

DOI: 10.11766/trxb201405040215

缓释复合肥对茄子产量和不同采果期品质的影响*

王 菲 李银科 王正银[†] 张晓玲 唐 静

(西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

摘 要 采用田间试验研究缓释复合肥不同施用方式对茄子产量和不同采果期品质的影响,对茄果类蔬菜生产上施用缓释复合肥具有理论和实践意义。在茄子整个采收期统计果实产量和茄子采果期 3 次采样测定茄子营养品质(维生素 C、氨基酸、可溶性糖)、卫生品质(硝酸盐)和保健品质(黄酮、芦丁、茄碱)。结果表明,施用缓释复合肥(SRF)较化肥(CF)和普通复合肥(CCF)显著增加茄子产量(增幅分别为 7.3%~29.1%和 3.7%~24.8%),各处理产量序列为 SRF1 > SRF4 > SRF2 > SRF3 > CCF > CF。缓释复合肥各处理显著增加茄子盛果后期维生素 C、氨基酸和可溶性糖含量,且 SRF3 较化肥和普通复合肥显著降低茄子盛果中、后期硝酸盐含量。对于保健品质,缓释复合肥各处理较化肥显著增加茄子盛果中、后期芦丁含量 10.0%~24.0%和 10.0%~50.0%,并显著降低茄子整个采果期茄碱含量 33.9%~47.7%、36.8%~49.0%和 18.7%~35.4%,以 SRF1 和 SRF2 效果最好。缓释复合肥各处理以 SRF1 茄子产量最高、品质最优,SRF2 次之;从茄子高产高效看,以 SRF2 处理为最佳。

关键词 缓释复合肥;茄子;营养品质;保健品质

中图分类号 S143.6 **文献标识码** A

茄子(*Solanum melongena* L.)是茄科茄属作物,其生长期较长且是多次采收的茄果类蔬菜,在整个蔬菜生产中占有很大比重,是我国最重要的果菜之一。茄子果实含有其他蔬菜所没有的维生素 P(芦丁),具有降低血液胆固醇,增强血管弹性,改善血液循环等作用^[1-2]。茄子中的茄碱因其较苦影响茄子的口感和风味等营养品质,甚至食用过量会导致中毒^[3],但适量的茄碱对人体有保健等作用^[4-5]。在农业生产上,缓控释肥料养分释放缓慢且释放周期长,而茄果类蔬菜一般生长期较长,一次性施用缓控释肥料可以满足茄果类蔬菜整个生长期对养分的需求,在节肥、增产、省工和环保等方面具有很大应用潜力。有研究指出一次性基施控释肥和部分普通肥料且在减少氮肥用量 40% 的情况下,没有降低番茄产量,而且改善果实品质、有利于番茄的优质高效生产、节约氮肥投入量和多次施肥的劳动成本^[6]。缓控释肥料能够促进辣椒生长,增加其产

量,并能提高养分利用率^[7-8]。然而这些研究尚未涉及缓控释肥料对采收期长的茄果类蔬菜不同采果期品质效应等方面的系统研究,同时迄今我国研制和应用的缓控释肥料因制备工艺、原理和养分配比等不同,使得该类肥料养分缓控释方式多样、功效各异^[9-10],不同的缓控释肥料在茄果类蔬菜上的效应情况亦不尽一致。茄子是耐肥的夏季蔬菜,采收期长,营养价值高、保健作用强,是一种重要的茄果类蔬菜。因此研究缓控释肥料对茄子不同采果期品质等方面的效应具有重要的理论和实践意义。有鉴于此,本文从茄子营养品质(维生素 C、氨基酸和可溶性糖)、卫生品质(硝酸盐)和保健品质(黄酮、芦丁和茄碱)方面入手,在茄子采收期多次采样探索化肥、普通复合肥、缓释复合肥^[11]及其施用方式对大田茄子各采果期果实品质成分以及产量的综合影响规律,旨在为茄果类蔬菜高产优质栽培中高效施用缓释复合肥料提供科学依据。

* 国家水体污染控制与治理科技重大专项课题(2012ZX07104-003)和科技部农业科技成果转化资金项目(2007GB2F100266)资助

[†] 通讯作者, E-mail: wang_zhengyin@163.com

作者简介:王 菲(1986—),女,博士研究生,主要研究方向:植物营养与品质。E-mail: scyhed@126.com

收稿日期:2014-05-04;收到修改稿日期:2014-09-27

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试土壤:为侏罗纪遂宁组母质发育的红棕紫泥土,其基本农化性状:pH 7.6,有机质 26.3 g kg⁻¹,碱解氮 112 mg kg⁻¹,有效磷 34.7 mg kg⁻¹,速效钾 154 mg kg⁻¹,有效硼 0.689 mg kg⁻¹,有效锌 1.54 mg kg⁻¹。

