

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.2024.0294

生长调节剂和密度对马铃薯种薯繁育效益的影响

饶莉萍¹, 邹雪^{1,2}, 陈年伟¹, 余韩开宗¹, 刘丽芳¹, 丁凡^{1,2}

(1. 绵阳市农业科学研究院 四川绵阳 621023; 2. 绵阳市农业科学研究院·厅市共建作物特色资源创制及应用四川省重点实验室 四川绵阳 621023)

摘要: 为了探究生长调节剂和密度对马铃薯种薯繁育效益的影响, 以品种黑美人和费乌瑞它的原种为材料, 设置 CK (4000 株·667 m²)、T1 (6000 株·667 m²)、T2 (8000 株·667 m²)、T3 (4000 株·667 m², 喷施 50 mg·L⁻¹ GA₃ 和 30 mg·L⁻¹ ABA)、T4 (4000 株·667 m², 喷施 50 mg·L⁻¹ GA₃、30 mg·L⁻¹ ABA 和 60 μg·L⁻¹ BR) 共 5 个处理, 连续 2 年研究对马铃薯生长形态、产量、品质及经济效益的影响。结果表明, 与对照相比, 喷施生长调控物质后, 株高显著增加, 而叶片单位面积的质量则显著下降。同时, 相较于使用生长调节剂, 提高种植密度对增产的促进作用更为明显, 黑美人 2020 年以 T1 产量最高, 比对照增产 69.91%, 2021 年以 T2 产量最高, 增产 62.38%, 费乌瑞它 2 年中均以 T2 产量最高, 2020、2021 年分别增产 82.93%、44.36%, 各处理下两品种的干物质、花青素含量无显著差异, 淀粉、维生素 C、还原糖、粗蛋白含量为黑美人变化显著, 费乌瑞它无显著差异。综上所述, 8000 株·667 m² 为黑美人和费乌瑞它适宜种植密度, 有效种薯产量分别为 2 158.82 kg·667 m² 和 2 790.63 kg·667 m², 预估产值分别达 3 892.28 元·667 m² 和 4 268.89 元·667 m²。

关键词: 马铃薯种薯; 水肥; 生长调控物质; 种植密度; 品质; 繁育效率

中图分类号: S532

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)02-115-08

Effects of growth regulating substances and density on the efficiency of seed potato multiplication

RAO Liping¹, ZOU Xue^{1,2}, CHEN Nianwei¹, YU Hankaizong¹, LIU Lifang¹, DING Fan^{1,2}

(1. Mianyang Academy of Agricultural Science, Mianyang 621023, Sichuan, China; 2. Mianyang Academy of Agricultural Science/Crop Characteristic Resources Creation and Utilization Key Laboratory of Sichuan Province, Mianyang 621023, Sichuan, China)

Abstract: To investigate the effects of growth regulating substances and density on the efficiency of seed potato multiplication, the original seed tubers of the varieties Heimeiren and Favorita were used as materials. Five treatments including CK (4000 plants·667 m²), T1 (6000 plants·667 m²), T2 (8000 plants·667 m²), T3 (4000 plants·667 m², and sprayed with 50 mg·L⁻¹ GA₃ and 30 mg·L⁻¹ ABA), T4 (4000 plants·667 m², and sprayed with 50 mg·L⁻¹ GA₃, 30 mg·L⁻¹ ABA and 60 μg·L⁻¹ BR) were set up, and their effects on potato growth morphology, yield, quality, and economic benefits were studied for two consecutive years. The results showed that compared to CK, the application of growth control treatments significantly increased plant height and significantly decreased leaf mass per unit area. Meanwhile, increasing planting density had a more pronounced effect on yield improvement compared to the use of growth regulators. For Heimeiren, the highest yield in 2020 was observed under T1, which increased by 69.91% compared to CK, while in 2021, the highest yield was under T2, with a 62.38% increase. For Favorita, T2 produced the the highest yields in both years, with increases of 82.93% in 2020 and 44.36% in 2021. Across all treatments, there were no significant differences in dry mater and anthocyanin content for both varieties. However, starch, vitamin C, reducing sugar, and crude protein content showed significant changes in Heimeiren but no significant changes in Favorita. In summary, 8000 plants·667 m² was the suitable planting density for Heimeiren and Favorita, with yields of 2 158.82 kg·667 m² and 2 790.63 kg·667 m², respectively, and the estimated production value amounted to 3 892.28 Yuan·667 m² and 4 268.89 Yuan·667 m², respectively.

Key words: Seed potato; Water and fertilizer; Growth regulating substances; Planting density; Quality; Breeding efficiency

收稿日期: 2024-04-29; 修回日期: 2024-11-13

基金项目: 四川省科技厅育种攻关项目(2021YFYZ0019); 国家现代农业产业技术体系四川薯类创新团队项目(sccxt-d-2022-09); 绵阳市农业科学研究院创新基金项目(cxjj74)

作者简介: 饶莉萍, 女, 研究实习员, 主要从事马铃薯栽培育种和生理方面的研究工作。E-mail: 1144023471@qq.com

通信作者: 丁凡, 男, 研究员, 主要从事薯类育种和栽培研究。E-mail: 38862234@qq.com

受种植业结构调整和市场需求的拉动,近年四川省的马铃薯种植面积和总产量都位居全国前列^[1],优质种薯需求量也不断增大。但在马铃薯种薯繁育过程中,由于栽培制度单一和连作障碍等原因,马铃薯产量和品质下降^[2]。近年来,为了提高马铃薯种薯产量,植物生长调节剂的研究和利用逐渐受到重视^[3-5],并取得了显著进展。马铃薯种薯的种植密度对马铃薯的生产和后续种植也有重要影响^[6]。

