作物学报 ACTA AGRONOMICA SINICA 2012, 38(9): 1728–1733 http://www.chinacrops.org/zwxb/
ISSN 0496-3490; CODEN TSHPA9 E-mail: xbzw@chinajournal.net.cn

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2012.01728

研究简报

不同氮水平下多效唑对食用型甘薯光合和淀粉积累的影响

陈晓光[1,2] 李洪民[1] 张爱君[1] 史新敏[1] 唐忠厚[1] 魏 猛[1] 史春余[2,*]

[1] 中国农业科学院甘薯研究所 / 甘薯生物学与遗传育种重点实验室, 江苏徐州 221121; [2] 山东农业大学 / 作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018

摘 要: 在大田条件下, 以北京553为试验材料, 设置施低氮(N 120 kg hm^{-2})和施高氮(N 240 kg hm^{-2}) 2个处理, 每个处理下设置3个多效唑喷施浓度, 研究不同施氮水平下喷施多效唑对食用甘薯光合特性和块根淀粉积累的影响。结果表明, 增施氮肥能够提高叶片叶绿素含量和光合速率, 但减少干物质在块根中的分配率, 降低块根淀粉积累速率, 显著降低了单薯重、淀粉产量和鲜薯产量, 降幅分别为8.0%、30.7%和20.5%; 喷施多效唑可以提高叶片叶绿素含量和光合速率, 促进碳水化合物向块根的运转, 提高干物质在块根中的分配, 提高淀粉积累速率, 显著增加单薯重、淀粉产量和鲜薯产量, 平均增幅分别为18.6%、32.5%和46.1%。说明在高氮条件下喷施多效唑对甘薯块根淀粉积累和产量的提高具有明显的调节作用。

关键词: 食用型甘薯; 多效唑; 氮肥; 淀粉积累; 光合特性

Effect of Paclobutrazol under Different N-Application Rates on Photosynthesis and Starch Accumulation in Edible Sweetpotato

CHEN Xiao-Guang[1,2], LI Hong-Min[1], ZHANG Ai-Jun[1], SHI Xin-Min[1], TANG Zhong-Hou[1], WEI Meng[1], and SHI Chun-Yu[2,*]

[1] Key Laboratory of sweetpotato biology and genetic breeding, Sweetpotato Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xuzhou 221121, China; [2] National Key Laboratory of Biology, Agronomy College, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

Abstract: A field experiment was conducted to study the effects on leaf photosynthesis, root tuber starch accumulation and yield in edible sweetpotato (*Ipomoea batatas* L. Lam cv. Beijing 553) with two nitrogen treatments (120 and 240 kg ha^{-1}) and three paclobutrazol (PP_{333}) spraying levels (0, 100, and 200 mg ha^{-1}). The result showed that increasing nitrogen application boosted P_n and chlorophyll content, reduced dry matter allocation in root tuber and starch accumulation rate, and significantly reduced the fresh weight per lump of root tuber (by 8.0%) and the starch yield and root tuber yield (by 30.7% and 20.5%). Spraying PP_{333} improved P_n and chlorophyll content, accelerated the transportation of carbohydrate from leaf to root tuber and enhanced its allocation in root tuber, the starch accumulation rate, significantly the fresh weight per lump of root tuber (by 18.6%) and the yield of starch and fresh weight of root tuber (by 46.1% and 32.5%). It was indicated that both starch accumulation and yield could be regulated by PP_{333} under high nitrogen application rate.

