

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2017.07.001

# 专用缓释肥料对黄瓜产量品质及 N,P,K 养分吸收利用的影响<sup>①</sup>

李彦华, 孙立飞, 徐卫红, 王崇力, 熊仕娟, 陈序根,  
陈永勤, 迟荪琳, 谢文文, 王正银, 谢德体

西南大学 资源环境学院, 重庆 400715

**摘要:** 采用土培试验研究了黄瓜专用缓释肥对黄瓜产量品质及 N,P,K 养分吸收利用、土壤酶活性的影响. 结果表明: 2 种专用缓释肥(CSRF1 和 CSRF2)显著提高了黄瓜果实干物质量和总干物质量, CSRF1 和 CSRF2 处理黄瓜果实干物质量较 CCF,MSRF,OCF 处理分别增加了 23.3%~37.2%和 16.5%~31.6%. 2 种专用缓释肥(CSRF2 和 CSRF1)提高了黄瓜果实的维生素 C 质量分数和氨基酸的质量分数, 降低了硝酸盐质量分数. 黄瓜根、茎、叶和果实的 N,P,K 养分质量分数均以 CSRF2 最高. 黄瓜 N,P,K 积累量从大到小依次为 CSRF2、CSRF1、MSRF、CCF、OCF, 专用缓释肥处理的 N,P,K 积累量较 MSRF,CCF 和 OCF 处理分别提高了 27.45%~46.55%, 33.17%~56.20%和 67.61%~102.13%. 与普通复合肥相比, 2 种专用缓释肥处理的 N,P,K 相对养分利用效率分别增加了 18.53%~24.20%, 19.27%~20.02%和 18.54%~35.69%.

**关键词:** 专用缓释肥料; N,P,K 养分吸收; 养分相对利用率; 土壤酶活性; 黄瓜

**中图分类号:** S143

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2017)07-0001-10

蔬菜具有喜高肥水的特性, 在蔬菜生产中过量施肥十分普遍<sup>[1-2]</sup>. 但化肥过量投入以追求蔬菜高产, 其结果往往导致蔬菜增产幅度逐年下降, 肥料利用率降低, 蔬菜风味和品质下降, 甚至严重污染生态环境<sup>[1-3]</sup>. 我国氮、磷和钾肥利用率分别为 30%~35%, 10%~20%和 35%~50%<sup>[4]</sup>, 远远低于发达国家. 缓/控释肥料既提高作物产量和肥料利用率, 又能减少对环境造成的污染, 成为了现代农业肥料科学研究的热点问题. Masatoshi 等<sup>[5]</sup>和 Tian 等<sup>[6]</sup>报道, 控释肥料施用可以使菠菜、莴苣等的硝酸盐和草酸质量分数显著降低, 并能明显增加 Vc 和糖质量分数. 张明中等<sup>[7]</sup>和王菲等<sup>[8-9]</sup>的研究也指出, 施用缓释肥可提高茄子和茎瘤芥的产量和品质, 改善茎瘤芥的生物学性状. 黄云等<sup>[10]</sup>研究表明, 施用脲醛类控释氮肥可使辣椒的氮素利用率提高至 44.4%, 辣椒磷和钾质量分数也有所增加, 明显改善和提高了辣椒的生理性状和品质, 覆膜栽培辣椒增产 12.77%~21.73%. 唐拴虎等<sup>[11]</sup>通过盆栽试验连续 3 年研究不同缓/控释肥料在辣椒上的施用效果发现, 除了聚合物包膜控释肥处理磷利用率降低, 聚合物包膜控释肥、含脲醛的缓释肥、硫酸钾型缓释肥和氯化钾型缓释肥处理氮、磷、钾利用率提高了 31.57%~72.78%, 聚合物包膜控释肥处理辣

① 收稿日期: 2016-12-29

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(Nycytx-25); 国家自然科学基金项目(20477032); 国家科技支撑计划项目(2007BAD87B10).

作者简介: 李彦华(1991-), 男, 山东日照人, 硕士研究生, 主要从事植物营养与环境生态研究.

通信作者: 徐卫红, 教授.

椒产量提高了 8.4%，各处理辣椒品质也有不同程度的增加。殷文鹏等<sup>[12]</sup>的研究表明，在等氮量条件下，有机质包膜尿素可使氮肥利用率提高 10.8%~14.8%，冬小麦增产 12.7%~19.4%。卢艳丽等<sup>[13]</sup>的研究也指出，缓控释肥处理提高了肥料利用率，显著增加了玉米产量。

土壤酶作为土壤生物活性及土壤肥力的重要组成部分，其活性高低可以反映土壤中各种生物化学反应的强度和方向，对土壤肥力的演化具有重要影响<sup>[14]</sup>。土壤酶活性受施肥、耕作等农业措施的影响。有研究指出<sup>[15]</sup>，土壤脲酶活性依赖于有机质存在，当有机质含量增加时，土壤酶积极参与其转化分解过程而使活性提高。李娟等<sup>[16]</sup>通过长期进行有机无机肥料配施发现，化肥长期配施增量猪厩肥可提高土壤微生物量碳、氮质量分数及土壤脲酶和过氧化氢酶活性。贾伟等<sup>[17]</sup>的研究表明，长期单施高量有机肥和有机无机肥合理配施可增加褐土微生物量碳、氮，提高脲酶及碱性磷酸酶活性，而长期单施化肥处理降低了 20~40 cm 土层脲酶和碱性磷酸酶活性，对微生物量碳、氮也没有增加效果。王崇力等<sup>[18]</sup>的研究也发现，添加富含有机质的辣椒专用缓释复混肥可使土壤有机质质量分数及土壤脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性得到有效提高。

黄瓜 *Cucumis sativus* L. 是我国栽培较广的茄果类蔬菜之一，因其营养丰富，风味特殊，在我国居民日常生活中具有非常重要的地位。黄瓜是一种需肥大且又耐肥的蔬菜，生产中因为过量施肥，氮、磷、钾化肥用量偏高，养分投入比例不合理，导致土壤钙、镁、硼等中微量元素供应出现障碍，养分吸收效率下降和蔬菜品质下降的问题常有发生。本研究根据黄瓜需肥规律，研发出含有脲酶抑制剂(nBPT)和硝化抑制剂(DCD)，且富含大、中微量元素及优质有机质的黄瓜专用缓释肥，并采用土培试验研究了专用缓释肥对黄瓜产量和 N,P,K 养分的吸收和利用及土壤酶活性的影响，以期为黄瓜高产高效及优质安全生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