植物生长调节剂在作物生长发育和代谢中起着至关重要的作用,它使植物体内的酶发生反应,即使很小的剂量也可以表现出高效的调节能力^[7]。植物生长调节剂在马铃薯生产中的应用也越来越广泛,包括对马铃薯地上部植株性状、产量和品质的影响^[8]。马铃薯块茎的形成并不是由单一激素所调控,而是多种激素综合调节和互相协同、制约的结果^[9]。彭晓莉等^[10]和李海珀等^[11]研究表明,赤霉素(GA)促进植株快速生长的同时诱导匍匐茎产生,对提高马铃薯原种的单株结薯数有重要促进作用。刘璐^[12]和杨立军^[13]的研究结果表明,脱落酸(ABA)可以通过抑制马铃薯GA合成途径中相关基因的表达,从而抑制GA合成,促进马铃薯块茎形成,外源喷施ABA的马铃薯植株提早形成块茎,薯块产量高。油菜素内酯(BR)是广泛存在于植物界中的一类促进生长的植物激素,调节营养生长和生殖生长,具有加速植物生长、提高产量等作用^[14]。将BR合成路径中的关键酶基因转入拟南芥和水稻中,种子产量得到显著提高^[15-16]。种植时需根据实际情况适当调整马铃薯试管苗的种植密度,马铃薯的生长需要通风透光性好的环境,此种环境下马铃薯作物能够充分吸收水分,提高植物光合强度,使单位面积的株数和块茎数增加,从而获得更为理想的马铃薯产量与质量^[17-18]。

马铃薯已成为农民增收和农业增效的支柱产业,优质种薯的高效生产是提高马铃薯生产水平的关键。2015年农业部提出减少化学农药使用和减少化肥使用的“双减”目标,到2020年实现化肥使用和农药使用零增长。植物生长调节剂对环境友好,并且广谱高效,在农业生产上具有广泛的应用前景。针对当前生产中繁种效率低下的问题,笔者深入探究了不同水肥条件下生长调节物质与种植密度对马铃薯植株生长、产量、品质及经济效益的综合影响,旨在为提升繁种效率提供科学依据和技术支持,实现马铃薯种薯的高产高效栽培。

1 材料和方法

1.1 材料

供试马铃薯品种黑美人和费乌瑞它由绵阳市农业科学研究院提供原种。试验于2020年1月至2021年5月在绵阳市农业科学研究院试验基地完成。

1.2 设计

采用随机区组试验设计,每个品种设置密度和生长调节剂(赤霉素GA₃,脱落酸ABA,油菜素内酯BR)5个处理,3次重复,1次重复为1个试验小区,2个品种共30个试验小区。小区面积13.33 m²,垄长3.35 m,垄距1 m,1垄双行20株,CK、T1、T2、T3、T4 窝距分别为33、22、33、33、33 cm,行距60 cm,4垄为1个小区。处理分别为CK:种植密度为4000株·667 m²;T1:种植密度为6000株·667 m²;T2:种植密度为8000株·667 m²(1窝播种2个);T3:种植密度为4000株·667 m²,齐苗后14 d,喷施2次50 mg·L⁻¹赤霉素GA₃,间隔7 d;块茎形成期,喷施2次30 mg·L⁻¹ ABA,间隔14 d;T4:种植密度为4000株·667 m²,齐苗后14 d,喷施2次50 mg·L⁻¹ GA₃,间隔7 d;块茎形成期,喷施2次30 mg·L⁻¹ ABA+60 μg·L⁻¹ BR,间隔14 d。

试验于2020—2021年连续开展2年,年内和水稻轮作,马铃薯生长季(出苗到收获)在每年的2月中旬到5月中旬,之后种植水稻。水肥情况:2020年,使用复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15)100 kg·667 m²作为底肥,依靠自然降雨灌溉。然而,当年3—4月遭遇持续干旱。2021年施用复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15)50 kg·667 m²作底肥,田间安装滴灌系统,补肥水3次,间隔7~10 d,每次持续滴灌3 h,肥料用量为尿素4.0 kg·667 m²、K₂SO₄ 3.5 kg·667 m²、KH₂PO₄ 0.4 kg·667 m²。保障两轮试验中外源提供的N、P₂O₅、K₂O量一致。

1.3 试验指标测定及方法

在盛花期每处理随机选10株采用直尺测量株高;每个处理随机选3株,每株1片叶,用直径1.7 cm圆柱体打孔器在叶中脉中部位置取样,面积6.81 cm²,称取鲜质量,测定叶片单位面积质量。

收获期对每个小区收获的所有薯块称量测产,统计产量,并对薯块进行分级称质量,大于20 g的种薯为有效种薯。单株结薯数=小区马铃薯总个数/株数。同时测定块茎干物质含量,将薯块切片称鲜质量后,于烘箱中105℃杀青20 min,再在80℃恒温下烘至恒质量,称量干质量,每个处理3次重复,

干物质含量/%=干质量/鲜质量×100。

从各处理随机选取3个马铃薯块茎,用5 mm圆柱体打孔器取样切碎混匀后进行品质测定,设置3次重复。分别用3,5-二硝基水杨酸(DNS)比色法^[19]、蒽酮硫酸法^[20]、考马斯亮蓝法^[21]、pH示差法^[22]、分光光度计法^[23]测定马铃薯块茎中还原糖、淀粉、粗蛋白、花青素和维生素C含量,其中,花青素含量只测定彩色马铃薯黑美人块茎。

