二氧化硫（SO_2）熏蒸改善木纳格葡萄的采后品质

李杰[1]，魏佳[2]，张政[1]，李疆[1]，吴斌[1,2]
（1.新疆农业大学林学与园艺学院，新疆乌鲁木齐 830052）
（2.新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所，新疆乌鲁木齐 830091）

摘要：为探讨 SO_2 熏蒸对木纳格葡萄采后品质及质地变化的影响，测定葡萄果实贮藏期品质指标参数；采用质地多面分析法（TPA 法）测定木纳格葡萄果实质地参数，通过相关性分析对质地参数进行分析。结果表明：SO_2 熏蒸浓度为 3000 μL/L 时，果实中 SO_2 残留量为 7.55 mg/kg，符合欧美发达国家鲜食葡萄进出口食品标准。SO_2 熏蒸处理的葡萄果梗、果柄褐变度比未进行熏蒸处理降低了 2.60%；SO_2 处理能抑制果梗、果柄的叶绿素分解，未经 SO_2 处理的果梗叶绿素含量从 0.091 mg/g 降低至 0.037 mg/g，经过 SO_2 处理的果梗叶绿素含量降低至 0.052 mg/g，具有显著性差异（$p<0.05$）。SO_2 熏蒸处理能维持葡萄采后可溶性固形物和可滴定酸含量稳定，保持葡萄采后品质。可溶性固形物含量达到最大值时，SO_2 熏蒸处理比未处理高 4.2%；贮藏结束时，SO_2 处理的可滴定酸含量比未处理果实高 11.60%。采用 TPA 法测定 SO_2 处理后木纳格葡萄果实的质地参数，发现 SO_2 处理能较好的保持葡萄果实的各项质地参数：果实硬度在贮藏结束时为 4.29 N/cm^2，硬度下降减缓；内聚性在贮藏结束时为 0.78，具有显著性差异（$p<0.05$）；弹性、胶黏性和咀嚼性分别比贮藏时（0 d）下降了 3.8%、18.1%和 3.68%。SO_2 熏蒸处理后果实各项质地参数与品质之间的相关性分析表明，果实质地参数可以较好的评价木纳格葡萄果实采后贮藏期间的品质。通过以上实验结果，明确了 3000 μL/L SO_2 短时熏蒸处理能较好的保持木纳格葡萄采后品质。

关键词：SO_2 熏蒸；木纳格葡萄；质构特性；品质

文章篇号：1673-9078(2020)02-114-121 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.2.017

Improving on Postharvest Quality of Munag Grape Berries Fumigated by Sulfur Dioxide (SO_2)

LI Jie[1], WEI Jia[2], ZHANG Zheng[1], LI Jiang[1], WU Bin[1,2]
(1.Institute of forestry and horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)(2.Institute of Agricultural Products Storage and Processing, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: In order to investigate the effect of postharvest quality and texture characteristics changes of munag grape after fumigation by SO_2, the changes of fruit quality indexes during storage were determined. Texture parameters of munag grape were determined by Texture multifaceted analysis (TPA method) and studied by correlation analysis. The results showed that when the fumigation concentration of SO_2 was 3000 μl/L, the residue of SO_2 in the fruit was 7.55 mg/kg, which is in line with the developed countries in Europe and America on table grape import and export food standards. The browning degree of grape stem and stalk after SO_2 fumigation was 2.60% lower than that without fumigation. SO_2 fumigation treatment could inhibit chlorophyll decomposition. Its content in stems decreases from 0.091 mg/g to 0.037 mg/g without SO_2 fumigation treatment, while decreases to 0.052 mg/g after SO_2 fumigation treatment, showing a significant difference ($p<0.05$). SO_2 fumigation treatment could keep the content of soluble solid and titratable acid stable, maintaining postharvest quality of grapes. When the soluble solid content reached the maximum value, SO_2 fumigation treatment was 4.2% higher than untreated. At the end of storage, the titratable acid content of SO_2 treated fruits was 11.60% higher than that of untreated fruits. TPA method was used to determine the texture parameters of the fruit after SO_2 treatment, and it was found that SO_2 treatment could well maintain the texture parameters of the fruit. The fruit firmness decreased slowly and was 4.29 N/cm^2 at the end of storage. At the end of storage, the cohesiveness was 0.78, showing a significant difference

收稿日期：2019-08-14

基金项目：国家自然科学基金地区科学基金项目(31560473)

作者简介：李杰（1987-），女，博士研究生，研究方向：果树生理与分子生物学

通讯作者：李疆（1958-），男，博士，教授，研究方向：果树栽培与生理；共同通讯作者：吴斌（1973-），男，博士，研究员，研究方向：农产品贮藏与加工、果蔬采后分子生物学

(p<0.05). Elasticity, gumminess and chewiness decreased by 3.8%, 18.1% and 3.68% respectively compared with that at 0 d. The correlation analysis between texture parameters and quality of fruits after SO_2 fumigation showed that the texture parameters of fruits could well evaluate the quality of fruits in post-harvest storage. Through the above experimental results, it was clear that 3000 μL/L of SO_2 short time fumigation could maintain the quality of munag grape.

