

# 氮素营养对甜椒果实生长发育的影响

隋方功<sup>1</sup>, 吕银燕<sup>1</sup>, 稻永醇二<sup>2</sup>

(1 莱阳农学院, 山东莱阳 265200; 2 日本鹿儿岛大学农学部, 鹿儿岛, 日本 890-0065)

**摘要:** 采用营养液培养试验, 研究了氮素营养对甜椒果实生长发育的影响。结果表明, 氮素营养过高, 门椒难以座果, 首次商品果实的上市时间推迟 7d 以上。氮素营养对甜椒前期商品果产量及产量性状的综合影响看出, 中氮营养处理可获得最高的商品果产量, 主要是各层位果实的高收果数, 而与单果鲜重差异不明显; 氮素营养过高或过低均导致商品果产量降低, 因单株平均收果数降低, 且单果重下降。高氮营养有利于提高后期幼果座果率。试验还发现, 甜椒的结果习性在很大程度上取决于其植物学特性, 氮素营养对果实发育进程的促进或延缓作用在某种程度上可能大于对结果数量的影响。中氮营养条件下, 二分侧枝整枝方式对甜椒的结果数量和产量的影响符合等比数列  $Y=2(n-1)$  的理论模型。

**关键词:** 氮素营养; 甜椒; 生长发育

**中图分类号:** S641.306

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1008-505X(2004)05-0499-05

## Effect of the nitrogen nutrition on fruit growth and development of sweet pepper

SUI Fang-gong<sup>1</sup>, LU Yin-yan<sup>1</sup>, INANAGA Shun-ji<sup>2</sup>

(1 Laiyang Agricultural College, Shandong, Laiyang 265200, China; 2 Kagoshima University, Kagoshima, Japan, 890-0065)

**Abstract:** The effect of nitrogen on the fruit growth and development of sweet pepper (*Capsicum frutescens* var. *grossum*) were studied by soluble culture. The results showed that it was difficult to set the first fruit of sweet pepper under the condition of nitrogen excessive. Therefore, fruit harvest delayed over 7 days at least and it could loss the chance of come into the market. The comprehensive effect of nitrogen on market fruit yield and characters indicated: The highest market fruit yield was obtained under moderate nitrogen level (middle N), because of the highest percent of fruit harvested on every fruit set positions of branch. However, the lower and excessive nitrogen nutrition decreased the fruit yield of sweet pepper. It was found that the behavior of setting fruits of sweet pepper was depended on its botany characteristics. The promote or delay of nitrogen on the fruit development might have more effect on fruit setting amounts on some degree. The model of yield or amount of fruit setting could be described as  $Y=2(n-1)$  under moderate nitrogen nutrition when the sweet pepper was trained with two main branch and one main stem on a single plant. Compared with the theoretical yield and practical yield of sweet pepper obtained in the experiment, it was found that there was the consistent in fact, and forward the application foreground of the model was discussed.

**Key words:** nitrogen nutrition; sweet pepper; growth and development

氮是植物必须的大量营养元素之一。生产实践中, 通过氮素营养的调控以协调作物生长与光合作用已成为重要的手段之一<sup>[1]</sup>。通过施肥维持土壤中的  $\text{NO}_3^-$ -N 水平在 20 mg/kg (春季)、30 mg/kg (秋

季) 可使甜椒 (*Capsicum frutescens* var. *grossum*) 获得最高的商品果产量<sup>[2]</sup>。但过量施氮会造成甜椒活力下降, 产量降低<sup>[3-4]</sup>。甜椒产量以中等施氮量最高, 过量氮素处理增加座果率, 但是由于小果率增多

收稿日期: 2003-07-17 修改稿收到日期: 2003-10-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(40231018) 资助。

