

# 控释肥料与保水剂的施用对黄瓜幼苗生长及氮素淋洗的影响

司东霞<sup>1,2</sup>, 陈新平<sup>2</sup>, 陈清<sup>2</sup>, 张福锁<sup>2</sup>

(1. 聊城大学 农学院, 山东 聊城 252000; 2. 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100094)

**摘要:**以“中农 12 号”黄瓜为试材,通过盆栽试验,研究了控释肥料(CRF)与保水剂(WRA)的施用对黄瓜幼苗生长及育苗期内水、氮运移状况的影响。结果表明:与传统育苗方式相比,CRF 和 WRA 的施用可略改变植株株型,最新展开叶片的 SPAD 显著提高;CRF1(3.2 kg/m<sup>3</sup>)+CRF2(7.5 kg/m<sup>3</sup>)与 WRA1(聚丙烯酸和丙烯酰胺交联共聚物)或 WRA2(丙烯酰胺和丙烯酸钾的交联共聚物)混和施用,可显著提高植株最新展开叶片的叶面积;CRF 和 WRA 的施用可不同程度的降低无机氮素养分淋失,灌溉节水 1.1%~11.7%,减少水分渗漏量 1.1%~46.8%。综合分析植株生长状况、氮素淋失量及节水灌溉情况,CRF1+CRF2 与 WRA1 或 WRA2 混和施用均可实现幼苗健壮生长、育苗期的节水灌溉及带肥移栽的目的,为移栽后大田生育前期的氮素根际调控及水分调控提供依据。

**关键词:**控释肥料;保水剂;节水灌溉;氮素淋洗

**中图分类号:**S 642.206<sup>+</sup>.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)03-0176-05

肥料施用量大、施肥时期分配不合理及频繁的大水漫灌是目前蔬菜生产中存在的三大突出问题。以设施蔬菜栽培为例,每生长季氮素施用量为 1 000~2 300 kg/hm<sup>2</sup>,个别农户施氮量近 3 000 kg/hm<sup>2</sup>,超过植株需求量的几倍;频繁的灌水加剧了氮素淋失过程,致使蔬菜生产中氮素的利用率不足 10%<sup>[1-8]</sup>。蔬菜生育前期(移栽至首次追肥前)氮肥的分配比例偏高,占全生育期氮素总用量的 30%~50%,由于作物生育前期,根系发育弱,吸氮能力差,加之 20%~45%的生育前期灌溉水量,使生育前期的氮素损失占全生育期氮素损失总量的近 50%<sup>[9-11]</sup>。如何降低生育前期的氮素淋失是限制进一步提高氮素养分利用率的瓶颈。

现以“中农 12 号”黄瓜为试材,以传统育苗方式为对照,利用包膜控释复混肥料及保水剂进行黄瓜育苗期间的水、肥综合调控,研究其不同混配情况对黄瓜幼苗生长的影响及育苗期间的水、氮运移状况,以期为移栽后作物生育前期的养分和水分合理调控提

供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试黄瓜品种为“中农 12 号”。试验用常规肥料为高塔造粒脲基复混肥(Conventional Compound Fertilizer, CCF;N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O:21-11-13);控释肥料为聚酯包膜控释复混肥(Controlled Release Fertilizer, CRF),包括 CRF1(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O:19-10-11)和 CRF2(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O:13-15-14)2 种类型。采用水浸提法,25℃恒温培养,测定 CRF1 释放期为 57 d,初期溶出率 0.98%,微分溶出率 1.38%;CRF2 释放期为 100 d,初期溶出率 0.34%,微分溶出率 0.80%,测试方法参考杨相东等<sup>[12]</sup>的方法。

试验用保水剂(Water Retaining Agent, WRA)为聚丙烯高分子吸水材料,其中,WRA1 为聚丙烯酸和丙烯酰胺交联共聚物,由中国农业大学新型肥料研究室提供;WRA2(3005KM)为丙烯酰胺和丙烯酸钾的交联共聚物,由爱森(中国)絮凝剂有限公司-专业化学品部提供。育苗基质采用草炭:蛭石(V:V=1:1),基质浸水容重 0.28 g/cm<sup>3</sup>,比重 1.89 g/cm<sup>3</sup>,总孔隙度 85.2%,最大持水量 258%,电导率 0.427 mS/cm,pH 5.89。

