^[25]的研究结果一致。本试验中,表层、次表层和深层各处理土壤有机质含量与常规施肥均存在显著差异,且在各施肥处理下均表现为 0—20 cm 土层>20—40 cm 土层>40—60 cm 土层。由于土壤吸附,可能有较多的有机水溶肥停留在土壤表层和次表层。土壤酶促反应的底物为土壤有机质,有机质含量对土壤环境中土壤酶的反应速率具有直接影响。在本研究中,肥料追施量达到 4.5 t/hm²时,对酿酒葡萄果园土壤有机质、碱解氮等速效养分的提升效果最为明显,与其他追肥处理间差异显著,这可能是因为滴灌追施有机肥,水肥投入合理,使表层土壤通气环境良好。同时增加了土壤中的有机质含量,有机质腐解得到有机酸,提升了土壤中难溶性养分的溶出率,为微生物和植物提供充足的营养来源。微生物和土壤酶的活性增强,区域土壤的微域环境发生改变,土壤养分活化,土壤环境质量得以改善。

土壤酶主要来自于微生物^[26],土壤酶系统是土壤中最活跃的部分^[27]。土壤酶对土壤生态系统有积极作用,在有机物质分解、土壤营养成分转化等方面发挥着重要作用^[28-29]。本研究表明,有机水溶肥可以不同程度地改变土壤中脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶的活性。各种酶活性在各个土层均呈现随滴灌量的增加而逐渐升高的趋势,在 T_{4.5} 处理处土壤酶活性最高。这可能是因为施肥改变了土壤原有的生态环境,增加土壤养分含量,提高土壤中微生物的数量,使养分转化速率加快,从而使得土壤腐殖质及其他土壤营养成分含量明显增加,这与前人^[30-32]的结果一致。土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性在本研究中均呈现出随着土层深度的增加含量降低,可能是因为:一方面微生物在深层土壤含量较少,因而对肥料施用量的改变响应不明显^[33];另一方面是由于酿酒葡萄果园土壤养分含量具有“表聚性”,表层土壤结构疏松、通气性好,肥料滴施使得表层土壤拥有庞大种类和数量的微生物群落,对有机

肥料的消耗量较大,降低了表层养分向深层土壤转移的概率,从而降低了肥料对深层土壤的影响。

3.3 有机滴灌肥不同施用量下的经济效益分析

滴灌施肥相较于传统水肥管理对经济效益提升显著,王锐等^[34]研究发现,采用滴灌水肥可降低人工成本,提高经济效益。可使酿酒葡萄在当年收益达到 4.31 万元/hm²。本研究表明,与不追施处理相比,追施有机水溶肥对经济效益提升效果显著。追施 3.6 t/hm²有机肥的纯收益最高达 4.94 万元/hm²。通过对“产值”与“肥料追施量”的关系进行二次多项式拟合,发现随着肥料追施量的增加,“产值”表现为先增加后降低,说明过高的肥料投入并不会带来更高的经济效益,合理控制肥料投入量,可以在节约成本的同时,提质增产,获得更高收益。综合上述试验结果,在贺兰山东麓洪积扇区酿酒葡萄果园大田生产推广活动中,应以追施量为 3.6 t/hm²为宜。

4 结论

(1)有机水溶肥追施量对“赤霞珠”产量品质的影响。追施有机认证的水溶肥可以提升酿酒葡萄产量,以追肥量达到 3.6 t/hm²时提升效果最为显著,相较于不追肥处理产量提升 1.46 t/hm²;同时,对果实中可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸、总酚和花色苷等品质指标提升效果明显,在 T_{3.6} 处理处效果最显著,实验结果与主成分分析综合评定结果保持一致。

(2)有机水溶肥追施量对贺兰山东麓酿酒葡萄果园土壤速效养分和土壤酶活性的影响。施用有机水溶肥能显著提升果园土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾的含量。追肥后,果园土壤中的速效养分含量均表现出随着土层加深养分含量呈逐渐降低的规律。在 T_{4.5} 处理处,即肥料追施量达到 4.5 t/hm²时,对速效养分提升效果最明显。果园土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性与施入土壤中的有机水溶肥含量显著相关,呈现出随着施用量的增加逐渐上升的变化规律。同时,表现出随着土层加深养分含量逐渐降低。追肥效果以 T_{4.5} 处理改变最为显著。在田间生产中,综合考虑前期投入与经济产出等实际情况,结合本试验结果分析,应以 3.6 t/hm²为最佳追肥量。

参考文献:

[1] 郑广芬,王素艳,杨建玲,等.宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄成熟采收期气候资源变化及其对葡萄品质的影响[J].生态学杂志,2016,35(12):3335-3343.