作者简介: 隋方功(1956—), 男, 山东莱阳人, 博士, 教授, 主要从事植物营养生态与肥料方面的研究。

而影响品质<sup>[5-6]</sup>。宋世君曾对甜椒的施肥技术进行了改进<sup>[7]</sup>；隋方功等<sup>[8-10]</sup>研究了滴灌施肥技术对甜椒非蛋白态氮、碳水化合物、粗脂肪及氨基酸的组成成分的影响；加藤等<sup>[11]</sup>利用砂培试验研究了日照不良和多量氮素对 Miekairyo 和 Sakigake-midori 2 个甜椒品种的座果习性的影响，为甜椒的施肥管理提供了依据。但有关氮对甜椒商品果实生长发育影响的研究较少报道。为此，利用溶液培养试验，研究了不同氮素营养水平下甜椒果实的生长发育动态，以期为其栽培管理技术提供理论依据。

## 1 材料与方 法

溶液培养试验在日本鹿儿岛大学农学部温室内进行。供试甜椒品种为适于大棚栽培的“Kyoyutaka”。种子于 3 月 21 日催芽播种于砂盘中，3 月 29 日开始采用 1/2 浓度的营养液(表 1)进行温室培育幼苗。4 月 25 日将生长一致的甜椒幼苗移植于 18L 的溶液培养槽中，采用全浓度营养液进行温室苗期培养；6 月 1 日选择生长一致的甜椒将其移植到 8L 容积的塑料盆中继续培养，每盆 1 株。

表 1 甜椒营养液组成成分

Table 1 The nutrient composition of soluble culture for sweet pepper

营养元素 Nutrient elements	浓度 (mmol/L)	营养元素 Nutrient elements	浓度 ( $\mu$ mol/L)
P	1.0	B	50.0
K	2.0	Cu	0.3
Ca	2.0	Zn	8.0
Mg	1.0	Mn	18.0
		Mo	0.1
		Fe	3.0

根据预备试验的结果，将甜椒氮素营养试验设计为 3 个氮处理水平，即：中氮营养(5.0 mmol/L  $\text{NO}_3^- \text{-N} + 0.5 \text{ mmol/L } \text{NH}_4^+ \text{-N}$ , MN)、低氮营养(2.5 mmol/L  $\text{NO}_3^- \text{-N} + 0.25 \text{ mmol/L } \text{NH}_4^+ \text{-N}$ , LN)和高氮营养(11.0 mmol/L  $\text{NO}_3^- \text{-N} + 1.0 \text{ mmol/L } \text{NH}_4^+ \text{-N}$ , HN)。由于生产上通常在甜椒进入始花期开始定植，此前为苗床育苗时期，因此本试验选择甜椒生长进入始花期(6 月 1 日)时，开始进行不同营养水平的氮处理。甜椒整个生育期间营养液的 pH 值每 2~3d 调节 1 次，保持 pH 在 5.2~6.3 范围内。营养液 7d 更换 1 次，期间添加去离子水以补充水分的蒸腾损失。

根据甜椒生长发育状况和商品果成熟的时间分 4 次收获果实。前期收获的果实均为商品果，每 7d 收获一次，后期为间隔 14d 后(7 月 20 日)收获的所有果实。收获时按果实的座果部位，分别采摘、称取鲜重。然后利用纵切法一分为二(不去子房及种子)，一份备用，一份称重后利用 RLE-21 型真空冷冻干燥机(共和真空技术株式会社)，-30℃ 下冷冻干燥，称取干物重，计算单果重量。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮素营养对前期商品果的影响

为了探讨氮素营养水平对前期商品果实产量及相关性状的影响，分 3 次调查了不同部位商品果的产量及产量性状，结果见表 2。甜椒果实的产量由定植密度(单位面积的株数)、单株收获的果数和单果重量构成。

表 2 结果表明，第 1 次收获(6 月 22 日)的商品果中，门椒的单株平均收果数低氮营养处理高于中氮营养处理。中氮营养处理的单果鲜物质重量(36.70g)大于低氮营养处理(29.01g)，单株门椒的产量无显著差异。然而，在所有处理中只有中氮营养处理可收获到耳椒。因而本次收获的商品果实单株产量中氮营养处理(23.92g)高于低氮营养处理(22.57g)，高氮营养处理无可收获的商品果实。说明氮素营养过高门椒难以座果，本试验条件下落花率达 100%，导致收获期延迟。设施栽培条件下，甜椒定植过晚或室内温度较低时，往往影响产品的成熟期，不能使其及时上市。为了能够使产品及时上市，许多农民采取加大肥料投入的方法，致使氮肥用量过多，其结果适得其反。