### 1.2 试验方法

试验于 2007 年 7~8 月在中国农业大学资源与环境学院温室进行。试验采用 2 种包膜控释肥料 CRF1 和 CRF2 不同混配方式,设定 CRF1(6.3 kg/m<sup>3</sup>)和 CRF1

**第一作者简介:**司东霞(1969-),女,山东东阿人,博士,副教授,现主要从事植物营养研究工作。E-mail:sidongxia@126.com.

**责任作者:**陈新平(1968-),男,安徽宣城人,博士,教授,现主要从事养分资源综合管理等研究工作。E-mail:chenxp@cau.edu.cn.

**基金项目:**山东省自然科学基金资助项目(ZR2011CM007);国家“973”计划资助项目(2009CB118606)。

**收稿日期:**2012-10-24

(3.2 kg/m<sup>3</sup>)+CRF2(7.5 kg/m<sup>3</sup>)2种施肥处理,分别与 WRA1 和 WRA2(用量均 2.0 kg/m<sup>3</sup>)2种保水剂混合,以传统育苗为对照(CCF 用量 3.2 kg/m<sup>3</sup>),共设 5 个处理。其中,T1:对照(CCF);T2:CRF1,WRA1;T3:CRF1,WRA2;T4:CRF1+CRF2,WRA1;T5:CRF1+CRF2,WRA2。每处理 4 次重复。

试验采用生产中常用的直径 9 cm、高 9 cm 普通塑料育苗钵育苗,每钵装栽培基质 220 mL,装盆前基质与肥料或保水剂混匀。55℃ 烫种催芽,双粒播种,单株留苗。7 月 29 日播种,8 月 17 日移栽期(4 叶 1 心)收获,全苗期生育期 19 d。育苗期内采用称重法,以对照最大持水量的 120% 为灌水临界上限,65% 为灌水临界下限进行水分管理。每次灌水前,在育苗钵下,放大小相当的烧杯收集淋洗液。

### 1.3 项目测定

幼苗生长期间,于 8 月 10 日(播种后 11 d,2 叶 1 心)、8 月 14 日(播种后 15 d,3 叶 1 心)、8 月 16 日(播种后 17 d,4 叶 1 心)观察植株生长状况,采用便携式叶绿素仪测定植株最新展开叶片的 SPAD 读数;8 月 17 日(播种后 18 d)测定移栽期植株株高、茎粗、最新展开叶片叶面积;采集植株地上部,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 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 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<sup>[13]</sup>。分别挑出基质中的控释肥料颗粒,洗净,研磨,溶于少量水中,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,0.01 mol/L CaCl<sub>2</sub> 溶液浸提,用三通道流动分析仪(TRAACS-2000)测定 N<sub>min</sub>。育苗期内,每次灌水后 2 h 收集淋洗液,量取体积,测定淋洗液 N<sub>min</sub>,计算育苗期间的灌溉水量、水分渗漏量及氮素淋失量。

### 1.4 数据分析

试验数据均采用 Excel 进行处理,用 SPSS 11.5 统计软件进行方差分析和多重比较。

节水率(%)=(对照灌溉量-各处理灌溉量)/对照灌溉量×100%。淋洗减少(%)=(对照淋洗量-各处理淋洗量)/对照淋洗量×100%。水分利用效率(kg/m<sup>3</sup>)=地上部干物质质量/灌溉水量。氮淋失(%)=总无机氮淋失量/氮素施用量×100%。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对黄瓜幼苗地上部生长状况的影响

由表 1 可知,T2~T5 各处理植株株高、干物质积累量与对照 T1 差异不显著;T2 植株茎粗低于对照,T3~T5 植株茎粗与对照 T1 无显著性差异;T4、T5 植株最新展开叶片的叶面积显著高于对照、T2 和 T3,T2 和 T3 之

间,植株最新展开叶片的叶面积差异不显著。由此可见,与传统育苗相比,控释肥料(CRF)和保水剂(WRA)的施用可略改变植株株型,其中,CRF1+CRF2 与 WRA1 或 WRA2 混和施用,均可显著提高植株最新展开叶的叶面积。

表 1 不同处理对黄瓜幼苗移栽期植株生长及干物质积累的影响

Table 1 Effect of different treatments on growth and dry matter accumulation of cucumber seedlings at transplanting time