Key words: SO_2 fumigation; munag grape; texture characteristics; quality

木纳格葡萄（*Vitis vinifera* L.cv Munag）是新疆南疆地区具有特色的晚熟鲜食葡萄品种之一[1]。葡萄果肉厚而脆，含糖量达 15%~25%，品质优异，深受消费者的青睐[2]。葡萄采摘季节集中在 7~9 月，而葡萄果粒皮薄、多汁，含水量高，贮运过程中易出现大量失水、干梗和褐变等一系列现象[3]。葡萄采收后，随贮藏时间的延长，腐烂、落粒、穗梗褐变、病原菌感染等现象易发生，严重影响葡萄采后品质。二氧化硫(SO_2)常作为鲜食葡萄贮运保鲜中的保鲜剂，是一种无色气体，能降低果实组织中氧含量，抑制氧化酶活性和微生物活动，杀死各种致腐病菌，防止果实腐烂变质、变色[4]。早在 1925 年，美国就开始采用燃烧硫磺产生的 SO_2 熏蒸葡萄以延长葡萄贮藏期[5]。但 SO_2 在使用过程中释放量和释放速度难以控制，浓度过低达不到抑菌效果，浓度过高会产生药害作用，导致果蔬漂白，残留量超标等问题[6]。因此，生产应用中 SO_2 的研究主要集中在释放量和释放速率上。Nelson 研发出 SO_2 两段释放的保鲜模式，即入库 1~2 d 内的葡萄释放出较高浓度的 SO_2，在后续的贮藏过程中释放 0.005%~0.01%的 SO_2[7]，提高了葡萄的耐贮性。随后人们逐渐采用 NO、1-MCP、水杨酸（SA）等新型熏蒸保鲜方法。虽然新型熏蒸保鲜方法在抑制葡萄腐烂方面取得了一定效果，但大多对葡萄穗轴和果梗褐变的抑制作用十分有限，导致其在葡萄实际生产中鲜有应用[8]。因此，SO_2 熏蒸仍然是国内外普遍采用的葡萄保鲜剂。

果实的质地决定了水果的品质，它与硬度、胶黏性、内聚性等因素密切相关，是果实贮运过程中评价品质的重要指标[9]。目前，对果实品质的评价主要集中在理化指标上，对果实的质构特征研究不够深入，而在食品工业中，质构贯穿于整个产业链过程[10]，具有非常重要的地位。质构作为果蔬品质的关键指标之一，是果蔬产品的一项重要属性，而且与果蔬的新鲜程度和可食性密切相关，会影响消费者的选择[11]。近年来，许多学者已经开始探索果实采后贮藏过程中果实质地与品质变化之间的关系。质地多面分析法（Texture profile analysis，TPA）是对果实质地进行评价的重要方法之一，通过模拟人牙齿的咀嚼过程，对样品进行压缩，输出测试曲线来获得相关的质地参数[10]。TPA 法可以使质地参数以数字的形式表现出来，将产品的物性特点以准确的数据化表述，具有客观性、易操作等优点，避免了感官评价方法可能出现的主观性误差[10]。目前 TPA 已广泛应用到苹果[12]、草莓[13]、香蕉和芒果[14]等果实质地的评价。因此，通过 TPA 法探讨 SO_2 保鲜剂处理葡萄品质变化规律具有重要的理论和应用意义。

本文以木纳格葡萄为试验材料，采用 SO_2 短时熏蒸技术，分析 SO_2 熏蒸对葡萄果实可溶性固形物含量、可滴定酸含量、果梗和果柄叶绿素含量、果梗和果柄褐变度的影响；采用 TPA 法分析果实的质构特性，探究 SO_2 熏蒸对木纳格葡萄采后果实质构特性与品质之间的相关性，旨在为提高新疆木纳格葡萄采后品质评价及贮运保鲜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

木纳格葡萄采摘于新疆阿图什市葡萄种植园，挑选果梗嫩绿、成熟度一致（可溶性固形物含量≥18%）、果粉均匀、外观无机械伤的新鲜葡萄，修剪装箱后即时运回冷库预冷 24 h，置于（0±0.5）℃冷库中。

1.2 试验仪器及试剂

PAL-1 型数显折射仪，日本东京 ATAGO 公司；5810R 型高速冷冻离心机，德国 EPPENDORF 公司；UV-2000 型紫外分光光度仪，日本岛津有限公司；IM-F124 制冰机，日本 SANYO 公司；TA-XT plus 物性测试仪，英国 Stable Micro System 公司。

SO_2 标准气体（≥99.99%），新疆乌鲁木齐鑫天意有限公司；盐酸、丙酮，天津福晨化学试剂厂；重铬酸钾、氢氧化钠，天津市光复科技发展有限公司；碘、酚酞，天津市致远化学试剂有限公司；硫酸，四川西陇化工有限公司；可溶性淀粉，天津市标准科技有限公司；碳酸钠，天津天花化学试剂厂；乙酸铅，天津基准化学试剂有限公司；无水硫酸钠，天津北方天医化学试剂厂；碘化钾，博欧特化工贸易有限公司；以上试剂均为分析纯。

1.3 熏蒸处理方法

采用 2000 μL/L、3000 μL/L 和 4000 μL/L SO_2 熏蒸处理，以筛选合适的 SO_2 残留浓度。

本课题组前期实验[15]筛选的 3000 μL/L SO_2、10 min 的熏蒸条件能够较好的抑制木纳格葡萄果实腐烂率、失水率、落粒率的下降。因此，本实验选择 3000 μL/L SO_2、熏蒸时间为 10 min。

将 60 kg 葡萄随机分为两组，每组 30 kg，每 10 kg 葡萄放置于 30 L 的熏蒸装置中，共 6 个熏蒸箱。密闭后作以下处理：（1）对照组，无气体注入。（2）处理组，将 SO_2 气体注入熏蒸装置中使其浓度为 3000 μL/L，同时将装置内的小风扇打开，然后立即关闭进气孔密闭 10 min。取出后装入内衬吸水纸的打孔（4 孔，每孔直径 4 mm）PE 盒（21 cm×14 cm×8 cm）中，外套 PVC 保鲜袋并扎口，放置于（0±0.5）℃、相对湿度 90%~95%条件下的冷库中贮藏 90 d。上述处理每 30 d 进行一次，共熏蒸 3 次。每隔 10 d 测定果梗及果实相关指标，记录相关数据。