第 2 次收获(6 月 29 日)的商品果实中，中氮营养处理的耳椒、四母斗椒和八面风椒均可采收，而低氮和高氮营养处理的八面风椒因生长缓慢尚不能采收。说明不仅低氮营养不利于果实的生长，高氮营养也有碍较高层位的果实同时生长发育。比较所收获的商品果耳椒、四母斗椒的产量性状发现，高、中、低氮营养处理的总收果数分别为 3.111、5.050 和 3.111。单株产量分别为 98.96g、162.04g 和 98.26g。可见，无论是总收果数还是单株产量均以中氮营养处理为最高，而低氮和高氮营养处理的总收果数与单株产量均很接近，无显著差异。另外，对耳椒和四母斗椒二层果实的产量性状进行比较，同样发现中氮营养处理的结果数(4.88)和单株产量(158.53g)也极为显著地高于低氮和高氮营养处理。

表 2 不同氮水平下甜椒的前期商品果产量及其性状

Table 2 Yield and characters of early market fruits of sweet pepper with different nitrogen levels

项目 Item	6月22日 22, Jun		6月29日 29, Jun			7月6日 6, July		
	门椒 1st fruit	耳椒 2nd fruit	耳椒 2nd fruit	四母斗椒 3rd fruit	八面风椒 4th fruit	四母斗椒 3rd fruit	八面风椒 4th fruit	满天星椒 5th fruit
高氮水平 Higher nitrogen								
收果数 Fruits No. (No./plant)	0	0	1.89b	1.22Bb	0	1.33Aa	1.00B	0
产量 Yield (g/plant)	0	0	66.21Ab	32.75C	0	42.70Aa	35.32b	0
单果鲜重 Fresh wt. (g/fruit)	0	0	35.05b	26.80c	0	32.03	35.32Aa	0
单果干重 Dry wt. (g/fruit)	0	0	2.01	2.01	0	2.63	2.80	0
中氮水平 Middle nitrogen								
收果数 Fruits No. (No./plant)	0.61b	0.06	1.99a	2.89Aa	0.17	1.00Ab	0.75C	0.13
产量 Yield (g/plant)	22.42a	14.95	76.77Aa	81.76Aa	3.51	34.80Bb	26.85c	4.04
单果鲜重 Fresh wt. (g/fruit)	36.70a	26.70	38.50a	28.30a	21.00	34.80a	35.8Aa	32.30
单果干重 Dry wt. (g/fruit)	2.48	1.87	2.58	1.92	1.47	3.00	2.87	2.32
低氮水平 Lower nitrogen								
收果数 Fruits No. (No./plant)	0.78a	0	1.78c	1.33Bb	0	0.78Bc	1.444A	0
产量 Yield (g/plant)	22.57a	0	58.67Cc	39.59B	0	24.90Cc	39.57a	0
单果鲜重 Fresh wt. (g/fruit)	29.01b	0	33.0c	29.7a	0	32.0b	27.4Bb	0
单果干重 Dry wt. (g/fruit)	2.63	0	2.43	1.66	0	2.90	2.27	0

注: 不同大、小写字母分别表示差异达 1% 和 5% 显著性水平, 下同。

Note: Different capital and small letters mean significant at 1% and 5% levels, respectively, same as follows below.

可见,氮素营养对各层位果实的作用效果是很明显的。

在第 3 次收获(7月 6 日)的商品果实中,中氮营养处理可采收到四母斗椒、八面风椒和满天星椒 3 个层位的果实,而低氮和高氮营养处理均不能收获到满天星椒。比较所收获的商品果的产量及产量性状发现,高、中、低氮营养处理的单株总收果数分别为 2.333、1.875 和 2.222。单株产量分别为 78.02g、65.69g 和 64.47g。可见,无论是单株总收果数还是单株产量均以高氮营养处理为最高。低氮与中氮营养处理相比,尽管其单株总收果数显著高于中氮营养处理,但由于其单果鲜重(29.7g)低于中氮营养处理(34.3g),因而其单株产量间并无显著差异。这表现出了单果重与结果率间存在的负相关关系。收获商品果实的数据表明,高氮营养处理的第 3 次收获时的商品果产量高于中、低氮营养处理。