处理 Treatments	株高 Plant height /cm	茎粗 Stem diameter /cm	最新展开叶面积 Area of the last extended leaf /cm <sup>2</sup>	地上部干物质积累量 Weight of shoot dry matter /g·株 <sup>-1</sup>
T1(CK)	22.5 a	0.675 a	118.7 c	0.98 a
T2	22.7 a	0.604 b	125.1 bc	1.07 a
T3	23.0 a	0.621 ab	120.3 c	1.12 a
T4	25.0 a	0.633 ab	167.3 ab	1.07 a
T5	25.7 a	0.626 ab	184.9 a	1.29 a

注:同列中不同字母表示差异达 5% 显著水平。下同。

Note: Different letters in the same column mean significant at 5% level. The same below.

### 2.2 不同处理对黄瓜苗期最新展开叶片 SPAD 值的影响

控释肥料(CRF)的养分释放与包膜特性、环境温度及水分状况有关。该试验条件下,CRF 养分的释放数量和强度主要决定于其包膜特性及保水剂的保水效果。SPAD 值是表征植株氮素供应状况的指标之一。由表 2 可知,播种后 11 d,T2、T3、T5 3 个处理之间植株最新展开叶片的 SPAD 值差异不显著,但均显著高于对照,T4 与对照差异不显著;播种后 15 d,T2~T5 SPAD 值均显著高于对照,T2、T3 高于 T4、T5,差异显著;播种后 17 d,T2~T5 植株叶片的 SPAD 值各处理之间差异不显著,但均显著高于对照。观察育苗期内植株生长状况,播种后 13 d 左右,T2、T3 处理黄瓜幼苗的第 1 片真叶叶缘尖端出现干枯现象,之后叶片生长正常,表明 CRF1 用量在 6.3 kg/m<sup>3</sup> 时,播种后 13 d 天左右氮素释放量偏高。CRF1、CRF2 分别以 3.2、7.5 kg/m<sup>3</sup> 的用量混和施用,更能为黄瓜幼苗提供较稳定的基质氮浓度。同样施肥处理的 T2 与 T3、T4 与 T5 植株叶片的 SPAD 也有所不同,这与保水剂的保水特性有关,但由保水剂类型影响氮素养分的释放,继而引起的 SPAD 值的改变未达显著水平。

表 2 不同处理对黄瓜育苗期内植株最新展开叶片 SPAD 的影响

Table 2 Effect of different treatments on SPAD value of the last extended leaf of cucumber seedlings

处理 Treatments	播种后天数 Days after sowing/d	11	15	17
T1(CK)		37.7 c	43.3 d	43.4 b
T2		41.7 ab	50.4 ab	49.3 a
T3		43.3 a	51.3 a	49.1 a
T4		39.3 bc	46.6 c	47.2 a
T5		41.6 ab	47.6 bc	48.8 a

## 2.3 不同处理对黄瓜幼苗地上部养分吸收的影响

由表 3 可知,植株地上部氮素浓度 T2、T3 处理显著高于对照和 T4、T5,对照和 T4、T5 3 个处理之间差异不显著;T4、T5 植株磷、钾浓度显著高于其它处理,T2、T3 处理植株钾浓度显著高于对照,但磷浓度差异不显著。植株地上部氮素吸收量各处理之间差异不显著;磷素的吸收量 T4、T5 显著高于其它处理;钾的吸收量 T5 高于对照和 T2、T3,与 T4 之间无显著性差异。综合分析黄瓜幼苗地上部养分吸收状况,T2~T5 各处理植株地上部养分浓度及养分吸收量均高于对照或与对照无显著性差异,表明控释肥料(CRF)的 2 种施用方式在育苗期内氮、磷、钾的释放量均可满足植株需求。

表 3 不同处理对黄瓜幼苗移栽期植株地上部养分含量及养分吸收量的影响

Table 3 Effect of different treatments on content and absorbing capacity of nutrients of cucumber seedlings at transplanting time

处理 Treatments	养分浓度			养分吸收量		
	Nutrients concentration/%			Nutrients content/mg·株 <sup>-1</sup>		
	N	P	K	N	P	K
T1	4.26 b	0.69 b	3.21 c	41.7 a	6.6 b	31.6 c
T2	4.93 a	0.74 b	3.85 b	52.5 a	7.8 b	40.9 bc
T3	5.12 a	0.71 b	3.90 b	57.0 a	7.9 b	43.2 b
T4	4.44 b	0.99 a	4.46 a	47.7 a	10.6 a	47.9 ab
T5	4.29 b	0.90 a	4.43 a	55.8 a	11.4 a	56.6 a