Keywords: Edible sweepotato; Paclobutrazol; Nitrogen fertilization; Starch accumulation; Photosynthesis

养分供应是作物生长发育的基础, 是影响作物形态发育、器官建成和产量形成的重要因素, 作物集约栽培产量的提高在很大程度上与氮肥用量有关[1]。在甘薯生产中, 有研究者认为增施氮肥有利于提高叶片叶绿素含量和光合速率, 延长叶面积持续期, 使平均单薯重和产量提高[2]; 但也有研究者认为施氮无增产作用或减产[3-5]。近年来, 随生产水平的提高及优质食用甘薯保护地种植面积的扩大, 种植甘薯的土壤含氮量越来越高; 加上对氮肥偏重施用, 往往造成茎叶生长过旺, 光合产物向块根的运转不畅, 块根产量下降、品质变劣。因此在甘薯生长发育过程中采取合理的调控措施, 协调好茎叶生长与块根膨大的关系, 是提高甘薯产量的有效措施。

多效唑作为一种植物生长延缓剂, 具有控长促蘖、增加产量、改善品质等特点, 在小麦等作物上应用取得了良好的效果[6-8]。在甘薯上施用, 可以调控叶片的光合特性和植株生长发育, 有利于增加产量[9-11]。但多效唑调控技术如何与营养调控有效地结合, 却是亟待深入研究的问题。为此, 本试验在大田条件下尝试运用多效唑探讨在不

本研究由国家自然科学基金项目(31000689)和国家现代农业产业技术体系北方薯区栽培岗位资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 史春余, E-mail: scyu@sdau.edu.cn, Tel: 0538-8246259

第一作者联系方式: E-mail: chenxggw@163.com

Received(收稿日期): 2011-12-16; Accepted(接受日期): 2012-04-20; Published online(网络出版日期): 2012-06-04.

URL: http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20120604.1007.006.html

同施氮水平下对甘薯光合和块根淀粉积累的影响，以期为化控技术在甘薯上的应用提供理论依据与技术支持。

1　材料与方法

1.1　试验设计

2008—2009 年在山东农业大学农学试验站大田种植食用型甘薯北京 553。试验田土壤质地为壤土, 0~20 土层土壤含有机质 1.195%、全氮 0.0654%、碱解氮 72.58 mg hm^{-2}、速效磷 36.27 mg hm^{-2}、速效钾 80.58 mg hm^{-2}。

采用裂区设计，主区为施氮处理，设低氮(120 kg hm^{-2}, N1)和高氮(240 kg hm^{-2}, N2) 2 个水平；副区为多效唑处理，设 0 (M0)、100 (M1)和 200 mg hm^{-2} (M2) 3 个多效唑溶液(60 mL m^{-2})浓度水平，从甘薯封垄期开始每 15 d 喷施 1 次，共 3 次。小区面积为 20 m^2, 3 次重复。分别于 2008 年 6 月 18 日及 2009 年 5 月 26 日栽秧，种植密度为每公顷 5 万株，株距 25 cm，行距 80 cm。各小区在起垄前施 P_2O_5 9 g m^{-2}、K_2O 12 g m^{-2}，氮肥用尿素、磷肥用磷酸一铵、钾肥用硫酸钾，一次性基施全部肥料。其他管理措施统一按常规栽培要求实施。

1.2　测定项目与方法

喷施多效唑后 5 d (栽秧后 50 d)开始取样，以后每隔 20 d 取 1 次样，直至收获。在每个处理的取样区内随机选择取样点，每个取样点选取生长正常一致的 5 株，挖出块根、洗净、称块根鲜重；将块根切片，地上部分为叶片、叶柄和茎蔓，在 60℃下烘干、称重。干样粉碎后用于测定可溶性总糖和淀粉含量。收获时将测产区内的块根全部挖出，数出每个小区的块根总数，然后以小区为单位称块根鲜重，记录并计算平均单株结薯数、单薯重和鲜薯产量。

栽秧后 50、110 d 和收获期 3 次取样，分地上部分和块根烘干称重，计算干物质积累。

参考 Arnon[12]和赵世杰等[13]的方法，95%乙醇黑暗中提取 24 h。用日本岛津公司生产的 UV-160A 紫外分光光度计，于 649、665 nm 下比色，计算叶绿素含量。

