

多效唑和氮肥对马铃薯产量及经济效益的影响

杨妍^{1,2} 徐宁生^{1,2} 潘哲超^{1,2} 李燕山^{1,2} 杨琼芬^{1,2} 张磊^{1,2}

(¹云南省农业科学院经济作物研究所, 650205, 云南昆明; ²农业农村部云贵高原马铃薯与油菜科学观测实验站, 650205, 云南昆明)

摘要 为了筛选出适宜云南大春作马铃薯高产栽培的多效唑和氮肥组合,并探讨氮肥和多效唑对马铃薯产量和经济效益的影响,2019–2020年在大田条件下,以云薯105为试验材料,采用裂区试验设计,以多效唑为主区,氮肥为副区,研究3种多效唑浓度(0‰、1‰和2‰)和5种氮肥水平(0、105、210、315和420 kg/hm²)对云薯105的产量和经济效益的影响。2年试验结果表明,不同多效唑和氮肥处理对云薯105产量和经济效益影响显著。当喷施2‰多效唑和氮肥施用量为210–315 kg/hm²时,马铃薯产量达最大值。而经济效益方面,当喷施2‰多效唑和氮肥施用量为210 kg/hm²时,云薯105经济效益最大。

关键词 多效唑; 氮肥; 马铃薯; 产量; 经济效益

云南属于低纬度、高海拔地区,光照资源丰富,是中国马铃薯优势特色产区。马铃薯生产根据生产季节分为小春作、大春作、秋作和冬作。云南大春作马铃薯种植区域为中、高海拔地区,一般3–4月播种,7–9月收获,生产面积较大^[1]。该区域夏季雨水充沛,降雨量较大,马铃薯植株地上部分(源)生长旺盛,株高甚至高达2 m,养分无效消耗较大,块茎(库)产量和经济效益较低。因此,协调马铃薯的源库平衡是生产上一直探索的问题。合理施用氮肥和植物生长调节剂是提高产量和经济效益的重要措施。

氮是作物生长发育必需的矿质营养元素,对作物产量的提高具有重要作用,氮素对作物产量的贡献率达40%~50%^[2],氮肥是提高马铃薯产量和品质的关键。氮肥过高或过低均会导致产量下降,且施用氮肥过量情况下,会加重地下水硝酸盐污染的风险,导致环境退化^[3]。合理施用氮肥可调控马铃薯生育进程、形态特征及产量品质,同时也是提高肥料利用率的关键措施。另外,合理施用植物生长调节剂是马铃薯生产上常用的“控旺”措施。多效唑是一种高效低毒的植物生长调节剂,对植物生长具有明显的延缓调控作用,广泛应用在甘薯、小麦等作物上,具有抑制植株生长、促进分蘖、提高作物产量等特点^[4–6]。多效唑在马铃薯上提高产量和改善品质的应用越来越广泛^[7–8]。尽管氮肥和多效唑是生产

上常用的调节马铃薯源库分配的手段,但关于氮肥和多效唑协同作用对于马铃薯产量和经济效益调控效应的研究较少。

本研究以云薯105为研究对象,通过研究不同多效唑浓度和氮素水平条件对马铃薯产量的影响,筛选最适合云薯105生产的氮素水平和多效唑浓度,并探讨氮肥和多效唑对马铃薯产量和经济效益的影响,为合理运筹氮肥和化学调控技术措施以实现马铃薯高产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于云南省会泽县待补镇野马村云南省农业科学院马铃薯研发中心种薯繁育基地进行,海拔2670 m,年均气温8.2℃,无霜期105 d,2019和2020年生长季降水量分别为926.8和1043.4 mm。

1.2 试验设计

马铃薯品种为云薯105。试验采用裂区设计,多效唑为主区,设3个浓度,分别为0‰(P0)、1‰(P1)和2‰(P2);氮肥为副区,设5个不同氮素水平,分别为0(N0)、105(N1)、210(N2)、315(N3)和420 kg/hm²(N4),各小区溶液用量均为750 L/hm²。试验播种方式为单垄单行,行距为0.7 m,株距为0.35 m,小区面积为16.8 m²(2.8 m×6.0 m),每个处理重复3次,共45个小区。