从第 2、3 次收获的商品果的层位来看,低氮和高氮营养处理所收获的商品果均较中氮营养处理依次减少一个高层位的果实,即第 2 次收获时无八面风椒,第 3 次收获时无满天星椒可采摘。可以认为这是造成产量差异的主要原因。同时,低氮营养因光合产物的总量少,不能满足高层位果实生长发育的需要;而高氮营养尽管光合产物总量增加较多,但由于植株

体内碳氮比例失调,营养生长旺盛,高层位果实由于竞争力弱而得不到充足的养分供应,从而导致生长延迟。可见尽管二者在产量的表现形式上相同,但其生理原因有着本质的区别。因此,这一时期栽培管理上采取的相应对策,前者要及时追肥、浇水,提高营养元素的供应水平,而后者则应控制肥水供应,抑制营养生长,促进生殖生长。

表 2 还看出,高、中、低氮素营养处理的甜椒单株平均收果数分别为 5.444、7.592 和 6.111。中氮营养最高,低氮营养次之,高氮营养最低;单株产量分别为 176.98g、251.65g 和 185.30g,中氮营养显著高于低氮营养和高氮营养,差异均达极显著水平。从单果鲜重看,高、中、低氮素水平分别为 32.51、33.15 和 30.32g;但单果干重分别为 2.36、2.31 和 2.38g,处理间差异不显著。

对甜椒前期商品果产量及性状的综合影响分析表明,中氮营养处理可获得最高的商品果产量,主要是中等氮素水平有利于甜椒座果,提高了商品果的单株收果数,而与单果鲜重关系不大;氮素营养过高可导致商品果收获期推迟 7d,单株平均收果数大幅度下降,仅为中氮处理的 71.7%,低氮营养处理的 89.1%,产量只有中氮营养处理的 70.3%,低氮营养处理的 95.5%。低氮营养收果数和产量仅为中氮营

养处理的 80.5% 和 73.6%，这主要与单株平均收果数以及单果重量的降低有关。

## 2.2 氮素营养对后期甜椒果实的影响

后期收获(7月20日)的甜椒果实中,四母斗椒和八面风椒已达到市场商品果的标准,由于各处理不同侧枝上的满天星椒生长不一致,未进行分级。表3结果表明,四母斗椒的单株平均收果数高氮营养处理(0.33)高于中氮营养处理(0.25),而低氮营养处理的

四母斗椒则已无果实可采。表明低氮营养使果实发育提早完成。八面风椒的单株平均收果数高氮营养处理(3.00)最高,低氮营养处理(2.50)和中氮营养处理(2.38)较低。从四母斗椒和八面风椒二层商品果单株产量来看,中氮营养处理(65.18g)最高,低氮营养处理次之(62.13g),而高氮营养处理最低,仅为44.6g。

表3 不同营养水平下甜椒的后期果实产量及其性状

Table 3 Yield and characters of later fruits of sweet pepper with different nitrogen levels

项目 Item	四母斗椒 3rd fruit	八面风椒 4th fruit	满天星椒 5th to 8th fruits			
			5th	6th	7th	8th
高氮水平 Higher nitrogen						
收果数 Fruits No. (No./plant)	0.33a	3.00Aa	6.17Aa	11.00Aa	8.83c	5.17Aa
产量 Yield (g/plant)	10.04A	34.56Bb	50.20Bb	63.47Bb	46.37Bb	19.48Bb
单果鲜重 Fresh wt. (g/fruit)	30.15	11.52Bb	8.14Bb	5.77Cc	5.25Bb	3.77Cc
单果干重 Dry wt. (g/fruit)	2.73	2.17	1.83	1.51	1.19	0.89
中氮水平 Middle nitrogen						
收果数 Fruits No. (No./plant)	0.25b	2.38Bb	4.00Bb	7.25Bb	10.00b	4.13Bb
产量 Yield (g/plant)	7.73B	57.45Aa	91.12Aa	122.16Aa	143.1Aa	51.77Aa
单果鲜重 Fresh wt. (g/fruit)	30.90	24.19Aa	22.78Aa	16.85Aa	14.31Aa	12.55Aa
单果干重 Dry wt. (g/fruit)	3.04	2.42	2.14	1.60	1.37	1.24
低氮水平 Lower nitrogen						
收果数 Fruits No. (No./plant)	0	2.50Bb	3.83Bc	4.33Cc	12.83a	1.50Cc
产量 Yield (g/plant)	0	62.13Aa	88.47Aa	60.14Bb	39.78Cc	11.79Cc
单果鲜重 Fresh wt. (g/fruit)	0	24.85Aa	23.08Aa	13.88Bb	3.10Cc	7.86Bb
单果干重 Dry wt. (g/fruit)	0	2.12	2.12	1.24	0.27	0.61