上午 9:00~11:00，用美国 LICOR 公司生产的 LI-6400 便携式光合仪测定光合速率。

采用蒽酮比色法测可溶性总糖含量[14]；用双波长比色法测淀粉含量[15]。

1.3　数据分析与处理

用 Microsoft Excel 2003 软件进行绘图，用 DPS 7.05 软件分析数据，采用新复极差法进行平均数显著性检验。由于两年度气候因素相差较小，试验结果趋势一致，且数据差异不显著，图表中所显示资料为两年数据的平均值。

2　结果与分析

2.1　不同施氮水平下多效唑对功能叶叶绿素含量和光合速率的影响

2.1.1　*对叶绿素含量的影响*　　叶绿素是光合作用中能量转化的物质基础，其含量是衡量叶片衰老和光合功能的一个重要参数。表 1 表明，各氮肥、多效唑处理对甘薯不同生育期叶片叶绿素 a 和 b 的影响均达显著水平，且存在显著的互作效应。在同一施氮水平下，各时期功能叶片中的叶绿素 a 和 b 含量均表现为 M2>M1>M0；与低氮处理相比，高氮处理的功能叶片叶绿素 a 和 b 的含量显著增加。综合看，叶绿素含量以 N2M3 处理最高。表明增加施氮量和喷施多效唑均能显著提高甘薯功能叶叶绿素含量，从而有利于增加功能叶中的光合物质的形成与积累，对块根产量的形成具有重要作用。

2.1.2　*对光合速率的影响*　　从图 1 可以看出，不同处理甘薯功能叶片光合速率均呈单峰曲线变化，在栽秧后 68 d 左右达峰值，而后逐渐下降。N1 水平下，光合速率表现为 M1≥M2>M0；N2 水平下，光合速率表现为 M2>M1>M0；对照和多效唑处理条件下，叶片光合速率表现为 N2>N1。说明增施氮肥和喷施多效唑对提高甘薯功能叶净光合速率均具显著效果，且存在明显的交互作用，因而能增加光合产物的形成和积累。

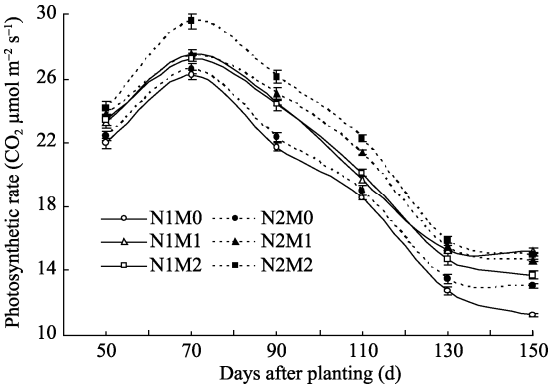


图 1　光合速率的变化

Fig. 1　Changes of photosynthetic rate

2.2　不同施氮水平下多效唑对甘薯干物质积累的影响

从表 2 可以看出，增加施氮量，食用甘薯北京 553 的地上部干物重增加，而块根干物重以及块根干重与地上部干重的比率降低；喷施多效唑可显著增加块根干重，提高块根干重与地上部干重的比率，其中低氮条件下以 100 mg kg^{-1} 浓度的多效唑处理效果最好，高氮条件下则以 200 mg kg^{-1} 浓度的多效唑处理效果最好。施氮量与多效唑对块根膨大过程中干物质的积累存在显著或极显著的交互作用，表明随施氮水平的提高，只有增加多效唑喷施浓度才能取得更好的增产效果。进一步分析说明，喷施多效唑能够提高块根产量，主要是由于提高了干物质在块根中的分配率，而进一步的原因需从生理生化方面深入探索。