作者简介: 杨妍,主要从事马铃薯育种研究, E-mail: yangyan16@yaas.org.cn

张磊为通信作者,主要从事马铃薯栽培生理研究, E-mail: zhanglei81@yaas.org.cn; 杨琼芬为共同通信作者,主要从事马铃薯脱毒种薯繁育研究, E-mail: yqf@yaas.org.cn

基金项目: 国家自然科学基金(31860342); 云南省农业联合面上项目(2018FG001-069); 兴滇英才支持计划(YNWR-QNBJ-2020-201); 国家重点研发计划项目“马铃薯化肥农药减施技术集成研究与示范”子课题(2018YFD020080309)

收稿日期: 2022-03-18; 修回日期: 2022-04-29; 网络出版日期: 2022-10-11

2019 年播种时间为 3 月 13 日，喷施多效唑时间为 7 月 16 日，收获时间为 9 月 20 日。2020 年播种时间为 3 月 24 日，喷施多效唑时间为 7 月 7 日，收获时间为 10 月 12 日。各处理施纯磷（P₂O₅）192kg/hm²，纯钾（K₂O）477kg/hm²，所有处理肥料均作底肥一次性施入，马铃薯病害防治和杂草管理参照当地马铃薯种植模式。

1.3 测定项目与方法

马铃薯收获时，每个小区选 3 行进行测产。按照商品薯分级标准（单薯重>150g 为大薯，75≤单薯重≤150g 为中薯，单薯重<75g 为小薯），计算各级薯数量及薯重。产量按 3 次重复小区鲜薯产量的均值进行折算。

1.4 数据处理

生产效益=总收益-生产成本。采用 SPSS 22.0

进行方差分析及多重比较。

2 结果与分析

2.1 联合方差分析

对 2 年的试验结果联合方差分析（表 1）表明，年度、多效唑及氮肥对马铃薯产量具有极显著影响（P<0.01），年度对马铃薯产量的影响最大，氮肥次之，多效唑对产量的影响最小。除此之外，氮肥对马铃薯的大薯率、中薯率、小薯率和结薯个数都有极显著影响；多效唑对马铃薯大薯率有显著影响，而对中薯率、小薯率和结薯个数影响不显著。除年度与氮肥的互作效应对马铃薯产量有极显著影响以及对中薯率有显著影响外，年度与多效唑的互作效应、多效唑与氮肥的互作效应以及年度、多效唑与氮肥的互作效应对马铃薯产量、大薯率、中

表 1 马铃薯主要性状的联合方差分析 F 值
Table 1 F value of joint variance analysis on main traits of potato

变异来源 Source of variation	产量 Yield	大薯率 Large tuber rate	中薯率 Middle tuber rate	小薯率 Small tuber rate	结薯个数 Tuber number
年度 Year	135.67**	6.02*	17.39**	0.58	54.77**
多效唑 Paclobutrazol	5.97**	4.83*	2.51	2.05	1.50
氮肥 Nitrogen fertilizer	39.95**	24.80**	16.88**	7.75**	7.02**
年度×多效唑 Year×paclobutrazol	0.46	0.23	0.39	1.51	1.05
年度×氮肥 Year×nitrogen fertilizer	6.19**	0.14	2.83*	1.54	1.65
多效唑×氮肥 Paclobutrazol×nitrogen fertilizer	0.94	1.28	0.97	0.80	0.30
年度×多效唑×氮肥 Year×paclobutrazol×nitrogen fertilizer	0.25	0.58	0.70	0.82	0.19

“*” 和 “**” 分别表示在 0.05 和 0.01 水平差异显著
“*” and “**” indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively

薯率、小薯率和结薯个数的影响不显著。

2.2 多效唑和氮肥对马铃薯产量及其构成因素的影响

2.2.1 多效唑对马铃薯产量及其构成因素的影响 方差分析（表 1）表明，产量在年度和多效唑浓度上均存在极显著差异，但年度和多效唑的互作效应不

显著。从产量及其构成因素（表 2）可见，2019 和 2020 年不同多效唑浓度处理下马铃薯产量趋势相同，表现为 P2>P1>P0。马铃薯平均产量 P1 和 P2 处理分别比 P0 处理增加 7.01%和 9.69%，均达显著差异水平，但 P1 和 P2 处理之间无显著差异。表明多效唑对马铃薯产量具有显著影响，随着多效唑的