1.4 效益分析

用种量按1株50 g计,黑美人原种6.00元·kg⁻¹,费乌瑞它原种4.40元·kg⁻¹;黑美人种薯4.00元·kg⁻¹,

费乌瑞它种薯3.00元·kg⁻¹。2020年种植马铃薯的其他成本包括人工、农资耗材、化肥农药等,约2322.00元·667 m²,详见表1。T3和T4有激素试剂成本和人工喷施成本,100.00元·667 m²,T4增加的BR 50.00元·667 m²;在高密度下更易发生晚疫病,用药成本增加,施药量增加1倍,T1和T2每667 m²药剂成本增加88.00元,人工成本增加150.00元;2021年底肥成本减半即287.50元,滴灌补充水肥,667 m²用尿素12.0 kg、K₂SO₄ 10.50 kg、KH₂PO₄ 1.20 kg,共计70.50元,即2021年的肥料成本358.00元。预估产值=收入-种薯费用-其他。

表1 试验中每667 m²的其他费用估算

Table 1 The estimated additional expenses per 667 m² of land in the experiment.

项目 Item	2020年费用/元 2020 cost/Yuan	2021年费用/元 2021 cost/Yuan
化肥 Fertilizers	575.00	358.00
叶面肥 Foliar fertilizer	35.00	35.00
除草剂 Herbicides	27.00	27.00
防晚疫病药剂 Anti late blight agents	87.50	87.50
薄膜(卷) Film (rolls)	27.50	27.50
机器整地 Machine land preparation	120.00	120.00
人工:播种、盖土、打除草剂、覆膜1 d完成 Labor: sowing, covering, herbicide, mulching in 1 day	400.00	400.00
人工:揭膜 Labor: Uncovering	100.00	100.00
人工:中耕除草1 d完成 Labor: 1 day for mid-tillage and weeding	400.00	400.00
人工:喷施防晚疫病药剂+叶面肥,3次 Labor: Spraying against late blight and foliar fertilizer, 3 times	150.00	150.00
人工:挖土豆、装袋 Labor: digging potatoes, bagging	400.00	400.00
总计 Total	2 322.00	2 105.00

1.5 数据统计分析

田间调查及室内测定数据采用Microsoft Excel 2019进行数据统计分析和作图,采用SPSS 25.0的Duncan新复极差法进行数据检验和差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 外源激素处理对植株形态的影响

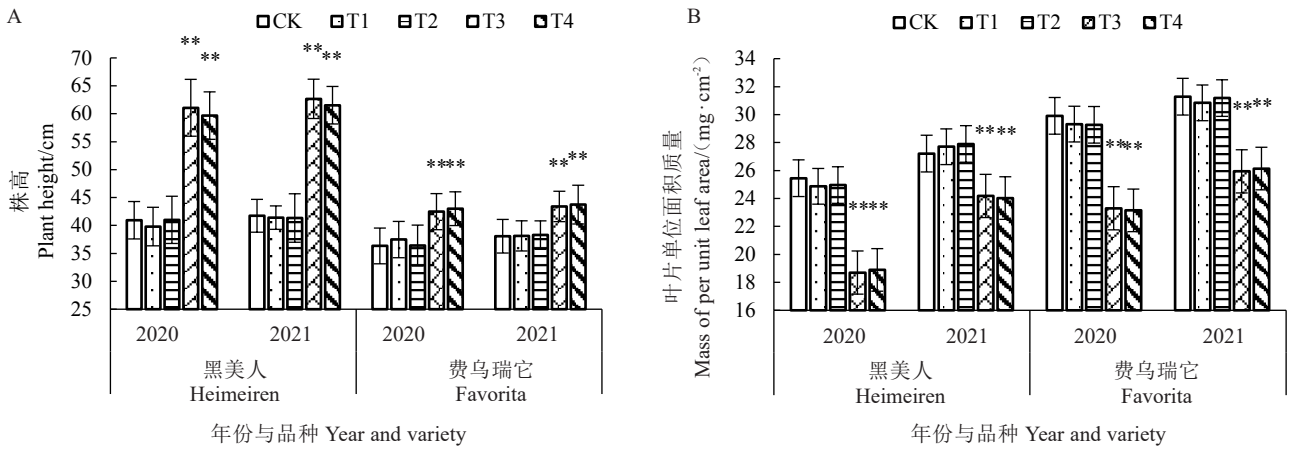
由图1-A可知,每个品种在不同年份同一处理条件下株高无明显差异,说明两种水肥条件均满足了马铃薯的生长需求。在种植密度增加的情况下,马铃薯株高与CK无明显差异,在不同施肥水平下喷施GA₃、ABA和BR激素,马铃薯株高变化趋势相同,激素处理株高均极显著高于CK。相较于费乌瑞它,黑美人对激素表现出更高的敏感度。在T3、T4处理条件下,均是黑美人的株高最高,在T3处理下,2020年和2021年分别较CK增长了

49.21%和50.18%;而在T4处理下,2020年和2021年分别较CK增长了45.79%和47.45%。说明生长调控物质ABA、BR、GA₃对马铃薯的株高有显著的促进作用。

