

控释肥料不同用量对黄瓜幼苗生长及养分吸收的影响

司东霞^{1,2}, 胡树文¹, 陈清¹, 杨俊刚³, 陈新平^{1*}, 张福锁¹

(¹ 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; ² 聊城大学农学院, 山东聊城 252000; ³ 北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100097)

摘要: 采用生产中常用的草炭 蛭石 (1:1) 为育苗基质, 研究了包膜控释肥料 (CRF, 19-10-11) 不同用量对黄瓜幼苗生长及养分吸收的影响, 以确定育苗阶段合理的控释肥料用量及基质中适宜的氮素含量。试验共设 5 个处理, 控释肥料用量分别为 0、3.42、6.84、10.26、13.68 kg·m⁻³, 4 次重复。结果表明: 控释肥料用量在 3.42~6.84 kg·m⁻³ 情况下, 可为黄瓜幼苗提供充足的氮素供应, 同时也可满足植株对磷、钾的需求, 植株地上部和根系干物质的累积量、根长及根系表面积较大, 与此对应的移栽期基质适宜无机氮含量在 292~884 mg·kg⁻¹ 之间。根冠比随控释肥料用量的增加而减小。

关键词: 黄瓜; 控释肥料; 根系特征; 根冠比; 养分吸收

中图分类号: S 642.2 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2009) 01-0053-06

Effects of Seedling Growth and Nutrient Uptake of Cucumber with Different Rates of Controlled Release Fertilizer

Si Dong-xia^{1,2}, Hu Shu-wen¹, Chen Qing¹, Yang Jun-gang³, Chen Xin-ping^{1*}, and Zhang Fu-suo¹

(¹ College of Resources and Environment Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China; ² College of Agriculture Science, Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252000, China; ³ Institute of Plant Nutrition and Resource, Beijing Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: Nutrient management in seedling period is a general problem in China vegetable cropping systems. Excessive or deficient nutrient supply can restrain seedling growth. In this study, traditional medium (vermiculite and turf, 1:1) as seedling substrate, different application rates of controlled release fertilizer (CRF, 19-10-11) were designed to determine proper CRF application rates and optimum mineral nitrogen content of planting substrate for cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings. Shoot and root dry matter accumulating status, root morphology and nutrient uptake of cucumber seedlings were detected in this experiment. Five treatments were conducted in this trial, CRF application rates were 0, 3.42, 6.84, 10.26, 13.68 kg·m⁻³ respectively. The results showed that nitrogen, phosphate and potassium supplied could meet with cucumber seedlings demand; shoot and root dry matter, root length and root surface area were higher, when the CRF application rates were 3.42 - 6.84 kg·m⁻³, optimum mineral nitrogen content of planting substrate ranged from 292 mg·kg⁻¹ to 884 mg·kg⁻¹ at transplanting time correspondingly. The ratio of root to shoot (R/S) decreased with the CRF application rates increasing.

Key words: cucumber; controlled release fertilizer; root morphology; R/S ratio; nutrient uptake

在蔬菜生产中, 为延长生长季节, 提高复种指数, 常采用育苗移栽方式培育适龄壮苗。育苗期间的养分管理是目前蔬菜生产中存在的一个重要问题, 费素娥 (2006)、刘吉刚等 (2007) 在蔬菜育苗

收稿日期: 2008 - 10 - 13; 修回日期: 2008 - 12 - 02

基金项目: 国家科技支撑项目 (2006BAD10B03); 农业部 '948' 项目 (2006-G60)

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: chenxp@cau.edu.cn)

的施肥技术上进行了探索,并取得初步进展。但由于蔬菜育苗期间幼苗根系的生长空间有限,限制了根系对水分和养分的吸收,进而影响其发育进程(师恺等,2006)。养分过高,易产生毒害,过低又不能促进植株发育,形成健壮幼苗,故基质养分的调控成为育苗成败及育苗质量的关键。控释肥料的养分释放速率及释放时间具有可控性,是农业生产中高效利用养分的重要途径(Mikkelsen, 1994; 陈建生等,2004; Sadao, 2005; 彭福田等,2006; 邵蕾等,2007)。

本试验以黄瓜为研究对象,采用控释肥料,以氮素为主,研究不同用量情况下黄瓜幼苗地上部和根系干物质积累状况、根系形态及植株养分吸收特征,确定黄瓜育苗期间适宜的控释肥料用量及基质氮素含量,为生产中合理进行黄瓜苗期的养分调控,提供一定的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