#### 1.1.1 恒温培养试验材料

供试酸性土采自重庆璧山区七塘镇蔬菜基地，供试中性土采自重庆九龙坡区蔬菜基地，供试碱性土采自重庆铜梁区蔬菜基地，不同类型土壤的基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤的理化性质

土壤类型	pH 值	有机质/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )	碱解氮/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	有效磷/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg · kg <sup>-1</sup> )
酸性土	4.64	15.2	0.66	112.3	57	170.3
中性土	6.66	16.54	0.62	102.8	26.18	95.5
碱性土	7.58	16.1	0.57	120.3	32.0	97.2

供试肥料包括黄瓜专用缓释肥 2 种(CSRF1 和 CSRF2)、黄瓜专用肥(CCF)、普通复合肥(OCF)及商品缓释肥(MSRF)。自制黄瓜专用复合肥及自制专用缓释肥均为西南大学研制，主要养分由 N,P,K 及中微量元素组成的无机肥原料和优质有机肥复混而成，N,P,K 养分为 11-8-15。黄瓜专用缓释肥为有机-无机非包膜养分结构型缓释肥料，所添加的脲酶抑制剂或硝化抑制剂包括 nBPT(N-丁基硫代磷酰三胺)、DCD(双氰胺)和 HQ(氢醌)。OCF 为贵州西洋普通复合肥(15-15-15)。MSRF 为青岛住商非包膜缓释复合肥(26-6-8)。

#### 1.1.2 土培试验材料

供试土壤为采自重庆市九龙坡区蔬菜基地的酸性紫色土，其有机质质量分数为 16.54 g/kg，全氮质量分数为 0.62 g/kg，土壤碱解氮、有效磷和速效钾质量分数分别为 102.8、26.18 和 95.5 mg/kg，pH 值为 6.03。供试作物为黄瓜 *Cucumis sativus* L.，品种为‘燕白’，幼苗由重庆市农业科学院蔬菜花卉研究所提

供. 供试肥料与恒温培养试验相同.

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 恒温培养试验方法

试验参考 Standford 等<sup>[19]</sup>建立的好气培养—间歇淋洗法. 共设 5 个处理, 分别为 TSRF1, TSRF2, TCF, OCF 和 MSRF. 每个处理设置 3 个重复, 随机排列. 放入 160 目尼龙滤网于底部有小孔(直径 0.5 cm)的特制玻璃管(直径 3 cm、高 14.5 cm)内封住底口, 并在其上放置 3 cm 厚石英砂, 分别称取过 2 mm 筛风干土 20.00 g, 氮水平均设为 500 mg/kg, 石英砂 20 g, 加少量 0.01 mol/L CaCl<sub>2</sub> 溶液, 混匀, 使其呈松散状并装入培养管, 并在其上覆盖 2 cm 厚的石英砂, 用以防止加水时扰乱土层. 在聚乙烯薄膜上刺有小孔(1 mm), 封闭玻璃管上口, 置于 35 °C 的恒温培养箱中连续培养. 从培养之日开始设定时间 1, 3, 7, 14, 21, 28, 42 d, 用 100 mL 0.01 mol/L CaCl<sub>2</sub> 溶液分 3 次淋洗, 合并淋洗液并测定淋洗液中全氮、无机态氮(硝态氮和铵态氮)质量分数.

### 1.2.2 土培试验方法

土培试验于 2014 年 3 月 1 日—7 月 30 日在西南大学资源环境学院温室进行. 共设 5 个处理, 分别为 CSRf1, CSRf2, CCF, OCF 和 MSRF. N 用量为 180 mg/kg, 用以对比等 N 量的各处理对黄瓜生长及 N, P, K 利用率的影响. TCF, CCF 和 OCF 分 3 次施肥, 即基肥、开花期和盛果期 2 次追肥. 基肥为 N 总量的 50%, 追肥分别按 N 总量的 30%, 20% 进行. TSRF 和 MSRF 作基肥一次性施入. 每盆(17 cm×20 cm)装入过 40 目筛的风干土 5 kg, 与基肥混匀. 移栽黄瓜幼苗 2 株/盆. 培养期间, 采用称质量法调节土壤水分, 保持土壤田间持水量的 60%. 每个处理设置 3 次重复, 随机排列. 从第一次结果开始记产, 120 d 后收获, 在 105 °C 下将植株杀青 15 min, 然后再在 60 °C 下烘干至恒定质量.

## 1.3 测定方法

土壤基本理化性质采用常规分析法测定<sup>[20]</sup>; 土壤碱解氮采用扩散法测定<sup>[20]</sup>; 土壤速效钾采用醋酸铵浸提, 火焰光度计法测定<sup>[20]</sup>; 土壤有效磷采用碳酸氢钠浸提, 分光光度法测定<sup>[20]</sup>; 土壤有机质采用重铬酸钾容量法测定<sup>[20]</sup>. 采用紫外分光光度法测定果实硝酸盐质量分数, 用 2, 6-二氯靛酚滴定法测定维生素 C, 采用 3, 5-二硝基水杨酸显色—分光光度法测定还原糖, 用茚三酮显色—分光光度法测定游离氨基酸质量分数<sup>[21]</sup>. 植株 N 用凯氏定氮法测定, P 用钒钼黄比色法测定, 用火焰光度计法测定<sup>[20]</sup>. 土壤脲酶活性用苯酚钠比色法测定, 以 NH<sub>3</sub>-N mg/g(37 °C, 24 h)表示; 土壤过氧化氢酶用高锰酸钾滴定法测定, 以 0.1 mol/L KMnO<sub>4</sub> mL/g(25 °C, 20 min)表示; 土壤蔗糖酶用 3, 5-二硝基水杨酸法测定<sup>[22]</sup>.

$$NUE = \frac{U_1 - U_2}{FN} \times 100\%$$

式中, NUE 为氮素相对利用效率; U<sub>1</sub> 为专用肥或缓释肥处理植株吸氮量; U<sub>2</sub> 为普通复合肥处理植株吸氮量. 磷、钾相对利用效率计算方法同上式.

