

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2022)02-0120-09

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2022.02.003

不同叶面处理对雾培马铃薯生长和产量的影响

廖霏霏, 杜勇利, 熊 湖, 张德银*

(宜宾市农业科学院, 四川 宜宾 644000)

摘 要: 雾培法作为一种生产脱毒马铃薯原原种的新型技术, 较传统基质栽培法具有可控性、生产自动化、成本低、效率高等优点。为筛选有效提高雾培马铃薯产量的叶面处理方式, 研究以清水为对照(CK), 用赤霉素(GA)、尿素(UREA)、硝酸钙(CN)及3种混施(GA + UREA、GA + CN、UREA + CN)处理‘中薯5号’, 对比分析并综合评价不同处理对马铃薯植株生长情况及产量的影响。在春、秋两季, GA(10 mg/L)、GA + UREA(10 mg/L + 3 g/L)和GA + CN(10 mg/L + 3 g/L)处理显著增加了‘中薯5号’的株高、匍匐茎长、叶面积指数、单株产量和单株结薯数, 显著降低叶绿素含量指数, ‘中薯5号’的单株产量提高27.43%~50.92%, 单株结薯数提高21.60%~48.96%, 而单施UREA(3 g/L)和CN(3 g/L)对产量影响不明显。在春季, UREA + CN(3 g/L + 3 g/L)也能显著提高‘中薯5号’的单株产量和单株结薯数, 分别提高27.65%和23.66%。该试验表明, 含GA的喷施处理均能促进雾培马铃薯植株营养生长, 从而提高雾培马铃薯单株结薯数; 在春季, UREA和CN共同作用也能显著提高雾培马铃薯产量。

关键词: 雾培; 马铃薯; 赤霉素; 尿素; 硝酸钙

Effects of Different Foliar Treatments on Growth and Yield of Aeroponically Grown Potatoes

LIAO Feifei, DU Yongli, XIONG Hu, ZHANG Deyin*

(Yibin Academy of Agricultural Sciences, Yibin, Sichuan 644000, China)

Abstract: Aeroponics, as a new technology for producing pre-elite seeds of potato, has the advantages of controllability, production automation, low cost and high efficiency compared with traditional substrate cultivation. In order to screen the foliar treatment method of improving the yield of potato effectively in aeroponics, gibberellin (GA), urea (UREA), calcium nitrate (CN) and three mix treatments (GA + UREA, GA + CN, UREA + CN) were tested for 'Zhongshu 5', with tap water as control, and the effects of each treatment on growth and yield were studied and evaluated in this study. In both spring and autumn, GA (10 mg/L), GA + UREA (10 mg/L + 3 g/L) and GA + CN (10 mg/L + 3 g/L) significantly increased the plant height, stolon length, leaf area index, tuber yield and number per plant of 'Zhongshu 5', and but significantly decreased the chlorophyll content index. The tuber yield and number per plant of 'Zhongshu 5' were increased by 27.43%-50.92% and 21.60%-48.96%, respectively, whereas the effects of UREA and CN on yield were not significant. In spring, UREA + CN (3 g/L + 3 g/L) also significantly increased the tuber yield and

收稿日期: 2022-03-21

基金项目: “十四五”四川省薯类育种攻关项目(2021YFYZ0019)。

作者简介: 廖霏霏(1990-), 女, 硕士, 助理研究员, 从事马铃薯遗传育种研究。

*通信作者(Corresponding author): 张德银, 硕士, 高级农艺师, 主要从事农技推广, E-mail: pszdy@126.com。

number per plant of 'Zhongshu 5' by 27.65% and 23.66%, respectively. The experiment indicates that the foliar treatments containing GA could promote the vegetative growth of potato plants in aeroponics and increase tuber number per plant of potato consequently, and also the combination of UREA and CN could significantly increase the yield of aeroponically grown potatoes in spring.

