

基于药材内在品质及安全性探讨麦冬中多效唑残留限量标准

李文静¹, 蔡晓洋¹, 邓红梅¹, 李 敏^{1,2*}, 苟 琰^{3*}, 吴发明¹, 杨瑞山¹, 林秋霞¹
(1. 成都中医药大学药学院, 现代中药产业学院, 省部共建西南特色中药资源国家重点实验室, 四川 成都 611137; 2. 四川省道地药材全产业链示范工程研究中心, 四川 成都 611900; 3. 四川省药品检验研究院, 四川省医疗器械检测中心, 国家药品监督管理局中成药质量评价重点实验室, 四川 成都 611731)

摘要: **目的** 探究多效唑在麦冬生产中的残留及其对化学组分的影响, 为规范麦冬生产和多效唑残留限量标准制定提供参考。**方法** 收集道地产区样品 92 批和中药材市场样品 66 批, 调研多效唑残留量; 通过大田试验分析多效唑在土壤、植株和药材中的衰减; 采用 2020 年版《中国药典》中的提取溶剂评价其转移风险; 测定 0、0.75、1.50、3.00、5.00、10.00、20.00 kg/667 m² 多效唑处理后麦冬中麦冬皂苷 D、甲基麦冬黄烷酮 A、甲基麦冬黄烷酮 B 含量及多效唑残留量。**结果** 历年产地和市场样品中, 除 2018 年外, 麦冬多效唑残留量逐年下降。多效唑在土壤和植株中降解符合一级动力学模型, 且在植株中降解速度较快。多效唑转移风险较大, 不同溶剂提取的转移率均高于 70%。多效唑处理会降低麦冬皂苷 D 的含量, 最高可降低 39.20%。不施药地块产出的麦冬多效唑残留量在 0.1 mg/kg 以下。**结论** 多效唑的应用会影响麦冬生境土壤、植株、药材和制剂的安全性及有效性。结合当前麦冬药材中多效唑的残留现状, 建议逐步从限量到禁止检出过渡, 将多效唑残留限量标准定为不得超过 0.1 mg/kg。

关键词: 麦冬; 多效唑; 农药残留; 安全性; 麦冬皂苷 D; 限量标准

中图分类号: R282 文献标志码: B 文章编号: 1001-1528(2025)11-3864-05
doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2025.11.049

麦冬为百合科植物麦冬 *Ophiopogon japonicas* (L. f.) Ker-Gawl. 的干燥块根, 具有养阴生津、润肺清心的功效^[1], 含有甾体皂苷类、高异黄酮类等有效成分^[2], 具有降血糖、抗炎等药理作用^[3]。麦冬是常用补阴药, 2020 年版《中国药典》载录的以麦冬为原料的中成药有 120 多种^[4]。麦冬分为川麦冬和浙麦冬, 浙麦冬种植周期长、产量低, 其市场占有率远低于川麦冬^[5]。川麦冬目前是市场交易麦冬的主要来源, 产量占全国 90% 以上, 出口量占 80% 以上^[6]。

20 世纪 90 年代, 多效唑被引入麦冬产区, 2006 年起在川麦冬道地产区普遍使用。多效唑是一种植物生长抑制剂, 具有低毒、广谱等特点, 可提高植物抗逆性^[7]。我国规定部分果蔬中多效唑检出限量为 0.05 mg/kg^[8], 日本对生姜、洋葱等多种蔬菜残留限量为 0.01 mg/kg, 美国、欧盟等要求不得检出^[9]。2019 年《中共中央国务院关于促进中医药传承创新发展的意见》发布, 提出要完善中药材农药残留限量标准。2023 年国家药监局发布《中药材 GAP 实施技术指导原则》和《中药材 GAP 检查指南》, 明确禁止使用生长调节剂干预中药材生长。

综合国家政策要求、残留现状及其对药材质量的影响, 本研究通过田间试验和川麦冬主产区样本分析, 构建“土壤-植株-药材-制剂”全链条残留评估体系, 以期规范麦冬生产及多效唑残留限量标准的制定提供参考。

