湖南农业大学学报(自然科学版) 2025，51(4)：54–58. DOI：10.13331/j.cnki.jhau.2025.04.007
Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences)

引用格式：
刘磊，周东来，陈戈，胡德辉，张亚，刘双清. 无人机喷施封闭除草剂对大豆玉米间作田杂草的防除效果[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版)，2025，51(4)：54–58.
LIU L，ZHOU D L，CHEN G，HU D H，ZHANG Y，LIU S Q. Effects of closed herbicide spraying by unmanned aerial vehicle on weed control in soybean and maize intercropping fields[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences)，2025，51(4)：54–58.
投稿网址：http://xb.hunau.edu.cn

无人机喷施封闭除草剂对大豆玉米间作田杂草的防除效果

刘磊[1]，周东来[1]，陈戈[2]，胡德辉[3]，张亚[1]，刘双清[1*]

(1. 湖南农业大学植物保护学院，湖南 长沙 410128；2. 湖南省岳阳市农业农村事务中心，湖南 岳阳 414000；3. 湖南省岳阳市平江县浯口镇农业综合服务中心，湖南 岳阳 414516)

摘要：为高效防除大豆玉米带状间作田的杂草，利用植保无人机喷施960 g/L精异丙甲草胺乳油进行封闭除草，试验设置5个处理，植保无人机施药处理剂量分别为1 800、2 250、2 700 g/hm^2，背负式喷雾器施药处理剂量为2 250 g/hm^2，以喷施清水为对照。结果表明：在2 700 g/hm^{2}的制剂用量下，无人机喷施960 g/L精异丙甲草胺乳油的防除效果最好，对杂草的株防效和鲜质量防效分别为85.32%、88.45%，可有效控制大豆玉米带状间作田单子叶和双子叶杂草；与对照相比，大豆增产10.09%~17.18%，玉米增产13.90%~18.12%。综上可知，无人机喷施960 g/L精异丙甲草胺乳油可在大豆玉米带状间作田推广使用。

关键词：大豆玉米带状间作；植保无人机；封闭除草剂；防除效果

中图分类号：S451.22 **文献标志码**：A **文章编号**：1007–1032(2025)04–0054–05

Effects of closed herbicide spraying by unmanned aerial vehicle on weed control in soybean and maize intercropping fields

LIU Lei[1], ZHOU Donglai[1], CHEN Ge[2], HU Dehui[3], ZHANG Ya[1], LIU Shuangqing[1*]

(1. College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2. Yueyang Agricultural and Rural Affairs Center, Yueyang, Hunan 414000, China; 3. Agricultural Comprehensive Service Center, Wukou Town, Pingjiang County, Yueyang, Hunan 414516, China)

Abstract: To effectively control weeds in soybean-maize strip intercropping field, closed herbicide application of 960 g/L S-metolachlor emulsifiable concentrate(EC) was conducted using a plant protection unmanned aerial vehicle(UAV). The experiment included five treatments: three UAV application rates(1 800, 2 250, and 2 700 g/hm^2), one knapsack sprayer application treatment at 2 250 g/hm^2, and a water spray as the control. The results showed that at the formulation dosage of 2 700 g/hm^2, the application of 960 g/L S-metolachlor EC via UAV achieved the optimal weed control efficacy, with plant density reduction and fresh weight reduction rates of 85.32% and 88.45%, respectively. This treatment effectively controlled both monocotyledonous and dicotyledonous weeds in the soybean-maize strip intercropping field. Compared to the control group, the herbicide treatment significantly increased crop yields: soybean yield increased by 10.09%-17.18%, and maize yield increased by 13.90%-18.12%. In conclusion, the UAV-based application of 960 g/L S-metolachlor EC can be recommended for widespread adoption in soybean-maize strip intercropping fields.

