

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.07.010

缓释复合肥对不同品种莴笋 光合特性和品质性状的影响^①

王 菲^{1,2}, 李会合³, 王正银²

1. 重庆工业职业技术学院, 重庆 401120; 2. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400716;
3. 重庆文理学院, 重庆 永川 402168

摘要: 采用盆栽试验研究普通化肥和缓释复合肥在适量和大量施肥下对大白甲和双尖莴笋光合特性、产量和品质的影响, 以期为重庆地区高产优质莴笋生产中广泛应用缓释复合肥提供参考. 本试验研究普通化肥和缓释复合肥的适量(150-50-100)和大量(225-75-150)施肥水平对 2 个品种莴笋产量、光合特性、硝酸盐、维生素 C、糖组分和氨基酸组分的影响规律. 试验结果表明, 缓释复合肥适量(SRF₀)和大量(SRF_H)处理较普通化肥适量(CF₀)和大量(CF_H)处理显著改善 2 个品种莴笋叶片的光合特性, 使气孔导度(Gs)增加 43.3%~115%, 胞间 CO₂ 质量分数(Ci)增加 6.9%~24.4%, 蒸腾速率(Tr)增加 54.6%~143%. 与普通化肥相比, 缓释复合肥处理使 2 个品种莴笋茎和叶产量显著提高, 茎增加 8.1%~25.4%, 叶增加 8.1%~32.1%, 以及硝酸盐质量分数显著降低, 茎降低 11.7%~18.1%, 叶降低 5.0%~17.0%. 从整体趋势上看 2 个品种莴笋茎和叶维生素 C、蔗糖、总糖、甜味氨基酸、鲜味氨基酸质量分数以缓释复合肥处理较好. 缓释复合肥较普通化肥能使莴笋显著增强光合作用、提高产量和改善品质.

关键词: 缓释复合肥; 莴笋; 光合特性; 品质性状

中图分类号: S143.58

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)07-0056-08

当前氮肥是中国施用最多的化肥, 不少菜农为追求蔬菜高产盲目地过量施用氮肥, 减少有机肥的施用. 这不仅使叶类蔬菜极易富集硝酸盐, 胁迫蔬菜生长和降低营养品质, 而且导致菜园土壤理化性质和生态环境变差^[1]. 针对这些问题, 一些研究者研制出一类养分含量高、施肥次数少、养分缓慢释放且能满足作物整个生长期营养需求的缓释肥料^[2-3]. 但是, 在缓释肥料应用方面较为缺少适合于蔬菜营养特性和简化施肥技术的专用缓释复合肥料. 有鉴于此, 本试验采用西南大学研制并获国家发明专利的一种以优质有机肥料为基础的养分结构型非包膜缓释复合肥料(含有氮、磷、钾等养分, 其中氮素养分具有铵态氮、硝态氮、酰胺态氮、有机氮等多种形态, 且养分释放期较长)^[4], 该类肥料能够实现一次性施肥, 缓慢释放养分逐步满足蔬菜整个营养特性需要, 达到节肥、增产、省工、环保等施肥目标. 莴笋(*Lactuca sativa* L.)是重庆地区菜农大量种植的叶类蔬菜, 它富含维生素、糖和氨基酸等, 对人体健康具有重要作用. 为了提高莴笋产量和改善品质, 已有部分研究者对莴笋优化施肥技术开展了研究^[5-7]. 通过盆栽试验研究莴笋营养限制因子氮和钾能增强不同品种莴笋光合作用, 莴笋的产量与光合特性密切相关, 不同品种莴笋对氮钾养分的需求规

① 收稿日期: 2014-05-06

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

作者简介: 王 菲(1986-), 女, 重庆长寿人, 博士, 主要从事植物营养与品质的研究.

通信作者: 王正银, 教授, 博士研究生导师.