2.3　不同施氮水平下多效唑对甘薯植株碳水化合物含量的影响

由表 3 还可以看出，块根中的淀粉和可溶性总糖含

表 1 叶绿素 a 和叶绿素 b 含量变化
Table 1 Changes of Chl a and Chl b contents

项目 Item	处理 Treatment	栽秧后天数 Days after planting (d)					
		50	70	90	110	130	150
叶绿素 a Chl a (mg g^{-1} FW)	N1M0	1.98 e	1.96 c	1.72 d	1.54 d	1.74 c	1.61 d
	N1M1	2.11 d	1.98 c	1.83 c	1.65 b	1.76 c	1.69 c
	N1M2	2.22 cd	2.10 b	1.94 b	1.57 cd	1.74 c	1.88 a
	N2M0	2.31 b	2.05 bc	1.82 c	1.65 b	1.87 b	1.62 cd
	N2M1	2.36 ab	2.32 a	1.85 c	1.63 bc	1.89 b	1.77 b
	N2M2	2.46 a	2.24 a	1.98 a	1.88 a	1.96 a	1.88 a
F 值 *F*-value	N	326.39**	92.47**	96.11**	89.85**	186.77**	5.38
	M	22.80*	37.67**	55.26**	30.73**	8.24*	101.84**
	N×M	1.29	19.64**	10.14**	52.48**	10.27*	3.38
叶绿素 b Chl b (mg g^{-1} FW)	N1M0	0.61 c	0.62 c	0.54 d	0.47 de	0.53 c	0.52 cd
	N1M1	0.69 b	0.63 c	0.57 cd	0.50 bc	0.54 c	0.53 bc
	N1M2	0.71 b	0.68 b	0.64 ab	0.46 e	0.53 c	0.60 a
	N2M0	0.73 b	0.65 c	0.56 d	0.52 b	0.57 b	0.49 d
	N2M1	0.71 b	0.77 a	0.60 bc	0.49 cd	0.59 ab	0.56 b
	N2M2	0.79 a	0.74 a	0.64 a	0.58 a	0.61 a	0.60 a
F 值 *F*-value	N	40.67**	108.15**	2.11	342.11**	36.49**	1.22
	M	44.04**	71.89**	87.53**	8.17**	10.81**	72.04**
	N×M	16.91**	36.02**	1.72	43.16**	13.22**	7.29*

不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平; *, **分别表示在 0.05 和 0.01 水平上的差异显著。N: 施氮量: M: 多效唑; N×M 氮肥和多效唑互作。

Values followed by different letters are significantly different at 0.05 probability level. *, **Significantly different at the 0.05 and 0.01 probability levels. N: nitrogen rate; M: PP_{333}; N×M: nitrogen-PP_{333} interaction.

量随施氮量增加明显下降，而喷施多效唑提高其含量(表 3)。增加施氮量使叶片中的淀粉含量增加，而可溶性总糖含量降低，这可能是由于碳氮代谢的不均衡造成的；喷施多效唑使叶片中的淀粉和可溶性总糖含量均降低，叶柄的可溶性总糖含量增加，茎中的可溶性总糖含量略有下降。喷施多效唑使叶片中可溶性总糖含量下降的同时，叶柄中的可溶性总糖含量增加、茎中的可溶性总糖含量下降，这可能与喷施多效唑既有利于源端碳水化合物的装载又有利于库端碳水化合物的卸载有关。

2.4 不同施氮水平下多效唑对淀粉积累速率的影响

由图 2 可以看出，各处理块根淀粉积累速率均呈双峰曲线变化。低氮水平下，淀粉积累的第 1 个高峰期出现在栽秧后 70~90 d，第 2 个峰值出现在栽秧后 130~150 d；高氮水平下，淀粉积累的第 1 个高峰期则出现在栽秧后 90~110 d，第 2 个峰值出现在栽秧后 130~150 d。表明施氮量过多导致块根形成和膨大延迟。在块根膨大过程中，喷施多效唑的处理其块根淀粉积累速率显著高于喷清水对照，而较高的淀粉积累速率也为甘薯块根产量和淀粉产量的提高奠定了基础。这也进一步表明氮肥与多效唑之间有互作效应，存在最佳的多效唑和氮肥运筹模式。