Key Words: aeroponics; potato; gibberellin; urea; calcium nitrate

中国马铃薯生产面积和产量居世界之首^[1], 然而中国的马铃薯单产水平却低于世界平均水平^[2]。造成单产低的主要原因是脱毒种薯应用率较低, 仅占全国马铃薯种植面积的30%^[3]。提高脱毒原原种的生产效率是解决马铃薯产量低的关键^[4]。雾培法作为一种生产脱毒马铃薯原原种的新型技术^[5], 较传统基质栽培方法具有可控性、生产自动化、成本低、效率高等优点^[6,7]。为优化该技术, 在营养液配方、生产管理方式、抗逆性、雾培设施等方面进行了大量研究^[8-10]。同时, 在叶面喷施外源激素和叶面肥方面也有不少报道。陈亚兰^[11]和吴巧玉等^[12]研究表明, 赤霉素能促进植株生长, 对马铃薯原原种的单株结薯数有重要促进作用。邓兰生等^[13]研究表明, 在滴灌施肥中尿素能更好的促进植株营养生长。韦冬萍等^[14]利用不同叶面肥对马铃薯品种‘合作88’进行叶面喷施, 结果表明0.5%尿素或0.3%磷酸二氢钾能明显提高叶片含氮量、干物质积累和产量。刘喜平等^[15]研究表明, 通过叶面喷施0.6 g/m²硝酸钙可使大田马铃薯产量明显提高。李文霞等^[16]研究表明, 适量钙素可提高马铃薯植株叶绿素含量和净光合速率, 延缓植株衰老和提高商品薯数量。大量研究表明, 适宜浓度的外源激素或叶面肥处理植株可有效提高马铃薯产量^[17-20]。然而, 关于外源激素赤霉素与硝酸钙和尿素的组合喷施对雾培马铃薯生长和产量的影响研究较少。因此, 本研究以‘中薯5号’为试验材料, 在雾培生产时采用一定浓度的赤霉素、尿素和硝酸钙进行叶面喷施, 筛选能有效提高雾培马铃薯单株结薯数的最佳叶面喷施方式。

1 材料与方法

1.1 试验时间地点

2018年9月~2019年5月在宜宾市农业科学

院进行, 分别为春季(1~5月)和秋季(9月~翌年1月)两季试验。

1.2 试验材料

‘中薯5号’脱毒试管苗, 由国家马铃薯种质试管苗库(克山)提供。

1.3 试验设计

采用单因素随机区组设计, 叶面喷施7个处理: 清水(CK)、赤霉素(GA: 10 mg/L)、尿素(UREA: 3 g/L)、硝酸钙(CN: 3 g/L)、赤霉素(GA) + 尿素(UREA)(10 mg/L + 3 g/L)、赤霉素(GA) + 硝酸钙(CN)(10 mg/L + 3 g/L)、尿素(UREA) + 硝酸钙(CN)(3 g/L + 3 g/L)。每个处理组合重复3次, 小区面积1.2 m²(76株), 间距为10 cm × 15 cm。

1.4 试验方法

脱毒苗雾培定植14 d时进行叶面喷施, 每隔7 d喷施1次, 共喷施4次, 傍晚喷施尿素, 其他处理均在早上喷施, 喷施时用挡板遮挡, 防止处理间交叉影响, 以叶面均沾满喷施液为准。定植48 d取样进行相关农艺性状测定, 包括株高(直尺测量)、根长(直尺测量)、茎粗(游标卡尺测定)、匍匐茎长(直尺测量)、匍匐茎数、叶面积指数(打孔法测定并折算)、叶绿素含量指数(CCM-200叶绿素测定仪测定)、干物质(采用烘干称重法计算)、单株产量和单株结薯数。每个重复随机选取5株测量, 其平均值作为小区测量值。

薯块重量大于3 g时进行采摘, 最后一次采摘重量大于0.5 g的微型薯。

1.5 试验仪器及化学试剂

1.5.1 仪器

电导率仪(成都世纪方舟科技有限公司), 精度为0.1; pH复合电极(上海仪电科学仪器股份有限公司), 精度为0.01; 电热鼓风干燥箱(上海博讯实

业有限公司医疗设备厂), 精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$; CCM-200 叶绿素测定仪(澳作生态仪器有限公司), 精度为 ± 1 CCI unit。

1.5.2 化学试剂

赤霉素(GA)(上海宇涵生物科技有限公司), 生化试剂; 尿素(UREA)和硝酸钙(CN)(成都市科隆化学品有限公司), 分析纯。

1.6 数据分析

采用软件DPS 9.01对试验数据进行方差分析和处理平均值多重比较(LSD法), 以及皮尔逊(Pearson)相关性分析, 使用Microsoft Excel 2003进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 不同叶面处理对株高的影响