供试作物:茄子品种为黑先锋,重庆市农业科学院蔬菜研究所提供。

供试肥料:化学肥料有尿素(N, 460 g kg⁻¹)、磷酸二氢铵(N, 110 g kg⁻¹;P₂O₅, 440 g kg⁻¹)和硫酸钾(K₂O, 500 g kg⁻¹)。普通复合肥用尿素、磷酸二氢铵和硫酸钾按 14-8-8 养分比例混合造粒而成。缓释复合肥系西南大学研制并获国家发明专利的一种含有氮、磷、钾、硼、锌等且以优质有机肥料为基础的养分结构型非包膜缓释多养分肥料^[11],其中氮素有铵态氮、硝态氮、酰胺态氮、有机氮等多种形态,养分比例分别为 15%、20%、35% 和 30%,氮磷钾养分质量分数为 300 g kg⁻¹(N-P₂O₅-K₂O = 14-8-8),有机质 157 g kg⁻¹。

1.2 试验方法

试验在重庆市九龙坡区含谷镇含金村蔬菜基地进行,设 6 个施肥处理(表 1),4 次重复,随机区

组排列,小区面积 13.3 m²。2011 年 3 月 26 日按试验方案一次性施用普通复合肥和缓释复合肥,其中缓释复合肥 70% + 化肥 30% 处理是将缓释复合肥和化肥一起作为基肥施用,化肥处理的全部磷肥和钾肥以及 40% 氮肥做基施,其余氮肥按 30% 和 30% 的比例在门茄“瞪眼”期和对茄至四门斗相继坐果膨大期分 2 次作追肥施用。将营养杯培育生长一致的茄子幼苗于 4 月 3 日移栽,栽培规格为行距 1.33 m、窝距 0.77 m。在茄子生长期按照常规栽培管理浇水和病虫害防治。2011 年 6 月 9 日开始茄子果实采收至 8 月 25 日结束。在茄子盛果初期(6 月 20 日)、盛果中期(7 月 10 日)和盛果后期(8 月 15 日)分 3 次采集果实鲜样测定品质,同时取茄子果实样品于 100℃ 下杀青,65℃ 下烘干,粉碎过筛、备用。在茄子采收结束后,统计各小区果实产量。

1.3 测定方法

土壤基本理化性状和蔬菜品质采用常规方法测定^[12]。芦丁采用硝酸铝显色分光光度法测定^[13];黄酮采用紫外分光光度法测定^[14];茄碱采用超声波提取,高效液相色谱法测定^[15]。

1.4 数据处理

试验数据用 Excel 和 SPSS 软件进行统计和分析,用最小显著差数法(LSD)进行多重比较。

表 1 试验方案

Table 1 Schemes of the experiment(kg hm⁻²)

代号 Code	处理 Treatment	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CF	化肥 ^①	315	180	180
CCF	普通复合肥 ^②	315	180	180
SRF1	缓释复合肥全量 ^③	315	180	180
SRF2	缓释复合肥减量 5% ^④	299.3	171	171
SRF3	缓释复合肥减量 10% ^⑤	283.5	162	162
SRF4	缓释复合肥 70% + 化肥 30% ^⑥	315	180	180

①Chemical fertilizer;②Common compound fertilizer;③Slow-release compound fertilizer;④Slow-release compound fertilizer reducing 5%;⑤Slow-release compound fertilizer reducing 10%;⑥Slow-release compound fertilizer(70%) combined with chemical fertilizer(30%)

2 结 果

2.1 缓释复合肥对茄子产量的影响

表 2 可见,施用缓释复合肥(SRF)的 4 个处理茄子产量较化肥(CF)处理增加 7.3%~29.1%,较普通复合肥(CCF)处理增加 3.7%~24.8%,表明缓

释复合肥中多种形态氮素的接力释放^[16]有利于生长期长的茄子对氮素养分的持续均衡需求,该肥料中富含的有机质对茄子需要的氮磷钾等多种养分的协调供应产生了显著的作用,同时缓释复合肥中含有微量的营养元素硼、锌等也可能对茄子产量具有正效应。缓释复合肥各处理中以 SRF1 对茄子的增产作用最大,可视为高产处理;其次是 SRF2 和

SRF4 处理,缓释复合肥适量减少(5%)施用(SRF2)以及缓释复合肥与化肥配施(SRF4),在降低肥料成本时这两种施用方式仍显著增加茄子产量 15.1% 和 17.7% (表 2),是茄子高产高效生产中可优先推荐的施肥方式;增产幅度最小的是 SRF3 处理,虽与普通复合肥处理的产量无显著差异,但

该处理减少了缓释复合肥 10% 用量即肥料成本降低最大。综上可知,在茄子生产中若以高产为目标可优先选择 SRF1 处理,以高产高效为目标建议选择 SRF2 和 SRF4 处理,而从降低缓释复合肥料成本考虑则推荐 SRF3 处理。