Keywords: soybean-maize strip intercropping; plant protection unmanned aerial vehicle; closed herbicide; control efficacy

收稿日期：2024–12–06 **修回日期**：2025–07–16
基金项目：湖南省农业农村厅“揭榜挂帅”领办示范项目(湘财预〔2023〕157号)
作者简介：刘磊(1999—)，男，新疆乌鲁木齐人，硕士研究生，主要从事大豆玉米带状复合种植的杂草防除研究，296190778@qq.com；
*通信作者，刘双清，博士，副教授，主要从事植保技术研究，liushuangqing@hunau.edu.cn

大豆在我国粮食生产中占有重要地位，是人类植物蛋白质及油脂的主要来源[1]。2023年我国大豆产量仅为2. 084 × 10^7 t，进口量高达9. 940 × 10^7 t，占全部粮食进口量的60%以上[2]。大豆产量低、需求大和进口量大是我国当前大豆产业面临的主要问题[3–4]。近年来，农业农村部大力推广大豆玉米带状复合种植，该种植技术在保持玉米基本不减产的同时，也使大豆产量明显增加，是当前“稳玉米、扩大豆”的有效途径之一[5]。大豆、玉米在生产过程中常伴随病虫草害的发生，严重影响大豆和玉米的产量及品质[6]，其中杂草与大豆和玉米对养分、水分、光照等资源的竞争，是影响大豆玉米产量和质量的主要因素[7]，我国每年因杂草导致大豆减产10%~20%[8]、玉米减产20%~30%[9]。

生产上主要采用化学防除法来控制杂草[10–13]。常规除草剂喷施以背负式机械喷雾为主，作业效率低，劳动强度大，施药者易接触农药[14–15]。因此，引进和推广高效安全的除草剂施药技术和装备对提高生产效率、实现田间精准管理具有重要意义。植保无人机作为农业航空施药器械，具有喷施效果好、作业效率高、适应性广、安全系数高等优点[16]，在美国、日本等农业发达国家已广泛应用[17–18]。近年来，我国植保无人机施药技术也在快速发展。王玉杰等[19]利用植保无人机对玉米叶螨进行防控，具有防效好、对玉米安全和作业效率高的优势；岳德成等[16]通过植保无人机喷施40%乙·莠悬乳剂防除玉米田杂草，防治效果显著；何金山[20]使用植保无人机对大豆玉米带状复合种植田病虫害的防治也展开了探究。但利用植保无人机喷施土壤封闭除草剂防除大豆玉米带状间作田杂草的研究还鲜见报道。本研究中，使用植保无人机喷施精异丙甲草胺乳油以防治大豆玉米带状间作田的杂草，并分析精异丙甲草胺乳油对大豆、玉米生长指标的影响以及对杂草的防效，以期为大面积推广植保无人机在大豆玉米带状间作田喷施土壤封闭除草剂防治杂草提供参考。

1　材料与方法

1.1　材料

药剂及机械：960 g/L精异丙甲草胺乳油由先正达(苏州)作物保护有限公司出品；大疆T25植保无人机由深圳市大疆创新科技有限公司出品，主要性能指标如表1所示；人工施药机械为3WBD–16型背负式喷雾器，由台州市路桥浙信喷雾器厂出品，工作压力0.2~0.6 MPa，药液量450 L/hm^2。

供试大豆品种为‘衡春豆11号’(湖南泽昇农业科技有限公司)；玉米品种为‘康农玉868’(湖北康农种业股份有限公司)。

表1　植保无人机主要性能及参数指标

Table 1　Main performance and parameter indexes of plant protection unmanned aerial vehicle

主要参数	规格及数值
机型型号	大疆T25
桨叶展开尺寸(长×宽×高)	2 585 mm×2 675 mm×780 mm
最大载药量	20 L
喷头类型	离心喷头
喷头型号	LX8060SZ
喷盘转速	2 000~16 000 r/min
雾化粒径	50~500 μm
飞行高度	2.5 m
飞行速度	4 m/s
喷幅	5 m

1.2　方法

1.2.1　大豆玉米种植方式

试验地点位于湖南省临湘市江南镇鸭栏村(29°39′46″N，113°20′56″E)。参考刘磊等[21]的种植方法，选择地势平坦、土壤肥力一致的田块，采用带状间作模式，以6行大豆和4行玉米形成1个生产单元，每2厢种6行大豆、4行玉米，生产单元宽度为4.4~4.8 m，大豆、玉米间距为0.6~0.7 m，大豆行距为0.3 m，玉米行距为0.4 m。大豆和玉米机械播种深度为3~4 cm，大豆播种株距为7~9 cm，玉米播种株距为13~15 cm，均单粒播种。