‘中薯5号’在定植48 d时, GA + CN处理下株高最高, 春季(90.07 cm)高于秋季(75.04 cm), 较CK分别增加249.31%、42.83%。在GA和GA + UREA处理下, 秋季的株高分别为70.56和72.35 cm, 春季的株高分别为89.02和88.93 cm, 以上3个处理均显著高于CK, 但3个处理间差异不显著。UREA、CN和UREA + CN处理下, 2个季节的株高与CK差异不显著, 但UREA + CN处理后株高均稍低于CK。在秋季, ‘中薯5号’的株高在各处理下的大小依次为

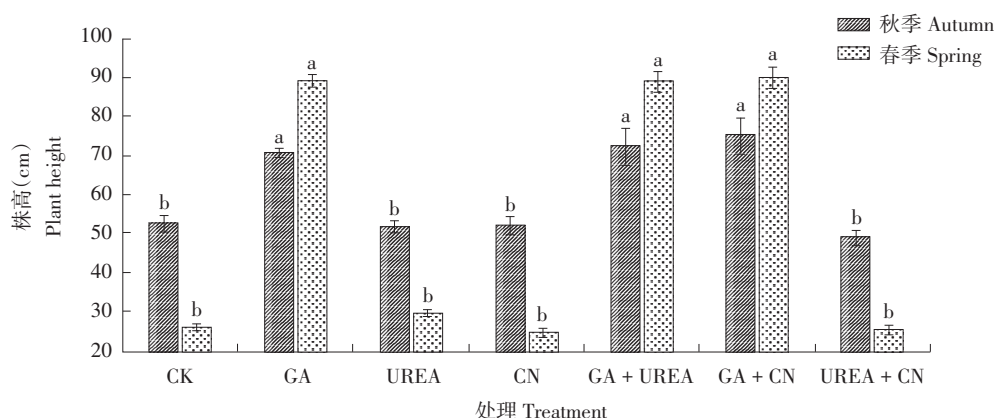
GA + CN > GA + UREA > GA > CK > CN > UREA > UREA + CN; 在春季, ‘中薯5号’的株高在各处理下的大小依次为 GA + CN > GA > GA + UREA > UREA > CK > UREA + CN > CN(图1)。

2.2 不同叶面处理对根长的影响

春秋两季, 部分处理对植株的根长影响不同。在秋季, ‘中薯5号’定植48 d时GA + CN处理下根长为85.76 cm, 显著高于CK(73.33 cm); GA、UREA、CN和GA + UREA处理下, 根长稍长于CK, 但差异不显著。在春季, GA + UREA处理下根长最长(74.88 cm), 但与CK(64.81 cm)相比差异不显著; 在UREA、CN和UREA + CN处理下, 根长稍短于CK, 但差异不显著(图2)。

2.3 不同叶面处理对茎粗的影响

春秋两季‘中薯5号’在定植48 d时, 不同处理对植株的茎粗影响不同。在秋季, GA、GA + UREA和GA + CN处理下, 茎粗均显著粗于CK, 增幅分别为24.09%、23.64%、25.91%, 三者间差异不显著, UREA、CN、UREA + CN与CK相比差异不显著; 茎粗从大到小分别是GA + CN > GA > GA + UREA > UREA > CN > CK > UREA + CN, 大小分别为6.93, 6.83, 6.80, 5.95, 5.78, 5.50和5.43 mm。在春季, 所有处理对植株茎粗的影响不显著(图3)。



注: 误差线是标准误差, 同一季节不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$), 采用LSD方法。下同。

Note: Error bar is standard error. Different lowercase letters in the same season indicate significant difference at 0.05 level among treatments as tested using LSD method. The same below.