表 2 缓释复合肥对茄子产量的影响

Table 2 Effects of slow-release compound fertilizer on yield of eggplant

处理代号 Treatment code	小区产量 Yield of the plot $\bar{x} \pm SD$ (kg plot ⁻¹)	公顷产量 Yield per hectare $\bar{x} \pm SD$ (kg hm ⁻²)	相对产量 Relative yield (%)	
CF	165.9 ± 6.0d	124 700 ± 4 400	100.0	96.7
CCF	171.6 ± 9.4cd	129 000 ± 7 000	103.5	100.0
SRF1	214.2 ± 9.5a	161 000 ± 7 100	129.1	124.8
SRF2	191.0 ± 2.5b	143 600 ± 1 800	115.1	111.3
SRF3	178.0 ± 8.2c	133 800 ± 6 100	107.3	103.7
SRF4	195.2 ± 3.8b	146 800 ± 2 800	117.7	113.8

注:同一列数据后面,不同字母表示在 5% 水平下差异显著,下同 Note: Values followed by different letters within the same column mean significant difference at the 5% probability level. The same below

2.2 缓释复合肥对茄子营养品质的影响

维生素 C:缓释复合肥各处理茄子果实维生素 C 含量在盛果初期较化肥处理显著降低,但与普通复合肥料处理差异不显著;在盛果中期(除 SRF1 显著降低、SRF3 显著提高外)和后期(SRF1 显著提高)缓释复合肥较化肥和普通复合肥料处理对茄子果实维生素 C 含量的影响差异不显著(表 3)。表明施用缓释复合肥在显著提高茄子果实产量的同时还能保持茄子的维生素 C 含量处于较好的水平,这可能与缓释复合肥的肥效较化肥和普通复合肥更持久稳定,能持续提供茄子整个生长期对养分的需求,协调了茄子果实维生素 C 形成需要的基础物质(如可溶性糖、可溶固形物等)的平衡。

氨基酸:缓释复合肥各处理茄子果实游离氨基酸含量在盛果初期显著低于化肥和普通复合肥处理,而在盛果中期与普通复合肥处理无显著差异,在盛果后期却显著高于化肥和普通复合肥处理,增幅分别达到 5.0%~37.0% 和 8.1%~41.1% (表 3),可见缓释复合肥显著提高了茄子盛果后期果实的食用价值。这可归因于化肥和普通复合肥的氮素养分为无机氮,在茄子盛果初期和中期根系吸收的无机氮素(硝态和铵态氮)相对较多,形成氨基酸亦多;而缓释复合肥中的氮素养分为无机氮和有机

氮,在茄子盛果后期其匀速释放的无机养分较化肥和普通复合肥为高。

可溶性糖:缓释复合肥各处理茄子可溶性糖含量在盛果初期略低于化肥和普通复合肥;在盛果中期,除 SRF1 处理与化肥处理无显著差异外,缓释复合肥其余处理茄子可溶性糖含量仍稍低于化肥和普通复合肥处理;在盛果后期缓释复合肥各处理茄子可溶性糖含量显著高于化肥处理达 19.0%~22.0% (表 3),与普通复合肥无显著差异。可见,缓释复合肥不同施肥方式不影响茄子盛果初期和中期可溶性糖含量,而有利于改善茄子盛果后期可溶性糖含量。

2.3 缓释复合肥对茄子卫生品质(硝酸盐)的影响

缓释复合肥 4 个处理较化肥均降低了茄子盛果初期、中期和后期果实硝酸盐含量,降幅分别为 1.0%~5.3%、9.6%~14.4% 和 8.5%~13.2%,以中期和后期的降低作用最显著(表 4)。这是因为缓释复合肥中适宜的硝态氮/铵态氮比例可以有效降低硝酸盐含量^[17],另一方面硝酸盐含量与氮素用量呈极显著正相关^[18]所致。可见缓释复合肥稳定持续释放养分能够协调茄子对营养元素特别是氮素(硝态氮)的吸收、转运和还原同化作用的平衡,使得茄子果实硝酸盐含量累积较少。除 SRF3(减量 10%)显著降低中期和后期茄子果实硝酸盐含量

外,施用缓释复合肥其余 3 个处理茄子果实硝酸盐含量较普通复合肥虽有明显降低,但没有达到显著

水平,表明缓释复合肥在改善茄子果实卫生品质方面具有一定的潜在优势。

表 3 缓释复合肥对茄子营养品质的影响(鲜重)

Table 3 Effects of slow-release compound fertilizer on nutritional quality of eggplant(Fresh weight)

采样期 Sampling stage	处理代号 Treatment code	维生素 C Vitamin C		氨基酸 Amino acid		可溶性糖 Soluble sugar	
		含量 Content (mg kg ⁻¹)	相对百分比 Relative percentage (%)	含量 Content (g kg ⁻¹)	相对百分比 Relative percentage (%)	含量 Content (g kg ⁻¹)	相对百分比 Relative percentage (%)
盛果初期 Early full fruiting stage	CF	81.2a	100	4.72a	100	27.9ab	100
	CCF	76.5b	94.2	4.78a	101	28.9a	104
	SRF1	75.1b	92.5	3.98bc	84.3	27.8ab	99.6
	SRF2	74.2b	91.4	3.78c	80.1	27.4b	98.2
	SRF3	74.0b	91.1	3.71c	78.7	26.8b	96.1
盛果中期 Mid full fruiting stage	CF	82.9b	100	3.83a	100	30.0a	100
	CCF	81.3b	98.1	3.45b	90.0	28.9ab	96.3
	SRF1	76.9c	92.8	3.45b	90.0	30.0a	100
	SRF2	81.7b	98.6	3.39b	88.4	27.9b	93.0
	SRF3	87.9a	106	3.39b	88.4	27.0b	90.0
盛果后期 Late full fruiting stage	CF	89.9ab	100	2.17d	100	26.0b	100
	CCF	86.7b	96.4	2.12d	97.4	31.1a	120
	SRF1	93.1a	104	2.99a	137	31.7a	122
	SRF2	90.7ab	101	2.87ab	132	31.1a	120
	SRF3	87.0b	96.8	2.78b	128	31.1a	120
SRF4	89.4ab	99.4	2.28c	105	31.0a	119	