## 1.4 数据统计分析

采用 SPSS18.0 和 Excel 2003 等统计软件对数据进行方差分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 专用缓释肥在不同土壤中氮素累积释放量

如图 1 所示, 在恒温培养试验中黄瓜各施肥处理在不同土壤中氮素累积释放量曲线变化趋势基本一致. 在酸性土中各处理测定时间的氮素累积释放量总体从大到小依次为 OCF(290.97~960.14 mg/kg), MSRF(185.19~717.01 mg/kg), CCF(102.94~524.03 mg/kg), CSRf2(110.24~460.95 mg/kg), CSRf1(107.36~449.73 mg/kg), 总培养时间内 CSRf2 较 OCF, MSRF, TCF 处理氮素累积释放量分别降低了 51.99%, 35.71% 和 12.04%, 且 2 种蔬菜专用缓释肥差异不具有统计学意义, 表明专用缓释肥处理氮素缓释能力较其他处理好. 黄瓜各施肥处理在中性土中氮素累积释放量最高的仍是 OCF 处理(352.72~1 069.59 mg/kg), 其次是 MSRF 处理(221.51~784.18 mg/kg), 然后从大到小依次是 CCF(155.87~

678.38 mg/kg), CSR2(134.03~472.36 mg/kg), CSR1 处理(130.51~469.34 mg/kg)。总培养时间内 CSR1 和 CSR2 处理较其他处理氮素累积释放量降幅分别达到 30.81%~56.12%和 30.37%~55.84%。碱性土中氮素累积释放量从大到小为 OCF(545.46~1476.26 mg/kg), MSRF(447.26~975.20 mg/kg), CCF(176.97~674.13 mg/kg), CSR1(168.57~513.66 mg/kg), CSR2(160.15~492.01 mg/kg), 总培养时间内 CSR1 和 CSR2 处理较其他处理氮素累积释放量降幅分别达到 23.80%~65.21%和 27.02%~66.67%。

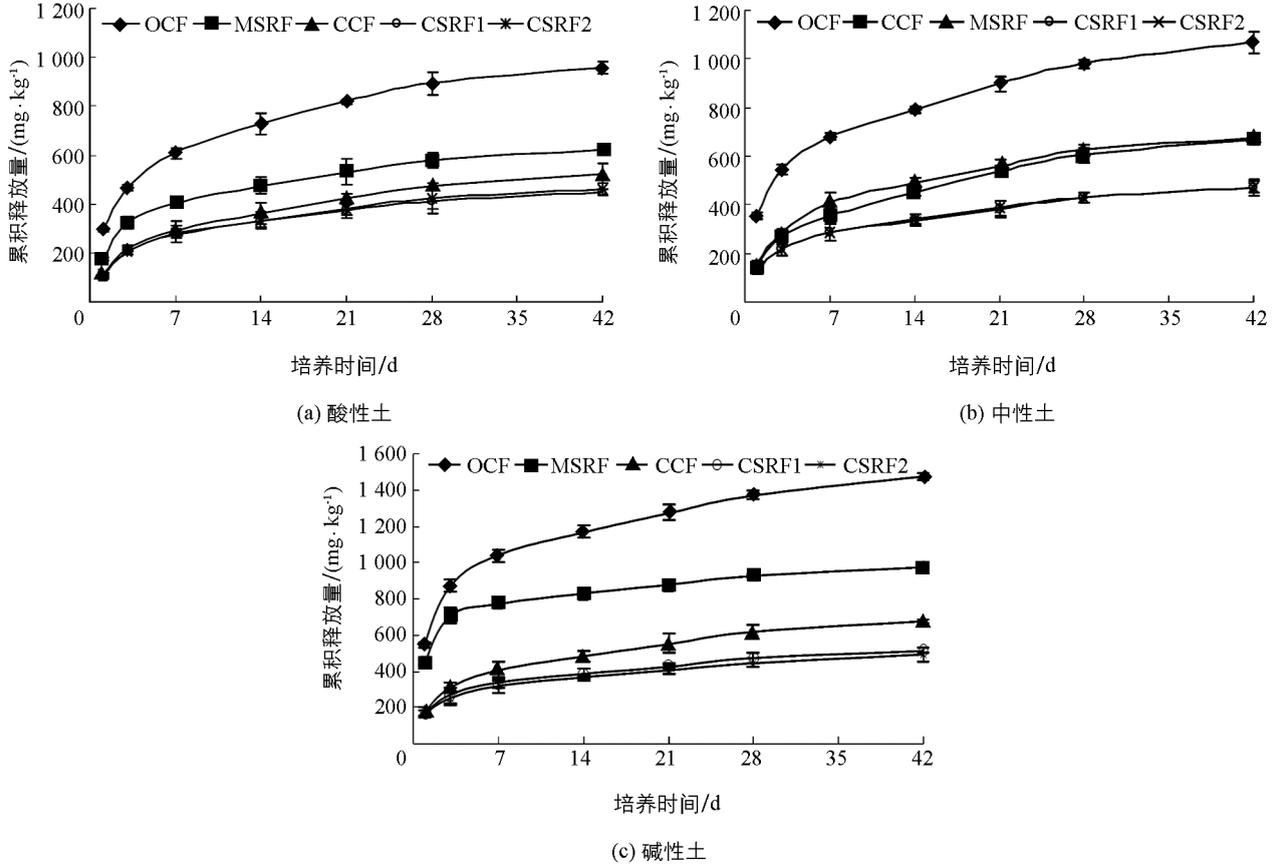


图 1 黄瓜专用缓释肥料对三种土壤中氮素养分累积释放量

## 2.2 专用缓释肥对黄瓜生物量的影响

从表 1 可以看出, 不同施肥处理对黄瓜植株总干物质量及各器官影响不同. 植株各器官干物质量总体表现从大到小依次为果实、叶或茎、根系. 黄瓜总干物质量以 TSRF2 和 CSR2 处理最高, 2 种专用缓释肥(CSRF2 和 CSR1)的总干物质量较 CCF, MSRF 和 OCF 处理分别增加了 22.46%, 25.49%, 50.76%和 18.14%, 20.06%, 45.44%. 黄瓜果实干物质量仍以 TSRF2 和 CSR2 处理产量最高, 分别为 67.55 g/pot 和 62.05 g/pot, 较 CCF, MSRF, OCF 处理分别增加了 23.3%~37.2%和 16.5%~31.6%。