1.4 测定方法

1.4.1 SO_2 残留量的测定

参照 GB 5009. 34-2016《食品安全国家标准食品中二氧化硫的测定》[16]。

1.4.2 果梗、果柄褐变度（Browning degree，BD）的测定

参照张有林等[17]方法，将葡萄果梗、果柄洗净，切成厚 4mm 的小片，分开摊放在玻璃器皿中，置于 25 ℃。每天随机分别取其中 100 片，加一倍水打浆。称取 20 g 果梗、果柄浆，加入 80 mL 预先冷却的丙酮，搅拌后抽滤，残渣用冷风吹干，放置于空气中 2 h，装袋封存。实验时分别称取果梗、果柄 0.50 g，各加 10 mL 蒸馏水搅拌 15 min，过滤，在 420 nm 波长处测定吸光度值，以 A_{420} 表示褐变度，测定 3 次，取平均值。

1.4.3 果梗、果柄叶绿素（Chlorophyll，Chl）含量的测定

采用丙酮提取法[18]测定，称取果梗、果柄各 0.50 g，加少量石英砂和碳酸钙粉及 2~3 mL 丙酮，研成匀浆，加入 10 mL 80%丙酮溶液继续研磨。静置 3~5 min 提取，用 80%丙酮溶液定容至 50 mL。在 652 nm 下测定吸光值。重复三次，取平均值。

1.4.4 可溶性固形物（Total soluble solids，TSS）的测定

随机选取 30 粒葡萄果实，榨汁后过滤。采用 PAL-1 型数显糖度计测定果汁中可溶性固形物含量，测定 3 次，取平均值，单位：%。

1.4.5 可滴定酸含量（Titratable acid，TA）的测定

参照 Loay 等[19]方法，有改动，随机选取 30 粒果实，榨汁机榨汁后，将果汁在 4 ℃，8500 r/min 条件下离心 10 min。用 0.05 mol/L 的 NaOH 对加入酚酞的上清液进行滴定，测定 3 次，取平均值。

1.4.6 质构指标的测定

参照任朝辉等[20]方法采用直径为 75.00 mm 的圆柱形探头 P/75（75.00 mm Cyl.Stainless）进行测试，样本量 n=30，操作模式：压距模式。

测试参数设定为：预压速度 5.00 mm/s，下压速度 1.00 mm/s，测后上行速度 5.00 mm/s，两次压缩暂停时间为 6.00 s，触发力设为 5.00 g 力，果实受机械压缩变形 20.00%。对每粒葡萄样品分别测定正面、侧面，并重复一次。如图 1 所示。通过物理分析仪软件可以自动计算出硬度、内聚力、弹性、胶黏性和咀嚼性。

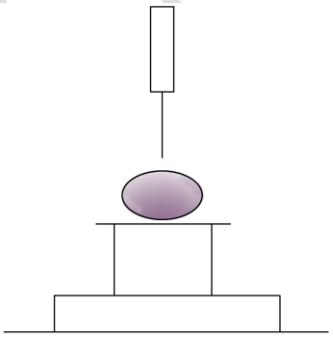


图 1 TPA 测定葡萄质构特性剖视图

Fig.1 The profile of grape texture properties determined by the texture analyzer

1.5 数据分析

使用 Sigma Plot 12.5 软件作图，SPSS 19.0 对数据进行方差分析，并利用 Duncan 法进行均值比较。*表示 $p<0.05$ 差异显著，**表示 $p<0.01$ 差异极显著。

2 结果与讨论

2.1 SO_2 熏蒸浓度对木纳格葡萄 SO_2 残留的影响

SO_2 残留通常以亚硫酸盐的形式存在，美国 FDA 规定果蔬中 SO_2 残留量不得超过 10 mg/kg[21]。近年来，SO_2 广泛应用于水果中，取得了较好的保鲜防腐作用。但 SO_2 残留超标会造成食品安全问题。佟继旭[22]等人采用浓度为 2500、5000 和 10000 μL/L SO_2 熏蒸葡萄 30 min，评估其在不同条件下葡萄 SO_2 残留并对膳食风险进行了评估。风险商值 RQ 数值越小，风险越小。结果中各处理组 RQ 值均小于 1，表明风险可接受，

所有试验组中 SO_2 残留量均低于国家食品添加剂的限量标准。本实验中，2000 μL/L 和 3000 μL/L SO_2 处理葡萄果实贮藏至 90 d 时，SO_2 残留量为 6.23 mg/kg、7.55 mg/kg，未达到限量标准，4000 μL/L SO_2 处理后残留量为 10.05 mg/kg，超过限量标准（如图 2 所示），表明采用 2000 μL/L、3000 μL/L SO_2 短时熏蒸处理较合适。