由于第4次采样时甜椒植株所着生的满天星椒尚处于幼果阶段,因而其产量及产量性状的比较,可以说明当时的果实生长状况,但更能说明以后的产量潜力。比较满天星椒的生长发育状况发现,第5至8层果实的座果率,均以高氮营养处理最高,中氮营养处理次之,低氮营养处理最低。即随着氮素营养水平的提高座果率显著增加。至于第7层果实与之相反,低氮营养处理反而高于高氮营养和中氮营养处理,这可能是前几层果实数量较少,所积累的营养物质在该层位果实上集中的反应。氮素营养对后期的满天星椒果实座果率的综合影响为高氮营养处理(34.50) > 中氮营养处理(28.00) > 低氮营养处理(24.99),处理间差异极为显著。说明高氮营养有利于提高满天星椒的座果率。

从果实的单株产量看,中氮营养处理(408.5g)最高,低氮营养处理(200.18g)次之,高氮营养处理(179.52g)最低,这是由于果实发育程度不同、单果

重量的差异而造成的。单果鲜重量的变化趋势与果实产量的变化基本一致,即中氮营养处理(16.62g)最高,低氮营养处理(11.98g)次之,而高氮营养处理仅有5.73g。由于这些果实已经处于正常发育阶段,因而高氮营养处理的后期产量潜力大;而低氮营养处理由于满天星椒的座果率低,产量潜力小。

## 3 讨论

加藤等认为甜椒的结果习性呈现周期性变化,并受环境因素如气温、光照和氮素营养的影响<sup>[11]</sup>。本试验中对甜椒结果规律的调查研究发现,甜椒的结果习性在很大程度上决定于其植物学特性。外界环境条件对其开花结果进程的促进或延缓作用在某种程度上可能大于对开花结果数量的影响。甜椒栽培种大多为无限分枝型<sup>[12]</sup>,属于无限型开花结果植物,其结果规律依据侧枝分生状况而异。

本试验发现,二分侧枝整枝方式甜椒的结果数

量符合等比数列  $2^{(n-1)}$ 。式中  $n$  为结果层位数,  $n \geq 1$  且  $n \in N$  ( $N$  为自然数), 即结果数为—首项为 1, 公比为 2 的等比递增数列。如门椒、耳椒、四母斗椒、八面风椒、满天星椒各自的结果数量分别为 1, 2, 4, 8, 16 …… , 各层位的结果总数为 1, 3, 7, 15, 31 …… 。在理论上, 理想条件下的甜椒结果数量或者产量应按照这一等比递增数列增加。溶液培养条件下, 当

$n=3$  时(“四母斗椒”), 中氮营养处理的商品果产量基本符合这一规律(表 4)。说明试验所选用的营养液是科学合理的, 也说明只要满足了植物生长发育对外界环境条件的要求, 就有可能发挥植物自身的生物学最大生产潜力。这为甜椒产量预测模型的建立及其应用提供了理论依据。

表 4 不同果位的果实对商品果产量的贡献 ( $n=3$ )

Table 4 Contribution of the fruits on different position to market yields of sweet pepper

果实部位 Fruit position	单株产量 Yield per plant						理论值 <sup>1)</sup> Theoretical value (g/plant)
	高氮 Higher N		中氮 Middle N		低氮 Lower N		
	(g/plant)	(± %)	(g/plant)	(± %)	(g/plant)	(± %)	
门椒 1st fruit	0**	-100.00**	22.42	-0.36	22.57	0.31	22.5
耳椒 2nd fruit	66.21	-1.91	91.72**	35.88**	58.67*	-13.08*	67.5
四母斗椒 3rd fruit	65.54**	-58.39**	124.29**	-21.09**	64.49**	-59.05**	157.5
合计 Total	131.75**	-46.77**	238.43	-3.66	145.73**	-41.12**	247.5

1) 以门椒鲜果重均值为基数的计算值。Account based on the average fresh weight of 1st fruit.