1 材料

1.1 仪器 SQP 型万分之一天平、BP121S 型十万分之一电子天平 [赛多利斯科学仪器 (北京) 有限公司]; Alltech ELSD-2000 型蒸发光散射检测器 [美国奥泰科技 (中国) 有限公司]; dvantageA10 型超纯水仪 (美国 Millipore 公司); KQ-500DB 型数控超声波清洗器 (昆山市超声仪器有限公司); Agilent 1290-6460 型液相色谱-三重四极杆质谱联用仪、Agilent 7890A/5975C 型气相色谱仪 (ECD 检测器)、Agilent 1200 型高效液相色谱仪 (美国 Agilent 公司); MS3 digital 型涡旋振荡器 (德国 IKA 公司); AOC-6000 CTC 型进样器 (瑞士 CTC Analytics 公司); 3-30k 型离心机 (美国 Sigma 公司)。

1.2 试剂与药物 多效唑 15% 可湿性粉剂 (批号 20110304003)、麦冬皂苷 D (批号 wkq17090506)、甲基麦冬黄烷酮 A (批号 wkq16012504)、甲基麦冬黄烷酮 B (批

收稿日期: 2025-03-24
基金项目: 国家重点研发计划 (2022YFC3501500)
作者简介: 李文静 (2001—), 女, 硕士生, 从事中药品种、品质与资源开发研究。Tel: 17339856745, E-mail: liwj09042@163.com
* 通信作者: 李 敏 (1962—), 女, 教授, 从事中药资源、品种及质量研究。Tel: 13980038316, E-mail: 028limin@163.com
苟 琰 (1982—), 女, 硕士, 主任中药师, 从事中药质量与标准研究。Tel: (028) 87877195, E-mail: gouyan0101@hotmail.com

号 wkq16032004) 对照品均购自四川维克奇生物科技有限公司, 纯度均 > 98%; 麦冬皂苷 D' (批号 MUST-14061901)、麦冬皂苷 C (批号 MUST-14071203)、3-3-*O*- α -*L*-鼠李糖-(1 \rightarrow 2)- β -葡萄糖麦冬苷元 (批号 MUST-14070210)、去乙酰基麦冬皂苷 A (批号 MUST-14072002) 对照品均购自成都曼思特生物科技有限公司, 纯度均 \geq 98%; 多效唑对照品 (1 000 μ g/mL) 购自天津阿尔塔科技有限公司。

表 1 道地产区、流通市场麦冬样品信息汇总

编号	来源	数量/批	收集年份
2017-CD-1~2017-CD-25	绵阳市三台县	25	2017 年
2018-CD-1~2018-CD-16	绵阳市三台县	16	2018 年
2019-CD-1~2019-CD-23	绵阳市三台县	23	2019 年
2020-CD-1~2020-CD-28	绵阳市三台县	28	2020 年
2018-SC-1~2018-SC-6	绵阳市豪亮中药材种植专业合作社	6	2018 年
2018-SC-7~2018-SC-12	绵阳市三台县国和中药材种植有限公司	6	2018 年
2018-SC-13~2018-SC-16	成都市荷花池药材专业市场	4	2018 年
2018-SC-17~2018-SC-19	绵阳市花园镇麦冬集散地	3	2018 年
2018-SC-20~2018-SC-24	新荷花中药饮片股份有限公司	5	2018 年
2019-SC-1~2019-SC-18	绵阳市三台县市场	18	2019 年
2020-SC-1~2020-SC-12	绵阳市三台县市场	12	2020 年
2021-SC-1~2021-SC-12	绵阳市三台县市场	12	2021 年