[2] 施明,司海丽,朱英,等.钙镁硫肥对贺兰山东麓酿酒葡萄的影响[J].湖北农业科学,2013,52(20):4878-4881.

[3] 王竞.贺兰山东麓不同产区土壤性质对酿酒葡萄和酒品质的影响[D].银川:宁夏大学,2018.

[4] 王丽希,陈龙军,江志阳,等.不同有机肥施用量对葡萄

产量、品质及土壤养分的影响[J].安徽农学通报,2019,25(5):84-86.

[5] 詹宇,胡佳宁,任振辉.基于 PLC 的果园水肥一体化控制系统设计[J].农机化研究,2020,42(4):100-104.

[6] 苏练余.葡萄种植中农艺与农机结合配套技术[J].吉林农业,2018(1):81.

[7] 陈囡囡,朱德兰,柏杨,等.水肥一体化灌溉施肥机吸肥性能试验研究[J].节水灌溉,2019(5):17-20,26.

[8] 刘艾英,张梅萍,同彦成,等.葡萄简易水肥一体化施肥技术应用效果调查[J].中外葡萄与葡萄酒,2018(2):32-35.

[9] 张杰,韩建,孙卓玲,等.滴灌施肥对红地球葡萄产量、品质及土体氮磷钾分布的影响[J].植物营养与肥料学报,2019,25(3):470-480.

[10] 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,2019,36(9):1150-1160.

[11] Singh V J, Sharma S D, Kumar P, et al. Conjoint application of bio-organic and inorganic nutrient sources for improving cropping behaviour, soil properties and quality attributes of apricot (*Prunus armeniaca*) [J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2010, 80(11): 981-987.

[12] Marcote I, Garcia C, Polo A. Influence of one or two successive annual applications of organic fertilisers on the enzyme activity of a soil under barley cultivation [J]. Bioresource Technology, 2001, 79(2): 147-154.

[13] 王振龙,包蕾,葛新伟,等.有机滴灌肥对酿酒葡萄园土壤微生物量碳、氮及酶活性的影响[J].中国土壤与肥料,2019(2):61-67,97.

[14] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3 版.北京:中国农业出版社,2007.

[15] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.

[16] 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.

[17] Myburgh P A. Comparing irrigation systems and strategies for table grapes in the weathered granite-gneiss soils of the lower orange river region [J]. South African Journal for Enology and Viticulture, 2016, 33(2): 184-197.

[18] 王探魁,吉艳芝,张丽娟,等.不同产量水平葡萄园水肥投入特点及其土壤—树体养分特征分析[J].水土保持学报,2011,25(3):136-141,146.

[19] 魏廷珍,孔小平.青海地区“红地球”葡萄水肥一体化技术研究[J].北方园艺,2016(11):38-40.

[20] 贺普超.葡萄学[M].北京:中国农业出版社,1989:95-97.

[21] 葛新伟.不同有机肥对果园土壤质量及酿酒葡萄品质的影响[D].银川:宁夏大学,2018.

[22] 许晓瑞,王锐,纪立东,等.有机培肥对贺兰山东麓酿酒葡萄及土壤化学性质的影响[J].北方园艺,2016(12):183-187.

[23] 陈伟,姜中武,胡艳丽,等.苹果园土壤微生物生态特征研究[J].水土保持学报,2008,23(3):168-171.