1.2.2　杂草发生情况的调查

2023年5月，参考蔡海林等[22]的调查方法，调查前茬油菜田主要杂草发生情况，采用倒置“W”9点取样法选取3块田，每块田调查9个样点，共27个样点，每个样点用正方形铁线框0.25 m^2(0.5 m×0.5 m)确定样点面积，详细记载每个样点内杂草种类、株数。

1.2.3　田间药效试验设计

于2024年4月20日上午播种，次日下午施药。使用植保无人机和背负式喷雾器喷施960 g/L精异

丙甲草胺乳油进行土壤封闭处理。无人机喷施作业试验地块以10 m×80 m为1个小区，设置4个药剂处理和1个清水对照处理(表2)，每个处理3组重复，各小区间设置10 m缓冲隔离带，防止雾滴漂移影响。试验采用完全随机区组设计，共15个小区，植保无人机飞行高度为2.5 m，飞行速度为4 m/s，喷幅宽度为5 m，流速为2.5 L/s，采用GPS定位飞行模式。

表2 无人机喷洒封闭除草剂试验处理

Table 2 Unmanned aerial vehicle spraying treatments in the pre-emergence herbicide experiment

处理	药剂	用药剂量/(g·hm^{-2})	施药机械
T1	960 g/L精异丙甲草胺乳油	1 800	无人机
T2	960 g/L精异丙甲草胺乳油	2 250	无人机
T3	960 g/L精异丙甲草胺乳油	2 700	无人机
T4	960 g/L精异丙甲草胺乳油	2 250	背负式喷雾器
CK	清水	0	无人机

1.2.4 田间药效试验调查

喷药后15 d调查田间大豆玉米药害发生情况。喷药后30 d调查杂草种类、数量和鲜质量，每小区随机选取3个点，每点调查 0.25 m^2，分开记录单子叶和双子叶杂草，与对照区杂草进行比较，参考刘磊等[21]的研究方法，计算株防效和鲜质量防效。喷药后50 d在每个试验小区选择连续且长势基本一致的大豆或玉米各9株，测定其株高和茎粗。大豆、玉米成熟后，每小区各选择4株大豆、玉米，分别记录大豆的株荚数、荚粒数、百粒质量和玉米的穗数、穗粒数、百粒质量，参考戴炜[23]的研究方法计算大豆和玉米的理论产量。

1.3 数据分析

采用Excel 2019进行数据统计和分析；使用SPSS 26进行单因素方差分析；选用Duncan法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 田间杂草发生情况

试验地前茬为油菜，在大豆玉米整地播种前调查田间杂草种类，田间主要杂草共有12种，其中单子叶杂草6种，包括稗[*Echinochloa crus-galli*(L.) P. Beauv.]、狗尾草[*Setaria viridis*(L.) P. Beauv.]、狗牙根[*Cynodon dactylon*(L.) Persoon]、马唐[*Digitaria sanguinalis*(L.) Scop]、牛筋草[*Eleusine indica*(L.) Gaertn.]、香附子(*Cyperus rotundus* L.)；双子叶杂草6种，包括酸模叶蓼[*Persicaria lapathifolia*(L.) Delarbre]、鳢肠[*Eclipta prostrata*(L.) L.]、喜旱莲子草[*Alternanthera philoxeroides*(Mart.) Griseb.]、铁苋菜(*Acalypha australis* L.)、马齿苋(*Portulaca oleracea* L.)、藜(*Chenopodium album* L.)。

2.2 封闭除草剂对田间杂草的株防效

喷药后15 d，各除草剂处理对大豆、玉米均无药害。喷药后30 d调查发现(表3)，4个药剂处理中T3处理对单子叶和双子叶杂草的防效均最高，分别为87.87%、83.73%；T3处理对总杂草的株防效为85.32%，显著高于TI和T2处理的，与T4处理差异不显著。T1、T2和T4处理对单子叶杂草、双子叶杂草和总杂草的株防效均无显著差异，但T4的株防效优于T2的。

表3 除草剂对大豆玉米带状间作田杂草的株防效

Table 3 Weed control efficacy (based on plant density) of herbicides in soybean-maize strip intercropping fields