图1 不同处理植株定植48 d的株高

Figure 1 Plant height after 48 days of transplanting under different treatments

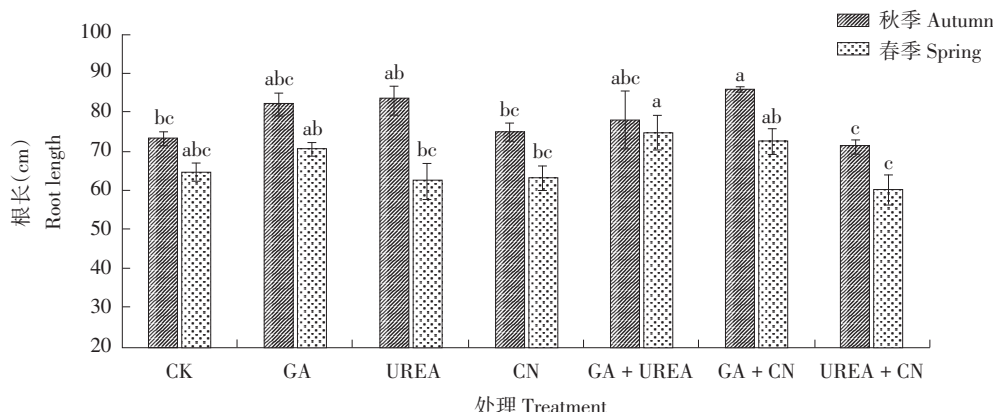


图2 不同处理植株定植48 d的根长

Figure 2 Root length after 48 days of transplanting under different treatments

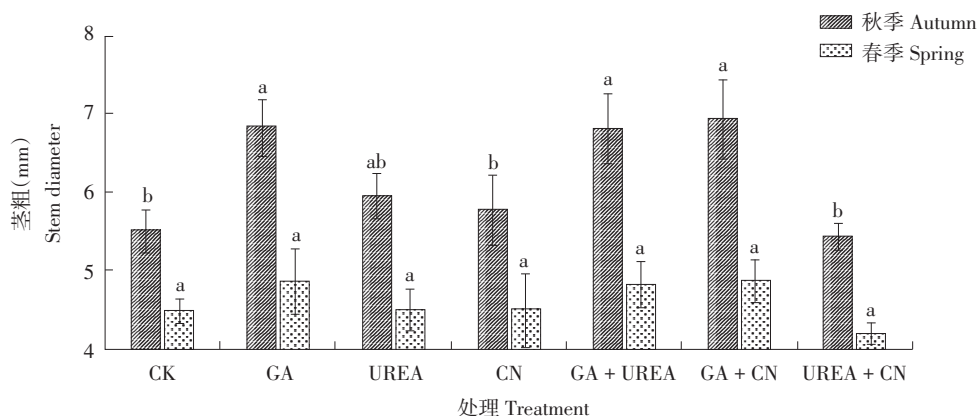


图3 不同处理植株定植48 d的茎粗

Figure 3 Stem diameter after 48 days of transplanting under different treatments

2.4 不同叶面处理对匍匐茎长的影响

在春秋两季, GA、GA + UREA 和 GA + CN 处理下, ‘中薯5号’在定植48 d时匍匐茎长均显著大于CK, 但3个处理间差异不显著。在秋季, GA + CN 处理下‘中薯5号’匍匐茎长最长(24.18 cm), 为CK的4.52倍; 在春季, GA + UREA 处理下匍匐茎最长(65.65 cm), 为CK的2.60倍。UREA、CN、UREA + CN与CK相比, 两个季节差异均不显著(图4)。

2.5 不同叶面处理对匍匐茎数的影响

在春秋两季, 不同处理对植株匍匐茎数量的影响不同。在秋季, GA、GA + UREA 和 GA + CN 处理下, 匍匐茎数均多于CK, 分别为6.50, 6.00

和5.75条, 但差异不显著; 在春季, 仅UREA处理的匍匐茎数量较CK增加0.7条, 但差异不显著。同一处理下, 春季匍匐茎数量均高于秋季(图5)。

2.6 不同叶面处理对叶面积指数的影响

在秋季, GA、UREA、GA + UREA 和 GA + CN 处理下, ‘中薯5号’在定植48 d时叶面积指数(Leaf area index, LAI)均极显著高于CK, 分别为7.78、5.69、7.80、9.46, 是CK的2.41、1.76、2.41、2.93倍; 在UREA + CN处理下LAI值显著高于CK; UREA、CN和UREA + CN处理间差异显著。在春季GA、GA + UREA 和 GA + CN 处理下, ‘中薯5号’在定植48 d时LAI值均极显著高于CK, 分别