注: CD 表示道地产区样品; SC 表示市场流通样品。

表 2 多效唑大田试验样品信息

试验田	产地	用量/(kg \cdot 亩 ⁻¹)	收集年份
STX-1	三台县	0	2016 年
STX-2	三台县	0.75	
STX-3	三台县	1.50	
STX-4	三台县	3.00	
PAX-1	蓬安县	0	
PAX-2	蓬安县	0.35	
PAX-3	蓬安县	0.75	2017 年
PAX-4	蓬安县	1.50	
PAX-5	蓬安县	3.00	
PAX-6	蓬安县	5.00	
LXX-1	芦溪镇	0	2023 年
LXX-2	芦溪镇	0.35	
LXX-3	芦溪镇	0.75	
LXX-4	芦溪镇	1.50	
LXX-5	芦溪镇	3.00	
LXX-6	芦溪镇	5.00	
LXX-7	芦溪镇	10.00	2024 年
LXX-8	芦溪镇	20.00	
LXX-9	芦溪镇	0	
LXX-10	芦溪镇	5.00	
LXX-11	芦溪镇	10.00	
LXX-12	芦溪镇	20.00	

2 方法

2.1 多效唑残留的测定 参照文献 [10] 报道, 采用 HPLC-MS/MS 法测定多效唑在麦冬药材中的残留, Agilent Poroshell 120 EC-C₁₈ 色谱柱 (150 mm \times 3.0 mm, 2.7 μ m); 流动相 1 mmol/L 甲酸铵溶液 (含 0.1% 甲酸) (A) -甲醇 (B), 梯度洗脱 (0~1.0 min, 95% A; 1.0~3.0 min, 95% ~

2017 年至 2020 年, 共收集 158 批麦冬, 购自道地产区绵阳市三台县及不同地方药材市场, 样品信息见表 1。试验田样品分别来自 2016 年四川省绵阳市三台县、2017 年南充市蓬安县、2023 年至 2024 年三台县芦溪镇开展的多效唑大田试验, 样品信息见表 2。6 批贮藏样品, 批号 JC1~JC6。以上样品经成都中医药大学李敏教授鉴定为百合科植物麦冬 *Ophiopogon japonicus* (L. f.) Ker-Gawl. 的干燥块根。

37% A; 3.0~8.0 min, 37%~36% A; 8.0~8.5 min, 36%~32% A; 8.5~9.0 min, 32%~25% A; 9.0~16.0 min, 25%~5% A; 16.0~20.0 min, 5% A; 20.0~20.1 min, 5%~95% A; 20.1~24.0 min, 95% A)。参照文献 [11] 报道, 采用 GC-MS 法测定多效唑在土壤与植株中的残留, HP-5 石英毛细管柱 (30.0 m \times 320.0 μ m, 0.25 μ m); 进样口温度 280 $^{\circ}$ C; 检测器温度 280 $^{\circ}$ C; 载气氮气, 体积流量 1.0 mL/min; 进样量 1 μ L; 不分流进样; 电子轰击型离子源 (EI); 检测离子 *m/z*: 125、167、236; 程序升温 (100~200 $^{\circ}$ C, 10 $^{\circ}$ C/min)。

2.2 田间试验设计

2.2.1 多效唑衰减动态试验 多效唑按 15 kg/667 m², 每亩用水 150 L, 在块根膨大期采用叶面喷施, 于施药后 1、3、5、7、10、14、21、28、40、63 d 分别随机多点采集麦冬植株和土壤 (0~10 cm) 样品, 土壤放入自封袋, 标记采用信息, 植株剪碎后装入自封袋, -20 $^{\circ}$ C 保存, 待测。

2.2.2 多效唑对麦冬品质的影响 为探讨土壤残留多效唑对麦冬化学成分的影响, 在三台县 (试验田 STX-1~STX-4) 及无多效唑施用历史但与三台县气候相似的蓬安县 (试验田 PAX-1~PAX-6) 进行试验。为进一步分析多效唑对麦冬化学成分的影响, 在麦冬道地产区芦溪县 (试验田 LXX-1~LXX-12) 进行试验。栽种时间均为当年 4 月, 同年 10 月喷施不同浓度多效唑, 翌年 4 月采收。试验设计 3 次重复, 试验小区面积 9 m², 小区间隔离带为 1 m, 按剂量分组, 分别在三台县、蓬安县、芦溪县采用随机区组实验设计。每区按照 120 株/m² 的密度种植, 田间管理按照常规方法进行, 试验设计见表 2。