表 1 不同施肥处理对黄瓜干物质量的影响

处理	地上部分/(g·株 <sup>-1</sup> )			根/(g·株 <sup>-1</sup> )	总质量/(g·株 <sup>-1</sup> )
	茎	叶	果实		
OCF	6.09±0.97c	9.82±0.87d	42.45±0.50d	8.36±0.16a	66.72±1.32c
MSRF	7.53±1.09ab	11.51±0.82c	51.84±1.43c	9.28±0.83a	80.16±1.61b
CCF	6.87±0.38ab	13.45±0.49b	50.50±0.86c	11.32±0.82a	82.14±3.25b
CSR1	6.31±0.62bc	12.02±1.27c	67.55±0.90b	11.16±1.42a	97.04±2.82a
CSR2	8.39±1.47a	17.39±1.22a	62.05±0.82a	12.76±0.83b	100.59±4.61a

注: 表 1 中小写字母表示不同处理之间差异具有统计学意义( $p < 0.05$ ), 下同。

### 2.3 专用缓释肥对黄瓜果实品质的影响

由表 2 可知, 黄瓜果实的维生素 C 质量分数以 CSRF2 处理最高, CSRF2 处理维生素 C 质量分数为 28.3 mg/kg, 较其他处理分别增加了 2.0 mg/kg, 7.3 mg/kg, 8.4 mg/kg 和 9.8 mg/kg, 增幅为 7.60%, 34.76%, 42.24% 和 52.97%。不同施肥处理均提高了黄瓜果实内氨基酸的质量分数(表 2)。以 CSRF1 处理果实氨基酸质量分数最高, CSRF1 处理氨基酸质量分数为 1 506.89 mg/kg, 较其他处理分别增长了 79.62, 726.17, 419.99 和 764.34 mg/kg, 增幅为 5.58%, 93.01%, 39.64% 和 100.03%。如表 2 所示, 在不同施肥处理条件下, 黄瓜果实还原糖百分比从大到小依次为 OCF(0.2717%), CSRF2 (0.2464%), CSRF1(0.2249%), MSRF(0.2181%), CCF(0.1627%)。各施肥处理黄瓜果实硝酸盐质量分数以 CSRF1, CSRF2 处理最低, 分别较 OCF, CCF, MSRF 降低了 29.54% 和 43.59%, 13.51% 和 30.76%, 14.48% 和 31.53%(表 2)。

表 2 施肥处理对黄瓜品质的影响

处理	Vc/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	氨基酸/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	还原性糖/ %	硝酸盐/ (mg · kg <sup>-1</sup> )
OCF	18.5 ± 1.6d	742.6 ± 31.1d	0.272 ± 0.010a	267.48 ± 9.19a
CCF	19.9 ± 3.2cd	1 086.9 ± 40.9 c	0.218 ± 0.016c	217.91 ± 4.19b
MSRF	21.0 ± 1.9c	780.7 ± 32.0d	0.163 ± 0.005d	220.38 ± 5.10b
CSRF1	26.3 ± 2.4b	1 506.9 ± 36.5 a	0.225 ± 0.017c	188.47 ± 5.89c
CSRF2	28.3 ± 1.7a	1227.3 ± 40.2b	0.246 ± 0.018b	150.89 ± 4.78c

### 2.4 专用缓释肥对黄瓜 N,P,K 养分的影响

由表 3 可以看出, 黄瓜不同部位 N,P,K 养分质量分数总体表现从大到小依次为果实、叶、茎、根, 根、茎、叶和果实的 N,P,K 养分质量分数均以 CSRF2 最高, 其次是 CSRF1。与 OCF, CCF 和 MSRF 处理比较, 2 种黄瓜专用缓释肥处理的根、茎、叶和果实的 N 质量分数分别增加了 3.45~33.94%, 0.86~30.52%, 8.59~27.68% 和 3.62~27.61%; 2 种黄瓜专用缓释肥处理的根、茎、叶和果实的 P 质量分数分别增加了 2.84~31.72%, 8.52~97.98%, 12.14~45.12% 和 10.34~15.63%; 2 种黄瓜专用缓释肥处理的根、茎、叶和果实的 K 质量分数分别增加了 1.07~26.18%, 0.74~10.40%, 4.49~16.26% 和 6.76~44.10%。

表 3 各施肥处理对黄瓜 N,P,K 养分质量分数的影响

处理	养分质量分数/(g · kg <sup>-1</sup> )											
	N				P				K			
	根	茎	叶	果实	根	茎	叶	果实	根	茎	叶	果实
OCF	3.27 ± 0.03b	3.67 ± 0.07b	3.36 ± 0.11a	4.31 ± 0.04c	1.45 ± 0.03c	0.99 ± 0.42b	1.64 ± 0.00c	2.24 ± 0.14b	3.17 ± 0.00c	5.00 ± 0.08a	2.46 ± 0.04a	4.83 ± 0.00e
CCF	3.42 ± 0.14b	4.66 ± 0.06a	3.38 ± 0.42a	4.32 ± 0.03c	1.54 ± 0.03c	1.70 ± 0.03a	2.06 ± 0.01ab	2.25 ± 0.05b	3.18 ± 0.03c	5.21 ± 0.04a	2.63 ± 0.13a	5.21 ± 0.04d
MSRF	3.48 ± 0.06b	4.30 ± 0.02a	3.61 ± 0.14a	4.69 ± 0.04b	1.76 ± 0.04b	1.76 ± 0.01a	2.00 ± 0.26ab	2.32 ± 0.01ab	3.75 ± 0.00b	5.41 ± 0.08a	2.67 ± 0.17a	5.62 ± 0.03c
CSRF1	3.60 ± 0.01b	4.70 ± 0.16a	3.92 ± 0.08a	4.86 ± 0.07b	1.81 ± 0.05b	1.91 ± 0.05a	2.38 ± 0.01a	2.56 ± 0.05a	3.79 ± 0.04b	5.52 ± 0.25a	2.79 ± 0.04a	6.00 ± 0.00b
CSRF2	4.38 ± 0.03a	4.79 ± 0.14a	4.29 ± 0.06a	5.50 ± 0.05a	1.91 ± 0.05a	1.96 ± 0.04a	2.31 ± 0.00a	2.59 ± 0.05a	4.00 ± 0.00a	5.45 ± 0.04a	2.86 ± 0.04a	6.96 ± 0.13a