由图1-B可知,种植密度增加,植株叶片单位面积之间的质量差异不显著,说明合理密植的马铃薯不会影响叶片的生长,有利于田间资源的利用。在两个年度的激素处理(T3和T4)后,两个品种的马铃薯叶片单位面积质量均较CK极显著降低,这表明喷施激素可以有效调控叶片单位面积质量,黑美人在2020年和2021年分别下降26.52%和11.69%,费乌瑞它分别下降22.6%和17.07%。

2.2 不同处理方式对马铃薯产量的影响

如图2所示,2020年黑美人在单株结薯数量上对激素处理的敏感性高于费乌瑞它,处理的平均单株结薯数比CK高1.54个,而费乌瑞它仅比CK高0.26个。由图3可知,与CK相比,增加密度和



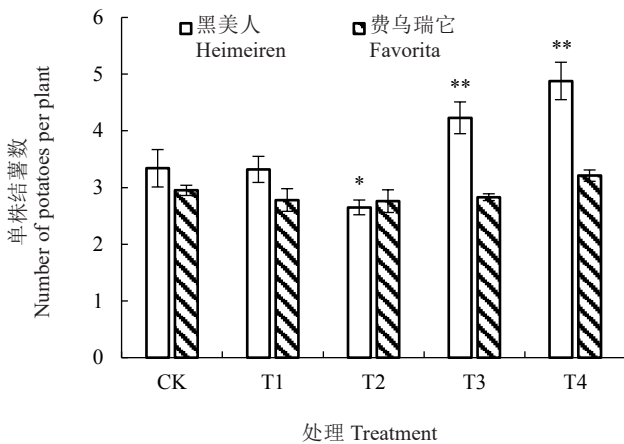
注:**表示同一年内处理与对照相比在 0.01 水平差异极显著。

Note: ** indicates extremely significant difference at 0.01 level between treatment and control in the same year.

图 1 不同水肥条件下不同处理对株高及叶片单位面积质量的影响
Fig. 1 Effects of different treatments on plant height and leaf mass per unit area under different water and fertilizer conditions

外源激素处理,可以提高马铃薯的产量,但 2 个品种的提幅度存在差异。增密处理可极显著提高产量,在 2020 年,黑美人在 T1 处理下的产量高达 $2\ 044.69\ \text{kg} \cdot 667\ \text{m}^2$,相比 CK 提高了 69.91%。T2 处理与 T1 相比,产量下降了 12.29%,这可能与 2020 年自然降雨不足有关。2021 年黑美人 T2 处理产量最高,达 $2\ 288.58\ \text{kg} \cdot 667\ \text{m}^2$,比 CK 增加 62.38%;费乌瑞它在 T2 处理下产量最高,2020 年和 2021 年分别达到了 $2\ 587.66\ \text{kg} \cdot 667\ \text{m}^2$ 和

$2\ 937.50\ \text{kg} \cdot 667\ \text{m}^2$,与 CK 相比,分别增长了 82.93%和 44.36%。与 CK 相比,激素处理也能显著增产或极显著增产,但增产效果弱于增密处理。经统计分析,激素处理 2 个品种均是 T4 处理后的增产效果高于 T3 处理。其中,黑美人 T4 处理 2 个年度分别比 CK 显著增产 43.67%和 28.18%;费乌瑞它 T4 处理 2 个年度分别比 CK 显著增产 24.00%和 20.86%,说明补充 BR 对马铃薯增产的作用具有普遍性。2021 年采用了水肥滴灌技术,确保了水肥供应的充足性,从而使得马铃薯产量相较于 2020 年



注:*表示与对照相比在 0.05 水平差异显著,**表示与对照相比在 0.01 水平差异极显著。下同。

Note: * indicate significant difference at 0.05 level compared to control; ** indicate extremely significant difference at 0.01 level. The same below.

图 2 2023 年不同处理对马铃薯单株结薯数的影响
Fig. 2 Effects of different treatments on the number of potatoes set on a single plant in potato in 2023

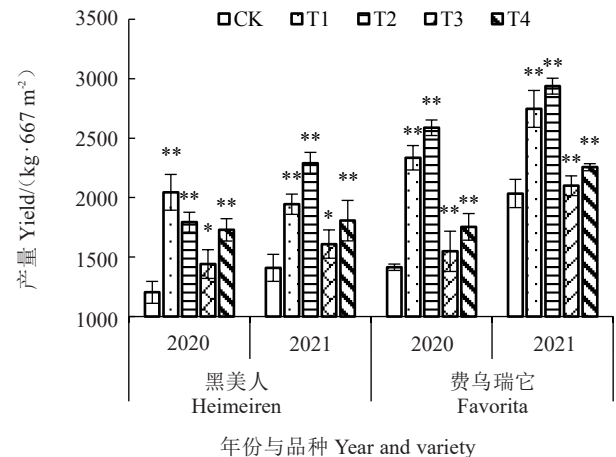


图 3 不同处理对马铃薯产量的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on potato yield

有了明显提升,说明马铃薯块茎对水分的需求量较大,适宜的灌溉施肥能促进马铃薯块茎的生长,增加播种密度和喷施生长调控剂有利于提高繁种效率,特别是在水肥条件不足的地方增产效果更为显

著,对实现农民增收有着至关重要的作用。

2.3 不同处理方式对马铃薯品质的影响

由图4可知,与CK相比,黑美人2020年在T2和喷施外源激素处理下干物质含量显著上升,2021年T1和T3处理干物质含量显著下降;2020年和2021年,除2020年T3外,不同处理下费乌瑞它的淀粉含量无显著差异。与CK相比,2020年黑美人淀粉含量在T2处理下显著下降,在喷施外源激素后淀粉含量极显著下降,2021年在T1处理下淀粉含量显著下降。与CK相比,2020年T2处