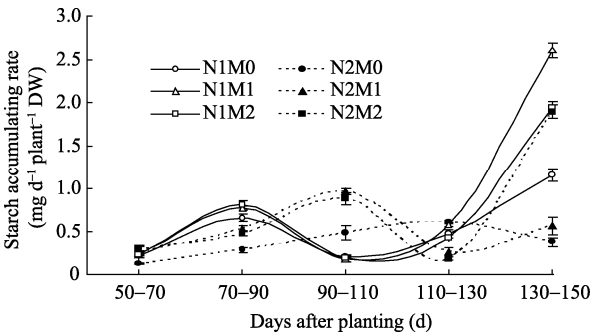


图 2 多效唑对块根淀粉积累速率的影响
Fig. 2 Effects of PP_{333} on accumulation rate of starch in root tuber

2.5 不同施氮水平下多效唑对甘薯产量和淀粉产量的影响

从氮肥与多效唑处理对甘薯产量的影响来看，产量以 N1M1 处理最高，施氮过多会导致产量的下降，2 年的数据差异不显著(P=0.621)。同一施氮水平下喷施多效唑后块根产量和淀粉产量显著提高(表 4)。就产量看，N1 条件下，与清水(M0)处理相比，M1、M2 处理的单株结薯数和单薯重均增加，其中单薯重差异达显著水平，产量分别比对照增加 11.6%、3.2%; N2 条件下，由 M0 到 M2 随着多效唑浓度的提高，单株结薯数和单薯重均明显增加，其产量分别增加 7.81%、39.1%；与 N1 水平相比，高施氮条件下单株结薯数和单薯重下降，产量明显降低。充分说明氮肥施用量过高不利于块根产量的形成，而喷施多效唑能够有效促进碳水化合物在块根的积累，提高单薯重，增加产量。从淀粉产量看，N1 条件下，M1、M2 处理分别比对照增加 14.6%、5.42%; N2 条件下，M1、M2 处理分别比对照增加 15.5%、56.7%；对照和处理条件下，与 N2 相比，N1 极显著提高淀粉产量，增幅为 44.4%。氮肥与多效唑除对块根结薯数外，对单薯重、鲜薯产量和淀粉产量均存在显著或极显著的交互效应。

表 2　多效唑对甘薯植株干物质积累的影响

Table 2　Effects of PP_{333} on dry matter of sweetpotato

处理 Treatment		栽秧后 50 天 50 days after planting			栽秧后 110 天 110 days after planting			栽秧后 150 天 150 days after planting		
		地上每株干重 Above ground dry weight per plant (g)	每株块根干重 Root dry weight per plant (g)	块根/地上 Root/shoot ratio (%)	地上每株干重 Above ground dry weight per plant (g)	每株块根干重 Root dry weight per plant (g)	块根/地上 Root/shoot ratio (%)	地上每株干重 Above ground dry weight per plant (g)	每株块根干重 Root dry weight per plant (g)	块根/地上 Root/shoot ratio (%)
N1M0		34.36 b	1.64 a	4.78	161.66 c	50.41 b	31.18	188.03 b	156.69 b	83.33
N1M1		31.97 c	1.62 a	5.07	185.36 b	62.68 a	33.82	171.89 c	175.40 a	102.04
N1M2		29.39 d	1.74 a	5.92	188.39 b	61.12 a	32.44	170.38 c	167.75 ab	98.46
N2M0		35.77 b	0.95 d	2.66	211.38 a	44.52 c	21.06	178.59 c	108.64 d	60.83
N2M1		37.84 ab	1.13 c	2.99	200.09 ab	45.23 c	22.60	194.25 a	123.79 c	63.72
N2M2		41.15 a	1.37 b	3.33	192.36 b	53.77 b	27.95	190.15 ab	151.63 b	79.74
F 值 *F*-value	N	389.72**	91.93**		337.66**	344.53**		91.14**	390.44**	
	M	0.89	93.88**		0.86	48.35**		0.72	34.71**	
	N×M	178.34**	34.65**		7.09*	18.73**		20.94**	17.85**	