## 2.4 不同处理对灌溉水渗漏及氮素淋失状况的影响

由表 4 可知,在育苗基质相对持水量保持一致的情况下,保水剂的施用可不同程度的减少灌溉水量,同时降低水分的渗漏量,提高水分利用效率。与对照相比,施用保水剂可节约灌溉用水 1.1%~11.7%,其中以 T3 灌水量最低,节水 11.7%,其次为 T4,节水 6.8%;保水剂的施用亦明显影响水分渗漏量,其中,T3、T4 水分渗漏量分别减少 42.6%、46.8%,显著低于对照,T2、T5 水分渗漏量分别比对照减少 1.1%、29.3%,其渗漏量与对照差异未达显著水平;T5 水分利用效率最高,与 T2、T3、T4 间差异不显著,但显著高于对照。在施用相同保水剂的 T2 与 T4、T3 与 T5 处理中,其灌溉、渗漏等水分特征有所不同,这可能与控释肥料(CRF)的包膜类型、基质养分浓度、植株的生长状况有关。

表 4 不同处理对黄瓜育苗期内灌溉及水分渗漏状况的影响

Table 4 Effect of different treatments on irrigation and water percolation of cucumber during seedling nursery stage

处理 Treatments	灌溉量	水分渗漏量	节水率	渗漏减少	水分利用效率
	Irrigation /mL·株 <sup>-1</sup>	Seepage volume /mL·株 <sup>-1</sup>	Water saved/%	Seepage reduced/%	Water use efficiency /kg·m <sup>-3</sup>
T1	758.8 a	141.9 a	0.0	0.0	1.29 b
T2	741.2 ab	140.4 a	2.3	1.1	1.44 ab
T3	669.8 c	81.5 b	11.7	42.6	1.66 ab
T4	707.4 bc	75.5 b	6.8	46.8	1.52 ab
T5	750.1 ab	100.3 ab	1.1	29.3	1.71 a

## 2.5 不同处理对黄瓜育苗期内氮素淋洗状况的影响

氮素是植物生长介质中移动性较大的元素,尤以 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 最为明显。该试验中氮素的淋失受肥料中氮素形态、包膜肥料的养分释放特性、保水剂的保水能力、基质通透性等因素的影响。由表 5 可知,T2、T3 处理 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的淋失量高于其它 3 个处理,但 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的淋失量 T2 与 T3 未产生统计学差异;对照和 T4 处理的总无机氮淋失量低于 T2 处理,与 T3、T5 差异不显著;各处理氮素的淋失形态以 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 为主,这与该试验中施用的肥料为包膜或非包膜的脲基复合肥有关。

表 5 黄瓜育苗期内氮素淋洗状况

Table 5 N leaching in seedling stage of cucumber

处理 Treatments	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N 淋洗量	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 淋洗量	总无机氮淋洗量	N 淋失	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N leaching /mg·株 <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N leaching /mg·株 <sup>-1</sup>	Total N <sub>min</sub> leaching /mg·株 <sup>-1</sup>	N Leaching /%	N Leaching /NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N
T1	1.4 b	9.9 b	11.4 b	7.9	7.3
T2	3.0 a	16.6 a	19.5 a	7.4	5.7
T3	3.7 a	11.0 ab	14.7 ab	5.6	3.0
T4	1.2 b	9.3 b	10.5 b	3.0	10.2
T5	1.3 b	13.5 b	14.9 ab	4.2	12.0

育苗期内无机氮素的淋洗动态见图 1。各处理播种后 13 d 内,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 淋失量变化不大,之后均有所升高,尤以 T2、T3 升高幅度较大,分析原因主要与控释肥料 CRF1 的释放时间短有关。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的淋失状况则较为复杂,播种后 5 d 内,对照 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 淋洗量较大,播种后 10 d 淋洗量升至最高点,之后呈降低趋势,至移栽前,氮素淋失量降至最低点;T2、T4、T5 处理的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 淋失量逐渐增加,至播种后 15 d 达最大值,之后降低,但仍高于对照;播种后 10 d,T3 处理 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 淋失量达最高点;播种后 10~15 d,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的淋失量处于平台期,之后降低。综合育苗期内的氮素淋洗特点可知,常规肥料(CCF)的无机氮素淋失主要在播种后 10 d 内,控释肥料(CRF)的无机氮素淋失高峰要比 CCF 推迟 5 d 左右。