理下的黑美人还原糖含量显著降低;同时,费乌瑞它在增加种植密度后,还原糖含量也显著降低。然而,2020年的激素处理以及2021年的各个处理对这两个品种的还原糖含量均未产生显著影响。

2020年,与CK相比,黑美人增加种植密度后粗蛋白含量都极显著上升,喷施外源激素在T4处理下粗蛋白含量显著上升,费乌瑞它在T2、T3处理下粗蛋白含量分别显著和极显著降低,其他处理下粗蛋白含量变化不显著;2021年各处理下黑美人和费乌瑞它粗蛋白含量无显著变化。

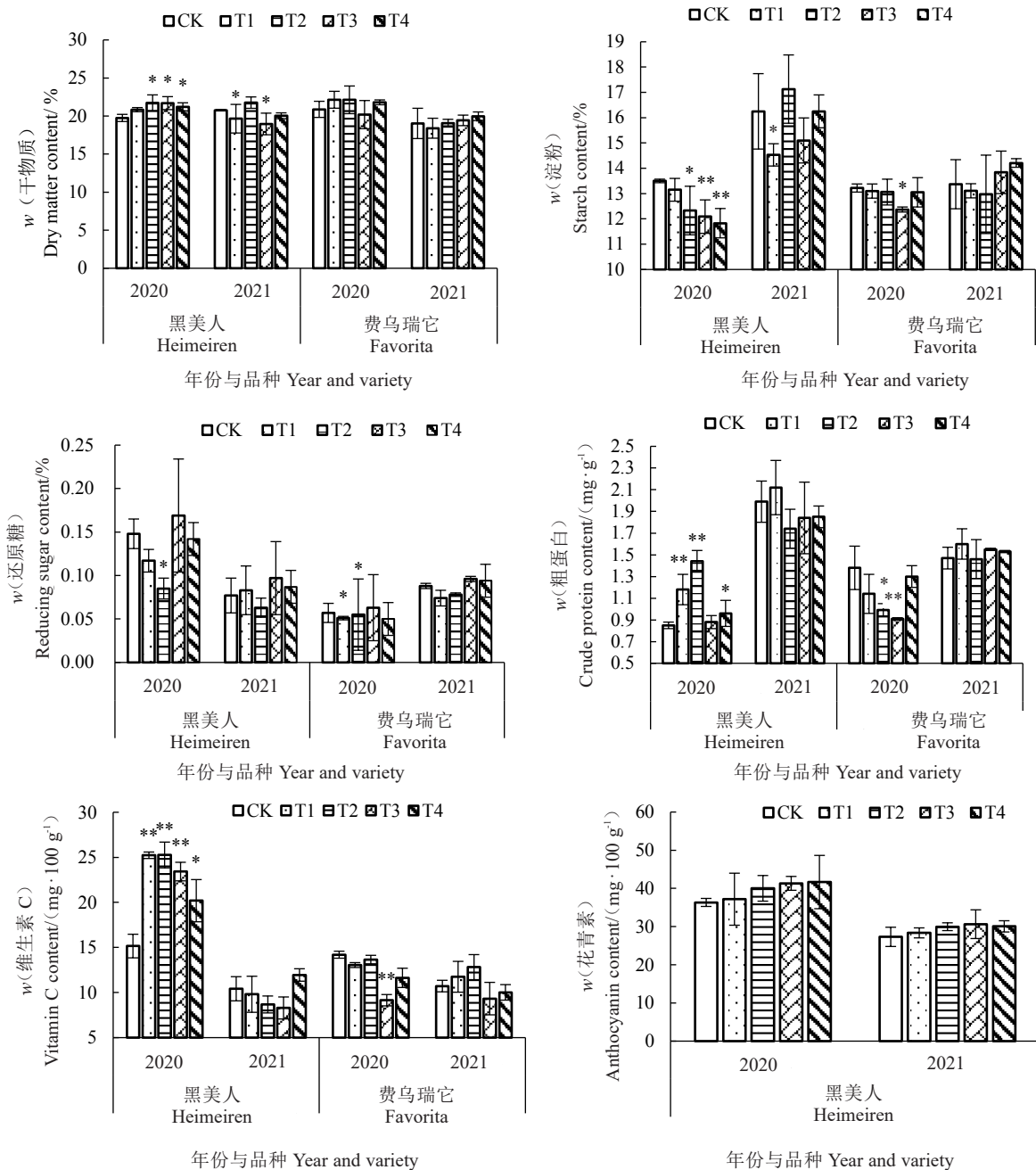


图4 不同处理对薯块品质的影响

Fig. 4 Effects of different treatments on potato tuber quality

2020年,与CK相比,黑美人在不同种植密度和激素处理下维生素C含量上升,T1、T2、T3处理维生素C变化极显著。T2处理下维生素C含量最高,费乌瑞它在T3处理下维生素C含量极显著降低,增加种植密度维生素C含量无显著变化。2021年各处理下黑美人和费乌瑞它维生素C含量无显著变化。种植密度和喷施外源激素处理对黑美人花青素含量无显著影响。综上所述,生长调节物质和种植密度对这两个品种的品质均产生了一定程度的影响。