表 2 2019-2020 年多效唑对马铃薯产量及其构成因素的影响
Table 2 Effects of paclobutrazol on potato yield and its components in 2019-2020

年份 Year	多效唑 Paclobutrazol	产量 Yield (t/hm ²)	大薯率 Large tuber rate (%)	中薯率 Middle tuber rate (%)	小薯率 Small tuber rate (%)	结薯个数 Tuber number
2019	P0	42.04b	66.25a	22.62a	11.12a	7.13b
	P1	44.12ab	68.22a	20.81a	10.97a	7.28b
	P2	46.31a	67.86a	21.18a	10.96a	7.69a
2020	P0	54.16b	66.26a	22.88a	10.87ab	8.49a
	P1	58.83a	68.35a	21.08ab	10.56b	8.83a
	P2	59.20a	67.73a	20.61b	11.67a	8.64a
平均 Mean	P0	48.10b	66.78b	21.26a	11.96a	7.81a
	P1	51.47a	69.20a	19.92b	10.87a	8.06a
	P2	52.76a	68.91a	20.29ab	10.80a	8.17a

小写字母表示 5%显著性差异，下同
The lowercase letters indicate significant difference at 5% level, the same below

浓度增加,马铃薯的产量也随之增加。从产量构成因素来看,P1和P2处理下2年大薯率均值分别比P0处理显著增加3.62%和3.19%;中薯率P1和P2处理均值分别比P0处理降低6.30%和4.56%,且P1处理显著降低中薯率;喷施多效唑处理能降低小薯率,但均未到显著差异水平。从马铃薯单株结薯个数来看,喷施多效唑处理均可增加马铃薯单株结薯个数,且2019年P2处理可显著提高马铃薯单株结薯个数。说明多效唑通过增加马铃薯大薯率、中薯率和结薯个数,进而提高马铃薯产量。

2.2.2 氮肥对产量及其构成因素的影响 方差分析(表1)表明,产量在年度和氮肥浓度上均存在极显著差异,且年度和氮肥的互作效应达到极显著水平。由表3可知,2020年不同处理的马铃薯产量均高于2019年。2019年,N1、N2、N3和N4处理产量分别比N0处理增加21.10%、34.00%、33.23%和19.06%;2020年,N1、N2、N3和N4处理产量分别比N0处理增加39.86%、67.22%、69.60%和50.94%,增幅均达显著差异水平,2020

年产量增幅显著大于2019年,这可能与降水量有关。随着氮肥浓度的增加,产量呈先上升后下降的趋势。2年产量均值表明,N1、N2、N3和N4处理产量分别比N0处理增加30.84%、51.27%、52.14%和35.62%,均达显著差异水平,且N2和N3处理显著高于其他氮肥处理。从产量构成因素来看,随着氮肥浓度的增加,大薯率呈先上升后下降的趋势,N1、N2、N3和N4处理下大薯率分别比N0处理增加3.50%、13.69%、13.48%和9.75%,均达显著差异水平,且N2和N3处理大薯率较其他处理增幅达显著差异水平;N1、N2、N3和N4处理下中薯率分别比N0处理降低5.68%、23.64%、20.40%和13.06%,其中N2和N3处理与其他处理达显著差异水平;N2、N3和N4处理显著降低马铃薯小薯率。增施氮肥均可增加马铃薯单株结薯个数,且N1、N2和N3处理增幅达显著水平。说明N2和N3处理增加马铃薯大薯率和单株结薯个数,降低中薯率和小薯率,优化马铃薯产量结构,有利于提高马铃薯块茎的商品性。

表3 2019-2020年氮肥对马铃薯产量及其构成因素的影响
Table 3 Effects of nitrogen fertilizer on potato yield and its components in 2019-2020