## 2.6 不同处理对氮平衡的影响

对照处理施用的常规肥料(CCF)具有较好的溶解性,频繁灌水会引起养分损失,致使移栽前每钵仅 2.0 mg 的氮素残留在基质中(表 6)。控释肥料(CRF)可缓慢释放养分,与对照相比,在增加肥料用量且不产生烧苗现象的情况下,幼苗移栽时,能够将更多的氮素保存在基质中,可随植株移栽携带进入大田并保持在根系附近,供植株生长发育的需要;其中,T4、T5 携带量较大,达 N 207.5、194.7 mg/钵,控释氮素分别占 88.7%和 91.0%;T2 和 T3 携带量相近,为 N 104.9、104.6 mg/钵,控释氮素分别占 71.9%和 61.5%。氮素损失除淋洗损失外,还包括氨挥发、反硝化作用等损失途径;除淋失氮素外,各处理其它途径损失的氮素差异不明显。



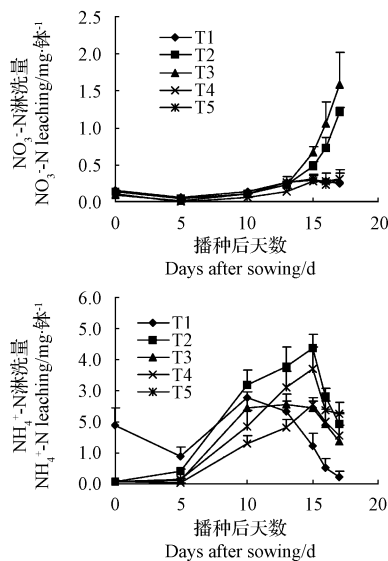


图1 育苗期内无机氮淋洗动态

Fig. 1 Mineral N leaching dynamics during seedling nursery period

表6 黄瓜育苗期间的氮平衡

Table 6 Nitrogen balance during seedling nursery period of cucumber

项目 Items		处理 Treatments				
		T1	T2	T3	T4	T5
氮输入 N input /mg·钵 <sup>-1</sup>	原始基质无机氮 Medium initial N <sub>min</sub>	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
	灌溉水无机氮 N form irrigation	2.3	2.2	2.0	2.1	2.3
	肥料氮 N form fertilizer	143.0	264.0	264.0	352.0	352.0
	氮输入总量 Total N input	147.5	268.4	268.2	356.3	356.5
氮输出 N output /mg·钵 <sup>-1</sup>	基质残留氮 N residue in medium	2.0	29.5	40.3	23.5	17.5
	控释肥料残留氮 Controlled release N	0.0	75.4	64.3	184.0	177.2
	植株氮吸收 N content of plant	41.7	52.5	57.0	47.7	55.8
	氮淋洗 N leaching	11.4	19.5	14.7	10.5	14.9
	氮输出总量 Total N output	55.0	176.9	176.2	265.6	265.3
氮平衡 N balance /mg·钵 <sup>-1</sup>	其它损失 Undetected N	92.5	91.5	92.0	90.7	91.2

注:氮平衡(其它损失)=[氮输入(原始基质无机氮+灌溉水无机氮+肥料氮)]-氮输出(基质残留氮+控释肥料残留氮+植株氮吸收+氮淋洗)。

### 3 结论与讨论

包膜控释肥料是目前世界肥料市场上最具发展潜力的肥料类型之一,其良好的施肥效果已在多种蔬菜及玉米、水稻等大田作物上得到验证<sup>[14-15]</sup>。包膜肥料的养分释放特性除受到肥芯养分的溶解性、包膜材料、包膜厚度等肥料自身因素的影响外,还受到水分、温度等环境因子的制约。保水剂的农业应用可改变土壤的水分特性,在水土保持、土壤改良、节水农业等方面效果显著<sup>[16-20]</sup>;同时,也有研究表明,保水剂应用在黄瓜穴盘育苗基质中,可促进黄瓜幼苗的地上部和根系生长<sup>[21]</sup>。该试验利用包膜控释复混肥料(CRF)及保水剂(WRA)进行黄瓜育苗期间的水、肥综合调控,在保证黄瓜幼苗健壮生长的前提下,实现苗期节水灌溉及带肥移栽。该试验条件下,包膜控释复混肥料及保水剂的混配施用使育