处理	单子叶杂草		双子叶杂草		总杂草	
	株数/m^2	株防效/%	株数/m^2	株防效/%	株数/m^2	株防效/%
T1	6.56	75.31±5.79	10.89	(74.28±3.91)b	17.44	(74.68±2.78)b
T2	5.00	81.17±2.94	9.78	(76.90±2.45)ab	14.78	(78.55±1.62)b
T3	3.22	87.87±3.37	6.89	(83.73±2.03)a	10.11	(85.32±1.48)a
T4	4.78	82.01±4.15	9.00	(78.74±1.62)ab	13.78	(80.00±2.11)ab
CK	26.56		42.33		68.89	

注：同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义(P< 0.05)。

2.3 封闭除草剂对田间杂草的鲜质量防效

从表4可以看出，T3处理对单子叶杂草的鲜质量防效为89.93%，显著高于T1的，与T2和T4处理的差异不显著。各药剂处理对双子叶杂草的鲜质量防效无显著差异，T3、T4、T2、T1的防效依次降低。在总杂草鲜质量防效方面，T3处理的防效显著高于其他处理的，鲜质量防效为88.45%。

表4　除草剂对大豆玉米带状间作田杂草的鲜质量防效

Table 4　Weed control efficacy of herbicides based on fresh weight reduction in soybean-maize strip intercropping fields

处理	单子叶杂草		双子叶杂草		总杂草	
	鲜质量/(g·m^{-2})	鲜质量防效/%	鲜质量/(g·m^{-2})	鲜质量防效/%	鲜质量/(g·m^{-2})	鲜质量防效/%
T1	9.89	(78.91±4.24)b	11.71	81.45±2.41	21.60	(80.37±1.74)b
T2	9.27	(80.24±2.72)ab	10.90	82.73±1.87	20.17	(81.67±1.73)b
T3	4.72	(89.93±2.77)a	7.98	87.36±1.82	12.70	(88.45±1.30)a
T4	8.32	(82.25±3.94)ab	10.83	82.84±1.46	19.16	(82.59±2.01)b
CK	46.89		63.12		110.01	

注：同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义(P< 0.05)。

2.4　封闭除草剂对作物生长指标和产量的影响

2.4.1　对大豆、玉米生长指标的影响

由表5可知，喷药后50 d除草剂处理对大豆株高的影响从小到大依次为T4、T1、T2、T3；经除草剂处理的大豆茎粗比CK的增粗16.14%~23.13%。T2、T3处理的大豆株高与CK的差异显著，T1、T2、T3和T4处理的大豆茎粗均显著粗于CK的。除草剂处理对玉米株高的影响从小到大依次为T1、T4、T2、T3；T2、T3和T4处理的玉米茎粗显著粗于CK的，T1处理与CK的差异不显著。

表5　除草剂处理后大豆和玉米的生长指标

Table 5　Growth parameters of soybean and maize after herbicide treatment

处理	大豆		玉米	
	株高/cm	茎粗/mm	株高/cm	茎粗/mm
T1	(55.07±1.27)ab	(4.85±0.13)a	(182.76±1.77)b	(22.36±0.44)bc
T2	(56.63±0.72)a	(4.82±0.08)a	(187.22±1.2)ab	(25.28±0.70)a
T3	(57.43±0.90)a	(5.11±0.14)a	(190.10±2.58)a	(24.49±0.61)a
T4	(53.31±0.78)b	(4.90±0.13)a	(183.97±1.76)b	(22.86±0.66)b
CK	(52.99±1.22)b	(4.15±0.14)b	(176.88±2.20)c	(21.02±0.47)c

注：同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义(P< 0.05)。

2.4.2　对大豆理论产量的影响

由表6可知，各除草剂处理的株荚数与CK的无显著差异。T1和T3处理的荚粒数显著多于CK的，T2、T4处理与CK的无显著差异。4个除草剂处理的百粒质量与CK的均无显著差异。除草剂处理的理论产量均高于CK的，比CK增产10.09%~17.18%，其中T3处理的大豆理论产量显著高于CK的，其余处理与CK无显著差异。

表6　除草剂处理后大豆的理论产量及产量构成因素

Table 6　Theoretical yield and yield components of soybean after herbicide treatment