年份 Year	氮肥 Nitrogen fertilizer	产量 Yield (t/hm ²)	大薯率 Large tuber rate (%)	中薯率 Middle tuber rate (%)	小薯率 Small tuber rate (%)	单株结薯个数 Tuber number per plant
2019	N0	36.35b	61.89d	25.91a	12.20a	7.01b
	N1	44.02a	64.64c	23.46ab	11.90a	7.55a
	N2	48.71a	71.33a	18.30d	10.37b	7.57a
	N3	48.43a	70.95ab	18.69cd	10.36b	7.83a
	N4	43.28a	68.41b	21.32bc	10.27b	6.89b
2020	N0	39.44d	61.89c	25.69a	12.42a	7.56c
	N1	55.16c	64.42c	22.81b	12.76a	8.58b
	N2	65.95a	71.56a	18.53c	9.91b	9.30a
	N3	66.89a	70.95ab	18.59c	10.46b	9.24a
	N4	59.53b	68.41b	21.98b	9.61b	8.58b
平均 Mean	N0	37.90c	63.19d	23.43a	13.38a	7.29c
	N1	49.59b	65.40c	22.10a	12.50a	8.06ab
	N2	57.33a	71.84a	17.89c	10.28b	8.43a
	N3	57.66a	71.71a	18.65c	9.64b	8.54a
	N4	51.40b	69.35b	20.37b	10.29b	7.73bc

2.3 不同处理的生产成本

不同处理马铃薯的生产成本包括尿素、多效唑、人工管理、其他肥料、种子、农药和材料费等。由表4可知,随着尿素浓度的增加,每个处理间成本增加570.65元/hm²。多效唑的施用人工费提高了300.00元/hm²,随着多效唑浓度的增加,每个处理间成本增加了50.00元/hm²。各处理其他成本包括机械化和土地租金,平均为9000元/hm²。P0N0处理

的生产成本最低,为28 596.29元/hm²,P2N4处理生产成本增加了氮肥、多效唑的费用和人工费,成本最高,较P0N0处理的成本增加2682.61元/hm²。

2.4 不同处理的总收益和经济效益

2.4.1 不同处理的总收益 从2年总收益(表5)来看,由于2020年总体产量和效益高于2019年。喷施多效唑处理均可增加总收益,2019年P1和P2处理总收益较P0处理分别增加2490.19和

表 4 不同处理间 2 年平均生产成本
Table 4 Two years average production cost of different treatments

									元/hm ² yuan/hm ²
多效唑 Paclobutrazol	氮肥 Nitrogen fertilizer	尿素 Urea	多效唑 Paclobutrazol	人工 Labor	其他肥料 Other fertilizer	种子 Seed	农药 Pesticide	其他 Other	成本 Cost
P0	N0	0.00	0.00	7400.00	4096.29	7500.00	600.00	9000.00	28 596.29
	N1	570.65	0.00	7400.00	4096.29	7500.00	600.00	9000.00	29 166.94
	N2	1141.30	0.00	7400.00	4096.29	7500.00	600.00	9000.00	29 737.59
	N3	1711.95	0.00	7400.00	4096.29	7500.00	600.00	9000.00	30 308.25
	N4	2282.60	0.00	7400.00	4096.29	7500.00	600.00	9000.00	30 878.90
P1	N0	0.00	50.00	7700.00	4096.29	7500.00	600.00	9000.00	28 946.29
	N1	570.65	50.00	7700.00	4096.29	7500.00	600.00	9000.00	29 516.94
	N2	1141.30	50.00	7700.00	4096.29	7500.00	600.00	9000.00	30 087.59
	N3	1711.95	50.00	7700.00	4096.29	7500.00	600.00	9000.00	30 658.25
	N4	2282.60	50.00	7700.00	4096.29	7500.00	600.00	9000.00	31 228.90
P2	N0	0.00	100.00	7700.00	4096.29	7500.00	600.00	9000.00	28 996.29
	N1	570.65	100.00	7700.00	4096.29	7500.00	600.00	9000.00	29 566.94
	N2	1141.30	100.00	7700.00	4096.29	7500.00	600.00	9000.00	30 137.59
	N3	1711.95	100.00	7700.00	4096.29	7500.00	600.00	9000.00	30 708.25
	N4	2282.60	100.00	7700.00	4096.29	7500.00	600.00	9000.00	31 278.90

尿素: 2.50 元/kg, 过磷酸钙: 0.90 元/kg, 硫酸钾: 3.00 元/kg, 人工价格为 80.00 元/d
Urea: 2.50 yuan/kg, superphosphate: 0.90 yuan/kg, potassium sulfate: 3.00 yuan/kg, labor: 80.00 yuan/day