苗期间的水、氮运移特性变得复杂,但由保水剂引起的控释肥料的氮素释放特征的改变未达显著水平。从氮素养分投入量、育苗期间无机氮淋失总量、作物吸收量三方面考虑,与常规育苗方式相比,在植株健壮生长及增加肥料用量的前提下,CRF 可将更多的氮素保存在基质中,通过移栽携带进入大田,尤其 CRF1+CRF2 混和施用 2 个处理的氮素携带量较大。保水剂的施用可不同程度的降低灌水量及水分渗漏量,降低氮素淋失比率,提高水分利用率,其中,CRF1+WRA2、CRF1+CRF2+WRA1 2 个处理节水效果最好,CRF1+CRF2+WRA2 处理的水分利用效率方面最高。综合分析黄瓜幼苗生长状况、苗期节水情况及氮素养分淋失量,CRF1+CRF2 与 WRA1 或 WRA2 配合均可达到该试验节水灌溉及带肥移栽的目的。据高强等<sup>[22]</sup>的研究结果,在大量灌水条件下,施用保水剂会增加 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 淋洗量。育苗期间及田间生产条件下,节水灌溉是减少氮素淋失的重要环节之一。移栽后的田间优化的水分管理模式及生育前期的氮素根际调控下的氮素管理模式还有待于进一步研究。

尿素为氮源的情况下,大部分需要在栽培基质中脲酶的作用下转化成 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N,进一步通过硝化作用转变为 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N,此转化过程受到栽培基质 pH、温度、水分等因素的影响,其中,温度的影响更为明显。巨晓棠等<sup>[23]</sup>在冬小麦-玉米的轮作体系中的研究表明,土温 17℃ 条件下,尿素经 4~7 d 完全水解转化为 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N,14 d 左右可全部转化为 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N,随土温升高,转化速度迅速加快,初夏至秋初,硝化作用 4~5 d 即可完成。该试验栽培基质的昼夜平均温度在 25℃ 左右,从各处理 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 淋洗动态分析,非包膜脲基复混肥的氮素完全水解需要 10 d,包膜控释脲基复混肥育苗期间释放的氮素 15 d 相对完全水解(实际为水解与释放的动态变化过程),而使 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的浓度达到高峰,该试验水解需要的时间长于巨晓棠等<sup>[23]</sup>的研究结果,这可能与复混肥料中氮素的溶解性小于尿素有关。

该试验以相对含水量为指标进行水分管理,育苗期间栽培基质含水量测定方法的选择是进行精确灌溉的关键,该试验采用的称重法是体积较小的育苗钵栽培条件下基质含水量测定最简便快捷的方法,但随黄瓜幼苗生育进程的推进,植株生物量(鲜重)被计入基质质量而使灌水量计量产生一定误差,由生物量造成灌水的误差小于 5%,苗期采用称重法计算含水量是可行的。

### 参考文献

- [1] 李俊良,崔德杰,孟祥霞,等. 山东寿光保护地蔬菜施肥现状与问题的研究[J]. 土壤通报,2002,33(2):126-128.
- [2] 何飞飞. 设施番茄生产体系的氮素优化管理及其环境效应研究[D]. 北京:中国农业大学,2006.
- [3] Chen Q,Zhang X S,Zhang H Y,et al. Evaluation of current fertilizer