表 4 缓释复合肥对茄子硝酸盐含量的影响(鲜重)

Table 4 Effects of slow-release compound fertilizer on nitrate content of eggplant(Fresh weight)

处理代号 Treatment code	盛果初期 Early full fruiting stage		盛果中期 Mid full fruiting stage		盛果后期 Late full fruiting stage	
	含量 Content (mg kg ⁻¹)	相对百分比 Relative percentage (%)	含量 Content (mg kg ⁻¹)	相对百分比 Relative percentage (%)	含量 Content (mg kg ⁻¹)	相对百分比 Relative percentage (%)
CF	489a	100	543a	100	363a	100
CCF	480ab	98.2	493b	90.8	333b	91.7
SRF1	468ab	95.7	491b	90.4	332b	91.5
SRF2	465ab	95.1	471bc	86.7	324bc	89.3
SRF3	463b	94.7	465c	85.6	315c	86.8
SRF4	484ab	99.0	486bc	89.5	325bc	89.5

2.4 缓释复合肥对茄子保健品质的影响

黄酮:植物中的黄酮对人类健康具有抗癌防癌以及护肝等保健作用。表 5 可知,缓释复合肥各处理在茄子盛果初期果实黄酮含量低于化肥和普通复合肥处理,而在盛果中、后期前者(缓释复合肥)高于后者(化肥和普通复合肥)。SRF1 处理和 SRF4 处理在盛果中期显著增加茄子黄酮含量 12.0% 和 5.0%,而缓释复合肥的两个减量处理茄子黄酮含量显著高于普通复合肥。除 SRF3 处理茄子黄酮含量在盛果后期与普通复合肥无显著差异外,其余缓释复合肥处理的黄酮含量均显著高于化肥和普通复合肥,以 SRF1 处理和 SRF4 处理增幅最大(分别为 30.0% 和 27.0%)。

芦丁:芦丁(维生素 P)是一类较为特殊的黄酮类物质,对人体健康有软化血管,防止发生脑血管疾病等保健作用。表 5 可知,缓释复合肥各处理较化肥显著增加了茄子盛果中、后期芦丁含量 10.0%~24.0% 和 10.0%~50.0%。除 SRF3 处理

在盛果后期显著低于普通复合肥处理外,其余缓释复合肥各处理均显著增加茄子芦丁含量。缓释复合肥各处理在盛果中期和后期茄子芦丁含量均以 SRF1 处理增加最大。

茄碱:茄碱是茄科茄属植物的特有成分,食物中适量的茄碱含量有利于人体健康。缓释复合肥各处理在茄子整个采果期均较化肥处理显著降低茄子茄碱含量 33.9%~47.7%、36.8%~49.0% 和 18.7%~35.4% (表 5),虽适量的茄碱有利于人体健康但茄碱又是茄子苦味物质的主要来源,化肥处理茄子茄碱含量较缓释复合肥处理高,口感较差。SRF3 处理在茄子盛果初期茄碱含量显著高于缓释复合肥其他处理,并与普通复合肥处理无显著差异,这可能是在一定范围内适当的养分胁迫可以增加次生代谢产物的形成^[19];但在盛果后期 SRF3 处理茄碱含量显著低于普通复合肥处理,显示该处理可能在茄子生长后期因养分(特别是氮素)释放不足反而不利于茄碱的形成。而 SRF2 处理与普通复

表 5 缓释复合肥对茄子保健品质的影响(干重)

Table 5 Effects of slow-release compound fertilizer on health quality of eggplant(Dry weight)