2.3 多效唑在不同溶剂中转移率的测定 参考 2020 年版《中国药典》，含麦冬制剂的常用提取溶剂（水浸泡、水煎煮、85%乙醇）进行制样，参考团队前期建立的方法进行制样及测定^[10]，所用材料为 2020 年收集的 CD-15、SC-8，采用水浸泡、水煎煮及 85%乙醇提取 3 种提取方法，每个处理组设置 6 个平行样本，依据联合国粮农组织（FAO）推荐的加工因子计算公式进行风险评估，公式为加工因子=加工产品农药残留量/原料农药残留量。

2.4 多效唑贮藏实验 测定麦冬多效唑初始残留量，选取 6 批样品（编号 JC1~JC6），2020 年至 2024 年连续测定多效唑残留量，其中 JC1~JC3 多效唑初始含量少于 0.1 mg/kg，JC4~JC5 多效唑初始含量在 0.1~0.3 mg/kg 之间，JC6 多效唑初始含量大于 0.3 mg/kg。

2.5 麦冬甲基黄烷酮 A、麦冬甲基黄烷酮 B、麦冬皂苷 D 含量测定 参考团队建立 HPLC 方法^[12]测定单一化学成分，麦冬皂苷 D 含量采用 HPLC-ELSD 进行测定，Comatex C₁₈色谱柱（4.6 mm×250 mm，5 μm）；流动相乙腈（A）-水（B），梯度洗脱（0~45 min，35%~55% A）；体积流量

1.0 mL/min；柱温 35 ℃；漂移管温度 100 ℃；气体体积流量 3.0 L/min；进样量 15 μL。麦冬甲基黄烷酮 A 和麦冬甲基黄烷酮 B 含量采用 HPLC 进行测定，Comatex C₁₈色谱柱（4.6 mm×250 mm，5 μm）；流动相乙腈-水（58：42）；体积流量 1.0 mL/min；柱温 30 ℃；检测波长 296 nm；进样量 15 μL。

3 结果

3.1 麦冬药材多效唑残留调研

3.1.1 不同年份道地产区麦冬药材多效唑残留调研 GB 2763-2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》中多效唑涉及的相关限量规定范围为 0.05~0.5 mg/kg，因此对于麦冬中不同多效唑含量范围统计计划分到 0.5 mg/kg。道地产区麦冬中多效唑的检出情况见表 3，2017 年三台主产地样品多效唑含量为 0.09~1.06 mg/kg，平均含量为 0.63 mg/kg，其中多效唑含量≤0.1 mg/kg 的占比 12%。2018 年样品多效唑含量为 0.21~1.38 mg/kg，平均含量为 0.62 mg/kg。2018 年政府出台禁用令后，2019 年道地产区样品中，多效唑含量≤0.1 mg/kg，占比达到 17.39%。

表 3 2017 年至 2020 年道地产区麦冬药材多效唑残留量统计

麦冬药材多效唑 含量/(mg·kg ⁻¹)	2017 年		2018 年		2019 年		2020 年	
	批次/批	占比/%	批次/批	占比/%	批次/批	占比/%	批次/批	占比/%
≤0.1	3	12.00	0	0	4	17.39	0	0
0.1~0.2	5	20.00	0	0	7	30.43	3	10.71
0.2~0.3	10	40.00	5	31.25	11	47.83	11	39.29
0.3~0.4	19	76.00	6	37.50	14	60.87	17	60.71
0.4~0.5	21	84.00	7	43.75	16	69.57	25	89.29
>0.5	4	16.00	9	56.25	7	30.43	3	10.71