控释肥料为聚酯包膜控释复合肥(19-10-11),由北京市农林科学院植物营养与资源研究所提供,采用水浸提法,25℃恒温测定其释放期为57 d,初期溶出率0.98%,微分溶出率1.38%。测试参考杨相东等(2005)的方法。

供试黄瓜品种为‘中农12号’(中国农业科学院蔬菜花卉研究所提供)。栽培基质采用草炭:蛭石(1:1),基质浸水容重 $0.28\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,比重 $1.89\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,总孔隙度85.2%,最大持水量258%,电导率 $0.427\text{ ms}\cdot\text{cm}^{-1}$,pH 5.89。

1.2 试验设计

试验于2007年5—6月在中国农业大学资源与环境学院的温室进行。采用9 cm×9 cm盆钵育苗,每钵装栽培基质220 mL。55℃烫种催芽,双粒播种,单株留苗。共设5个处理(表1),4次重复,每重复育苗8株,随机区组设计。5月17日播种,6月9日移栽期(4叶1心)收获,全苗期23 d。共灌水11次,首次灌水至基质最大持水量,2叶1心之前,植株蒸腾量小,每次灌水 $50\text{ mL}\cdot\text{钵}^{-1}$,之后至4叶1心,每次 $80\text{ mL}\cdot\text{钵}^{-1}$,共灌水 $790\text{ mL}\cdot\text{钵}^{-1}$ 。

表 1 试验设计

Table 1 Experimental design

处理 Treatment	控释肥用量 / ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) Rates of controlled release fertilizer	控释养分含量 / kg Content of controlled release nutrients		
		N	P_2O_5	K_2O
T1	0	0	0	0
T2	3.42	0.65	0.34	0.38
T3	6.84	1.30	0.68	0.75
T4	10.26	1.95	1.03	1.13
T5	13.68	2.60	1.37	1.50

1.3 测定项目与方法

于6月2日(播种后16 d, 2叶1心)、6月9日(播种后23 d, 4叶1心)观察植株生长状况,用便携式叶绿素仪测定植株新展开叶片的SPAD读数;每重复随机取4株植株作为1个样本,采集地上部和根系,洗净,100℃杀青30 min,70℃下烘干至恒重,测定干物质积累量;植株地上部样品采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{--H}_2\text{O}_2$ 联合消煮,凯氏定氮法测定全氮,钒钼黄比色法测定全磷,火焰光度法测定全钾,测试方法参照土壤农化分析(1988)。分别挑出基质中的控释肥料颗粒,洗净,研磨,用0.1 mm孔径的尼龙网过滤到100 mL容量瓶中,定容,凯氏定氮法测定氮素残留量。栽培基质过3 mm筛,混匀,称取基质10 g,加 $0.01\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{CaCl}_2$ 溶液100 mL,振荡1 h,过滤,用三通道流动分析仪(TRAACS-2000)测定无机氮含量(Nm_{in} ,包括 $\text{NO}_3^- \cdot \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ \cdot \text{N}$)。同时测定基质含水量。6月9

日将植株根系样品洗净，采用 EPSON PERFECTON 4990 PHOTO 扫描图像，Win RHIZO 软件分析单株根系总长度、总表面积及根系平均直径等指标。

试验数据均采用 Excel 进行处理，用 SPSS11.5 统计软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 黄瓜幼苗地上部生长状况及叶片叶绿素 SPAD 值

至播种后 12 d 即 1 叶 1 心期，各处理黄瓜幼苗长势一致，无形态上的差异。至播种后 16 d (2 叶 1 心期)，除对照 T1 幼苗植株生长势弱于其它处理外，其余植株长势无明显差别，但 T4、T5 叶片叶缘出现干枯现象，叶色深绿，呈水渍状，表明从播种后 16 d 开始，控释肥料用量大于 $10.26 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时出现肥害。至 4 叶 1 心移栽期，对照 (T1) 因养分供应不足，生长较弱；T2、T3 植株生长健壮，高度在 17 ~ 20 cm，符合生产要求的壮苗标准；T4、T5 植株生长严重受阻，叶缘焦枯，新生叶片黄且小。