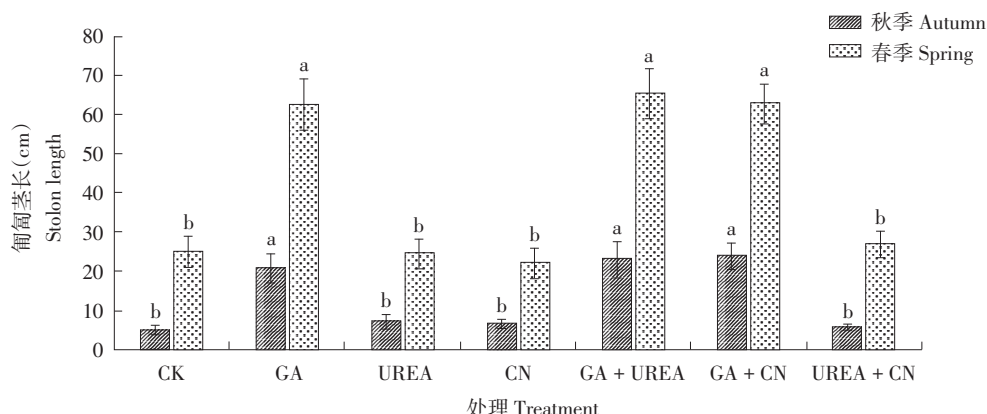


图4 不同处理植株定植48 d的匍匐茎长

Figure 4 Stolon length after 48 days of transplanting under different treatments

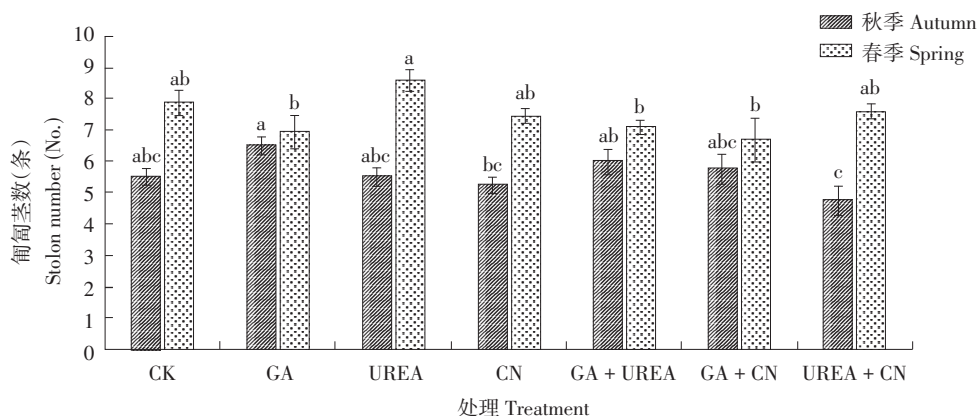


图5 不同处理植株定植48 d的匍匐茎数

Figure 5 Stolon number after 48 days of transplanting under different treatments

为11.45、11.87和11.36, 是CK的2.30、2.38和2.28倍(表1)。

2.7 不同叶面处理对叶绿素含量指数的影响

植株定植48 d时, 秋季‘中薯5号’的叶绿素含量指数(Chlorophyll content index, CCI)在GA、GA + UREA和GA + CN处理下均极显著低于其他处理; 春季‘中薯5号’的CCI值在GA处理下显著低于CK, 在GA + UREA和GA + CN处理下极显著低于CK(表2)。

2.8 不同叶面处理对干物质含量的影响

不同处理对秋季和春季植株干物质含量影响不同。在秋季, 定植48 d时GA处理下‘中薯5号’

干物质含量极显著高于其他处理, 占全植株的17.33%, 是CK的1.91倍, 而其他处理间差异不显著。在春季, GA + UREA处理显著降低干物质含量, 其他处理与CK相比差异不显著(表3)。

2.9 不同叶面处理对单株产量和结薯数的影响

GA对单株产量和结薯数的影响显著。在秋季, 单株结薯数从高到低依次是GA>GA + CN>GA + UREA>CK>UREA + CN>CN>UREA, 分别为12.20, 11.42, 10.68, 8.19, 7.80, 7.36和6.68粒; GA、GA + UREA和GA + CN处理下, 单株产量和单株结薯数与CK间差异极显著, 较CK分别增加41.89%、33.96%、50.92%和48.96%、30.40%、

表1 不同处理对叶面积指数的影响
Table 1 Effects of different treatment on leaf area index

处理 Treatment	叶面积指数 Leaf area index	
	秋季 Autumn	春季 Spring
CK	3.23 eD	4.98 bB
GA	7.78 bB	11.45 aA
UREA	5.69 cC	5.36 bB
CN	3.30 eD	5.89 bB
GA + UREA	7.80 bB	11.87 aA
GA + CN	9.46 aA	11.36 aA
UREA + CN	4.46 dCD	4.30 bB

注：同列不同小写字母表示处理间差异达显著水平($P < 0.05$)，不同大写字母表示差异达极显著水平($P < 0.01$)。采用LSD方法。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level, and different uppercase letters indicate highly significant difference at 0.01 level among treatments as tested using LSD method. The same below.