2.4 不同处理方式的经济效益分析

根据不同处理方式的投入产出比,以大于

20 g种薯为有效种薯,计算各处理的繁种效益。如表2所示,2021年马铃薯的产值高于2020年。同时受品种对激素敏感性差异的影响,2020年,黑美人在T1处理下的产值达3 325.04元·667 m²,是CK的4.88倍,其次是T4激素处理,效益是CK的4.41倍,高于T2的密度处理;费乌瑞它种薯的产值在T2处理下最高,达3 051.61元·667 m²,是CK的3.73倍,其次是T1处理,均高于激素处理。2021年,黑美人和费乌瑞它均在T2处理下的产值最高,分别达3 892.28元·667 m²和4 268.89元·667 m²;分别是CK的1.94倍和1.47

表2 不同处理条件下种植667 m²马铃薯的产值分析

Table 2 Estimated output value of planting 667 m² of potatoes under different treatment conditions

年份 Year	处理 Treatment	用种量 Sowing quantity/kg	种薯费用/元 Seed potato costs/Yuan		有效种薯产量 Effective seed potato yield/kg		收入/元 Incomes/Yuan		其他/元 Others/Yuan	预估产值/元 Estimated output value/ Yuan	
			黑美人 Heimeiren	费乌瑞它 Favorita	黑美人 Heimeiren	费乌瑞它 Favorita	黑美人 Heimeiren	费乌瑞它 Favorita		黑美人 Heimeiren	费乌瑞它 Favorita
2020	CK	200.00	1 200.00	880.00	1 050.72	1 339.90	4 202.88	4 019.70	2 322.00	680.88	817.70
	T1	300.00	1 800.00	1 320.00	1 921.26	2 205.37	7 685.04	6 616.10	2 560.00	3 325.04	2 736.10
	T2	400.00	2 400.00	1 760.00	1 675.37	2 457.20	6 701.48	7 371.61	2 560.00	1 741.48	3 051.61
	T3	200.00	1 200.00	880.00	1 363.11	1 486.74	5 452.44	4 460.23	2 422.00	1 830.44	1 158.23
	T4	200.00	1 200.00	880.00	1 668.76	1 702.96	6 675.04	5 108.88	2 472.00	3 003.04	1 756.88
2021	CK	200.00	1 200.00	880.00	1 328.04	1 962.00	5 312.16	5 886.00	2 105.00	2 007.16	2 901.00
	T1	300.00	1 800.00	1 320.00	1 837.75	2 623.99	7 351.00	7 871.97	2 343.00	3 208.00	4 208.97
	T2	400.00	2 400.00	1 760.00	2 158.82	2 790.63	8 635.28	8 371.89	2 343.00	3 892.28	4 268.89
	T3	200.00	1 200.00	880.00	1 508.66	2 013.10	6 034.64	6 039.30	2 205.00	2 629.64	2 954.30
	T4	200.00	1 200.00	880.00	1 703.31	2 184.62	6 813.24	6 553.86	2 255.00	3 358.24	3 418.86

倍,黑美人T4处理产值居第二,费乌瑞它T1处理产值居第二。说明高密度播种或喷施生长调控剂有利于提高繁种效益,特别是在水肥条件不足的地区增产效果更为显著,对促进农民增收具有重要意义。

3 讨论与结论

3.1 不同水肥条件对马铃薯形态和产量的影响

国内外许多学者就马铃薯作物的产量和品质提高的滴灌或施肥技术进行了大量的研究,大多集中在不同种植方式^[24]、不同灌溉量及灌溉方式^[25-26]、施肥方式^[27-28]等方面。研究表明,在同一灌水周期处理下,马铃薯株高的变化趋势是灌水量越大,植株越高,产量越高^[29]。在本试验中,2021年马铃薯的株高、单位叶面积质量和产量均比2020年高,该结果与前人研究结果一致。但植株过高和叶面积过大,会降低作物产量^[30]。需合理调控马铃薯适宜

的株高、叶面积指数以及干物质累积量,以提高马铃薯产量^[31]。过量施肥马铃薯生长会表现出一定的负效应^[32]。马铃薯进入块茎膨大期后,干物质积累量急剧增加,成为影响产量的关键因素。在块茎膨大期及淀粉积累期,适宜的施肥量和较大灌水量有利于马铃薯干物质的积累^[33]。在多雨年份,中肥处理既能保证较高的水分利用效率,也能保证较高的产量;少雨年份采取低肥处理,正常年份采取中低肥处理较适宜^[34]。

3.2 外源激素处理对马铃薯结薯的影响

马铃薯块茎的形成过程是由两个相对独立的阶段——匍匐茎形成阶段和匍匐茎基顶端膨大阶段组成的,这两个阶段分别受不同的因素控制。Booth^[35]的试验证明,只有在较强的顶端优势存在的前提下才能产生匍匐茎。ABA具有促进匍匐茎膨大形成块茎的作用,两者在块茎形成过程中GA₃/ABA比例呈降低的变化趋势^[36]。本研究结果表明,