### 2.5 专用缓释肥对黄瓜 N,P,K 养分吸收及相对利用效率的影响

由表 4 可以看出, 黄瓜在整个生育期对氮、磷、钾 3 大营养元素的吸收量总体表现为氮和钾大于磷。黄瓜各处理在单体内对氮素的积累量从大到小依次表现为 CSRF2, CSRF1, MSRF, CCF, OCF, 其中 CSRF2 的吸收量与 CSRF1, MSRF, CCF 和 OCF 处理比较, 分别提高了 13.03%, 31.76%, 34.69% 和 48.11%, 在对磷和钾的吸收上, 其他处理的磷和钾养分积累量在 2 个品种中存在差异, 但总体以 CSRF2 处理养分积累量最高。

与普通复合肥相比(表 4), 黄瓜专用肥和缓释肥均提高了 N,P,K 相对养分利用率, 增幅为 6.37%~35.69%。各处理均以缓释肥处理(CSRF1 和 CSRF2)的 N,P,K 相对养分利用效率最高, 较普通复合肥增加

了 18.53%~24.20%, 19.27%~20.02% 和 18.54%~35.69%。这表明专用缓释肥添加的抑制剂对作物吸收氮素的稳定性得到提升。相比之下,普通复合肥养分利用效率低的原因可能是本身缺少各类微生物抑制剂,使得养分易挥发或被土壤吸附固定或通过其他途径损失。

表 4 不同施肥处理对黄瓜 N,P,K 养分吸收量的影响

处理	N		P		K	
	吸收量/ (mg·pot <sup>-1</sup> )	相对利用效率/ %	吸收量/ (mg·pot <sup>-1</sup> )	相对利用效率/ %	吸收量/ (mg·pot <sup>-1</sup> )	相对利用效率/ %
OCF	265.64±5.91d	—	129.34±1.96c	—	286.14±7.49d	—
CCF	334.35±10.55c	6.37±0.26b	172.44±2.61b	7.16±0.08b	370.27±10.41c	9.95±0.87d
MSRF	349.35±13.18c	8.75±0.30b	170.87±1.544b	7.86±0.53b	397.61±15.80c	13.76±1.17c
CSRF1	445.24±26.24b	18.53±2.12a	233.79±4.31a	19.27±0.79a	515.96±21.31b	28.54±2.33b
CSRF2	511.96±18.29a	24.20±1.37a	241.69±6.54a	20.02±0.21a	578.37±28.34a	35.69±3.21a

注:表 4 中数据为平均值±SD; a,b,c,d,e 为相同品种中各处理在  $p \leq 0.05$  水平上差异具有统计学意义。

## 2.6 专用缓释肥对土壤酶活性的影响

由表 5 可以看出,土壤脲酶活性均以 2 种黄瓜专用缓释肥处理最高,TSRF1 和 CSRF1 处理略大于 TSRF2 和 CSRF2,但差异不具有统计学意义,两者与其他处理间差异具有统计学意义,相比 OCF 处理,2 种黄瓜专用缓释肥处理脲酶活性分别提高了 170.23,141.44 和 105.93,92.71 mg/pot。所有处理中 2 种黄瓜专用缓释肥的土壤过氧化氢酶活性最高,且 2 品种专用缓释肥处理差异不具有统计学意义,均为 0.33 mL/g,比其他处理分别增长了 0.01~0.13 mL/g 和 0.01~0.09 mL/g,TCF 和 CCF 处理质量分数在 2 个品种中分别为 0.27 mL/g 和 0.28 mL/g,5 个处理中则以 OCF 处理具有统计学意义最低,土壤磷酸酶的高低与土壤脲酶类似,均以 2 种黄瓜专用缓释肥处理的磷酸酶活性最高,均明显高于 OCF。土壤磷酸酶具有统计学意义最高的是 CSRF2 处理(2.61 mg/g)。与 OCF 处理相比,2 种黄瓜专用缓释肥处理显著提高了土壤中蔗糖酶的活性,分别提高 1.19,1.26 mg/mL。

表 5 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

处理	脲酶/	过氧化氢酶/	磷酸酶/	蔗糖酶/
	[mg·(kg·d) <sup>-1</sup> ]	[mL·(g·min) <sup>-1</sup> ]	[mg·(g·h) <sup>-1</sup> ]	[mg·(mL·d) <sup>-1</sup> ]
OCF	43.00±2.55c	0.007±0.00d	2.01±0.01d	2.05±0.05c
CCF	103.37±3.51b	0.009 5±0.000 5c	2.23±0.01c	2.60±0.01b
MSRF	116.78±2.56b	0.014±0.005 5b	2.12±0.00b	2.58±0.00b
CSRF1	148.93±5.95a	0.016±0.003a	2.60±0.04a	3.24±0.04a
CSRF2	135.71±5.05a	0.002 5±0.002 5a	2.61±0.01a	3.31±0.11a