表2 不同处理对叶绿素含量指数的影响
Table 2 Effects of different treatment on chlorophyll content index

处理 Treatment	叶绿素含量指数 Chlorophyll content index	
	秋季 Autumn	春季 Spring
CK	19.80 aA	17.50 aA
GA	9.30 bB	12.24 bcAB
UREA	19.78 aA	15.36 abAB
CN	19.20 aA	15.18 abAB
GA + UREA	10.03 bB	11.02 cB
GA + CN	9.30 bB	11.64 bcB
UREA + CN	20.80 aA	16.39 aAB

表3 不同处理对干物质含量的影响
Table 3 Effects of different treatment on dry matter content

处理 Treatment	干物质含量(%) Dry matter content	
	秋季 Autumn	春季 Spring
CK	9.06 bB	13.08 abAB
GA	17.33 aA	12.36 bcAB
UREA	9.27 bB	13.59 aA
CN	9.14 bB	13.32 abA
GA + UREA	7.65 bB	11.74 cB
GA + CN	7.36 bB	12.33 bcAB
UREA + CN	9.02 bB	13.51 aA

39.44%; UREA处理下单株结薯数与CK相比差异显著。在春季, 单株结薯数从高到低依次是GA + CN>GA + UREA>UREA + CN>GA>CN>UREA>CK, 分别为13.98, 13.55, 12.65, 12.44, 10.63, 10.33和10.23粒; GA、GA + UREA、GA + CN和UREA + CN处理下能显著提高单株产量和单株结薯数, 分别较CK增加27.43%、31.69%、43.38%、27.65%和21.60%、32.45%、36.66%、23.66%; GA + CN处理后单株产量和单株结薯数与CK相比

差异极显著(表4)。

2.10 单株产量、单株结薯数与农艺性状的相关性分析

定植48 d时的各农艺性状与单株产量和单株结薯数相关性存在差异。匍匐茎长和叶面积指数与单株产量、单株结薯数呈极显著正相关; 叶绿素含量指数与单株产量、单株结薯数呈极显著负相关; 株高与单株产量呈极显著正相关; 匍匐茎数与单株结薯数呈显著正相关(表5)。

表4 不同处理对单株产量和结薯数的影响

Table 4 Effects of different treatment on tuber yield and number per plant

处理 Treatment	单株产量(g) Tuber yield per plant		单株结薯数(No.) Tuber number per plant	
	秋季 Autumn	春季 Spring	秋季 Autumn	春季 Spring
CK	33.80 bB	36.35 cB	8.19 cB	10.23 bB
GA	47.96 aA	46.32 abAB	12.20 aA	12.44 aAB
UREA	31.72 bB	36.44 cB	6.68 dB	10.33 bB
CN	34.23 bB	37.61 bcB	7.36 cdB	10.63 bB
GA + UREA	45.28 aA	47.87 aAB	10.68 bA	13.55 aA
GA + CN	51.01 aA	52.12 aA	11.42 abA	13.98 aA
UREA + CN	36.88 bB	46.40 abAB	7.80 cdB	12.65 aAB

表5 单株产量和单株结薯数与农艺性状(48 d)的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of tuber yield, tuber number per plant and agronomic traits (48 d)

项目 Item	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	根长 Root length	匍匐茎长 Stolon length	匍匐茎数 Stolon number	叶绿素含量指数 Chlorophyll content index	叶面积指数 Leaf area index
单株产量 Tuber yield per plant	0.65**	0.16	0.22	0.70**	0.17	-0.87**	0.79**
单株结薯数 Tuber number per plant	0.44	-0.24	-0.16	0.85**	0.55*	-0.79**	0.75**

注: *代表显著($P < 0.05$), **代表极显著($P < 0.01$)。

Note: * indicates significance at $P < 0.05$, and ** indicates highly significance at $P < 0.01$.