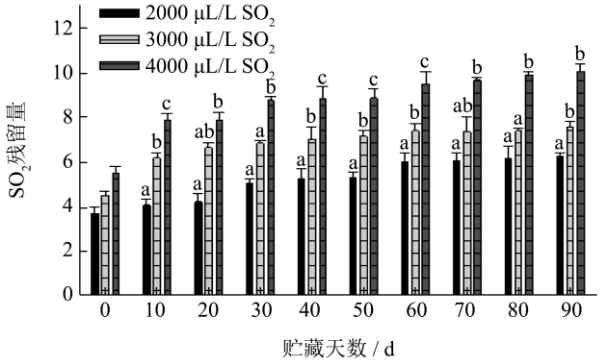


图 2 SO_2 对木纳格葡萄果实残留的影响

Fig.2 Effect of SO_2 on Munage grape fruit residues

注：图中不同字母代表显著性差异（p<0.05）。

2.2 SO_2 熏蒸对木纳格葡萄果梗、果柄褐变度的影响

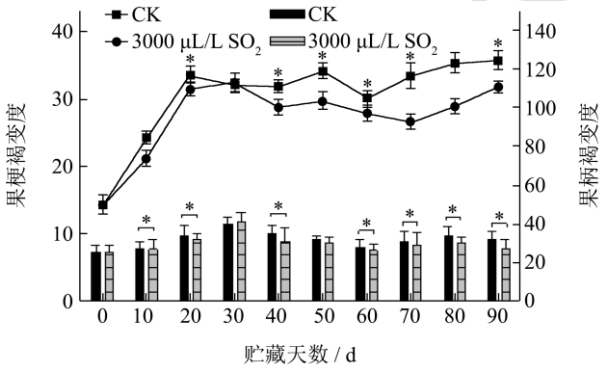


图 3 SO_2 对木纳格葡萄褐变度的影响

Fig.3 Effect of SO_2 on browning degree of Munage grape

注：*代表显著性差异（p<0.05），下图同。

果梗新鲜度的高低直接影响果实的新鲜度，贮藏过程中果梗褐变是引起果实品质和商品价值降低的主要因素[23]。本实验中，在整个贮藏期间，木纳格葡萄果梗褐变度随着贮藏时间的延长呈逐渐上升的趋势（图 3），先快速增长后缓慢增长。SO_2 处理的果梗褐变度始终低于对照，表明 SO_2 处理能抑制葡萄果梗褐变。贮藏前 30 d，对照果和 SO_2 处理果果梗、果柄褐变度无明显差异（p>0.05）。贮藏结束时，SO_2 处理比对照果果柄褐变度降低了 2.60%，与对照相比具有显著性差异（p<0.05），这可能是由于 SO_2 降低了果梗的呼吸速率，袁军伟[24]等人证实果梗和果穗的呼吸基质和呼吸底物有着密切关系，鲜食葡萄果实贮藏过程中呼吸速率较低，但果梗的呼吸强度是果实的 10 倍以上，属于呼吸跃变型，采后易发生褐变。因此，鲜食葡萄贮运过程中延缓果梗、果柄的呼吸高峰，抑制果穗的呼吸速率，延缓衰老进程，保持果穗新鲜成为葡萄保鲜的关键技术之一[23]。

2.3 SO_2 熏蒸对木纳格葡萄果梗、果柄叶绿素含量的影响

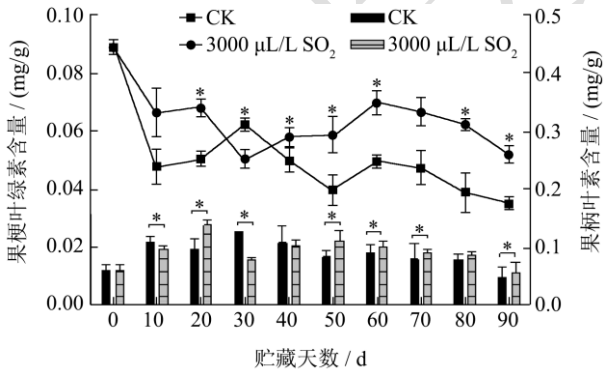


图 4 SO_2 对木纳格葡萄果梗、果柄叶绿素含量的影响

Fig.4 Effect of SO_2 on chlorophyll content in rachis and handle of Munage grape

葡萄果梗、果柄叶绿素含量的变化可以从侧面反映 SO_2 熏蒸对葡萄贮藏品质的影响。保持果梗新鲜度，抑制叶绿素下降，是采后鲜食葡萄贮藏保鲜中的一项重要工作。从图 4 可知，随着贮藏时间的延长，木纳格葡萄果梗叶绿素含量呈逐渐下降的趋势，未经 SO_2 处理的果梗叶绿素含量从 0.091 mg/g 降低至 0.037 mg/g，经过 SO_2 处理的果梗叶绿素含量从 0.091 mg/g 降低至 0.052 mg/g，处理组比对照组高 40.54%，具有显著性差异（p<0.05），说明 SO_2 处理能显著抑制果梗叶绿素的降解，此结果与周江[25]等人的研究结果一致，可能是由于 SO_2 是一种强还原剂，能降低组织中的氧含量，抑制氧化酶的活动，从而降低叶绿素的降解。而杨相政[26]等人用 100、500 和 1000 μL/L SO_2 熏蒸维多利亚葡萄 1 h 后果梗叶绿素含量比未熏蒸处理的果梗叶绿素含量下降快，熏蒸处理加速了果梗叶绿素含量的降解，与本实验结果不一致，可能与熏蒸时间和葡萄品种不同有关，过量的 SO_2 改变了叶绿素 a、b 的构成比例，促进了叶绿素的降解。SO_2 熏蒸对抑制果柄叶绿素降解的效果与果梗的处理效果趋势一致。