## 3 讨论

蔬菜是喜肥作物,种植中的氮肥施用量是普通大田作物的数倍甚至数十倍,且氮素利用率低<sup>[23]</sup>。氮素利用率不高的原因有很多,其主要原因是肥料施入土壤中氨挥发损失,有资料显示在有利于氨挥发的条件下,氨挥发损失率可高达施氮量的 40%~50%<sup>[24]</sup>。另外,化学氮肥施入土壤后很容易以硝态氮的形式随水流失,也是肥料利用率低的主要原因之一<sup>[25]</sup>。硝化作用的存在加速了硝态氮随水流失的几率,硝化抑制剂可以调控土壤氮素的迁移转化,延长铵态氮在土壤中停留的时间,有效减少氮素损失和提高氮素利用率<sup>[26-27]</sup>。目前所用的缓控释肥料较其他同类型肥料,在各种抑制剂种类选择及用量方面都做了大量的前期工作<sup>[28]</sup>。DCD 含氮量 66.64% 具有稳定氨的作用,与此同时又具有抑制土壤中亚硝酸细菌的功能,增效缓效作用兼备<sup>[29]</sup>。双氰铵还可以作为一种缓慢释放的肥料在土壤中最终被分解为 CO<sub>2</sub> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>,对土壤没有什么不利影响<sup>[30]</sup>。nBPT 减缓尿素水解的作用明显,可以延长施肥点尿素的扩散,降低土壤溶液中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 和 NH<sub>3</sub> 的浓度,抑制 NH<sub>3</sub> 的挥发损失,使释放出来的营养成分尽快被作物吸收<sup>[31]</sup>。从恒温培养试验结果

可知, 黄瓜专用缓释肥的氮累积释放在培养期内较普通复合肥、黄瓜专用肥和商品缓释肥都低, 这是硝化抑制剂和脲酶抑制剂作用的结果. 蔬菜专用缓释复合肥中几种抑制剂的作用互补, 从而大大降低了氮肥的损失量<sup>[32]</sup>. 各施肥处理在 3 种不同土壤中氮素累积释放在大到小依次表现为碱性土、中性土、酸性土. 可见, 酸性土更有利于减少氮素释放.

土培试验中, 与普通复合肥处理比较, 专用缓释肥能够显著提高黄瓜产量, 这与以往学者对缓释肥应用效果研究结果相似<sup>[10-11]</sup>. 通过其品质分析进一步发现, 与 OCF 处理相比其他处理均有效地提高了黄瓜果实维生素 C 和氨基酸质量分数, 显著降低了硝酸盐质量分数, 其中以 2 种自制专用缓释肥的增加和降低效果最为突出. 早前朱国梁等<sup>[33]</sup>对不同种类缓释肥进行研究也表明, 不同缓释肥处理均较普通复合肥提高了黄瓜可溶性糖、Vc、可溶性蛋白质质量分数, 降低了硝酸盐质量分数. 自制黄瓜专用缓释肥更有效地提高了黄瓜氨基酸质量分数, 其主要原因可能是自制黄瓜缓释肥料中添加的抑制剂在稳定氮挥发、减缓尿素分解或对脲酶活性抑制方面, 自制专用缓释肥较普通复合肥使土壤中供应氮的能力维持在一个较高的水平<sup>[34-35]</sup>, 从而保证氮素充分供应, 使黄瓜体内氮素营养状况得到了改善. 硝酸盐质量分数高低成为衡量蔬菜卫生品质的重要指标之一. 人体摄入的大部分硝酸盐来自蔬菜, 硝酸盐摄入过量就会给人体健康带来不利的影响. 在本试验中, 专用缓释肥处理显著降低了黄瓜果实硝酸盐质量分数, 从而减少了黄瓜体内硝酸盐对人体健康的威胁. 许多研究表明, 氮肥过量施用可增加蔬菜体内的硝酸盐积累<sup>[36-37]</sup>. 本研究专用缓释肥对硝酸盐质量分数的降低得益于黄瓜专用缓释肥对氮素的缓释作用, 结合恒温培养试验可知, 专用缓释肥的氮积累量变化较为平缓, 能持续满足黄瓜生长发育对氮素的需求, 有利于对氮素养分的充分吸收和转化, 从而降低黄瓜体内硝酸盐的积累. 但值得注意的是, 专用缓释肥处理在改善其他品质指标的同时, 却降低了果实内还原糖的质量分数, 这可能是由于在黄瓜生长过程中, 磷、钾素溶出速率不同导致对作物供应的强度和浓度不同(配比不同), 当然也可能与黄瓜品种、土壤和微量元素及水分、温度等诸多因素有关<sup>[38]</sup>.

我国肥料投入大而效益低, 氮、磷和钾肥利用率分别为 30%~35%, 10%~20% 和 35%~50%<sup>[4]</sup>, 远远低于发达国家. 缓释肥料致力于提高土壤养分利用效率, 越来越受关注. 张守仕等<sup>[39]</sup>研究袋控缓释肥料处理对桃树氮素利用率的影响, 汪强等<sup>[40]</sup>和殷文鹏等<sup>[12]</sup>分别研究了 3 种包膜缓/控释肥和有机质包膜尿素对冬小麦氮吸收积累量及氮肥利用率的影响, 唐拴虎等<sup>[11]</sup>研究了不同包膜缓/控释肥处理对辣椒氮磷钾吸收量及其利用效率的影响, 王宜伦等<sup>[41]</sup>研究了专用缓释肥对夏玉米氮、磷、钾养分积累量的影响, 王崇力等<sup>[18]</sup>研究了专用缓释肥对辣椒氮、磷、钾吸收积累及利用效率的影响. 这些研究均表明, 施用缓释肥可提高植物对氮、磷、钾的利用效率, 且文献<sup>[11, 18, 41]</sup>的研究发现, 植物对氮和钾的吸收利用通常高于磷. 土培试验结果显示, 2 种黄瓜专用缓释肥对 3 大营养元素的吸收大致表现为氮、钾的吸收量大于磷. 黄瓜各处理在单体内对氮素的积累量大小表现均以专用缓释肥处理最高. 各处理均以缓释肥处理的 N, P, K 相对养分利用效率最高. 这表明专用缓释肥添加的抑制剂对作物吸收氮素的稳定性得到提升. 相比之下, 普通复合肥养分利用效率低的原因可能是本身缺少各类微生物抑制剂, 使得养分易挥发或被土壤吸附固定或通过其他途径损失.