4753.16 元/hm², 2020 年分别增加 5874.73 和 6537.51 元/hm², 随着喷施多效唑浓度的增加, 总收益逐渐增加, P2 处理总收益达最大。随着氮肥施用量的增加, 总收益呈先上升后下降的趋势, 2019 年, N1、N2、N3 和 N4 处理总收益分别比 N0 处理增

加 8158.13、14 525.80、14 131.36 和 8432.76 元/hm², N2 处理增幅最大; 2020 年分别增加 16 287.62、29 694.10、31 064.35 和 22 495.59 元/hm², N3 处理增幅最大, 这与产量变化趋势相同。2019 和 2020 年, P2N2 处理总收益分别为 58 382.48 和 75 948.78

表 5 不同处理的总收益
Table 5 Total incomes of different treatments

						元/hm ² yuan/hm ²
年份 Year	处理 Treatment	P0	P1	P2	均值 Average	2 年平均 Two-year mean
2019	N0	34 558.57	36 771.67	36 153.80	35 828.01	37 345.40
	N1	42 090.66	45 953.95	43 913.81	43 986.14	49 568.28
	N2	44 381.86	48 297.08	58 382.48	50 353.81	59 455.35
	N3	48 242.86	50 244.57	51 390.68	49 959.37	59 943.26
	N4	43 041.92	43 499.51	46 240.89	44 260.77	52 809.58
	均值 Average	42 463.17	44 953.36	47 216.33		
2020	N0	37 756.64	39 819.39	39 012.34	38 862.79	
	N1	51 705.96	56 878.23	56 867.03	55 150.41	
	N2	60 988.08	68 733.82	75 948.78	68 556.89	
	N3	66 231.69	73 635.53	69 914.21	69 927.14	
	N4	56 486.17	63 475.22	64 113.75	61 358.38	
	均值 Average	54 633.71	60 508.44	61 171.22	38 862.79	
2 年平均 Two-year mean		48 548.44	52 730.90	54 193.78		

大薯收购价格为 1200.00 元/t, 中薯收购价格为 800.00 元/t, 小薯收购价格为 300.00 元/t, 下同
The purchase price of large tuber is 1200.00 yuan/t, middle tuber is 800.00 yuan/t, small tuber is 300.00 yuan/t, the same below

元, 均为 2 年处理中最大值。

2.4.2 不同处理的生产效益 由表 6 可知, 不同处理生产效益的变化趋势与不同处理总收益的变化趋势大致一致, 2020 年的生产效益总体高于 2019 年, 而随着多效唑浓度的增加, 2 年平均生产效益

在 P2 处理水平达到最高值, 为 24 056.19 元/hm²。不同氮肥处理下, 2 年平均生产效益在 N2 处理下为 29 467.76 元/hm²。2019–2020 年, 各处理中 P2N2 处理的生产效益均最高, 分别为 28 244.89 和 45 811.19 元/hm²。

表 6 不同处理的生产效益
Table 6 Production benefits of different treatments

年份 Year	处理 Treatment	P0	P1	P2	均值 Average	元/hm ² yuan/hm ² 2 年平均 Two-year mean
2019	N0	5962.28	7825.38	7157.51	6981.72	8499.11
	N1	12 923.72	16 437.01	14 346.87	14 569.20	20 151.34
	N2	14 644.27	18 209.49	28 244.89	20 366.22	29 467.76
	N3	17 934.61	19 586.32	20 682.43	19 401.12	29 385.01
	N4	12 163.02	12 270.61	14 961.99	13 131.87	21 680.68
	均值 Average	12 725.58	14 865.76	17 078.74		
2020	N0	9160.35	10 873.10	10 016.05	10 016.50	
	N1	22 539.02	27 361.29	27 300.09	25 733.47	
	N2	31 250.49	38 646.23	45 811.19	38 569.30	
	N3	35 923.44	42 977.28	39 205.96	39 368.89	
	N4	25 607.27	32 246.32	32 834.85	30 229.48	
	均值 Average	24 896.11	30 420.84	31 033.63		
2 年平均 Two-year mean		18 810.85	22 643.30	24 056.19		