不同小写字母表示差异达 0.05 显著性水平; *, **分别表示在 0.05 和 0.01 水平上的差异显著。N: 施氮量: M: 多效唑; N×M 氮肥和多效唑互作。

Values followed by different letters are significantly different at 0.05 probability level.

*, **Significantly different at the 0.05 and 0.01 probability levels. N: nitrogen rate; M: PP_{333}; N×M: nitrogen-PP_{333} interaction.

表 3 多效唑对植株碳水化合物含量的影响(占干重%)

Table 3 Effects of PP_{333} on carbohydrates content (% dry weight)

处理 Treatment		淀粉 Starch				可溶性糖 Total soluble sugar			
		叶 Leaf	叶柄 Petiole	茎 Stem	块根 Root	叶 Leaf	叶柄 Petiole	茎 Stem	块根 Root
N1M0		6.59 b	5.75 a	5.87 ab	44.37 bc	6.49 a	21.63 c	11.32 a	23.41 b
N1M1		6.46 b	5.36 b	5.61 b	47.38 b	6.26 b	24.37 a	11.15 ab	24.39 a
N1M2		6.25 c	5.84 a	5.56 b	53.88 a	6.20 b	23.39 ab	11.04 b	23.39 b
N2M0		7.21 a	5.68 a	5.54 b	38.78 d	6.58 a	21.55 c	11.42 a	14.24 d
N2M1		6.16 c	5.65 a	5.47 b	39.44 cd	6.34 ab	21.63 c	11.34 a	16.80 c
N2M2		6.68 ab	5.43 b	6.15 a	41.05 c	5.73 c	22.76 b	11.41 a	15.34 c
F 值 *F*-value	N	9.24	6.69	23.25**	78.36**	2.34	72.72**	20.72**	317.26**
	M	3.09	12.63**	107.92**	108.47**	10.69**	14.65**	1.46	26.71**
	N×M	6.55*	8.34**	261.01**	56.33**	3.43*	10.31**	1.19	5.33*

不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平; *, **分别表示在 0.05 和 0.01 水平上的差异显著。N: 施氮量: M: 多效唑; N×M 氮肥和多效唑互作。

Values followed by different letters are significantly different at 0.05 probability level. *, ** Significantly different at the 0.05 and 0.01 probability levels. N: nitrogen rate; M: PP_{333}; N×M: nitrogen-PP_{333} interaction.

表 4 多效唑对甘薯块根和淀粉产量的影响

Table 4 Effects of PP_{333} on yield and yield of starch of sweet potato

处理 Treatment		结薯数 Root tuber number per plant	单薯重 Weight per plant of root tuber (g)	鲜薯产量 Fresh yield (kg hm^{-2})	淀粉产量 Yield of starch (kg hm^{-2})
N1M0		2.39 ab	307.50 b	36755.3 bc	4054.7 c
N1M1		2.46 a	332.25 a	41013.1 a	4647.3 a
N1M2		2.58 a	293.94 bc	37924.3 b	4274.5 b
N2M0		2.04 c	257.52 d	26255.9 e	2414.5 f
N2M1		2.13 c	279.02 c	29216.1 d	2788.9 e
N2M2		2.27 b	322.48 a	36510.8 c	3783.7 d
F 值 *F*-value	N	204.01**	51.65**	95.22**	109.21**
	M	20.98**	30.81**	47.08**	53.77**
	N×M	3.01	82.44**	45.30**	15.96*

不同小写字母表示差异达 0.05 显著性水平; *, **分别表示在 0.05 和 0.01 水平上的差异显著。N: 施氮量: M: 多效唑; N×M 氮肥和多效唑互作。

Values followed by different letters are significantly different at 0.05 probability level. *, ** Significantly different at the 0.05 and 0.01 probability levels. N: nitrogen rate; M: PP_{333}; N×M: nitrogen-PP_{333} interaction.