土壤中酶包括脲酶、过氧化氢酶和土壤磷酸酶等等, 其大部分都通过植物根系分泌物、土壤微生物的活动及动植物残体腐解等产生. 研究土壤酶活性及其引起的土壤代谢作用性能, 能够表明土壤酶代谢作用强度及植物适应外界环境和维持其生长条件的能力. 在本试验中, 与普通复合肥处理相比, 黄瓜专用缓释肥和黄瓜专用肥处理均不同程度地提高了土壤脲酶、过氧化氢酶、磷酸酶和蔗糖酶活性, 且各土壤酶活性均以 2 种黄瓜专用缓释肥处理最高, 但两者间酶活性差异不具有统计学意义. 董燕等<sup>[42]</sup>将优质有机肥与经缓释技术处理的化学肥料复合而制得的养分结构型非包膜缓控释肥料缓/控释肥进行研究也表明, 缓/控释肥在不同程度上增加了土壤脲酶、过氧化氢酶和磷酸酶活性, 且这些酶活性与土壤有机质、全氮磷钾及有效氮等土壤养分存在良好的正相关, 缓/控释肥的添加增加了土壤有机质和有效养分

质量分数,促进了土壤微生物的生长和有机氮的分解和转化,从而提高了土壤酶活性.王崇力等<sup>[18]</sup>将由氮、磷、钾及中、微量元素组成的无机肥原料和优质有机原料复混而成的辣椒专用缓释肥进行也研究发现,缓释肥处理提高了土壤有机质和各种有效养分质量分数,提高了土壤脲酶、过氧化氢酶和蔗糖酶的活性.土壤酶主要由土壤微生物和作物根系的分泌活动产生.本试验供试黄瓜专用缓释肥由含 N,P,K 及微量元素的无机肥原料和优质有机肥复混而成,将其施入土壤有效提高了土壤酶活性,也可能是由于提高了土壤有机质质量分数和有效养分质量分数,有机质的增加为土壤微生物提供了有机能源,改善了根际微环境<sup>[43]</sup>,从而不同程度地激活土壤酶活性,而土壤有效养分的增加也促进了黄瓜根系的生长发育,增强了黄瓜根系的分泌作用,使土壤酶活性提高<sup>[42]</sup>.此外,缓释肥本身含有的脲酶抑制剂(nBPT)和硝化抑制剂(DCD)对土壤酶活性的提高也有重要作用.土壤酶活性可加速氮素等养分循环,促进植物对养分的吸收利用<sup>[44-45]</sup>,如土壤中脲酶活性质量分数越高,其土壤的供氮能力与水平越高,间接提高了土壤中有机关态氮向无机态氮的转化能力,进一步提高土壤氮素供应水平<sup>[44]</sup>.在本试验中,黄瓜专用缓释肥处理在提高土壤酶活性的同时,也极大地提高了黄瓜 N,P,K 养分吸收和养分相对利用效率,这与王崇力等<sup>[18]</sup>将辣椒专用缓释肥对辣椒进行研究的的结果相一致.

## 4 结 论

1) 与普通复合肥相比,黄瓜缓释肥显著降低氮素累积释放量.各施肥处理在三种不同土壤中的氮素累积释放量从大到小依次表现为碱性土、中性土、酸性土.

2) 2 种专用缓释肥(CSRF2 和 CSRF1)增加了黄瓜果实干物质量和总干物质量,提高了黄瓜果实维生素 C 质量分数、氨基酸质量分数,降低了硝酸盐质量分数.

3) 黄瓜根、茎、叶和果实的 N,P,K 养分质量分数及相对养分利用率均以 CSRF2 最高,其次是 CSRF1.黄瓜各处理在单体内对 N,P,K 积累量及相对养分利用率从大到小依次均表现为 CSRF2,CSRF1,MSRF,CCF,OCF.

4) 缓释肥和专用肥处理均提高了土壤脲酶、过氧化氢酶、磷酸酶和蔗糖酶活性,各酶活性以 2 种专用缓释肥 CSRF2 和 CSRF1 处理最高.

## 参考文献:

- [1] 高祥照,马文奇,杜 森.我国施肥中存在问题的分析 [J].土壤通报.2001,32(6):258-261.
- [2] 李晓林,张福锁,米国华.平衡施肥与可持续优质蔬菜生产 [M].北京:中国农业大学,2001.
- [3] 李俊良,莱 阳.寿光两种不同种植模式中蔬菜施肥问题的研究 [D].北京:中国农业大学出版社,2001.
- [4] 陈 润,张文辉.包膜型缓控释肥料的研究综述 [J].化学工程与设备,2010(10):126-128.
- [5] MASATOSHI O, NAOMICHI M, SUSUMU H. Effects of Nitrogen in Coated Fertilizers on Field Vegetables [J]. Hokkaido Journal of Agricultural Experiment Farm, 1999(76): 17-26. (in Japanese).
- [6] TIAN X H, SAIGUSA M. Merits, Utilization, and Perspectives of Controlled Release Nitrogen Fertilizers [J]. Tohoku Journal of Agricultural Research, 2002, 52(3-4): 39-55.
- [7] 张明中,韩桂琪,徐卫红,等.专用缓释肥氮挥发特性及对茄子产量、品质的影响 [J].中国蔬菜,2013(24):37-45.
- [8] 王 菲,李银科,王正银,等.缓释复合肥对茄子产量和不同采果期品质的影响 [J].土壤学报,2015,52(2):354-363.
- [9] 王 菲,王正银,赵 欢,等.缓释复合肥料对茎瘤芥产量、品质和养分含量的影响 [J].中国蔬菜,2012(20):68-72.
- [10] 黄 云,廖铁军,向华辉.控释氮肥对辣椒的生理效应及利用率研究 [J].植物营养与肥料学报,2002,8(4):414-418.
- [11] 唐拴虎,张发宝,黄 旭,等.缓/控释肥料对辣椒生长及养分利用率的影响 [J].应用生态学报,2008,19(5):986-991.