2.4 SO_2 熏蒸对木纳格葡萄果实可溶性固形物

含量的影响

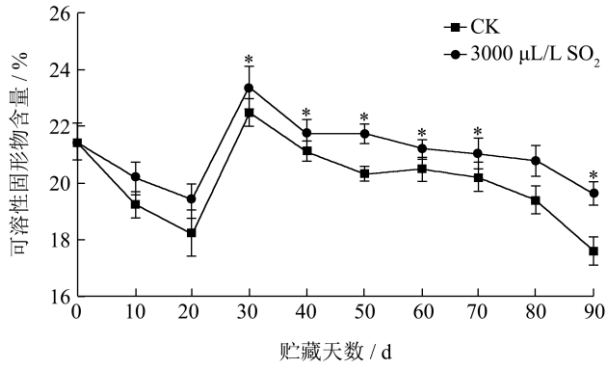


图 5 SO_2对木纳格葡萄可溶性固形物含量的影响

Fig.5 Effect of SO_2 on soluble solids content of Munage grape

木纳格葡萄果实可溶性固形物含量变化处理组和对照组变化趋势一致（图 5），在贮藏前 20 d 先急剧下降（<20%），随之快速上升，在第 30 d 时可溶性固形物含量上升达到最大（>22%），之后随着贮藏时间的延长缓慢下降，可溶性固形物含量呈“先降后升再降”的趋势。可溶性固形物含量达到最大值时，处理组（23.33%）比对照组（22.39%）高 4.2%；至贮藏结束时，SO_2 熏蒸处理比未处理高 13.22%，具有显著性差异（p<0.05）。可能是由于 SO_2 能抑制葡萄上微生物的呼吸代谢，减少果实中可溶性固形物的消耗，因此 SO_2 熏蒸处理能抑制可溶性固形物的降低。张文涛[27]等人发现 SO_2 对樱桃番茄可溶性固形物含量的影响与未经处理的变化趋势一致，其认为产生此变化趋势的原因与采后能量代谢和物质代谢的需求一致有关，本实验得出相似的变化趋势，后期可以从采后能量代谢与物质代谢的角度开展实验，以进行验证。

2.5 SO_2 熏蒸对木纳格葡萄果实可滴定酸含量的影响

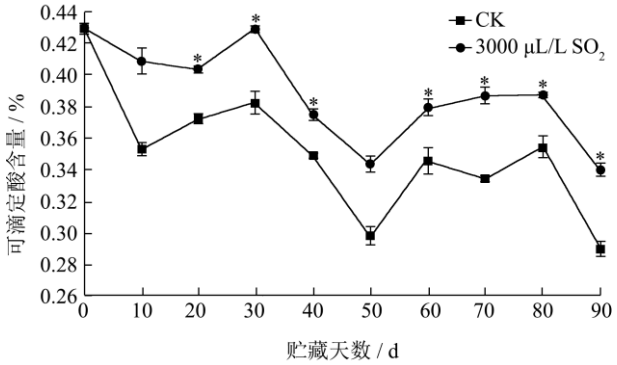


图 6 SO_2对木纳格葡萄的可滴定酸含量的影响

Fig.6 Effect of SO_2 on titratable acid content of Munage grape

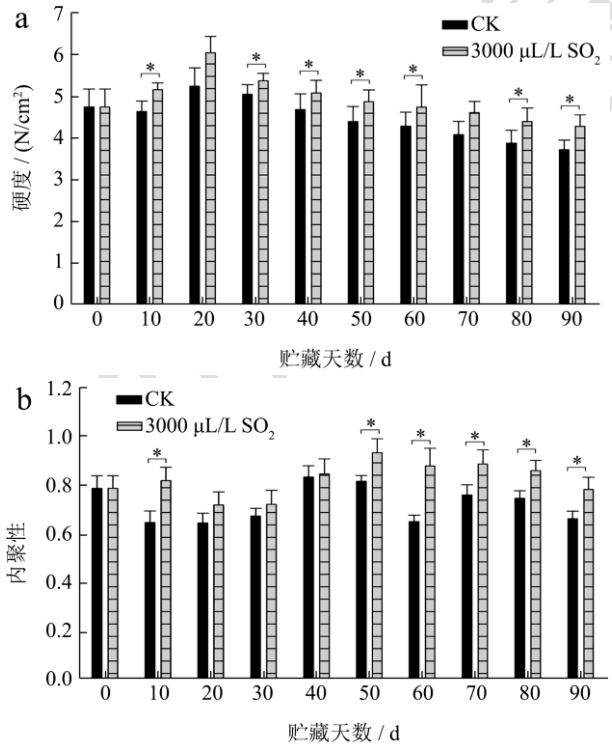
图 6 所示为 SO_2 处理过的木纳格葡萄果实可滴定酸含量在贮藏期间与对照组的变化趋势，总体呈先上升后下降的趋势。葡萄采收后，果实中的有机物被消耗分解，使可滴定酸含量在短时内呈上升的趋势[1]，但由于采摘后果实离开了母体，水分、矿物质和有机物等的输入已停止，其生命活动仍在进行，可滴定酸作为有氧呼吸中的呼吸底物，随着呼吸的进行，可滴定酸被消耗，含量下降，本实验的研究结果说明了此变化。由图 6 可知，贮藏至 30 d 时，葡萄果实可滴定酸含量达到整个贮藏期的最大值（0.43%），随后随贮藏时间的延长下降。贮藏结束时，SO_2 处理的可滴定酸含量比对照高了 11.60%（p<0.05）。马宏原[28]等人采用 1000、3000 和 5000 μL/L SO_2 熏蒸处理货架期里扎马特葡萄 0.5 h，结果表明，小于等于 3000 μL/L SO_2 处理能延缓葡萄可滴定酸含量的下降，高于 3000 μL/L SO_2 处理会导致可滴定酸含量上升。因其只测定至贮藏的第 15 d，后期如何变化不得而知。本实验测定了贮藏至 90 d 的数据，能更准确反应 SO_2 熏蒸处理后可滴定酸含量随贮藏时间的变化趋势。