植株叶片的叶绿素 SPAD 值是表征植株氮素供应状况的指标之一。图 1 表明，叶片 SPAD 值随控释肥料用量及生长时期而异。播种后 16 d，新展开叶片的 SPAD 值以 T5 处理最高，与其它处理存在显著性差异，T4 处理显著高于 T1、T2，但与 T3 之间差异不显著。播种后 23 d，T3 处理 SPAD 值最高，与其它处理差异显著，T2、T4 与 T1、T5 之间存在显著性差异，但 T2 与 T4、T1 与 T5 之间未表现出显著性差异，在黄瓜幼苗移栽期，新展开叶片的 SPAD 值随控释肥料用量的增加表现出先升后降的趋势，表明环境的氮素在一定范围内可提高植株叶片的叶绿素含量，过高则可能对叶绿素的合成产生抑制作用。

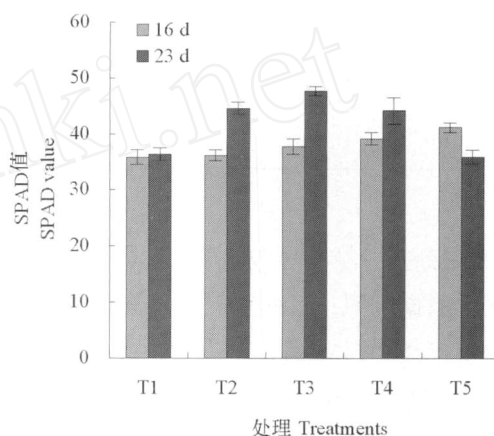


图 1 播种后不同天数植株新展开叶片的 SPAD 值

Fig. 1 SPAD value of the last extended leaf of different days after sowing

2.2 黄瓜幼苗干物质积累及根系形态

从表 2 可看出，播种后 16 d 植株地上部干物质积累量，T2 ~ T5 处理均显著高于对照 T1，控释肥料不同用量之间无显著差异。播种后 23 d，植株地上部干物质积累量 T3 和 T2 最高，表明控释肥料用量在 $3.42 \sim 6.84 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 范围内，有利于植株地上部干物质的累积。

表 2 不同处理植株地上部、根系干物质积累状况

Table 2 Shoot and root dry matter of cucumber seedling in different treatments

处理 Treatment	播种后 16 d 16 days after transplanting			播种后 23 d 23 days after transplanting		
	地上部干样质量 / (g · plant ⁻¹)	根干样质量 / (g · plant ⁻¹)	根冠比 (R/S)	地上部干样质量 / (g · plant ⁻¹)	根干样质量 / (g · plant ⁻¹)	根冠比 (R/S)
	Dry weight of shoot	Dry weight of root	Ratio of root to shoot	Dry weight of shoot	Dry weight of root	Ratio of root to shoot
T1	0.112 b	0.020 a	0.177 a	0.224 c	0.028 b	0.126 a
T2	0.224 a	0.027 a	0.123 b	0.830 a	0.061 a	0.074 b
T3	0.207 a	0.026 a	0.125 b	0.944 a	0.064 a	0.067 b
T4	0.214 a	0.024 a	0.111 b	0.682 b	0.036 b	0.053 c
T5	0.213 a	0.022 a	0.103 b	0.677 b	0.027 b	0.039 d

注：表中同一列相同字母表示处理间在 0.05 水平差异不显著。下同。

Note: The same small letters in the same column mean no significant difference at 0.05 level. The same below.

播种后 16 d, 黄瓜根系干物质积累量所有处理之间均未产生显著性差异; 对照 T1 根冠比显著高于各控释肥料处理。播种后 23 d, 植株根系干样质量 T3 和 T2 明显高于其它处理; 根冠比随施肥量的增加而减小, T2、T3 之间差异不显著。表明与对照 T1 相比, T2、T3 可促进根系生长, 而 T4、T5 则对植株根系生长产生抑制作用。

控释肥料不同用量对植株根系的形态影响显著 (表 3)。T2 根系长度、根表面积高于其它处理; T3 次之; T1、T4 和 T5 最小。养分过低的情况下 (对照 T1), 植株地上部向下运输的碳水化合物减少, 虽 R/S 较大, 根系发育仍会受到一定的抑制作用。根系平均直径随控释肥料用量出现规律性的变化, 较低养分有利于细根的发育。

表 3 不同处理黄瓜幼苗移栽期根系长度、根表面积、根系直径状况

Table 3 Root length, surface area and diameter of cucumber seedling at transplanting stage

处理 Treatment	总根长 / (cm · plant ⁻¹) Total root length	根总表面积 / (cm ² · plant ⁻¹) Total root surface area	平均根直径 / (mm · plant ⁻¹) Average root diameter
T1	930 c	69 c	0.24 b
T2	3 050 a	235 a	0.24 b
T3	2 329 b	176 b	0.24 b
T4	889 c	76 c	0.27 a
T5	749 c	59 c	0.25 b