采样期 Sampling stage	处理代号 Treatment code	黄酮 Flavonoids		芦丁 Rutin		茄碱 Solanine	
		含量 Content (mg g ⁻¹)	相对百分比 Relative percentage (%)	含量 Content (mg g ⁻¹)	相对百分比 Relative percentage (%)	含量 Content (mg g ⁻¹)	相对百分比 Relative percentage (%)
盛果初期 Early full fruiting stage	CF	10.3a	100	9.71a	100	1.05a	100
	CCF	8.76b	85.1	7.70b	79.3	0.691b	65.8
	SRF1	7.54c	73.2	6.84c	70.4	0.571d	54.4
	SRF2	6.96d	67.6	6.77c	69.7	0.638c	60.8
	SRF3	8.67b	84.2	6.80c	70.0	0.694b	66.1
	SRF4	7.60c	73.8	7.11c	73.2	0.549d	52.3
盛果中期 Mid full fruiting stage	CF	4.65c	100	3.32d	100	1.08a	100
	CCF	4.19d	90.1	3.01e	90.7	0.895b	82.9
	SRF1	5.21a	112	4.11a	124	0.648c	60.0
	SRF2	4.74bc	102	3.84b	116	0.551d	51.0
	SRF3	4.70bc	101	3.64c	110	0.682c	63.2
	SRF4	4.90b	105	3.79bc	114	0.604d	55.9
盛果后期 Late full fruiting stage	CF	3.50d	100	2.27e	100	0.923a	100
	CCF	3.69c	105	2.67c	118	0.632c	68.5
	SRF1	4.57a	130	3.40a	150	0.678c	73.5
	SRF2	4.25b	121	3.03b	134	0.648c	70.2
	SRF3	3.77c	108	2.50d	110	0.596d	64.6
	SRF4	4.50a	127	3.17b	140	0.750b	81.3

合肥无显著差异,表明适量减少缓释复合肥用量对茄子盛果后期茄碱含量的影响与普通复合肥相似,能保持该品种茄子茄碱适宜的含水平(每 1 g 果实 0.6 mg 左右)^[20]。

3 讨论

3.1 缓释复合肥对茄子产量的影响

茄子不同生育期对氮磷钾养分的需求以苗期最少,始果期次之,盛果期吸收最大^[21]。试验中三种肥料在茄子移栽前施底肥,以化肥养分在前期释放较多、较快,但在茄子苗期对养分需求较少,会造成养分的损失。而普通复合肥和缓释复合肥养分在前期释放量较少,在茄子盛果期养分释放积累最大,可满足茄子在不同生育期对养分的需求,使得茄子产量显著增加。缓释复合肥除氮磷钾养分外,其有机质还可改善农作物生长的环境,提高产量和品质^[22]。普通复合肥是一种只含氮磷钾养分的肥料,而供试缓释复合肥氮素具有铵态氮、硝态氮、酰胺态氮、有机氮等多种形态,且富含有机物质,其中有机氮素的匀速矿化、硝化等过程以及腐殖酸的保氮作用,减少了养分的损失,实现了茄子长期对氮素(主要是硝态氮)均衡吸收和持续保持正常生理生化过程的需要。较之普通复合肥,缓释复合肥使茄子产量增加 3.7%~24.8%,可实现对采果期长的茄子营养的协调性,尤其是缓释复合肥减量 5% 处理,不仅提高茄子产量而且可明显降低肥料投入成本,是一种高产高效的施肥方式,在茄子生产上具有很好地应用前景。

3.2 缓释复合肥对茄子营养品质的影响

维生素 C、氨基酸和可溶性糖含量可以反应蔬菜的口感和风味,而施肥可明显影响蔬菜中的这些营养品质指标^[18]。目前有关施肥特别是氮肥和有机肥对蔬菜营养品质的研究较多^[23-24],如甘蓝维生素 C、还原糖、总氨基酸含量随着硝态氮比例的增加相应增加^[25];菠菜茎叶中游离氨基酸含量随营养液中铵硝比的降低呈下降趋势,在全硝营养下仅为全铵营养的 34.4%^[26];施用腐殖酸类有机肥可显著提高收获期甘薯块根中可溶性糖含量和可溶性糖各组分(果聚糖、蔗糖、葡萄糖和果糖)的含量^[27]。缓释复合肥在茄子盛果初期对果实维生素 C、氨基酸和可溶性糖的作用较化肥小,但在后两个采果期明显较化肥有增加趋势,特别是 SRF1 处理。这是因为化学肥料是速效肥,肥效快而短暂,在茄子生

长季节氮素养分(主要是硝态氮)易随雨水流失,而缓释复合肥缓慢释放养分,肥效慢而持久^[28],硝态氮素养分接力持速供应可以满足维生素 C、氨基酸和可溶性糖等品质成分形成的需要;其次缓释复合肥中适量的腐殖酸可能提高了茄子中可溶性糖的供应量以及抑制果实中可溶性糖向淀粉的转化或促进淀粉向可溶性糖的转化。此外,缓释复合肥中微量的硼、锌营养元素可能也对茄子维生素 C、可溶性糖和氨基酸含量具有协同改善作用。