3 讨论

氮对叶绿素的影响甚大，叶绿素含量是反映作物光合能力的一个重要指标。张习奇等[15]研究认为随外源供氮水平的提高，叶片叶绿素 a、b 的含量提高，光合速率也提高。本研究表明，增施氮肥提高了叶绿素含量和光合速率，但极显著降低了甘薯块根产量，说明在土壤含氮量较高的条件下要获得较高的产量，在保证较高的“叶源”光合能力的基础上，更重要的是光合产物有效地运输到库器官。前人[9-10]研究表明喷施多效唑有利于增加叶片中的叶绿素含量，提高光合速率，增加块根产量。本试验结果表明，喷施多效唑显著提高了叶绿素含量、光合速率和块根产量，其中 N 120 kg hm^{-2} 条件下平均使块根产量增加 7.4%; N 240 kg hm^{-2} 条件下平均使产量增加 23.46%，后者明显高于前者。由此可见，喷施多效唑除有利于增加叶片的光合能力外，更重要的是提高了光合产物向块根的运输，从而增加了块根产量，但其最终效果受到施氮水平的影响而有差异。

史春余[16]研究认为，叶片的可溶性糖含量低、叶柄的可溶性糖含量高、茎的可溶性糖含量低时，表明有利于碳水化合物从“源端”的输出，并使干物质向块根的分配率提高。本试验结果表明，喷施多效唑明显降低叶片和茎中的可溶性糖含量，增加块根干物质积累量，提高产量；与 N 240 kg hm^{-2} 处理相比，N 120 kg hm^{-2} 处理条件下叶片中可溶性糖含量显著增加，块根中干物质积累量增加，从而显著增加了产量，而且与 M1 (多效唑浓度 100 mg kg^{-1})配合使用能达到产量最优，为本试验最佳的氮肥与多效唑运筹方式。其原因在于，高施氮水平下，“叶源”器官制造的光合产物不能顺利运转到块根，大量积聚在

叶片、叶柄和茎中，造成地上部生长过旺；而喷施多效唑则明显降低了碳水化合物在“源端”的积累，并使光合作用产生的碳水化合物迅速有效地向块根转移，从而有效缓解了地上部的过旺生长现象。

淀粉是块根的主要成分，以干率计，淀粉含量为37.6%~77.8%，淀粉积累与块根产量密切相关；同时淀粉含量在食味评价中也起着极其重要的作用[17-18]。本试验结果表明：增加施氮量不利于块根淀粉积累，降低其淀粉含量和淀粉产量；喷施多效唑显著提高了块根淀粉含量和淀粉积累速率，进而显著增加了收获期块根的淀粉产量和块根产量。因此，喷施多效唑促进块根淀粉的合成和积累是块根产量显著提高的根本原因。

总之，喷施多效唑显著提高了收获期块根内可溶性总糖和淀粉含量，有利于改善甘薯的食用品质；同时能够有效控制甘薯徒长，并显著提高甘薯产量。但多效唑调控碳氮代谢的生理生化机制还有待进一步研究。

References

[1] Follett R F, Keeney D R. Managing Nitrogen for Ground Water Quality and Farm Profitability. Inc Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, 1991, pp 1–7, 259–283

[2] Tsuno Y, Fujise K. Studies on the dry matter production of sweet potato. *Crop Sci Soc Jpn*, 1963, 32: 297–300, 301–305, 306–310, 315–318

[3] Kim J Y, Acock M C, Garner J O, Singletary C C, Salin M L. Effects of nitrogen fertilization on alcohol soluble carbohydrate content in sweet potato roots. *Hort Sci*, 1985, 20: 434–435