2.3 黄瓜幼苗养分吸收状况

表 4 数据表明, 植株地上部氮素含量随控释肥料用量的增加而增高, T4、T5 之间差异不显著; 磷含量各控释肥料处理之间差异不显著, 但均高于对照 T1; 钾含量以 T3 和 T2 最高。不同处理植株地上部氮、磷、钾的吸收量变化趋势基本一致, 随控释肥料施用量的增加至 T3 达最高点, 之后逐渐降低。在植株健壮生长的情况下, T2、T3 可为植株提供充足的氮素供应, 同时也可满足植株对磷、钾的需求。

表 4 不同处理植株地上部的养分含量和养分吸收量

Table 4 Nutrients content and uptake of cucumber seedling shoot at transplanting stage

处理 Treatment	氮		磷		钾	
	N/%	N/(mg · plant ⁻¹)	P/%	P/(mg · plant ⁻¹)	K/%	K/(mg · plant ⁻¹)
T1	2.17 d	5.6 c	0.11 b	0.3 b	2.28 d	5.9 d
T2	4.70 c	38.2 b	0.66 a	5.4 a	4.42 a	35.8 b
T3	5.51 b	52.6 a	0.65 a	6.2 a	4.69 a	44.8 a
T4	6.31 a	47.0 ab	0.69 a	5.1 a	3.89 b	28.9 bc
T5	6.87 a	46.7 ab	0.66 a	4.5 a	3.32 c	22.6 c

2.4 黄瓜幼苗移栽期栽培基质的无机氮

各处理栽培基质在不同时期的无机态氮含量见表 5。播种后 16 d 和 23 d, 栽培基质 NH_4^+ -N 含量均随控释肥料用量的增加而增加 (播种后 23 d, T1 和 T2 除外)。播种后 16 d, 栽培基质 NO_3^- -N 含量各控释肥料处理之间无显著性差异, 但与对照差异显著。播种后 23 d 的基质 NO_3^- -N 含量随控释肥料的增加而增加, 至 T3 达最高点, 之后呈下降趋势, 此时对应的 NH_4^+ -N 含量显著高于 T1 和 T2, 表明高浓度的 NH_4^+ -N 可能对硝化过程产生抑制作用。

本试验控释肥料用量范围内, 栽培基质无机氮总量 (Nm in) 与施肥量之间的关系以一元二次方程拟合具有较好的相关性, 播种后 16 d、23 d 的拟合方程分别为 $y = -2.4112x^2 + 74.696x - 0.1197$

($R^2 = 0.9975$)、 $y = -5.6716x^2 + 154.29x - 39.543$ ($R^2 = 0.9507$), 表明基质 N_{min} 值随施肥量变化为递减性增加, 原因可能为高施肥量情况下, 植株生长差, 蒸腾作用较小, 从基质中吸收水分少, 而导致基质含水量高, 相同灌水制度下, 必然造成高施肥量处理的养分淋失严重。综合植株生长情况, 基质适宜无机氮含量播后 16 d (2叶 1心) 为 $214 \sim 414 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 播种后 23 d (4叶 1心) 在 $292 \sim 884 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 范围内。

表 5 不同处理栽培基质无机氮的含量

Table 5 N_{min} of substrate in different treatments

处理 Treatment	播种后 16 d 16 days after transplanting				播种后 23 d 23 days after transplanting			
	$NH_4^+ - N /$	$NO_3^- - N /$	$N_{min} /$	$NH_4^+ - N /$	$NH_4^+ - N /$	$NO_3^- - N /$	$N_{min} /$	$NH_4^+ - N /$
	($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$NO_3^- - N$	($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$NO_3^- - N$
T1	2.1 e	1.8 b	3.9 d	1.17	2.1 d	1.0 c	3.1 c	2.10
T2	172.8 d	40.9 a	213.7 c	4.22	98.2 d	193.9 b	292.1 b	0.51
T3	377.7 c	36.6 a	414.3 b	10.32	475.4 c	408.8 a	884.2 a	1.16
T4	464.2 b	39.9 a	504.1 a	11.63	715.7 b	182.1 b	897.8 a	3.93
T5	540.9 a	31.1 a	572.0 a	17.39	881.5 a	130.2 b	1 011.7 a	6.77