3.1.2 不同年份市场流通麦冬药材多效唑残留调研 不同市场麦冬药材多效唑的检出情况见表 4。2018 年三台县各市场样品多效唑残留量为 0.02~1.06 mg/kg，平均值为 0.39 mg/kg，产地样品多效唑含量为 0.09~1.06 mg/kg，平均值为 0.63 mg/kg，其中多效唑含量≤0.1 mg/kg 的占比

2.00%。在 2018 年政府出台禁用令后，种植户对于多效唑的使用有所减少，2019 年样品多效唑含量为 0~1.10 mg/kg，其中多效唑含量≤0.1 mg/kg 的占比 33.33%。2020 年收集的市场样品中多效唑含量≤0.1 mg/kg 的占比下降到 25%。

表 4 2018 年至 2021 年市场流通样品多效唑残留量统计

麦冬药材多效唑 含量范围/(mg·kg ⁻¹)	2018 年		2019 年		2020 年		2021 年	
	批次/批	占比/%	批次/批	占比/%	批次/批	占比/%	批次/批	占比/%
≤0.1	2	8.00	6	33.33	3	25.00	5	41.67
0.1~0.2	4	16.00	8	44.44	4	33.33	6	50.00
0.2~0.3	8	32.00	12	66.67	5	41.67	6	50.00
0.3~0.4	17	68.00	12	66.67	8	66.67	10	83.33
0.4~0.5	21	84.00	13	72.22	8	66.67	11	91.67
>0.5	3	16.00	5	27.78	4	33.33	1	8.33

3.2 多效唑的衰减分析

3.2.1 多效唑在土壤及麦冬植株中的衰减分析 多效唑降解动态一级动力学方程为 $C_t = C_0 e^{-k t}$ ^[13]，多效唑在土壤及植株中的附着量均随时间延长而降低，最后趋于平稳状态，其衰减结果见图 1。施药后 1~7 d，多效唑在土壤及植株中的衰减速度较快；施药后 7~63 d，多效唑的降解速度逐步减缓。多效唑在土壤中的原始附着量为 82.17 mg/kg，半衰期为 13.08 d， $R^2 = 0.962$ ，第 40 天时降解率达 89.86%；在

植株中的原始附着率为 57.84 mg/kg，半衰期为 5.10 d， $R^2 = 0.971$ ，第 40 天时降解率达 92.34%。

3.2.2 不同多效唑残留量麦冬在不同贮藏年限中的衰减分析 6 批不同多效唑残留量麦冬样品衰减结果见图 2，可知经过贮藏后，高、中、低残留量组多效唑残留量均降低，年均衰减分别为 7.70%、3.92%、1.23%。贮藏年限对低残留量组多效唑降解影响较小，中残留量组贮藏 1 年后最多可降低 24.19%，高残留量组贮藏 1 年后最多可降低

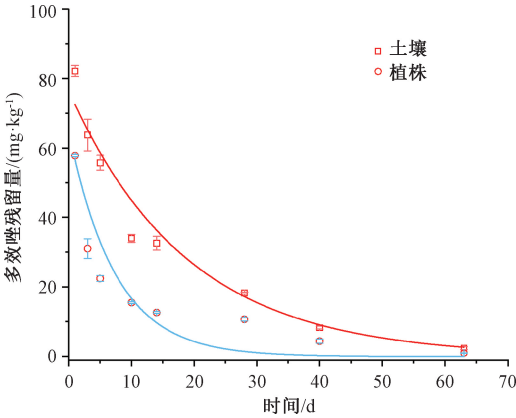


图 1 土壤及植株多效唑残留量

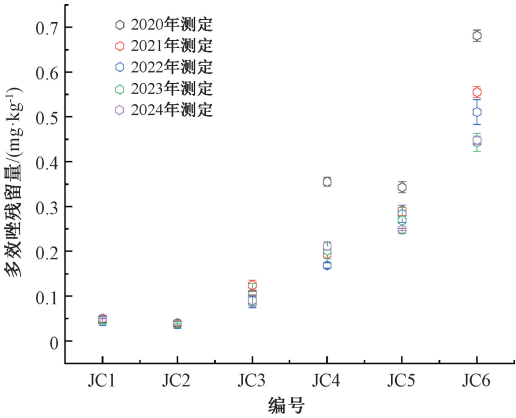


图 2 不同贮藏年限麦冬药材多效唑残留量

18.47%。2024 年测定高、中、低残留量组多效唑含量分别为 0.249~0.448、0.091~0.212、0.040~0.051 mg/kg。贮藏过程可诱导多效唑自然降解，但临床实际应用于制剂的麦冬药材贮藏周期较短，需对多效唑在不同煎煮液中转移率进行评估。