3 讨论

3.1 多效唑和氮肥对马铃薯产量及其构成因素的影响

与其他常量营养元素相比,氮对马铃薯植物生长和最终产量的影响最大^[9]。适量氮肥的施用可促进马铃薯植株地上部分的生长,提高产量和经济效益^[10-11]。但过量的氮肥会导致植株过度生长,块茎产量和干物质含量降低^[12-13]。张炜等^[14]研究表明,马铃薯最佳施氮量为 261.7kg/hm²,施氮量为 180~360kg/hm²时可显著促进地上部生长,提高商品薯率;黄继川等^[10]研究表明,240kg/hm²的施氮量时马铃薯产量最高,而且薯块大小分级以大薯块比例最高;李燕山等^[15]研究表明,随氮肥用量的增加,马铃薯块茎产量呈先增加后降低的趋势,施氮量为 341.7kg/hm²时产量最高。本研究表明,综合 2 年试验结果,增加氮肥施用量可显著提高马铃薯产量,施氮量达到 210~315kg/hm²时,马铃薯产量最高,且显著提高大薯率和单株结薯个数,当施氮量为 420kg/hm²时,马铃薯产量和大薯率显著降低,施用氮肥过量会导致马铃薯茎叶徒长,导致马铃薯产量降低,这与前人^[14-15]的研究结果一致。马铃薯是地下结薯作物,若地上部分植株过高,会影响结薯,从而导致产量下降。前人^[16]研究表明,喷施多效唑可有效缓解地上部分生长过旺的现象,促进光合作用产生的碳水化合物有效向地下转移,促进薯块膨大,提高马铃薯产量。本试验结果表明,喷施多效唑可显著提高马铃薯产量,喷施 2‰多效唑处理马铃薯产量增幅最大,且可显著提高 2 年平均大薯率;

方差分析表明,产量在施氮量和多效唑施用量上均存在极显著差异,但施氮量和多效唑施用量的互作效应不显著,说明施氮量和多效唑施用量是影响马铃薯块茎产量的独立因子。

3.2 不同多效唑和氮肥处理的经济效益

产量要素中,大、中薯产量越多,效益越高^[17]。本试验结果表明,在氮肥浓度为 210kg/hm²时,马铃薯产量较高,且大薯率较对照显著提高,小薯率显著下降,提高了马铃薯块茎的商品性,有利于增加马铃薯的经济效益。但在施肥时要记住的一个重要概念是最大的作物产量并不总能带来最大的经济回报^[18]。由于各处理所施用的氮肥和多效唑的量不同,且多效唑的施用导致用工成本增加,2 年中各处理的生产成本不同。此外,随着施氮量的增加,马铃薯产量呈先上升后下降的趋势,但施氮量的增加会增加购买尿素的费用,增加生产成本,所以氮肥浓度越高,成本越高,但产量下降。本研究表明,P2N2 处理下马铃薯生产成本较对照增加了 5.4%,达 1541.30 元/hm²,但 P2N2 处理下 2 年的平均总收益较对照增加 85.8%,达 31 008.02 元/hm²,2 年的生产效益也是 P2N2 处理最高。

4 结论

不同多效唑和氮肥处理对云薯 105 的产量和经济效益影响显著。从产量方面,根据 2 年试验结果,当喷施 2‰多效唑和氮肥施用量在 210~315kg/hm²时,马铃薯产量达最大值。而经济效益方面,虽然增施氮肥和喷施多效唑较对照增加了人工费用和材料费,达 1541.30 元/hm²,但因为增加产量和大