\* 和 \*\* 分别表示差异达 5% 和 1% 显著水平(LSD 检验)。\* and \*\* mean significant at 5% and 1% levels, respectively (LSD test).

不同氮素营养条件下甜椒下部 3 层果位各自的实际产量与根据数学模型计算的理论值比较(表 4)可知, 高氮营养条件下甜椒减少的主要层位果是四母斗椒和门椒, 前者的商品果产量减少 91.96 g/株, 减产率达 58.39%; 门椒虽无产量, 但其商品果产量只有 22.5 g/株(理论值), 对总产量的影响不大。但由于延迟了上市时间, 其在经济效益上的损失有时候可能比产量减少的损失要大, 这在冬季和早春上市的栽培体系下, 是不可忽视的。低氮营养条件下主要减少的层位果是四母斗椒和耳椒, 前者的商品果减产率达 59.05%。耳椒商品果减产率只有 13.08%, 因而对总产量的影响也不是很大, 可见氮素不足主要影响后期商品果实的产量。试验条件下甜椒植株下部 3 层果实(门椒、耳椒、四母斗椒)的总产量为 131.75 g/株, 氮素营养过多和过少对商品果产量的影响都极为显著, 比理论值分别减产 46.77% 和 41.12%; 中氮营养条件下的实际产量与理论产量基本吻合。至于耳椒比理论值稍高而四母斗椒略低, 可能与各处理统一收获, 使耳椒收获时间推迟有关。

#### 参考文献:

[1] Sharma S N. Effects of Ammonium and nitrate on CO<sub>2</sub> assimila-

tion, RuBPC, PEPC and dry matter production[J]. Photosyn. Res., 1987, 12(3): 265-272.

[2] Batal K M, Smittle D A. Response of bell pepper to irrigation, nitrogen, and plant population[J]. J. of Am. Soc. Hort. Sci., 1981, 106(3): 259-262.

[3] 王远程, 解淑贞. 不同时期的不同施氮水平对甜椒前期生长发育和产量的影响[J]. 中国蔬菜, 1986(4): 10-14.

[4] Locascio S J. Response of bell pepper to nitrogen sources[J]. J. of Am. Hort. Sci., 1981, 106(5): 628-632.

[5] 宋世君. 甜椒氮肥使用时期的研究[J]. 园艺学报, 1987, 14(3): 185-191.

[6] 宋世君. 甜椒根系脱氢酶活性与施氮量关系初探[J]. 园艺学报, 1990, 17(3): 238-240.

[7] 宋世君. 甜椒施肥技术的改进[J]. 中国蔬菜, 1992(5): 16-18.

[8] 隋方功, 王运华, 长友诚, 等. 滴灌施肥技术对大棚甜椒产量与土壤硝酸盐的影响[J]. 华中农业大学学报, 2001, 20(4): 358-362.

[9] Sui Fanggong, Wang Yunhua, Nagatomo Makoto *et al.* The effect of fertigation system on non-protein-N, carbohydrate and crude lipid of sweet pepper (*Capsicum annul.* L)[J]. Memoirs of the Faculty of Agric., Kagoshima Univ., 2001, 37: 37-44.

[10] 隋方功, 王运华, 姚源喜, 等. 甜椒始花期吸收的氮素在体内各器官间分配动态的研究[J]. 园艺学报, 2002, 29(3): 238-242.

[11] 加藤徹, 福元康文. ピーマン结实, 肥大及ぼす整枝, 誘引の影響. 園学要旨[M]. 中, 四国支部. 1972.

[12] 宋元林. 番茄、辣椒、茄子[M]. 重庆: 科学技术文献出版社, 1998, 185-189.