表 6 2016 年至 2017 年试验田样品化学成分含量测定结果 (mg/g, $\bar{x}\pm s$, $n=3$)

试验田编号	麦冬皂苷 D	麦冬甲基黄烷酮 A	麦冬甲基黄烷酮 B
STX-1	0.604±0.171 ^a	0.021±0.006 ^a	0.010±0.002 ^a
STX-2	0.540±0.099 ^{ab}	0.025±0.008 ^a	0.011±0.003 ^a
STX-3	0.474±0.036 ^{ab}	0.027±0.006 ^a	0.012±0.002 ^a
STX-4	0.393±0.065 ^b	0.030±0.009 ^a	0.013±0.003 ^a
PAX-1	0.324±0.002 ^a	0.128±0.001 ^a	0.137±0.001 ^a
PAX-2	0.197±0.001 ^f	0.128±0.005 ^a	0.136±0.003 ^a
PAX-3	0.238±0.001 ^b	0.130±0.009 ^a	0.142±0.011 ^a
PAX-4	0.212±0.000 ^d	0.129±0.003 ^a	0.142±0.004 ^a
PAX-5	0.223±0.000 ^c	0.123±0.005 ^a	0.139±0.006 ^a
PAX-6	0.203±0.000 ^c	0.130±0.000 ^a	0.139±0.001 ^a

注：不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

4 讨论与结论

4.1 多效唑衰减影响因素 本研究发现，多效唑在土壤、植株中的降解半衰期分别为 13.08、5.10 d，即多效唑在土壤中降解较植株中慢，与其在土壤和番茄中降解半衰期分别为 2.78、1.66 d 的规律一致^[14]。降解效率受土壤性质影响，黑土对多效唑的吸附能力最强（黑土>潮土>黄棕土），

3.2.3 多效唑在不同提取溶剂中的转移率 如表 5 所示，3 种提取方法中多效唑的平均转移率均超过 70%，表明多效唑在常规制剂过程中具有较高的迁移性。麦冬药材中多效唑残留可能通过常规制剂工艺进入临床用药体系。因此，建议在中药材质量监控中建立多效唑的迁移风险评估模型。

表 5 麦冬中多效唑在不同提取条件下的转移率

提取方式	范围/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	平均值/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	转移率/%	RSD/%
水浸泡	1.056~1.076	1.066	78.30	0.80
水煎煮	0.866~1.078	0.965	70.91	1.06
85% 乙醇	0.733~1.218	0.979	71.93	7.22

3.3 多效唑对麦冬化学成分的影响 2016 年试验田样品在施用多效唑后，麦冬皂苷 D 呈下降趋势，麦冬甲基黄烷酮 A、麦冬甲基黄烷酮 B 含量差异不大；考虑到多效唑易在土壤中残留，因此在 2017 年选择在未曾种植过麦冬，但与麦冬道地产区三台县环境相似的涪江下游沿岸的蓬安县开展实验。综合分析 2016 年至 2017 年间试验田样品，发现多效唑会使麦冬中的活性成分麦冬皂苷 D 含量下降，且多效唑施用浓度越高，麦冬皂苷 D 含量下降越明显，最高降低 39.20%。2016 年数据显示，麦冬甲基黄烷酮 A、麦冬甲基黄烷酮 B 随多效唑剂量增加呈上升趋势，2017 年数据显示随多效唑施用剂量增加，甲基麦冬黄烷酮 A、麦冬甲基黄烷酮 B 随多效唑剂量上升呈先增加后降低趋势，见表 6。