3.3 缓释复合肥对茄子保健品质的影响

黄酮具有抗氧化和清除氧自由基而达到抗癌、防癌功效,还可增强机体的免疫系统功能而起到护肝效果^[29]。芦丁(维生素 P)是一类较为特殊的黄酮类物质,是茄子中的重要成分,具有较强的生理活性,能软化血管,降低血黏度,避免发生脑血管疾病等作用^[30]。施肥措施(氮磷钾等营养元素)可以调控黄酮类化合物的形成,有研究认为,施磷和施钾对甘草总黄酮含量产生负效应,而施氮则产生正效应^[31]。本研究中缓释复合肥的多种形态氮素可能较普通化肥和复合肥料的单一形态氮素更有利于茄子吸收和利用,从而有利于茄子盛果中后期果实中黄酮和芦丁的形成和积累。茄子中另一种次生代谢物质茄碱具有强心降压、平喘镇痛等生物活性,适量的茄碱对人体健康有良好的保健作用^[2,32]。但茄碱是茄子苦味物质的主要来源,过多茄碱含量不仅会影响茄子的口感和风味,甚至会导致食用者中毒。茄碱是植物次生代谢产物中一类呈碱性含氮生物碱,一般认为氮素在生物碱合成和累积中起重要作用^[33]。本研究中化肥处理因释放太多无机态氮使得茄子的茄碱含量较高,降低茄子果实食用的口感,而施用缓释复合肥的 4 个处理的茄子茄碱含量在整个采果期均值为 0.612~0.657 mg g⁻¹(表 5),与其他研究者测定的紫茄果实中 α -茄碱平均含量为 0.6 mg g⁻¹^[20] 接近。表明缓释复合肥缓慢释放无机氮适应了茄子的营养需求,使茄碱含量保持在一个适量水平,有利于改善茄子果实的食用风味和保健作用。

4 结论

供试土壤条件下施用缓释复合肥较化肥和普通复合肥使茄子显著增产,以等养分处理(SRF1)增产作用最大,而减量 5% 处理(SRF2)具有高产高效作用。缓释复合肥对改善茄子果实营养品质和保

健品质显示出良好作用,以 SRF1 和 SRF2 处理对茄子盛果后期的效果好。缓释复合肥显著降低茄子硝酸盐含量,以减量 10% 处理 (SRF3) 作用最大。缓释复合肥因养分缓慢释放,逐步满足作物整个生长期对养分的需求,在茄子整个生长期尤其是中后期产量提高和品质改善等方面较化学肥料更有优势。从缓释复合肥提高茄子果实产量和改善品质综合效应看,减量 5% 处理既降低肥料成本又高产优质,可作为类似土壤肥力的茄子大田生产中推荐的最适宜施肥方式。

参 考 文 献

- [1] Ghiasi M, Azadnia A, Arabieh M, et al. Protective effect of rutin (vitamin p) against heme oxidation: A quantum mechanical approach. *Computational and Theoretical Chemistry*, 2012, 996: 28—36
- [2] 高坤金, 温吉华. 茄子栽培入门到精通. 北京: 中国农业出版社, 2010: 2—3. Gao K J, Wen J H. Introduction and proficiency of eggplant cultivation (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2010: 2—3
- [3] Aziz A, Randhawa M A, Butt M S, et al. Glycoalkaloids (α -Chaconine and α -Solanine) contents of selected pakistani potato cultivars and their dietary intake assessment. *Journal of Food Science*, 2012, 77(3): 58—61
- [4] Zhang J, Shi G W. Inhibitory effect of solanine on prostate cancer cell line PC-3 in vitro. *National Journal of Andrology*, 2011, 17(3): 284—287
- [5] Ji Y B, Gao S Y. Antihepatocarcinoma effect of solanine and its mechanisms. *Chinese Herbal Medicines*, 2012, 4(2): 126—135
- [6] 杨俊刚, 张冬雷, 徐凯, 等. 控释肥与普通肥料混施对设施番茄生长和土壤硝态氮残留的影响. *中国农业科学*, 2012, 45(18): 3782—3791. Yang J G, Zhang D L, Xu K, et al. Effects of mixed application of controlled-release fertilizer and common fertilizers on greenhouse tomato growth, yield, root distribution, and soil nitrate residual (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(18): 3782—3791
- [7] 唐栓虎, 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. *应用生态学报*, 2008, 19(5): 986—991. Tang S H, Zhang F B, Huang X, et al. Effects of slow controlled release fertilizers on the growth and nutrient use efficiency of pepper (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(5): 986—991
- [8] Du C Y, Duan Z Y, Lu Y, et al. Effect of slow and controlled release fertilizers on the yield and nutrient use efficiency of hot pepper in Qiu-bei. *Agricultural Science and Technology*, 2011, 12(5): 761—764
- [9] 侯俊, 董元杰, 刘春生, 等. 超微细磷矿粉包膜缓释肥的缓释特征及其对大白菜生理特性的影响. *土壤学报*, 2012, 49(3): 583—591. Hou J, Dong Y J, Liu C S, et al. Nutrient release characteristics of controlled release fertilizers coated with superfine phosphate rock powder and its effects on physiologic traits of Chinese cabbage (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2012, 49(3): 583—591
- [10] 李成亮, 黄波, 孙强生, 等. 控释肥料用量对棉花生长特性和土壤肥力的影响. *土壤学报*, 2014, 51(2): 295—305. Li C L, Huang B, Sun Q S, et al. Effects of application rates of controlled release fertilizers on cotton growth and soil fertility (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51(2): 295—305
- [11] 王正银, 叶学见, 叶进, 等. 绿色控释多养分肥料生产方法. 中国, CNC05G3/08, 2005-01-05. Wang Z Y, Ye X J, Ye J, et al. Production method of multi-nutrient green manure of controlling releasing (In Chinese). China, CNC05G3/08, 2005-01-05
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 146—226, 430—472. Lu R K. Analytical methods for soil and agricultural chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science Technology Press, 2000: 146—226, 430—472
- [13] 韩玉珠, 栗长兰, 王艳, 等. 17 个茄子品种 (系) 芦丁含量及杂种优势研究. *吉林农业大学学报*, 2002, 24(6): 39—41. Han Y Z, Li C L, Wang Y, et al. Study on rutin content and heterosis of 17 eggplant varieties (strains) (In Chinese). *Journal of Jilin Agricultural University*, 2002, 24(6): 39—41
- [14] 于爱平, 张丹, 郭喜红. 紫外分光光度法测定洋葱提取物中总黄酮的含量. *中国药房*, 2005, 16(19): 1498—1499. Yu A P, Zhang D, Guo X H. Determination of total flavonoids in onion extracts by UV spectrophotometry (In Chinese). *China Pharmacy*, 2005, 16(19): 1498—1499
- [15] 李志文, 周宝利, 刘翔, 等. 茄子果实中 α -茄碱的高效液相色谱法检测. *沈阳农业大学学报*, 2008, 39(4): 479—482. Li Z W, Zhou B L, Liu X, et al. Determination of α -solanine in eggplant fruit with HPLC (In Chinese). *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2008, 39(4): 479—482
- [16] 苏胜齐. 缓释复合肥料氮素释放特性研究. 重庆: 西南大学资源环境学院, 2006. Su S Q. Study on nitrogen release characteristics of slow release compound fertilizer (In Chinese). Chongqing: College of Resources and Environmental, Southwest University, 2006
- [17] 张英鹏, 徐旭军, 林咸永, 等. 氮素形态对菠菜可食部分硝酸盐和草酸累积的影响. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(2): 227—232. Zhang Y P, Xu X J, Lin X Y, et al. Effects of nitrogen forms on nitrate and oxalate accumulation in edible parts of spinach (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(2): 227—232
- [18] 王正银. 蔬菜营养与品质. 北京: 科学出版社, 2009: 14—19, 164—167. Wang Z Y. Vegetable nutrition and quality (In Chinese). Beijing: Science Press, 2009: 14—19, 164—167
- [19] 阎秀峰, 王洋, 李一蒙. 植物次生代谢及其与环境的关系. *生态学报*, 2007, 27(6): 2554—2562. Yan X F, Wang Y, Li Y M. Plant secondary metabolism and its response to environment (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2554—2562
- [20] 周宝利, 李志文, 丁昱文, 等. 茄子体内 α -茄碱的含量检测