2.6 SO_2 熏蒸对木纳格葡萄果实 TPA 指标的影响

由图 7a 可知，对照果与 SO_2 处理的果实硬度变化趋势近一致，都呈先上升后下降的趋势；经过 SO_2 处理的果实硬度都比对照果大，且硬度下降速度也比对照果小。在贮藏至 40 d 后，对照果实的硬度快速下降，硬度由 4.68 N/cm^2 下降至 3.72 N/cm^2，降低了 21%，同比处理果的硬度降低了 15.7%，低于对照（p<0.05）；贮藏至 90 d，SO_2 处理果的硬度为 4.29 N/cm^2。说明 SO_2 处理能很好的保持木纳格葡萄果实的硬度。图 7b 中，SO_2 处理果实内聚性均高于对照，变化趋势为先上升后下降。对照在 40 d 时内聚性达最大值 0.83，然后快速下降，至 90 d 时下降至 0.66；SO_2 处理的果实在 50 d 时达最大值 0.93，随后缓慢下降，至 90 d 时达 0.78，明显高于对照果（p<0.05），表明 SO_2 处理能保持果实的内聚性。在整个贮藏期间，对照果和处理果弹性变化趋势为波浪形，果实弹性保持较好，贮藏后期比初期（0 d）分别下降了 15.70%、3.80%（p<0.05），处理组果实弹性下降较对照组缓慢（图 7c）。根据图 7d 可知，对照葡萄果实胶黏性总体呈缓慢下降趋势。贮藏至第 60 d 时，对照果胶黏性下降至 3.24，处理果下降至 3.51，显著低于对照果（p<0.05）；至贮藏结束时，处理果胶黏性比贮藏初期降低了 18.10%，而对照果降低了 28.20%。结果表明，SO_2 处理果实胶黏性下降较慢。SO_2 处理使木纳格葡萄咀嚼性呈现先上升后

下降的趋势，对照呈波浪形变化。两组在贮藏至 40 d 时，咀嚼性达最大值 15.55 和 18.35，贮藏至 90 d，对照和处理果咀嚼性比贮藏初期分别降低了 18.23%和 3.68%，二者差异显著（$p<0.05$），SO_2 处理能较好的保持果实的咀嚼性（图 7e）。

不同水果的质地特点不同，通常感官评定时很难对果实质地进行人工量化，而采用 TPA 法可量化测定质地参数[5]。禄彩丽[29]等人采用 TPA 法，对枣果的质构指标进行了测定与分析，探究了不同品种枣果在成熟发育过程中的质地变化动态，为鲜食或制干枣果的适宜成熟度与最佳采收期的选择提供依据。徐志斌[30]等采用 TPA 法研究杨梅果实采后果肉的品质变化，发现果肉的硬度、咀嚼性、凝聚性、回复性会随贮藏时间的延长而迅速下降。在本试验中，通过 TPA 法探讨 SO_2 熏蒸处理对葡萄质地特性和品质变化的影响，可以看出葡萄果肉硬度、内聚性、弹性、胶黏性、咀嚼性在贮藏过程中呈下降趋势，而 SO_2 处理延缓了葡萄果实硬度、胶黏性和咀嚼性的下降，果实的弹性和内聚性随着贮藏期的延长而保持较小的变化幅度，表明适宜浓度的 SO_2 能抑制葡萄果实的软化，延缓果实质地的劣变。这可能是由于 SO_2 对果实细胞壁组分和相关水解酶活性的调节，增加组织结构的完整性和细胞间结合力，并延缓果实质构参数的降低，从而达到抑制果实软化的目的。