在喷施 GA₃ 后,植株长出大量匍匐茎,再喷施 ABA,马铃薯的产量提高,但未与 CK 达极显著差异水平。这说明单株结薯数量的极显著增多需要赤霉素和脱落酸按一定比例同时存在,块茎的形成并不是某种激素的增加或减少即单一激素所调控,而是多种激素综合调节互相作用的结果^[37]。下一步将改进激素处理方式,以用于网棚标准种薯生产。在本研究中,费乌瑞它在外源喷施 GA₃、ABA 处理(T3)后单株结薯数减少,在外源喷施 GA₃、ABA、BR 处理(T4)后单株结薯数增加,说明喷施一定浓度的 BR 可以促进马铃薯结薯,这与钟妍婷等^[38]、宫彦龙等^[39]、唐鑫华等^[40]的研究结果相似。黑美人在 T3 处理下单株结薯数增加,费乌瑞它结薯数反而减少,这表明生长调节剂的作用机制相当复杂,其相互作用产生的生理效应更是错综复杂,且在不同基因型的植株上表现出不同的效果。因此,本试验结果不能简单照搬,需进行必要的田间试验。

3.3 种植密度对马铃薯繁育效率的影响

马铃薯块茎生长与种植密度密切相关,弱光环境会引起植株株高增加、节间变长、分枝数减少等一系列的避阴反应^[41-42],植物叶面积降低影响植物生长发育。余文畅等^[43]研究发现,产量与密度呈线性正相关,赵沛义等^[44]研究发现,马铃薯产量与密度呈开口向下的抛物线关系。本研究结果表明,一方面,这两个品种的最高产量出现在不同密度处理条件下,黑美人 2020 年在高种植密度处理(T2)下产量反而下降,说明植株生长过密会引起光照资源和地下空间资源的争夺,而品种间对植株密度的反应存在差异;另一方面,2020 年由于自然降雨不足,遭遇了长时间干旱,因此水分亏缺也可能是影响马铃薯块茎发育的一个重要因素。集雨补灌将是应对关键期旱灾,获得稳产的必要应变措施。种植密度是通过影响有效株数、单株结薯数和单薯质量而影响产量的,增加种植密度会降低单株结薯数^[45]。

3.4 不同处理对马铃薯经济效益的影响

经济效益是科学水肥管理模式的最终目标,优化播种条件对提高农作物的产量和经济效益非常重要。不合理的施肥也会降低马铃薯的经济效益,减小产投比^[46]。在实际生产过程中,虽然提高种植密度会增加种薯的成本,但可以通过提升产量和经济效益来部分抵消部分成本。在种薯价格理想的情况下,当增加 1 倍用种量时,只需增产 300 kg,就能抵消增加的种薯费用。而在病害防控和种薯质量有保证的情况下,增加 1 倍用种量的增产效果远

超过 300 kg。因此,不论是冬作还是秋作,可适当提高种植密度,增加经济效益。另外,2020 年在水肥供应不佳的情况下,采用高密度播种或喷施生长调节剂马铃薯增产效果更为显著,因此在一些缺水的丘陵地带可通过调整种植密度和喷施生长调节剂提高产量,增加农户收益。

综上所述,适宜的生长调节物质和密度可促进马铃薯生长,提高产量和品质。T2 处理,即在不同种植密度的试验中,种植密度为 8000 株·667 m² 的马铃薯种薯在生长形态、产量、品质等指标上表现较好,综合评价最高,因此,这一密度可作为黑美人和费乌瑞它品种的适宜种植条件。

参考文献

- [1] 王强,严奉君,余丽萍,等.四川马铃薯产业关键技术创新与推广:四川农业大学马铃薯研究团队成果简介[J].科技成果管理与研究,2022(7):59-62.
- [2] 师学静,柴同海,邢明振,等.不同肥料配施对马铃薯产量和品质以及土壤理化性状的影响[J].河北农业科学,2021,25(2):72-76.
- [3] 王怀鹏.马铃薯不同激素及调节剂研究进展[J].农业与技术,2021,41(11):51-53.
- [4] 王天宇,沈建华,曹绍书.不同植物生长调节剂在马铃薯上的应用研究[J].农技服务,2007(11):53-54.
- [5] 常玉霞.植物生长调节剂的研究现状及其在马铃薯田的应用进展[J].北京农业,2011(18):17.
- [6] 陆玉萍.不同播种方式及种植密度对马铃薯种薯生产的影响[J].农民致富之友,2021(18):36.
- [7] 姜楠,韦迪哲,王瑶,等.植物生长调节剂在马铃薯上的应用及其限量标准研究进展[J].农产品质量与安全,2017(1):39-43.
- [8] 王海艳,李风云,王立春,等.植物生长调节剂在马铃薯生产中的应用[J].黑龙江农业科学,2013(11):140-143.
- [9] 全锋,张爱霞,曹先维.植物激素在马铃薯块茎形成发育过程中的作用[J].中国马铃薯,2002(1):29-32.
- [10] 彭晓莉,王蒂,张金文,等.激素诱导下不同培养方式对马铃薯微型薯的诱导效应[J].甘肃农业大学学报,2006,41(1):16-19.
- [11] 李海珀,陈富,袁安明,等.赤霉素对马铃薯扦插苗生长发育及产量的效果[J].中国马铃薯,2018,32(2):70-73.
- [12] 刘璐.马铃薯块茎形成过程中 ABA 的调控作用[D].南京:南京农业大学,2016.
- [13] 杨立军.植物生长物质及其在马铃薯生长发育研究中的应用[J].黑龙江农业科学,2005(1):49-52.
- [14] CLOUSE S D. Brassinosteroid signal transduction: From receptor kinase activation to transcriptional networks regulating plant development[J]. Plant Cell, 2011, 23(4): 1219-1230
- [15] CHOE S, FUJIOKA S, NOGUCHI T, et al. Overexpression of DWARF4 in the brassinosteroid biosynthetic pathway results in increased vegetative growth and seed yield in Arabidopsis[J]. Plant Journal, 2001, 26(6): 573-582.
- [16] WU C Y, TRIEU A, RADHAKRISHNAN P, et al. Brassin-