处理	株荚数/个	荚粒数/个	百粒质量/g	理论产量/(kg·hm^{-2})	增产率/%
T1	43.83±2.20	(50.17±1.42)a	(17.33±0.28)b	(833.30±21.85)ab	10.09
T2	38.17±2.00	(49.42±2.53)ab	(18.13±0.19)ab	(861.22±46.58)ab	13.78
T3	42.00±1.74	(53.00±1.68)a	(17.43±0.24)b	(886.97±30.14)a	17.18
T4	42.42±1.79	(48.17±1.54)ab	(18.57±0.48)a	(864.38±47.59)ab	14.20
CK	41.17±2.70	(44.33±1.94)b	(17.78±0.26)ab	(756.93±34.75)b	

注：同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义(P< 0.05)。

2.4.3　对玉米理论产量的影响

由表7可知，T1、T3和T4处理的玉米穗长显著高于CK的。4个除草剂处理的穗粒数与CK的无显著差异，百粒质量均显著高于CK的，理论产量也均高于CK的，比CK增产13.90%~18.12%，其中，T3处理的玉米理论产量显著高于CK的，其余处理与CK的差异不显著。

表7　除草剂处理后玉米的理论产量及产量构成因素

Table 7　Theoretical yield and yield components of maize after herbicide treatment

处理	穗长/cm	穗粒数/个	百粒质量/g	理论产量/(kg·hm^{-2})	增产率/%
T1	(19.08±0.54)a	387.67±11.12	(34.47±0.59)a	(4 276.61±134.46)ab	14.24
T2	(18.33±0.39)ab	383.67±20.80	(34.63±0.62)a	(4 263.85±261.92)ab	13.90
T3	(18.47±0.40)a	409.42±17.42	(33.87±0.77)a	(4 421.96±171.40)a	18.12
T4	(19.44±0.43)a	383.00±15.38	(35.15±0.75)a	(4 303.25±178.47)ab	14.95
CK	(17.22±0.29)b	366.33±10.58	(31.85±0.79)b	(3 743.66±158.66)b	

注：同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义(P< 0.05)。

3 结论与讨论

土壤封闭除草剂是广泛应用于农田的一类重要除草剂，其除草效果的影响因素包括喷洒时雾滴的大小、分布均匀性、沉降密度等[24]。本研究利用植保无人机喷施不同剂量960 g/L精异丙甲草胺乳油来防治大豆玉米带状间作田的杂草，研究结果表明，在推荐剂量范围内，利用无人机喷施960 g/L精异丙甲草胺乳油进行土壤封闭处理具有较好的控草效果，施药量在2 700 g/hm^{2}时对杂草的防效最好，且对大豆、玉米安全，同时也增加了大豆、玉米的株高和茎粗，相较于对照组，处理组大豆、玉米分别增产17.18%、18.12%，这与徐蓬等[25]的研究结果基本一致。

相关研究[26–27]表明，不同施药器械施用除草剂对杂草的防治效果存在较大差异。本研究结果显示，960 g/L精异丙甲草胺乳油施药量在2 250 g/hm^{2}时，使用人工背负式喷雾器喷施对杂草的防效高于无人机喷施对杂草的防效，可能是由于人工喷洒时药剂雾滴分布均匀性较高，沉降密度较大，从而提高了药剂的利用率和防治效果。

植保无人机技术的应用不仅具有效率较高、污染度较低等多方面的优势[28]，同时还节约了人力和物力。本研究结果表明，植保无人机技术值得在大豆玉米带状间作田封闭除草工作中进行推广应用。

参考文献：

[1] 李维刚，张晓东，宋继华，等. 我国大豆生产波动动因分析：基于省际面板模型的实证研究[J]. 农业经济与管理，2023(2)：48–63.

[2] 杨皓森. 中国大豆生物育种产业化对贸易依存度的影响[J]. 中国农业科技导报，2024，26(11)：15–22.

[3] 袁晓婷，汤松，罗凯，等. 大豆玉米带状复合种植产量与效益分析：基于全国16个示范省(市、区)的调查数据[J]. 四川农业大学学报，2023，41(5)：834–841，872.

[4] 奎国秀，祁春节，方国柱. 中国主要粮食产品进口贸易的资源效应和环境效应研究[J]. 世界农业，2021(5)：16–25，126.