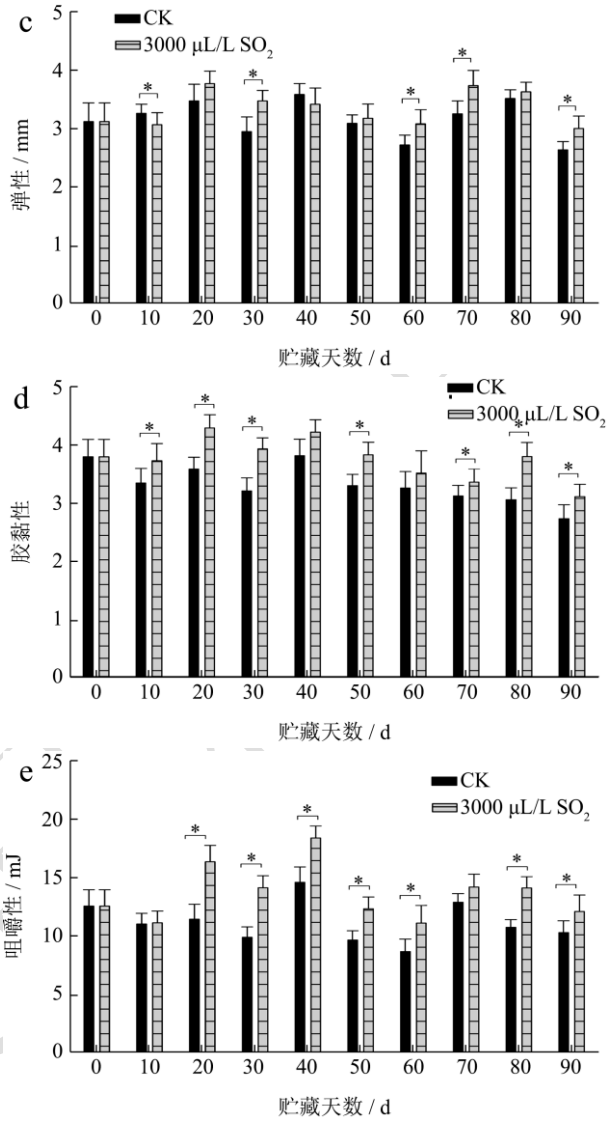


图 7 SO_2 对木纳格葡萄果实 TPA 的影响

Fig.7 Effect of SO_2 on TPA of Munage grape fruit

2.7 SO_2 熏蒸对木纳格葡萄质构参数及品质的相关性分析

由表 1 可知，木纳格葡萄果肉硬度除与果梗褐变度及叶绿素含量无显著相关外，与果实内聚性、弹性、胶黏性、咀嚼性、TSS、TA、果柄褐变度及叶绿素含量呈极显著正相关（$p<0.01$）。弹性、胶黏性、咀嚼性、TSS 与内聚性呈极显正著正相关（$p<0.01$），表明葡萄果肉硬度越大，果肉的内聚性、弹性、胶黏性、咀嚼性、果柄褐变度和叶绿素含量就越高；果实弹性与胶黏性、咀嚼性、TA、果柄褐变度、果梗叶绿素含量呈极显著正相关（$p<0.01$），其中与咀嚼性的相关性最高

(r =0.745)，果实弹性对咀嚼性有很大影响；胶黏性、咀嚼性与 TSS、TA、果柄褐变度呈极显著正相关（p<0.01）；TSS 与 TA、果柄褐变度呈极显著正相关（p<0.01）。近年来内在品质与质构特性的相关性研究已有报道。禄彩丽[29]等人对成熟时期各个枣果质构参数间相关性的研究表明硬度与胶着度、咀嚼度呈显著正相关，咀嚼度与弹性、内聚性和胶着度呈显著正相关，本研究结果与此相似。徐志斌[30]等人研究发现杨梅果实硬度和咀嚼性呈现较好的相关性（r=0.9973），本研究中也发现果实硬度与咀嚼性呈极显著正相关，能反映出果实的致密程度和坚实程度都较好。

表 1 不同处理对木纳格葡萄品质及质地参数的相关性分析（R）

Table 1 Analysis on correlation between quality and texture parameters of different treatment in Munage grapes（R）

项目	硬度	内聚性	弹性	胶黏性	咀嚼性	TSS 含量	TA 含量	果梗 BD	果柄 BD	果梗 Chl	果柄 Chl
硬度	1										
内聚性	0.191	1									
弹性	0.552**	0.438**	1								
胶黏性	0.835**	0.479**	0.64**	1							
咀嚼性	0.559**	0.486**	0.745**	0.775**	1						
TSS 含量	0.414**	0.491**	0.257*	0.522**	0.364**	1					
TA 含量	0.603**	0.144	0.371**	0.619**	0.396**	0.523**	1				
果梗 BD	-0.108	-0.138	0.143	-0.252	-0.019	-0.218	-0.63	1			
果柄 BD	0.418**	0.04	0.470**	0.278**	0.284**	0.373**	0.023	0.578**	1		
果梗 Chl	-0.002	0.012	0.334**	-0.057	0.125	-0.112	-0.335**	0.737**	0.523**	1	
果柄 Chl	0.508**	-0.022	0.307*	0.306*	0.225	0.05	-0.13	0.464**	0.405**	0.565**	1

注：表中**用于表示极显著性(p<0.01)；*用于表示显著性(p<0.05)。

3 结论

3000 μL/LSO_2 熏蒸处理后，SO_2 最大残留量为 7.55 mg/kg，符合欧美发达国家鲜食葡萄进出口食品标准。SO_2 短时熏蒸处理可抑制葡萄果梗和果柄的褐变；抑制果梗、果柄的叶绿素分解；维持葡萄采后可溶性固形物和可滴定酸的含量稳定，保持葡萄的采后品质。采用 TPA 法测定 SO_2 处理后木纳格葡萄果实的质地参数，发现 SO_2 处理能较好的保持葡萄果实的各项质地参数。SO_2 熏蒸处理后果实各项质地参数与品质之间的相关性分析表明，果实质地参数可以较好的评价木纳格葡萄果实采后贮藏期间的品质。3000 μL/L SO_2 短时熏蒸处理能较好的保持木纳格葡萄采后品质及质构特性。

参考文献

[1] ZHANG Zheng, XU Jing, CHEN Yan, et al. Nitric oxide treatment maintains postharvest quality of table grapes by mitigation of oxidative damage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 152: 9-18

[2] 郭文场,杨旭,刘佳贺,等.新疆葡萄的生产发展现状及主栽品种[J].特种经济动植物,2015,13(8):48-51
GUO Wen-chang, YANG Xu, LIU Jia-he, et al. Grape production development status and main cultivars in Xinjiang [J]. Special Economic Animal and Plant, 2015, 13(8): 48-51

[3] Carreño I, Cabezas J A, Martínez-Mora C, et al. Quantitative genetic analysis of berry firmness in table grape (*Vitis vinifera* L.) [J]. Tree Genetics and Genomes, 2015, 11(1): 818-825

[4] Zutahy Y, Lichter A, Kaplunov T, et al. Extended storage of ‘red globe’ grapes in modified SO_2 generating pads [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 50(1): 12-17

[5] Chen S, Zhang M, Wang S. Effect of initial hermetic sealing on quality of ‘kyoho’ grapes during storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 59(2): 194-199

[6] Smilanick J L. Influence of sulfur dioxide fumigant dose on residues and control of postharvest decay of grapes [J]. Plant Disease, 1990, 74(6):418-421