- steroids regulate grain filling in rice[J]. *Plant Cell*, 2008, 20(8): 2130-2145.
- [17] 赵国荣. 不同马铃薯栽培模式对马铃薯产量的影响[J]. *新农业*, 2020(19): 12.
- [18] 杨玉珠, 段海春, 番玲, 等. 不同栽培密度对马铃薯丽薯7号产量的影响[J]. *现代农业科技*, 2016(24): 65-66.
- [19] 朱海霞, 石瑛, 张庆娜, 等. 3, 5-二硝基水杨酸(DNS)比色法测定马铃薯还原糖含量的研究[J]. *中国马铃薯*, 2005, 19(5): 266-269.
- [20] MURNIECE I, KARKLINA D, GALO BURDA R, et al. Nutritional composition of freshly harvested and stored Latvian potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties depending on traditional cooking methods[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2011, 24(4/5): 699-710.
- [21] 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.
- [22] 杨萍, 李哲. pH示差法测定黑枸杞花青素技术的研究[J]. *中国食品添加剂*, 2017(10): 107-111.
- [23] 李玲. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [24] 秦军红, 陈有君, 周长艳, 等. 膜下滴灌灌溉频率对马铃薯生长、产量及水分利用率的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(7): 824-830.
- [25] 黄仲冬, 齐学斌, 樊向阳, 等. 根区交替地下滴灌对马铃薯产量及水分利用效率的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(1): 79-83.
- [26] AHMADI S H, ANDERSEN M N, PLAUBORG F, et al. Effects of irrigation strategies and soils on field-grown potatoes: Gas exchange and xylem [ABA][J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(10): 1486-1494.
- [27] 张绪成, 于显枫, 王红丽, 等. 半干旱区减氮增钾、有机肥替代对全膜覆盖垄沟种植马铃薯水肥利用和生物量积累的调控[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(5): 852-864.
- [28] 于显枫, 张绪成, 王红丽, 等. 施肥对旱地全膜覆盖垄沟种植马铃薯耗水特征及产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(3): 883-890.
- [29] 江俊燕, 汪有科. 不同灌水量和灌水周期对滴灌马铃薯生长及产量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(2): 121-125.
- [30] 李勇, 吕典秋, 胡林双, 等. 不同氮磷钾配比对马铃薯原原种的产量、干物质含量和经济系数的影响[J]. *中国马铃薯*, 2013, 27(5): 288-292.
- [31] 高月. 榆林沙土区不同水肥供应对马铃薯生长和水肥利用的影响[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [32] 陈娟, 王平, 谢成俊, 等. 陇中旱作区氮磷钾肥施用量对马铃薯生长与产量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2023(9): 128-135.
- [33] 杜常亮. 水肥耦合对延安地区大棚马铃薯产量和品质的影响[D]. 延安: 延安大学, 2019.
- [34] 王立为, 潘志华, 高西宁, 等. 不同施肥水平对旱地马铃薯水分利用效率的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(2): 54-58.
- [35] BOOTH A. The role of growth substances in the development of stolons[J]. *The Growth of the Potato*, 1963: 99-113.
- [36] 刘梦芸, 蒙美莲, 门福义, 等. GA₃、IAA、CTK和ABA对马铃薯块茎形成调控作用的研究[J]. *内蒙古农牧学院学报*, 1997, 18(2): 16-20.
- [37] 杨铁华, 张玉, 李虹, 等. 不同外源物质调控对紫花槭生长的影响[J]. *国土与自然资源研究*, 2014(2): 85-88.
- [38] 钟妍婷, 原向阳, 刘哲, 等. 油菜素内酯处理对谷子农艺性状和生理特性的影响[J]. *作物杂志*, 2015(2): 124-128.
- [39] 宫彦龙, 徐海, 夏原野, 等. 幼穗分化期喷施油菜素内酯(epi-BR)对水稻穗部性状的影响[J]. *作物杂志*, 2016(2): 133-138.
- [40] 唐鑫华, 曲自成, 张浩, 等. 块茎形成期外施油菜素内酯对马铃薯生理和产量的影响[J]. 2018, 32(9): 1855-1863.
- [41] 杜彦修, 季新, 张静, 等. 弱光对水稻生长发育影响研究进展[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2013, 21(11): 1307-1317.
- [42] 雷昌云, 张艳霞, 羿国香, 等. 江汉平原马铃薯秋播密度对农艺性状及产量的影响[J]. 2013, 22(12): 1653-1656.
- [43] 余文畅, 陈振华, 刘克荣, 等. 秋马铃薯不同栽培密度对产量和效益的影响[J]. *湖北农业科学*, 2009, 48(9): 2082-2083.
- [44] 赵沛义, 妥德宝, 段玉, 等. 内蒙古后山旱农区马铃薯适宜播种密度和播期研究[J]. *华北农学报*, 2005, 20(增刊1): 10-14.
- [45] 王良俊, 郑顺林, 钟蕾, 等. 不同密度对四川盆地春、秋季马铃薯生长、产量和经济效益的影响[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(6): 1572-1578.
- [46] 李书田, 段玉, 陈占全, 等. 西北地区马铃薯施肥效应和经济效益分析[J]. *中国土壤与肥料*, 2014(4): 42-47.