为进一步探讨多效唑对麦冬化学成分的影响，对 2023 年和 2024 年收集的芦溪县试验田样品化学成分含量进行测定，结果见表 7。对样品 LXX-1~LXX-8 进行数据分析发现，随多效唑施用量升高，麦冬皂苷 D 含量大幅降低，最多可降低 43.68%；甲基麦冬黄烷酮 A、甲基麦冬黄烷酮 B 呈先升后降趋势。对样品 LXX-9~LXX-12 进行数据分析发现，随多效唑施用量升高，麦冬皂苷 D 含量最多可降低 29.72%，甲基麦冬黄烷酮 A、甲基麦冬黄烷酮 B 呈先升后降趋势。

适度持水量、低 pH 或高阳离子交换量更利于降解^[15-16]。
4.2 多效唑降低麦冬化学成分含量的原因 本研究发现，高剂量多效唑显著降低麦冬皂苷 D 含量，降幅达 39.20%，与张丽霞^[17]发现多效唑使麦冬皂苷 D 降幅超 50% 规律一致。多效唑会抑制赤霉素、生长素合成，升高脱落酸含量^[18]。孙丹丹^[19]发现赤霉素诱导后总皂苷含量高于未处

表 7 2023 年至 2024 年试验田样品化学成分含量测定结果
(mg/g, $\bar{x}\pm s$, $n=3$)

编号	麦冬皂苷 D	麦冬甲基黄烷酮 A	麦冬甲基黄烷酮 B
LXX-1	0.277±0.013 ^a	0.071±0.002 ^c	0.039±0.001 ^d
LXX-2	0.222±0.004 ^{bc}	0.071±0.006 ^c	0.041±0.001 ^{cd}
LXX-3	0.228±0.021 ^b	0.077±0.004 ^c	0.044±0.000 ^e
LXX-4	0.215±0.007 ^{bcd}	0.089±0.002 ^b	0.052±0.000 ^b
LXX-5	0.189±0.001 ^{cde}	0.127±0.012 ^a	0.063±0.005 ^a
LXX-6	0.165±0.040 ^e	0.098±0.001 ^b	0.053±0.000 ^b
LXX-7	0.156±0.007 ^e	0.092±0.000 ^b	0.052±0.000 ^b
LXX-8	0.180±0.003 ^{de}	0.090±0.004 ^b	0.064±0.002 ^a
LXX-9	0.259±0.056 ^a	0.037±0.001 ^b	0.024±0.001 ^b
LXX-10	0.209±0.046 ^{ab}	0.095±0.006 ^a	0.063±0.001 ^a
LXX-11	0.199±0.008 ^{ab}	0.101±0.005 ^a	0.071±0.000 ^a
LXX-12	0.182±0.008 ^b	0.099±0.012 ^a	0.067±0.008 ^a

注：不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

理转基因毛状根。张晨等^[20]研究发现，外源赤霉素使太子参中皂苷含量增加，外源脱落酸 ABA 则降低皂苷积累量。推测多效唑可通过调控植物内源性激素含量，抑制麦冬皂苷 D 合成。细胞色素 P450 是甾体皂苷合成途径关键酶，多效唑杂环的孤电子对可与麦冬中单加氧酶内的细胞色素 P450 直接作用，使其失活^[21]。推测多效唑可通过降低有效成分合成关键酶活性使麦冬皂苷 D 含量下降。

4.3 多效唑使用建议 自 20 世纪 90 年代起，多效唑在麦冬种植中被广泛使用，部分药农施用超 10 kg/667 m²。2018 年禁用令出台，2019 年至 2020 年多效唑残留量逐渐降低。本研究表明，多效唑虽可提升麦冬鲜产，但抑制麦冬皂苷 D 的积累，且制剂过程迁移率均高于 70%，存在用药安全隐患。由于土壤残留，未施药区域生产的麦冬也可检出微量多效唑，但均低于 0.1 mg/kg。综合《中药材生产质量管理规范》中对植物生长调节剂的禁用要求，建议对麦冬中多效唑残留量标准定为 0.1 mg/kg，并推动监管逐步从限量到禁止检出过渡，为中药材质量安全和土壤生态保护提供参考。

利益冲突：本文不存在任何利益冲突。

参考文献：

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：2020 年版一部[S]. 北京：中国医药科技出版社，2020：162.