[7] Nelson K, Burdick B, Dunn D, et al. Enhanced efficiency phosphorus application for a corn-soybean rotation [J]. Greenley Memorial Research Center, 2012: 12-24

[8] Gianfranco Romanazzi, Amnon Lichter, Franka Mlikota Gabler, et al. Recent advances on the use of natural and safe alternatives to conventional methods to control postharvest gray mold of table grapes [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 63(1)

[9] Szczesniak A S. Texture is a sensory property [J]. Food Quality and Preference, 2002, 13: 215-225

[10] 罗斌,赵有斌,尹学清,等.质构仪在果蔬品质评定中应用的

研究进展[J].食品研究与开发,2019,40(5):209-213
LUO Bin, ZHAO You-bin, YIN Xue-qing, et al. Application progress of texture analyzer in the research of fruit and vegetable quality evaluation [J]. Food Research and Development ,2019, 40(5): 209-213

[11] Rizzolo A, Vanoli M, Bianchi G, et al. Relationship between texture sensory profiles and optical properties measured by time-resolved reflectance spectroscopy during post-storage shelf life of 'Braeburn' apples [J]. Journal of Horticultural Research, 2014, 22(1): 113-121

[12] Yang L, Cong P, Wang Q, et al. Texture changes of different apple varieties during storage [J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(11): 1439-1446

[13] Song Y X, Shao X F, Zhang C D, et al. Effects of different test conditions on texture profile analysis parameters of strawberry fruits [J]. Food Science, 2011, 32(13): 15-18

[14] Bhagyalakshmi N, Prabha T N, Yashodha H M, et al. Biochemical studies related to textural regulation during ripening of banana and mango fruit [J]. Acta Horticulturae, 2002, 575: 717-724

[15] 魏佳,张政,赵芳芳,等.鲜食葡萄 SO_2 气体精准熏蒸保鲜控制系统设计[J].农业工程学报,2019,35(1):260-268
WEI Jia, ZHANG Zheng, ZHAO Fang-fang, et al. Design of sulfur dioxide automatic control fumigation system for table grape preservation [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2019, 35(1): 260-268

[16] GB 5009.34-2016.食品安全国家标准食品中二氧化硫的测定》[S]
GB 5009.34-2016. National Food Safety Standards Determination of Sulfur Dioxide in Foods [S]

[17] 张有林,朱芬.莲藕贮期褐变机理与防褐变技术研究[J].食品工业科技,2003,24(1):87-89
ZHANG You-lin, ZHU Fen. Research on the browning mechanism and anti-browning technology of lotus root in storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2003, 24(1): 87-89

[18] 姜微波,曹建康.果蔬采后生理生化实验指导[M].中国轻工业出版社,2007:21-32
JIANG Wei-bo, CAO Jian-kang. The Experiment Guidance for Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables After Harvest [M]. China Light Industry Press, 2007: 21-32

[19] Lo'ay A A. Preharvest salicylic acid and delay ripening of 'superior seedless' grapes [J]. Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences, 2017, 4(3): 227-230

[20] 任朝晖,张昆明,李志文,等.质地多面分析(TPA)法评价葡萄贮藏期间果肉质地参数的研究[J].食品工业科技,2011,32(7):375-378
REN Chao-hui, ZHANG Kun-ming ,LI Zhi-wen, et al. Study on the evaluation of texture parameters of grape berry during storage by using texture profile [J].Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(7): 375-378

[21] Anonymous. GRAS status of sulfiting agents for use on fresh and frozen foods revoked [J]. Federal Register, 1986, 51(9): 25021

[22] 佟继旭,朱志强,钱永忠.不同贮藏条件下葡萄的 SO2 残留及膳食风险评估[J/OL].食品科学:1-8[2019-05-19]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20190102.1545.155.html
TONG Ji-xu, ZHU Zhi-qiang, QIAN Yong-zhong. SO_2 residues and potential dietary health risk assessment in grape under different storage conditions [J/OL]. Food Science: 1-8[2019-05-19]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20190102.1545

[23] Lichter A, Kaplunov T, Zutahy Y, et al. Physical and visual properties of grape rachis as affected by water vapor pressure deficit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 59(1): 25-33

[24] 袁军伟,赵胜建,魏建梅,等.葡萄采后生理及贮藏保鲜技术研究进展[J].河北农业科学,2009,13(4):80-83
YUAN Jun-wei, ZHAO Sheng-jian, WEI Jian-mei, et al. Research progress on postharvest physiology and storage technique of grape [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2009, 13(4): 80-83

[25] 周江,魏佳,张辉,等.二氧化硫(SO_2)间歇熏蒸对红地球葡萄贮藏品质的影响[J].食品科技,2015,40(12):295-299
ZHOU Jiang, WEI Jia, ZHANG Hui, et al. Effects of sulfur dioxide intermittent fumigation on postharvest quality of red globe grapes during storage [J]. Food Science and Technology, 2015, 40(12): 295-299

[26] 杨相政,李喜宏,马宏原,等.SO2 熏蒸处理对维多利亚葡萄保鲜效果研究[J].食品工业科技,2013,34(16):326-329,337
YANG Xiang-zheng, LI Xi-hong, MA Hong-yuan, et al. Effect of different concentrations of SO_2 fumigation treatment on victoria grape [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(16): 326-329, 337

[27] 张文涛,高凯,王鹏翔,等.樱桃番茄 SO_2 熏蒸保鲜研究[J].食品研究与开发,2017,38(6):194-197
ZHANG Wen-tao, GAO Kai, WANG Peng-xiang, et al. Application of SO_2 fumigation in preservation of cherry tomato [J]. Food Research and Development, 2017, 38(6): 194-197

（下转第 151 页）