律表现出明显差异^[8]。然而该研究尚未涉及缓释肥料对莴笋营养生理和品质组分的作用实质。为此,本研究选取重庆地区蔬菜生产中栽培的大白甲和双尖两种莴笋,从光合特性、产量和品质(糖组分、氨基酸类型等)等方面入手,探究缓释复合肥料和普通化肥在适量和高量 2 种施肥量条件下对不同品种莴笋的影响特点和机理,旨在为莴笋优质高产栽培中应用该类缓释复合肥料提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤:侏罗纪沙溪庙组母岩发育而成的灰棕紫泥,质地为壤土,采自西南大学试验基地,其部分农化性状如下:pH 值 6.3,有机质 15.3 g/kg,碱解氮 90.4 mg/kg,有效磷 15.6 mg/kg,速效钾 105 mg/kg。

供试作物:莴笋选用重庆地区生产中广泛栽培的大白甲、双尖品种,种子由重庆科光种苗有限公司提供。

供试肥料:普通化肥有尿素(N 46%),磷酸二氢钾(P_2O_5 52%, K_2O 34%),氯化钾(K_2O 60%);缓释复合肥料^[4]是一种含有氮、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,其中氮素具有多种形态,主要有铵态氮、硝态氮、酰胺态氮、有机氮等,氮磷钾养分质量分数为 30%(N : P_2O_5 : K_2O = 3 : 1 : 2),有机质 15.7%,养分释放期 80 d 以上。

1.2 试验设计

盆栽试验于 2010 年 10 月 8 日—2011 年 1 月 6 日在西南大学玻璃盆栽场进行,试验设置 4 个施肥处理:1)普通化肥适量处理(CF_0);2)缓释复合肥料适量处理(SRF_0);3)普通化肥高量处理(CF_H);4)缓释复合肥料高量处理(SRF_H)。每个处理 5 次重复,采用(21 cm×21 cm)米氏盆钵,每盆装土壤 5 kg,每盆移栽生长一致的莴笋幼苗(三叶一心)3 株。在莴笋生长期每隔 2—3 天定量浇水 1 次,并用称重法保持土壤含水量在田间持水量的 80%左右。各处理按表 1 的要求施用肥料。用氯化钾补充化肥处理中的钾养分,使 CF_0 和 SRF_0 的氮磷钾养分一致, SRF_H 的施肥量为 SRF_0 处理的 1.5 倍,其中钾肥、磷肥和缓释复合肥料作基肥 1 次施用,氮肥在莴笋移栽返青后分别按 30%,40%和 30%的比例作追肥分 3 次施用。2010 年 12 月 3 日采用 LI-6400P 便携式光合作用测定系统,测定莴笋心叶下第 3—4 片完全叶的光合特性。莴笋收获时测定产量,取茎和叶片新鲜样品测定 Vc 和硝酸盐质量分数;同时取一份新鲜样品于 90 °C 下杀青,65 °C 下烘干,粉碎、过 0.5 mm 筛,用于测定莴笋茎、叶中糖、氨基酸质量分数。

表 1 盆栽试验方案

/(mg·kg⁻¹)

处 理	N 用量	P_2O_5 用量	K_2O 用量	代码
普通化肥适量	150(分 3 次施用)	50	100	CF_0
缓释复合肥料适量	150(1 次施用)	50	100	SRF_0
普通化肥高量	225(分 3 次施用)	75	150	CF_H
缓释复合肥料高量	225(1 次施用)	75	150	SRF_H

1.3 测定项目及方法

土壤样品基本农化性状均按常规分析方法测定^[9]。莴笋生长期光合特性用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400P 型便携式光合作用测定系统在玻璃盆栽场进行测定,分别测定净光合速率(Pn),气孔导度(Gs),胞间 CO₂ 质量分数(Ci)和蒸腾速率(Tr);叶绿素采用 80%丙酮提取,722S 分光光度法测定。硝酸盐采用酚二磺酸显色分光光度法测定;维生素 C 采用 2,6-二氯靛酚滴定法测定;还原糖采用 3,5-二硝基水杨酸测定^[10],糖组分采用铁氰化钾-碘量容积法测定^[11];氨基酸组分采用将样品烘干后用 6 mol/L 盐酸水解,在西南大学农产品质量与安全检测中心用北京日立公司 L-8800 氨基酸分析仪测定。所有试验数据用最小