- 及分布特点. 植物研究, 2009, 29(3): 380—384. Zhou B L, Li Z W, Ding Y W, et al. Content determination and distribution of α -solanine in eggplant (In Chinese). Bulletin of Botanical Research, 2009, 29(3): 380—384
- [21] 张雅. 茄子不同器官在不同生育期对氮磷钾吸收差异的比较分析. 浙江农业学报, 2011, 23(6): 1134—1139. Zhang Y. Comparative analysis on NPK uptake by different organs of eggplants during different growth stages (In Chinese). Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2011, 23(6): 1134—1139
- [22] 郝小雨, 高伟, 王玉军, 等. 有机无机肥料配合施用对设施番茄产量、品质及土壤硝态氮淋失的影响. 农业环境科学学报, 2012, 31(3): 538—547. Hao X Y, Gao W, Wang Y J, et al. Effects of combined application of organic manure and chemical fertilizers on yield and quality of tomato and soil nitrate leaching loss under greenhouse condition (In Chinese). Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(3): 538—547
- [23] 姜慧敏, 张建峰, 杨俊诚, 等. 不同氮肥用量对设施番茄产量、品质和土壤硝态氮累积的影响. 农业环境科学学报, 2010, 29(12): 2338—2345. Jiang H M, Zhang J F, Yang J C, et al. Effects of different treatments of nitrogen fertilizer on yield, quality of tomato and soil NO_3^- -N accumulation in vegetable-greenhouse (In Chinese). Journal of Agro-Environment Science, 2010, 29(12): 2338—2345
- [24] Suge J K, Omunyn M E, Omami E N. Effect of organic and inorganic sources of fertilizer on growth, yield and fruit quality of eggplant (*Solanum melongena* L.). Archives of Applied Science Research, 2011, 3(6): 470—479
- [25] 丁玉川, 焦晓燕, 聂督, 等. 不同氮源与镁配施对甘蓝产量、品质和养分吸收的影响. 中国生态农业学报, 2012, 20(8): 996—1002. Ding Y C, Jiao X Y, Nie D, et al. Effects of combined application of different nitrogen sources and magnesium fertilizers on cabbage yield, quality and nutrient uptake (In Chinese). Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(8): 996—1002
- [26] 汪建飞, 董彩霞, 沈其荣. 氮素不同形态对比对菠菜体内游离氨基酸含量和相关酶活性的影响. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4): 664—670. Wang J F, Dong C X, Shen Q R. Effect of NH_4^+ -N/ NO_3^- -N ratios on the free amino acids and three kinds of enzymes of nitrogen metabolism in spinach (*Spinacia oleracea* L.) shoot (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(4): 664—670
- [27] 柳洪鹏, 李作梅, 史春余, 等. 腐殖酸提高食用型甘薯块根可溶性糖含量的生理基础. 作物学报, 2011, 37(4): 711—716. Liu H J, Li Z M, Shi C Y, et al. Physiological basis of improving soluble sugar content in sweetpotato for table use by humic acid application (In Chinese). Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(4): 711—716
- [28] 汤宏, 张杨珠, 龙怀玉, 等. 不同施肥结构对茄子产量、养分吸收及土壤有效养分动态变化的影响. 水土保持学报, 2010, 24(6): 71—75. Tang H, Zhang Y Z, Long H Y, et al. Effect of different fertilization system on eggplant's yield and nutrients uptake and dynamic change of available nutrient in soil (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(6): 71—75
- [29] 朱文振, 马龙, 李国荣. 黄酮类化合物的抗癌作用及作用机制. 生命科学, 2012, 24(5): 444—449. Zhu W Z, Ma L, Li G R. Prevention and molecular mechanisms of flavonoids against cancer (In Chinese). Chinese Bulletin of Life Sciences, 2012, 24(5): 444—449
- [30] 王小晶, 王慧敏, 王菲, 等. 锌对两个品种茄子果实品质的效应. 生态学报, 2011, 31(20): 6125—6133. Wang X J, Wang H M, Wang F, et al. Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 6125—6133
- [31] 诸姮, 胡宏友, 卢昌义, 等. 植物体内的黄酮类化合物代谢及其调控研究进展. 厦门大学学报, 2007, 46(1): 136—143. Zhu H, Hu H Y, Lu C Y, et al. Progresses on flavonoid metabolism in plants and its regulation (In Chinese). Journal of Xiamen University, 2007, 46(1): 136—143
- [32] Lu M K, Shih Y W, Chang Chien T T, et al. Alpha-solanine inhibits human melanoma cell migration and invasion by reducing matrix metalloproteinase-2/9 activities. Biological and Pharmaceutical Bulletin, 2010, 33(10): 1685—1691
- [33] 习向银. 烟碱氮素来源和供氮对烤烟生长、氮素吸收、烟碱含量的影响. 北京: 中国农业大学资源与环境学院, 2005. Xi X Y. Sources of nicotine-n and effects of nitrogen supply on growth, nitrogen uptake, nicotine contents in *Nicotiana tabacum* plants (In Chinese). Beijing: College of Resources and Environmental, China Agricultural University, 2005