[2] 迟宇昊，李 暘，申 远. 麦冬化学成分及药理作用研究进展[J]. 新乡医学院学报，2021，38(2)：189-192.

[3] 范明明，张嘉裕，张湘龙，等. 麦冬的化学成分和药理作用研究进展[J]. 中医药信息，2020，37(4)：130-134.

[4] 郭梦月. 基于 DNA 条形码技术的中草药鉴定、分子系统学及污染真菌多样性研究[D]. 北京：北京协和医学院，2021.

[5] 吕 悦，杜伟锋，吴杭莎，等. 浙麦冬与川麦冬的比较研究进展[J]. 中华中医药杂志，2023，38(1)：289-294.

[6] 赵 丹，陈 杰，叶坤浩，等. 涪城麦冬的种植现状存在问题及发展对策——基于 139 户种植户的调研数据[J]. 中国现代中药，2022，24(6)：1083-1088.

[7] 游 鸯，汪 天. 多效唑作用及应用研究进展（综述）[J]. 亚热带植物科学，2013，42(4)：361-366.

[8] 俞磊明，张 娜，李 琦，等. UPLC-MS/MS 法快速测定多效唑在麦冬中的残留及其对麦冬化学成分的影响[J]. 中南药学，2022，20(7)：1569-1573.

[9] 苟 琰，高 驰，邓晶晶，等. QuEChERS 结合 GC-MS/MS-内标法测定川麦冬中多效唑残留量[J]. 中国药房，2019，30(3)：323-327.

[10] 苟 琰. 7 种川产道地药材农药残留检测及风险评估研究[D]. 成都：成都中医药大学，2021.

[11] 林秋霞. 植物生长调节剂对川麦冬质量的影响研究[D]. 成都：成都中医药大学，2014.

[12] 吴发明，杨瑞山，李 敏，等. 麦冬主流品种药材质量比较研究[J]. 中国药学杂志，2017，52(6)：447-451.

[13] 梁启富，邹华娇，黄承远，等. 8 种农药在豇豆上单独与混合使用的消解动态及膳食暴露风险评估[J]. 农产品质量与安全，2024(5)：44-51.

[14] 包媛媛，张新永，邵金良，等. 多效唑在番茄和土壤中的残留与降解动态研究[J]. 生态环境学报，2014，23(5)：864-869.

[15] 吴东明，阴文芳，宋怡柯，等. 不同环境因子对多效唑在海南芒果园土壤中降解的影响[J]. 热带作物学报，2022，43(6)：1305-1312.

[16] 徐瑞薇，胡钦红，靳 伟，等. 多效唑在土壤中降解、吸附和淋溶作用[J]. 环境化学，1994(1)：53-59.

[17] 张丽霞. 植物生长调节剂在中药材中的残留检测及对麦冬、三七质量的影响研究[D]. 北京：北京协和医学院，2020.

[18] 方雪娟，宋梦圆，高丽红，等. 多效唑和两种生物刺激素对基质培番茄生长、产量和品质的影响[J]. 中国蔬菜，2023(10)：67-73.

[19] 孙丹丹. 大豆角鲨烯环氧酶 GmSQE3 基因的克隆与功能研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨师范大学，2022.

[20] 张 晨，周 涛，郑 伟，等. 外源 ABA、GA₃ 对太子参皂苷含量及其生物合成关键酶基因表达的影响[J]. 分子植物育种，2018，16(13)：4255-4262.

[21] 叶坤浩，赵 丹，陈 杰，等. 多效唑的作用机制及其对中药材的影响[J]. 安徽农业科学，2022，50(13)：27-29.