- [11] 崔景轩,李秀芬,郑海峰,等.典型气候条件下东北地区生态系统水源涵养功能特征[J].生态学报,2019,39(9):3026-3038.
- [12] 李冲,张璇,吴一帆,郝芳华,殷国栋.京津冀生态屏障区景观格局变化及其对水源涵养的影响[J].中国环境科学,2019,39(6):2588-2595.
- [13] 包玉斌,李婷,柳辉,等.基于 InVEST 模型的陕北黄土高原水源涵养功能时空变化[J].地理研究,2016,35(4):664-676.
- [14] Zhang B, Li W H, Xie G D, et al. Water conservation of forest ecosystem in Beijing and its value[J].Ecological Economics,2010,69(7):1416-1426.
- [15] 申健,李巧刚,杨少华,等.华蓥市矿山地质环境问题影响评估及治理建议[J].城市地质,2015,10(增刊 2):89-93.
- [16] 邱海鹰,康建林.守护一湖清水:四川华蓥山天池湖生态治理侧记[J].资源与人居环境,2016(6):34-35.
- [17] 周阳,谢世友.山地灾害的类型、成因及对策:以广安市华蓥山区为例[J].重庆三峡学院学报,2013,29(3):86-88.
- [18] 中国林业科学研究院林业所森林土壤研究室.LY/T1215—1999 森林土壤—水分物理性质测定标准[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [19] 雷贤斌,蒋钵,黄卫东,等.浅析华蓥市人工林近自然森林经营[J].四川林勘设计,2015(2):104-105.
- [20] 瞿晴,徐红伟,吴旋,等.黄土高原不同植被带人工刺槐林土壤团聚体稳定性及其化学计量特征[J].环境科学,2019,40(6):2904-2911.
- [21] 杨霞,陈丽华,康影丽,等.辽东低山区 5 种典型水源涵养林枯落物持水特性[J].生态学杂志,2019,38(9):2662-2670.
- [22] 周秋文,罗雅雪,罗娅,等.喀斯特灌木林枯落物持水特性分析[J].水资源与水工程学报,2018,29(5):14-20.
- [23] 刘敏,王玉杰,赵洋毅等.重庆缙云山水源涵养林地土壤水文效应[J].中国水土保持,2010(5):41-44,68.
- [24] 夏祥友.森林经营对东北林区主要森林类型蓄水保土功能的影响[D].哈尔滨:东北林业大学,2016.
- [25] 文志,赵赫,刘磊,等.套种益智对橡胶林土壤水源涵养功能的影响[J].生态学杂志,2018,37(11):3179-3185.
- [26] 杨婷惠,祁凯斌,黄俊胜,等.林窗式疏伐对云杉人工林土壤持水性能的影响[J].应用与环境生物学报,2018,24(5):1171-1178.
- [27] 王高敏.晋西黄土区退耕 16—20 年间不同林地土壤理化性质和水文功能研究[D].北京:北京林业大学,2015.
- [28] 赵洋毅.缙云山水源涵养林结构对生态功能调控机制研究[D].北京:北京林业大学,2011.
- (上接第 275 页)
- [24] Kang S B, Lee I B, Lim T J, et al. Effect of nitrogen fertigation by soil testing on the growth and yield of Campbell Early'(Vitis labrusca L.) grapevine in field cultivation[J].Korean Journal of Environmental Agriculture,2010,29(1):12-19.
- [25] 张兴国,胡笑涛,冉辉,等.不同水肥处理对温室葡萄品质的影响与综合评价[J].节水灌溉,2018(5):30-34,38.
- [26] 弓萌萌,王红,张雪梅,等.不同有机肥施用量对苹果园土壤养分及酶活性的影响[J].西北林学院学报,2019,34(3):74-78.
- [27] 孙梦媛,刘景辉,米俊珍,等.植被复垦对露天煤矿排土场土壤化学及生物学特性的影响[J].水土保持学报,2019,33(4):206-212.
- [28] 梁国鹏, Houssou A A, 吴会军,等.施氮量对夏玉米根际和非根际土壤酶活性及氮含量的影响[J].应用生态学报,2016,27(6):1917-1924.
- [39] 陈闯,吴景贵,杨子仪.不同有机肥及其混施对黑土酶活性动态变化的影响[J].水土保持学报,2014,28(6):245-250.
- [30] Steven D A, Peter M V. Responses of extracellular enzymes to simple and complex nutrient inputs[J].Soil Biology and Biochemistry,2004,37(5):937-944.
- [31] Carreiro M M, Sinsabaugh R L, Repert D A, et al. Microbial enzyme shifts explain litter decay reponses to simulated nitrogen deposition[J]. Ecology, 2000, 81(9):2359-2365.
- [32] 陈波,马海林,刘方春,等.生物有机肥对樱桃生长及根际土壤生物学特征的影响[J].水土保持学报,2013,27(2):267-271.
- [33] 王楠,王帅,高强,等.施氮水平对不同肥力土壤微生物学特性的影响[J].水土保持学报,2014,28(4):148-152,167.
- [34] 王锐,孙权.基于水肥一体化的酿酒葡萄高效栽培与效益分析[J].农业机械学报,2016,47(10):115-121.