薯率, 从而增加总收益。综合 2 年试验结果, 当多效唑浓度为 2‰、氮素水平为 210kg/hm² 时, 云薯 105 的生产效益最高。

参考文献

- [1] 杨琼芬, 徐发海, 刘绍文, 等. 乌蒙山区马铃薯产业调研与分析. 中国马铃薯, 2017, 31(5): 312-316.
- [2] 吴巍, 赵军. 植物对氮素吸收利用的研究进展. 中国农学通报, 2010, 26(13): 75-78.
- [3] Alva A, Fan M, Qing C, et al. Improving nutrient-use efficiency in Chinese potato production: experiences from the United States. Journal of Crop Improvement, 2011, 25(1): 46-85.
- [4] 张茜, 王良平, 魏鑫, 等. 多效唑的不同喷施时间对甘薯生长发育和产量的影响研究. 作物杂志, 2013(4): 97-99.
- [5] Peng D, Chen X, Yin Y, et al. Lodging resistance of winter wheat (*Triticum aestivum* L.): Lignin accumulation and its related enzymes activities due to the application of paclobutrazol or gibberellin acid. Field Crops Research, 2014, 157: 1-7.
- [6] Can W, Dan Hu, et al. Effects of uniconazole on the lignin metabolism and lodging resistance of culm in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.). Field Crops Research, 2015, 180: 46-53.
- [7] 吕周林, 张伟梅, 姚宏. 南方旱地多熟间套作马铃薯喷施多效唑的增产效果试验. 中国马铃薯, 2005, 19(6): 345-347.
- [8] Pertiwi M D, Sulistyarningsih E, Murti R H, et al. The potency of mulch and paclobutrazol treatments to increase potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber production in a high-temperature area. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2021, 724(1): 1-7.
- [9] Rykbost K A, Christensen N W, Maxwell J. Fertilization of Russet Burbank in short-season environment. American Potato Journal, 1993, 70: 699-710.
- [10] 黄继川, 彭智平, 于俊红, 等. 不同氮肥用量对冬种马铃薯产量、品质和氮肥利用率的影响. 热带作物学报, 2014, 35(2): 266-270.
- [11] 修凤英, 朱丽丽, 李井会. 不同施氮量对马铃薯氮素利用特性的影响. 中国土壤与肥料, 2009(3): 36-38.
- [12] Vos J. The effects of nitrogen supply and stem density on leaf attributes and stem branching in potato (*Solanum tuberosum* L.). Potato Research, 1995, 38: 271-279.
- [13] Goffart J P, Olivier M, Frankinet M. Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency: past-present-future. Potato Research, 2008, 51: 355-383.
- [14] 张炜, 杨德桦, 黄小箐, 等. 氮肥用量对襄阳地区马铃薯产量、品质 and 经济效益的影响. 中国土壤与肥料, 2016(1): 72-76.
- [15] 李燕山, 肖石江, 王晓瑞, 等. 氮肥用量对膜下滴灌冬马铃薯产量和经济效益的影响. 土壤, 2020, 52(1): 25-32.
- [16] 李云亚, 杨如鸿. 多效唑对马铃薯产量和淀粉含量的影响. 现代农业科技, 2011(18): 110-113.
- [17] 熊路, 陈传安, 雷志祥, 等. 不同浓度多效唑处理对马铃薯农艺性状及产量效益的影响. 农村经济与科技, 2017, 28(3): 58-60.
- [18] Pavak M J, Thornton R E. Planting depth influences potato plant morphology and economic value. American Journal of Potato Research, 2009, 86: 56-67.

Effects of Paclobutrazol and Nitrogen on Yield and Economic Benefit of Potato

Yang Yan^{1,2}, Xu Ningsheng^{1,2}, Pan Zhechao^{1,2}, Li Yanshan^{1,2}, Yang Qiongfeng^{1,2}, Zhang Lei^{1,2}

(¹Industrial Crop Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, Yunnan, China;

²Scientific Observing and Experimental Station of Potato and Rapeseed in Yunnan-Guizhou Plateau, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Kunming 650205, Yunnan, China)

Abstract In order to screen out the combination of paclobutrazol and nitrogen fertilizer suitable for high-yield cultivation of spring potato in Yunnan, and to explore the influence of nitrogen fertilizer and paclobutrazol on potato yield and economic benefits, the field experiments were executed from 2019 to 2020. The yield and economic benefit of Yunshu 105 were evaluated under split-plot design, and paclobutrazol and nitrogen fertilizer were treated as major and minor plot, respectively. There were three concentrations of paclobutrazol (0‰, 1‰ and 2‰), and five levels of nitrogen fertilizer (0, 105, 210, 315 and 420kg/ha). The results of two-year experiments showed that different paclobutrazol and nitrogen fertilizer treatments significantly affected the yield and economic benefits of Yunshu 105. In terms of yield, the potato yield reached the maximum value when spraying 2‰ paclobutrazol and nitrogen fertilizer were applied at 210 and 315kg/ha. In terms of economic benefits, when the amount of 2‰ paclobutrazol and nitrogen fertilizer was applied at 210kg/ha, the economic benefits of Yunshu 105 were the highest.

Key words Paclobutrazol; Nitrogen fertilizer; Potato; Yield; Economic benefit