[5] 王昕彤，奚小波，陈猛，等. 大豆玉米带状复合种植技术与装备发展现状[J]. 江苏农业科学，2023，51(11)：36–45.

[6] 刘磊，黄运友，冯正锐，等. 湖南省大豆玉米带状复合种植模式及病虫草害综合防控技术[J]. 现代农业科技，2024(13)：208–212，216.

[7] 高同彬，何付丽，赵长山. 窄行平作密植大豆田杂草的危害特点[J]. 大豆科学，2008，27(3)：536–538，542.

[8] 杜青，王青梅，陈平，等. 玉米–大豆带状间作下除草剂的筛选[J]. 大豆科学，2017，36(1)：98–103.

[9] 杨继芝，王宜，龚国淑，等. 不同除草剂对夏玉米田杂草防效和产量的影响[J]. 杂草科学，2010，28(1)：51–53.

[10] GIANESSI L. The potential for organic agriculture to feed the world is being oversold[J]. Outlooks on Pest Management，2009，20(1)：4–5.

[11] ESEHAGHBEYGI A，TADAYYON A，BESHARATI S. Effect of droplet size on weed control in wheat[J]. Journal of Plant Protection Research，2011，51(1)：18–22.

[12] 王国宾，王十周，陈鹏超，等. 植保无人机喷施不同雾滴粒径药剂对其在棉花冠层沉积、穿透及脱叶催熟效果的影响[J]. 植物保护学报，2021，48(3)：493–500.

[13] 何玲，王国宾，胡韬，等. 喷雾助剂及施液量对植保无人机喷雾雾滴在水稻冠层沉积分布的影响[J]. 植物保护学报，2017，44(6)：1046–1052.

[14] 袁会珠，杨代斌，闫晓静，等. 农药有效利用率与喷雾技术优化[J]. 植物保护，2011，37(5)：14–20.

[15] KNOCHE M. Effect of droplet size and carrier volume on performance of foliage-applied herbicides[J]. Crop Protection，1994，13(3)：163–178.

[16] 岳德成，姜延军，李青梅，等. 植保无人机喷施对玉米田土壤处理除草剂的减量效应[J]. 植物保护，2019，45(2)：193–198.

[17] 薛新宇，兰玉彬. 美国农业航空技术现状和发展趋势分析[J]. 农业机械学报，2013，44(5)：194–201.

[18] 亓文哲，王菲菲，孟臻，等. 我国植保无人机应用现状[J]. 农药，2018，57(4)：247–254.

[19] 王玉杰，武建华，刘洁，等. 应用植保无人机在河套灌区防治玉米叶螨的试验简报[J]. 中国农技推广，2024，40(7)：90–92.

[20] 何金山. 植保无人机在玉米大豆带状复合种植病虫害防治中的应用[J]. 农业工程技术，2024，44(11)：70–71.

[21] 刘磊，周东来，颜健红，等. 大豆–玉米带状复合种植田封闭除草剂的筛选及田间应用效果评价[J]. 杂草学报，2024，42(4)：65–75.

[22] 蔡海林，谢鹏飞，翟争光，等. 湖南省烟田杂草种群调查[J]. 植物保护，2022，48(4)：336–340.

[23] 戴炜. 玉米大豆带状间作模式下除草剂的筛选与评价[D]. 雅安：四川农业大学，2017.

[24] 袁会珠，王国宾. 雾滴大小和覆盖密度与农药防治效果的关系[J]. 植物保护，2015，41(6)：9–16.

[25] 徐蓬，巨亚雯，王红春，等. 几种除草剂对大豆、玉米的安全性及其带状复合种植田间杂草生物活性的影响[J]. 杂草学报，2023，41(4)：67–73.

[26] 白小艳，王飞飞，房欢欢，等. 不同施药器械及药剂对玉米田杂草的防除效果研究[J]. 农业科技与信息，2018(2)：53–55.

[27] 杨非，曹瑛，惠军涛. 不同施药器械及喷头对麦田杂草化除效果初探[J]. 农业科技通讯，2019(4)：151–153.

[28] 陈鲁建. 植保无人机在玉米田间除草的应用实践[J]. 农业工程技术，2023(35)：59–60.

责任编辑：毛友纯

英文编辑：罗 维