EFFECTS OF SLOW-RELEASE COMPOUND FERTILIZER ON YIELD AND QUALITY OF EGGPLANT RELATIVE TO TIMING OF HARVEST

Wang Fei Li Yinke Wang Zhengyin[†] Zhang Xiaoling Tang Jing
(College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract A field experiment was conducted to study effects of slow-release compound fertilizer on yield and quality of eggplant relative to timing of harvest. The study is of some great theoretical and practical significance to application of slow-release compound fertilizer in production of solanaceous vegetable. Harvests of eggplants throughout the entire harvest-

ting period were recorded and samples of eggplants were collected 3 times during the harvesting period for determination of nutritional quality (vitamin C, amino acid and soluble sugar), hygienic quality (nitrate) and health quality (flavonoids, rutin and solanine) of the eggplant. Results show that slow-release compound fertilizer (Treatments SRF) increased the yield of eggplant by 3.5% ~ 29.1% and 3.7% ~ 24.8% compared to chemical fertilizer (Treatment CF) and common compound fertilizer (Treatment CCF). In terms of yield level, the treatments were in the sequence of SRF1 > SRF4 > SRF2 > SRF3 > CCF > CF. Besides, the treatments also significantly increased the content of vitamin C, amino acid and soluble sugar in the fruits harvested at the late full fruiting stage and Treatment SRF3 significantly lowered the content of nitrate in the fruits harvest at the mid and late full fruiting stage compared to Treatment CF and Treatment CCF. As to health quality, Treatments SRF significantly increased the content of rutin by 10.0% ~ 24.0% and 10.0% ~ 50.0% in the fruits harvest at the mid and late fully fruiting stages, and lowered the content of solanine by 33.9% ~ 47.7%, 36.8% ~ 49.0% and 18.7% ~ 35.4% in the fruits harvested at all the full fruiting stage. The effects of Treatments SRF1 and SRF2 were the highest. Among the three SRF treatments, Treatment SRF1 was the best in terms of yield and quality of eggplants, and followed by Treatment SRF2, while in terms of yield/efficiency of the crop, Treatment SRF2 was No. 1.

Key words Slow-release compound fertilizer; Eggplant; Nutritional quality; Health quality

(责任编辑:汪枫生)