栽培基质中的养分可随幼苗移栽携带进入大田, 供给植株生长发育的需要。本试验条件下, 黄瓜幼苗移栽可携带的氮素状况见表 6。移栽携带的氮素总量包括基质中的无机态氮素和控释肥料中未释放的氮素两部分。氮素携带总量随控释肥料施用量的增加而增加, 在植株幼苗健壮生长的前提下, T3 单株幼苗可携带的氮素总量为 85.9 mg , 其中控释氮素占 36.6%。

表 6 不同处理黄瓜幼苗移栽期栽培基质氮素携带状况

Table 6 N quantities schlepped with substrate at transplanting stage in different treatments

处理 Treatment	无机氮 / ($\text{mg} \cdot \text{plant}^{-1}$) Mineral N	控释氮素残留量 / ($\text{mg} \cdot \text{plant}^{-1}$) Controlled release N residual	携带氮素总量 / ($\text{mg} \cdot \text{plant}^{-1}$) Total N schlepped	控释氮素比例 / % Controlled N proportion
T1	0.2	0	0.2	0
T2	18.0	17.2	35.2	48.9
T3	54.5	31.4	85.9	36.6
T4	55.3	56.8	112.1	50.1
T5	62.3	64.5	126.8	50.7

3 讨论

栽培介质中的养分含量直接影响植物对养分的吸收及其生长发育过程。就某种养分而言, 植株发挥其最大的生长潜力, 生长环境中必有适宜的含量范围与其对应。本试验中, 控释肥料不同用量显著影响着黄瓜幼苗地上部和根系的生长与形态, 从植株地上部、地下部的生长情况综合考虑, $3.42 \sim 6.84 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 的控释肥料用量有利于形成健壮幼苗, 此时对应的移栽期基质无机氮含量为 $292 \sim 884 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 换算成容积单位分别为 $82 \sim 248 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 与 Kotsiras 等 (2002) 的黄瓜水培试验得出氮素供应临界值为 $150 \sim 300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 结论基本一致, 只是临界下限略低 (郭瑞英, 2007)。以控释肥料为肥源进行黄瓜育苗期间的养分调控, 移栽时可携带部分养分进入大田, 这可能有利于黄瓜植株大田生育阶段的生长发育, 但移栽所携带养分的大田根际调控效果需进一步的试验研究。

Epstein (1972) 认为 NH_4^+ 与 K^+ 的吸收机理类似, 两者有相同的吸收载体, 因而常表现出一定的竞争作用。本试验黄瓜幼苗地上部养分含量测定结果中, 随控释肥料用量的增加, 氮的含量逐渐增大, 而 K^+ 的含量出现先升后降的趋势; 控释肥料用量在 $6.84 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时, 植株地上部 K^+ 含量达到最高, 之后降低, 可能与栽培基质中无机氮的存在形态以 NH_4^+ 为主有关; 控释肥料用量大于 6.84

$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 占无机氮总量的 54%以上, 出现 NH_4^+ 与 K^+ 的竞争作用; 控释肥料用量为 $6.84 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时, 栽培基质中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 含量为 $475 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 换算成容积单位为 $133 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ($9.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NH}_4^+$), 即 NH_4^+ 浓度为 $9.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上时, 可能与 K^+ 出现强烈的竞争作用, 抑制植株对 K^+ 的吸收。该结论还需要进一步进行验证。

控释肥料用量在 $3.42 \sim 6.84 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 范围内, 育苗期内释放的养分可为黄瓜幼苗提供充足的氮素供应, 并可以满足其磷、钾需求, 植株地上部和根系干物质的累积量、根长及根系表面积较大, 黄瓜幼苗生长健壮。与此对应的移栽期基质适宜无机氮含量在 $292 \sim 884 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间。根冠比随控释肥料用量的增加而减小。