- [12] 殷文鹏,袁亮,李絮花,等. 有机质包膜尿素对冬小麦产量和氮肥利用率的影响 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(5): 105-108.
- [13] 卢艳丽,自由路,王磊,等. 华北小麦-玉米轮作区缓控释肥应用效果分析 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 209-215.
- [14] 叶协锋,杨超,李正,等. 绿肥对植烟土壤酶活性及土壤肥力的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 445-454.
- [15] 安韶山,黄懿梅,郑粉莉. 黄土丘陵区草地土壤脲酶活性特征及其与土壤性质的关系 [J]. 草地学报, 2005, 13(3): 233-237.
- [16] 李娟,赵秉强,李秀英,等. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响 [J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 144-152.
- [17] 贾伟,周怀平,解文艳,等. 长期有机无机肥配施对褐土微生物生物量碳、氮及酶活性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 700-705.
- [18] 王崇力,韩桂琪,徐卫红,等. 专用缓释肥的土壤氮挥发特性及其对辣椒氮磷钾吸收利用的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(2): 143-150.
- [19] STANFORD G, SMITH S J. Nitrogen Mineralization Potentials of Soil [J]. Soil Science Society of America Journal, 1972, 36(3): 465-472.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [21] 白宝璋,汤学军. 植物生理学测试技术 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [22] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [23] 龚巍巍,张宜升,何凌燕,等. 菜地氨挥发损失及影响因素原位研究 [J]. 环境科学, 2011, 32(2): 345-350.
- [24] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策 [J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.
- [25] 俞巧钢,殷建祯,符建荣,等. 硝化抑制剂 DMPP 应用研究进展及其影响因素 [J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(6): 1057-1066.
- [26] 曾后清,朱毅勇,王火焰,等. 生物硝化抑制剂——一种控制农田氮素流失的新策略 [J]. 土壤学报, 2012, 49(2): 382-388.
- [27] 俞巧钢,陈英旭. DMPP 对稻田田面水氮素转化及流失潜能的影响 [J]. 中国环境科学, 2010, 30(9): 1274-1280.
- [28] 韩桂琪,张海波,徐卫红,等. 蔬菜专用缓控释肥料 N 释放动态研究 [C] //中国科学技术协会学会学术部: 农产品质量安全与现代农业发展专家论坛. 北京: 中国科学技术出版社, 2011.
- [29] 郑福丽,石元亮. 抑制剂对尿素转化及土壤中氮的影响研究 [J]. 土壤通报, 2007, 38(2): 412-414.
- [30] 黄益宗,冯宗炜,王效科,等. 硝化抑制剂在农业上应用的研究进展 [J]. 土壤通报, 2002, 33(4): 310-315.
- [31] 王小彬,辛景峰. nBTP 在改进尿素氮肥施用技术中的作用初探 [J]. 土壤肥料, 1996(6): 6-9.
- [32] 孙克君,毛小云,卢其明,等. 几种控释氮肥减少氨挥发的效果及影响因素研究 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(12): 75-80.
- [33] 朱国梁,毕军,夏光利,等. 不同缓释肥料对黄瓜产量、品质及养分利用率的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2013(1): 68-73.
- [34] 柳金来,宋记娟,刘荣清,等. 双氰胺对氮肥增产效益的影响 [J]. 吉林农业科学, 2003, 28(1): 36-39.
- [35] 宁国辉. 新型缓控释肥脲酶抑制剂选配及其肥效研究 [D]. 保定: 河北农业大学, 2004.
- [36] 任祖淦,邱孝煊,蔡元呈,等. 氮肥施用与蔬菜硝酸盐积累的相关研究 [J]. 生态学报, 1998, 18(5): 523-528.
- [37] 王正银,李会合,李宝珍,等. 氮肥、土壤肥力和采收期对小白菜体内硝酸盐含量的影响 [J]. 中国农业科学, 2003, 36(9): 1057-1064.
- [38] 肖强,张夫道,王玉军,等. 纳米材料胶结包膜型缓/控释肥料的特性及对作物氮素利用率与氮素损失的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 04: 779-785.
- [39] 张守仕,彭福田,齐玉吉,等. 不同养分供应方式对盆栽桃树生长及其氮素吸收、分配的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 156-163.

- [40] 汪 强, 李双凌, 韩燕来, 等. 缓/控释肥对小麦增产与提高氮肥利用率的效果研究 [J]. 土壤通报, 2007, 38(1): 47—50.
- [41] 王宜伦, 卢艳丽, 刘 举, 等. 专用缓释肥对夏玉米产量及养分吸收利用的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2015, (1): 29—32.
- [42] 董 燕. 缓/控释复合肥料养分释放特性与生物效应研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- [43] 党建友, 王秀斌, 裴雪霞, 等. 风化石复合包裹控释肥对小麦生长发育及土壤酶活性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(6): 1186—1192.
- [44] 刘 飞, 诸葛玉平, 王 会, 等. 控释肥对马铃薯生长及土壤酶活性的影响 [J]. 水土保持学报, 2011, 25(2): 185—188.
- [45] 朱洪霞. 缓/控释复合肥料对土壤氮素和酶活性的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2007.

## Effects of Two Special Slow-Release Fertilizers on the Yield, Quality and Uptake and Utilization of Nitrogen, Phosphorus and Potassium in Cucumber

SUN Li-fei, WANG Cong-li, XU Wei-hong, XIONG Shi-juan,  
CHEN Xu-gen, CHEN Yong-qin, CHI Sun-lin,  
XIE Wen-wen, WANG Zheng-yin, XIE De-ti

*School of Resources and Environmental Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China*

**Abstract:** Soil culture experiments were carried out to study the effects of special slow release fertilizers (CSRF1 and CSRF2) on the yield, quality and nutrient uptake and utilization of cucumber, and on soil enzyme activity. The results showed that compared with the treatments of CCF, MSRF and OCF (ordinary compound fertilizer), CSRF1 and CSRF2 significantly increased the dry weight of cucumber fruit and plant, by 23.3%—37.2% and 16.5%—31.6%, respectively, and they enhanced the contents of VC and amino acids and reduced nitrate content in the fruit. Of all the treatments, the highest contents of NPK in the roots, stem, leaves and fruit of the cucumber plants were observed in CSRF2, followed closely by the CSRF1 treatment. Accumulation of NPK in cucumber was in the order of CSRF2>CSRF1>MSRF>CCF>OCF, being 27.45%—46.55%, 33.17%—56.20% and 67.61%—102.13% higher in the treatments of the two special slow-release fertilizers than in MSRF, CCF and OCF treatments, respectively. Compared to the OCF treatment, the two special slow-release fertilizers gave an increase in relative utilization efficiency of N,P and K by 18.53%—24.20%, 19.27%—20.02% and 18.54%—35.69%, respectively.

**Key words:** special slow release fertilizer; N,P,K nutrient uptake; nutrient relative utilization rate; soil enzyme activity; cucumber