[4] Larry K, Conrad H M, William H S, Christel H. Influence of N source, N rate and K rate on the yield and mineral concentration of sweet potato. *J Am Soc Hort Sci*, 1984, 109: 294–298

[5] Constantin R J, Jones L G, Hammett H L, Hernandez T P, Kahich C G. The response of three sweet potato cultivars to varying levels of nitrogen. *J Am Soc Hort Sci*, 1984, 109: 610–614

[6] Rajala A, Peltonen-Sainio P. Plant growth regulator effects on spring cereal root and shoot growth. *Agron J*, 2001, 93: 936–943

[7] Beckeet R P, Staden J V. The effect of thidiazuron on the yield of wheat grown with varying nutrient supply. *Plant Growth Regul*, 1992, 11: 343–348

[8] Lü S-Q(吕双庆), Li S-X(李生秀). Effects of PP_{333} spraying on some physiological, morphological characteristics and yield of wheat on dryland with different plant density. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 2005, 11(1): 92–98 (in Chinese with English abstract)

[9] Liu X-Q(刘学庆), Zhou Q-T(周庆涛), Lin Z-J(林祖军), Yu J-C(于经川), Duan L-S(段留生). The effects of multiple-effect triazole on morphology physiology and yield of sweet potato. *J Laiyang Agric Coll* (莱阳农学院学报), 1994, 11(1): 25–28 (in Chinese with English abstract)

[10] Xu S-H(徐世宏), Wu D(吴登). Apply examination of PP_{333} at autumn sweet potato. *Agric Sci Guangxi* (广西农业科学), 1994, (5): 211 (in Chinese with English abstract)

[11] Chen X-G(陈晓光), Zhang X-D(张晓冬), Liang T-B(梁太波), Wang R-J(王汝娟), Liu L-L(刘兰兰), Shi C-Y(史春余). Effects of PP_{333} on nutrient absorption dynamics and yield formation of sweetpotato. *Shandong Agric Sci* (山东农业科学), 2008, (5): 38–41 (in Chinese with English abstract)

[12] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplast, polyprend oxidase in *Beta vulgari*. *Plant Physiol*, 1949, 24: 1–15

[13] Zhao S-J(赵世杰), Liu H-S(刘华山), Dong X-C(董新纯). Guidance of Plant Physiological Experiment (植物生理实验指导). Beijing: China Agriculture Scientech Press, 1998. pp 68–72 (in Chinese)

[14] He Z-F(何照范). Analysis Technique for Grain Quality of Cereals and Oils (籽粒粮油品质及其分析技术). Beijing: China Agriculture Press, 1985. pp 144–150, 290–294 (in Chinese)

[15] Zhang X-Q(张习奇), Bai S-J(白善军), Zhang X-S(张先胜). Effect of cultivation techniques on yield of sweetpotato breeder's stock with virus free and its growth process. *J Anhui Agric Sci* (安徽农业科学). 1999, 27(5): 447–448 (in Chinese with English abstract)

[16] Shi C-Y(史春余). Accumulation and Distribution of Photosynthate in Sweet Potato and Their Response to Potassium Fertilizer and Soil Aeration. PhD Dissertation of Shandong Agricultural University, 1999 (in Chinese with English abstract)

[17] Lu G-Q(陆国权), Tang Z-H(唐忠厚), Huang H-H(黄华宏). Genotype variation in amylose content and starch pasting properties of sweet potato storage at two K levels. *Acta Agric Zhejiangensis* (浙江农业学报), 2005, 17(5): 280–283 (in Chinese with English abstract)

[18] Zhang L-M(张立明), Wang Q-M(王庆美). The main nutrient components and health care function of sweet potato. *Rain Fed Crops* (杂粮作物), 2003, 23(3): 162–66 (in Chinese with English abstract)