3 讨论

马铃薯块茎的形成不仅与基因有关, 还受外界因素如光照、温度和内部因素如激素的影响^[21-23]。喷施外源激素能有效促进植株生长和块

茎的形成^[24,25]。秦忠群^[19]研究发现10 mg/kg GA处理能增加马铃薯品种‘大西洋’的单株结薯数。本试验中, 通过春、秋两季对‘中薯5号’雾培植株进行7个叶面处理, 发现GA、GA + UREA和GA + CN的处理明显增加‘中薯5号’的株高、匍匐茎

长、叶面积指数、单株产量和单株结薯数, 显著降低马铃薯植株倒4叶的CCI值, 与秦忠群^[19]和Wang等^[26]的研究结果一致。GA、GA + UREA和GA + CN处理单株产量和单株结薯数显著高于CK, 其值分别提高了27.43%~50.92%、21.60%~48.96%。可见, GA可促进植株早期营养生长, 为块茎生成创造了条件, 从而增加雾培马铃薯产量。

氮素是马铃薯生长发育中必须的大量元素之一, 对马铃薯生长发育有重要作用^[27,28]。王克秀等^[29]研究表明, 对雾培马铃薯植株进行适当的氮素处理可提高原种产量。钙素是植物生长所需的矿质元素, 在雾培生产马铃薯过程中, 喷施一定浓度的钙素可提高幼苗的抗寒能力^[30]。刘喜平等^[15]研究表明, 通过叶面喷施0.6 g/m²硝酸钙可使大田马铃薯产量显著提高。在春季雾培中, UREA + CN能显著增加‘中薯5号’的单株产量和单株结薯数, 且与GA、GA + UREA和GA + CN处理差异不显著, 而单施UREA或CN却对产量影响不显著, 说明UREA和CN在春季生产气候下具有协同作用。春季定植时, 植株在幼苗期, CN处理可能提高了植株抗寒能力, 随着温度回升, UREA处理可能促进植株营养生长, 为后期薯块的形成提供营养基础, 从而提高产量。

地上部分的营养积累是提高产量的重要保障, 本试验中马铃薯植株株高和叶面积指数与单株产量呈正相关, 与前人研究一致^[31,32]。匍匐茎长与单株产量和单株结薯数呈极显著正相关, 匍匐茎数与单株结薯数呈显著正相关, 表明匍匐茎长和匍匐茎数是提高雾培产量的重要影响因素^[33]。

本试验结果表明, 在秋季和春季雾培中GA、GA + UREA和GA + CN处理能促进‘中薯5号’营养生长, 从而提高单株结薯数和单株产量。3个处理下‘中薯5号’单株产量与CK相比提高27.43%~50.92%, 单株结薯数与CK相比提高21.60%~48.96%。而单施3 g/L UREA和3 g/L CN对单株结薯数和产量影响不显著。同时在春季, 3 g/L UREA与3 g/L CN共同作用也可有效提高雾培产量。生产上可以根据不同种植季节和不同马

铃薯品种合理选择叶面处理方式, 以期有效地提高马铃薯原种产量。

[参 考 文 献]

- [1] Scott G J, Suarez V. Limits to growth or growth to the limits? Trends and projections for potatoes in China and their implications for industry [J]. *Potato Research*, 2012, 55(2): 135–156.
- [2] 李文娟, 秦军红, 古建苗, 等. 从世界马铃薯产业发展谈中国马铃薯的主粮化 [J]. *中国食物与营养*, 2015, 21(7): 5–9.
- [3] 卢肖平. 马铃薯主粮化战略的意义、瓶颈与政策建议 [J]. *华中农业大学学报: 社会科学版*, 2015(3): 1–7.
- [4] 屈冬玉, 谢开云, 金黎平, 等. 大力推进三代种薯繁育体系建设, 提高中国马铃薯种薯质量和生产水平 [C]//陈伊里, 屈冬玉. 马铃薯产业与现代农业. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2007.
- [5] Buckseth T, Sharma A K, Pandey K K, *et al.* Methods of pre-basic seed potato production with special reference to aeroponics—a review [J]. *Scientia Horticulturae*, 2016, 204: 79–87.
- [6] Farran I, Mingo-castel A M. Potato minituber production using aeroponics: effects of density and harvest intervals [J]. *American Journal of Potato Research*, 2006, 83(1): 47–53.
- [7] Dong C C, Park C S, Kim S Y, *et al.* Growth and tuberization of hydroponically grown potatoes [J]. *Potato Research*, 2012, 55(1): 69–81.
- [8] 丁凡. 不同营养条件对雾培马铃薯生长发育的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- [9] 高龙梅, 杨小丽, 胡振兴, 等. 脱毒马铃薯雾化栽培研究进展 [J]. *现代农业科技*, 2015(22): 113–114.
- [10] 邱孟柯, 回振龙, 黄晓鹏, 等. 黄腐酸对雾培马铃薯幼苗抗旱性的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2013, 31(3): 155–161.
- [11] 陈亚兰. 影响马铃薯原种生产的几个因素分析 [J]. *甘肃农业科技*, 2012(10): 20–22.
- [12] 吴巧玉, 何天久, 夏锦慧. 赤霉素对马铃薯生长及开花的影响 [J]. *广东农业科学*, 2014, 41(3): 20–22.
- [13] 邓兰生, 林翠兰, 龚林, 等. 滴灌施用不同氮肥对马铃薯生长的影响 [J]. *土壤通报*, 2011, 42(1): 141–144.
- [14] 韦冬萍, 韦剑锋, 吴炫柯, 等. 叶面追肥对马铃薯干物质积累、营养状况及土壤养分的影响 [J]. *河南农业科学*, 2013, 42(8):