- practice and soil fertility in vegetable production in Beijing region[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2004, 69(1): 51-58.
- [4] Zhu J H, Li X L, Christie P, et al. Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilizer hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping systems[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, 111: 70-80.
- [5] Di H J, Cameron K C. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2002, 46: 237-256.
- [6] Ramos C, Agut A, Lidon A. Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain)[J]. Environmental Pollution, 2002, 118: 215-223.
- [7] Townsend M A, Sleizer R O, Macko S A. Effects of agricultural practices and vadose zone stratigraphy on nitrate concentration in ground water in Kansas, USA[J]. Water Science Technology, 1996, 33: 219-226.
- [8] Thorburn P J, Biggs J S, Weier K L, et al. Nitrate in groundwater of intensive agricultural areas in coastal Northeastern Australia[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2003, 94: 49-58.
- [9] 彭丽华. 氮素实时监控技术在设施栽培黄瓜氮素养分管理中的应用[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [10] He F F, Chen Q, Jiang R F, et al. Yield and nitrogen balance of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) with conventional and site-specific nitrogen management in Northern China[J]. Nutrient Cycle of Agroecosystem, 2007, 77: 1-14.
- [11] Vázquez N, Pardo A, Suso M L, et al. A methodology for measuring drainage and nitrate leaching in unevenly irrigated vegetable crops[J]. Plant and Soil, 2005, 269: 297-308.
- [12] 杨相东, 曹一平, 江荣风, 等. 几种包膜控释肥氮素释放特性的评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 501-507.
- [13] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 2 版. 北京: 农业出版社, 1988: 213-218.
- [14] 陈建生, 唐拴虎, 徐培智, 等. 控释肥料氮素释放规律及其对叶菜类蔬菜生长的影响[J]. 中国农学通报, 2004(3): 135-137.
- [15] Shoji S. Innovation use of controlled availability fertilizers with high performance for intensive agriculture and environmental conservation[J]. Science in China Ser C Life Science, 2005, 48: 912-920.
- [16] 庄文化, 冯浩, 吴普特. 高分子保水剂农业应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2007(6): 265-270.
- [17] 何绪生, 廖宗文, 黄培钊, 等. 一种新型保水缓释氮肥有关特征及性能[J]. 中国农业科学, 2006, 39(10): 2048-2055.
- [18] Sojka R E, James A E, Jeffry J F. The influence of high application rates of polyacrylamide on microbial metabolic potential in an agricultural soil[J]. Applied Soil Ecology, 2006, 32: 243-252.
- [19] Melissa E H, Michael D M, Phillip M. Polyacrylamide added as a nitrogen source stimulates methanogenesis in consortia from various wastewaters[J]. Water Research, 2005, 39: 333-334.
- [20] Paul W, Tim K. Solids, organic load and nutrient concentration reductions in swine waste slurry using a polyacrylamide (PAM)-aided solids flocculation treatment[J]. Bioresource Technology, 2003, 90: 151-158.
- [21] 王爱斌, 高洪波, 宫彬彬. 丙烯酸胺-丙烯酸盐共聚交联物对黄瓜穴盘育苗的影响[J]. 北方园艺, 2011(17): 32-36.
- [22] 高强, 巨晓棠, 张福锁. 几种新型氮肥对叶菜硝酸盐累积和土壤硝态氮淋洗的影响[J]. 水土保持学报, 2007(1): 9-13.
- [23] 巨晓棠, 刘学军, 张福锁. 冬小麦/夏玉米轮作中  $\text{NO}_3^-$ -N 在土壤剖面的累积及移动[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 538-546.

## Effects of Controlled Release Fertilizer and Water Retaining Agent on Plant Growth and N Leaching of Cucumber During Seedling Nursery Period

SI Dong-xia<sup>1,2</sup>, CHEN Xin-ping<sup>2</sup>, CHEN Qing<sup>2</sup>, ZHANG Fu-suo<sup>2</sup>

(1. College of Agriculture Sciences, Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252000; 2. College of Resources and Environment Sciences, China Agricultural University, Beijing 100194)

**Abstract:** Taking 'Zhongnong No. 12' cucumber as materials, a pot experiment was employed to determine the effects of controlled release fertilizer (CRF) and water retaining agent (WRA) on plant growth, water and N movement during seedling nursery stage of cucumber (*Cucumis sativus* L.). The results showed that CRF and WRA application could slightly affect plant growth and increase the SPAD value of the last extended leaf, compared with conventional seedling nursery practice. CRF1+CRF2 blended with WRA1 or WRA2 could significantly increase the area of the last extended leaf. CRF and WRA application could reduce mineral N leaching, decrease irrigation rate by 1.1%~11.7% and decrease water percolation volume by 1.1%~46.8%. Plant growth, N leaching and irrigation rate were taken into consideration, CRF1+CRF2 blended with WRA1 or WRA2 could produce healthy seedling, reduce N leaching and save irrigation water during seedling nursery period, while both controlled release N and water retaining agent remained in seedling medium at transplanting time would be useful for subsequent plant growth and N and irrigation management after transplanting.

**Key words:** controlled release fertilizer; water retaining agent; water saving irrigation; nitrogen leaching