显著差数法(LSD)进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 缓释复合肥对莴笋光合特性的影响

光合作用是作物生长发育的基础和生产力高低的决定性因素, 而养分是作物正常生长发育必不可少的物质, 植物通过吸收利用养分完成其生命周期和形态建成, 可见作物光合作用直接或间接受到矿质营养的影响^[12]。大白甲莴笋 SRF₀(缓释复合肥适量)处理的 P_n(净光合速率)、G_s(气孔导度)、C_i(胞间 CO₂ 质量分数)和 Tr(蒸腾速率)较 CF₀(化肥适量)处理显著增加, 其中与莴笋产量直接相关的 P_n 增加 17.1%; SRF_H(缓释复合肥高量)处理的 G_s、C_i、Tr、Chla(叶绿素 a)、Chlb(叶绿素 b)、Chl(a+b)较 CF_H(化肥高量)处理显著增加。对于双尖莴笋, SRF₀ 处理各光合特性(除 P_n 外)较 CF₀ 处理显著增加, 这种现象与大白甲莴笋在高量施肥下的情况一致; SRF_H 处理的 G_s、C_i、Tr 较 CF_H 处理显著增加, P_n、Chla、Chlb、Chl(a+b)无显著差异。缓释复合肥在适量、高量施肥下改善两种莴笋的 G_s、C_i、Tr, 使气孔导度增加 43.3%~115%, 胞间 CO₂ 质量分数增加 6.9%~24.4%, 蒸腾速率增加 54.6%~143%(表 2)。而 P_n 可能与叶绿素有关, 因为植物叶片净光合速率与自身因素如叶绿素质量分数、叶片厚度、叶片成熟度等, 以及与环境因素如光照强度、气温、空气相对湿度等密切相关^[13]。

表 2 不同施肥处理对莴笋光合特性的影响

处 理	净光合速率/ ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	气孔导度/ ($\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	胞间 CO ₂ 质量分数/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	蒸腾速率/ ($\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	叶绿素 a/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素 b/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素 a+叶绿 素 b/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	
大白甲	CF ₀	3.21b	0.0716b	319.6b	0.2995b	1.034a	0.262a	1.296a
	SRF ₀	3.76a	0.1026a	341.8a	0.4630a	0.914b	0.247b	1.161b
	CF _H	3.41a	0.0576b	277.3b	0.1788b	1.007b	0.241b	1.248b
	SRF _H	3.22b	0.0884a	345.0a	0.4347a	1.104a	0.297a	1.401a
双尖	CF ₀	3.61a	0.0405b	274.7b	0.1755b	1.057b	0.309b	1.366b
	SRF ₀	3.39b	0.0668a	327.0a	0.2905a	1.170a	0.347a	1.517a
	CF _H	3.78a	0.0482b	281.5b	0.2040b	1.044a	0.305a	1.349a
	SRF _H	3.60a	0.1038a	337.3a	0.4235a	1.096a	0.299a	1.395a

注: 不同字母表示 CF₀ 和 SRF₀ 处理、CF_H 和 SRF_H 处理俩俩比较差异有统计学意义, $p < 0.05$, 下同。

2.2 缓释复合肥对莴笋产量的影响

缓释复合肥在 2 种施肥量下大白甲和双尖莴笋茎、叶产量显著高于普通化肥处理, 2 种莴笋茎和叶产量分别提高 8.1%~25.4%和 8.1%~32.1%(图 1), 表明缓释复合肥养分释放与 2 个品种莴笋对养分的需求具有同步性, 可以满足莴笋生长发育过程中对养分的需要, 因而促进其产量显著提高。2 个品种莴笋每盆叶产量(133.8~266.3 g)均高于每盆茎产量(41.4~65.3 g)。大白甲莴笋茎产量与双尖莴笋大体一致, 而叶产量整体上高于双尖莴笋, 说明缓释复合肥更易促进大白甲莴笋叶片的生长, 这可能是 2 个莴笋品种的差异所致。在相同栽培条件下大白甲莴笋的产量高于双尖莴笋, 而供试缓释复合肥的养分量比尤其是氮素质量分数和形态比例更适合于大白甲莴笋生长旺盛期叶片产量的提高。

2.3 缓释复合肥对莴笋品质性状的影响

2.3.1 硝酸盐

蔬菜中的硝酸盐质量分数一直是人们十分关注的问题, 被看作是蔬菜质量的一个重要指标。近几十年来, 研究工作者致力于通过养管理、农艺措施和育种等手段来降低蔬菜硝酸盐质量分数^[14]。2 个品种莴笋茎和叶硝酸盐质量分数分别为 1 295~1 978 mg/kg 和 368.9~745.2 mg/kg, 均没超过国家标准规定的叶菜类硝酸盐的限量标准($\leq 3 000 \text{ mg/kg}$)^[15]。大白甲和双尖莴笋在缓释复合肥适量和高量施肥处理下茎、叶硝酸盐质量分数较普通化肥处理显著降低, 降幅分别为 11.7%~18.1%和 5.0%~17.0%(图 2)。缓释