- 57-61.
- [15] 刘喜平, 陈彦云, 徐占明. 叶面喷施硝酸钾和硝酸钙对马铃薯产量的影响 [J]. 农业科学研究, 2011, 32(4): 42-44.
- [16] 李文霞, 张昕, 石瑛, 等. 外源钙对马铃薯形态、生理、产量与品质性状的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2015, 46(7): 1-8.
- [17] 赵贵宾, 陈祖敬. 几种叶面肥喷施马铃薯效果的对比试验 [J]. 中国马铃薯, 2001, 15(2): 106-108.
- [18] 何庆学, 王季春, 唐道彬, 等. 提高雾化栽培马铃薯微型薯结薯能力的初步研究 [J]. 中国马铃薯, 2003, 17(2): 70-73.
- [19] 秦忠群. 外源激素对雾化栽培马铃薯结薯的影响研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2006.
- [20] 丁凡, 唐道彬, 吕长文, 等. 不同营养方式对雾培法生产脱毒种薯的影响 [J]. 中国马铃薯, 2008, 22(4): 193-196.
- [21] Demagante A L, Vander Zaag P. The response of potato (*Solanum* spp.) to photoperiod and light intensity under high temperatures [J]. Potato Research, 1988, 31(1): 73-83.
- [22] Vreugdenhil D, Sergeeva L I. Gibberellins and tuberization in potato [J]. Potato Research, 1999, 42(3): 471-481.
- [23] Oraby H, Lachance A, Desjardins Y. A low nutrient solution temperature and the application of stress treatments increase potato mini-tubers production in an aeroponic system [J]. American Journal of Potato Research, 2015, 92(3): 387-397.
- [24] 潘瑞炽. 植物生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [25] 王丽萍, 李志刚, 谭乐和, 等. 植物内源激素研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39(4): 1912-1914.
- [26] Wang C C, Wang X Y, Wang K X, *et al.* Manipulating aeroponically grown potatoes with gibberellins and calcium nitrate [J]. American Journal of Potato Research, 2018, 95(4): 351-361.
- [27] 张卫峰, 马林, 黄高强, 等. 中国氮肥发展、贡献和挑战 [J]. 中国农业科学, 2013, 46(15): 3161-3171.
- [28] 韦冬萍, 韦剑锋, 熊建文, 等. 马铃薯氮素营养研究进展 [J]. 广东农业科学, 2011, 38(22): 56-60.
- [29] 王克秀, 汪翠存, 唐铭霞, 等. 氮素水平对雾培马铃薯氮磷钾吸收, 积累和分配规律的影响 [J]. 西南农业学报, 2020, 33(12): 2852-2861.
- [30] 于海业, 乔建磊, 肖英奎, 等. 钙素对雾培马铃薯幼苗抗冷性的影响分析 [J]. 农业机械学报, 2010, 41(12): 72-75.
- [31] 杨进荣, 王成社, 李景琦, 等. 马铃薯干物质积累及分配规律研究 [J]. 西北农业学报, 2004(3): 118-120, 134.
- [32] 莫庆忠, 罗凯, 岳永贵, 等. 马铃薯产量与主要农艺性状的相关性及灰色关联度分析 [J]. 耕作与栽培, 2017(1): 17-18.
- [33] 张光海, 张贵合, 郭华春. 雾培马铃薯块茎建成相关性状的观察 [J]. 中国农学通报, 2016, 32(9): 100-105.