References

- Chen Jian-sheng, Tang Shuan-hu, Xu Pei-zhi, Zhang Fa-bao, Xie Chun-sheng 2004. Study on the nitrogen release dynamics of controlled-release fertilizer and its effects on quality and yield of leafy vegetables. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 3: 135 - 137. (in Chinese)
- 陈建生, 唐控虎, 徐培智, 张发宝, 谢春生. 2004. 控释肥料氮素释放规律及其对叶菜类蔬菜生长的影响. *中国农学通报*, 3: 135 - 137.
- Epstein E. 1972. *Mineral nutrition of plants Principles and perspectives*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Fei Su-e. 2006. Studies on the standard of N, P, K nutrients in nursery medium of tomato and sweet pepper plug seedlings [M. D. Dissertation]. Tai'an: Shandong Agricultural University. (in Chinese)
- 费素娥. 2006. 番茄、辣椒穴盘育苗基质氮磷钾养分控制标准的研究 [硕士论文]. 泰安: 山东农业大学.
- Guo Rui-ying. 2007. Studies on nitrogen control in rootzone and summer catch crop planting for reducing N loss in greenhouse cucumber cropping system [Ph. D. Dissertation]. Beijing: China Agricultural University. (in Chinese)
- 郭瑞英. 2007. 设施黄瓜根层氮素调控及夏季种植填闲作物阻控氮素损失的研究 [博士论文]. 北京: 中国农业大学.
- Kotsiras A, Olympos CM, Drosopoulos J, Passam H C. 2002. Effects of nitrogen form and concentration on the distribution of ions within cucumber fruit. *Scientia Horticulturae*, 95: 175 - 183.
- Liu Ji-gang, Fei Su-e, Liu Dong-mei, Han Kai-hong, Liu Hai. 2007. Effects of different ratio and amount of nitrogen and phosphorus in nursery substrate on growth and nutrition of tomato plug seedlings. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 1: 84 - 86. (in Chinese)
- 刘志刚, 费素娥, 刘冬梅, 韩开红, 刘海. 2007. 育苗基质中氮磷比及其含量对番茄穴盘苗生长及营养状况的影响. *西南农业学报*, 1: 84 - 86.
- Mikkelsen R L. 1994. Nitrogen leaching and plant uptake from controlled release fertilizer. *Fert Res*, 37: 4350.
- Nanjing Agricultural University. 2nd ed. 1988. *Soil and agricultural chemistry analysis*. Beijing: Agricultural Press: 213 - 218. (in Chinese)
- 南京农业大学. 1988. 土壤农化分析. 第2版. 北京: 农业出版社: 213 - 218.
- Peng Fu-tian, Peng Yong, Zhou Peng, Zhang Shou-shi. 2006. Effect of fertilizer being bag-controlled release on nitrogen utilization rate, growth and fruiting of Zhanhua Winter Date (*Zizyphus jujuba* Mill var *inermis* Rehd.). *Acta Horticulturae Sinica*, 33 (2): 223 - 228. (in Chinese)
- 彭福田, 彭勇, 周鹏, 张守仕. 2006. 肥料袋控缓释对沾化冬枣氮素利用率与生长结果的影响. *园艺学报*, 33 (2): 223 - 228.
- Sadao S. 2005. Innovation use of controlled availability fertilizers with high performance for intensive agriculture and environmental conservation. *Science in China Ser C Life Science*, 48 (Special issue): 912 - 920.
- Shao Lei, Zhang Min, Chen Xue-sen, Wang Li-xia. 2007. Effects of controlled release nitrogen fertilizer on yield and nitrogen content of soil and apple tree. *Acta Horticulturae Sinica*, 34 (1): 43 - 46.
- 邵蕾, 张民, 陈学森, 王丽霞. 2007. 控释氮肥对土壤和苹果树氮含量及苹果产量的影响. *园艺学报*, 34 (1): 43 - 46.
- Shi Kai, Hu Wen-hai, Dong De-kun, Ogwenio J O, Song Xing-shun, Xia Xiao-jian, Zhou Yan-hong, Yu Jing-quan. 2006. Effects of root restriction on plant growth, root respiration, activities of $\text{H}^+ \text{-ATPase}$ and $\text{H}^+ \text{-PPase}$ in tomato seedlings. *Acta Horticulturae Sinica*, 33 (4): 853 - 855. (in Chinese)
- 师恺, 胡文海, 董德坤, Ogwenio J O, 宋兴舜, 夏晓剑, 周艳虹, 喻景权. 2006. 根系限制对番茄幼苗生长、根系呼吸、ATPase和PPase活性的影响. *园艺学报*, 33 (4): 853 - 855.
- Yang Xiang-dong, Cao Yi-ping, Jiang Rong-feng, Zhang Fu-suo. 2005. Evaluation of nutrients release feature of coated controlled release fertilizer. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 11 (4): 501 - 507. (in Chinese)
- 杨相东, 曹一平, 江荣凤, 张福锁. 2005. 几种包膜控释肥氮素释放特性的评价. *植物营养与肥料学报*, 11 (4): 501 - 507.