复合肥能显著降低这 2 个品种莴笋茎和叶的硝酸盐质量分数,对于改善莴笋卫生品质的作用具有一致性。

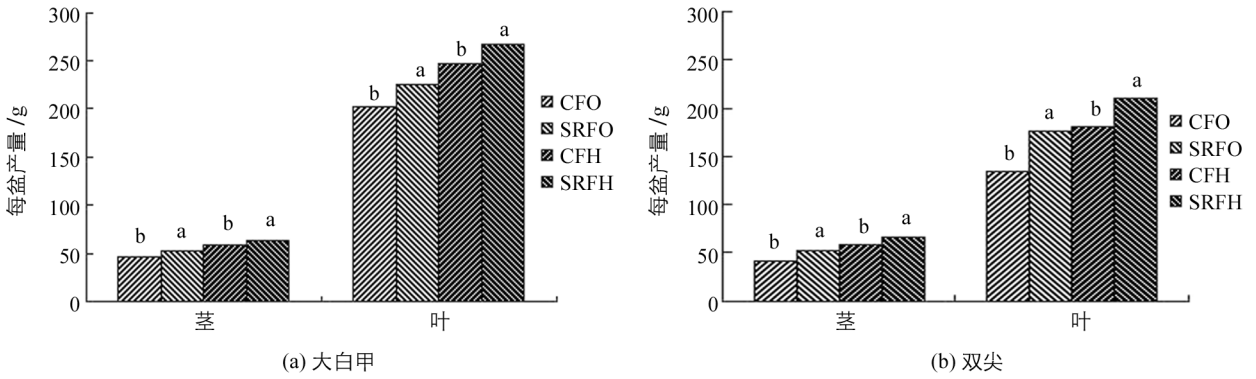


图 1 不同施肥处理对莴笋产量的影响

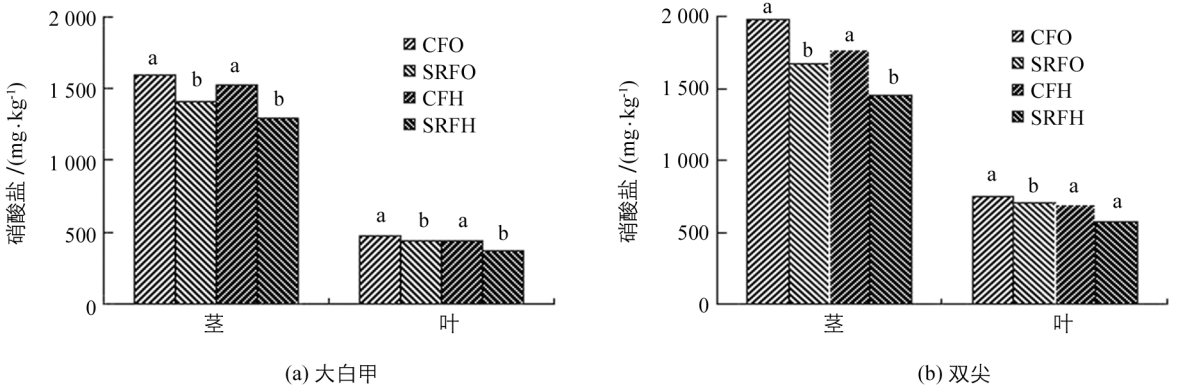


图 2 不同施肥处理对莴笋硝酸盐的影响

2.3.2 维生素 C

2 个品种莴笋叶维生素 C 质量分数明显高于莴笋茎,在适量和高量施肥下均以缓释复合肥处理较普通化肥显著增加 2 个品种莴笋茎和叶维生素 C 质量分数,其中茎增加 12.4%~23.0%,叶增加 6.1%~15.2%(图 3)。这与该两处理光合特性指标较高相一致,表明莴笋维生素 C 质量分数与光合作用强弱密切相关。缓释肥料在土壤中氮素养分是逐渐水解形成 $\text{NH}_4^+\text{-N}$,并不断地被转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,作物生长在均衡的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 土壤条件下,有利于作物体内维生素 C 质量分数的提高,使品质得到改善^[16]。

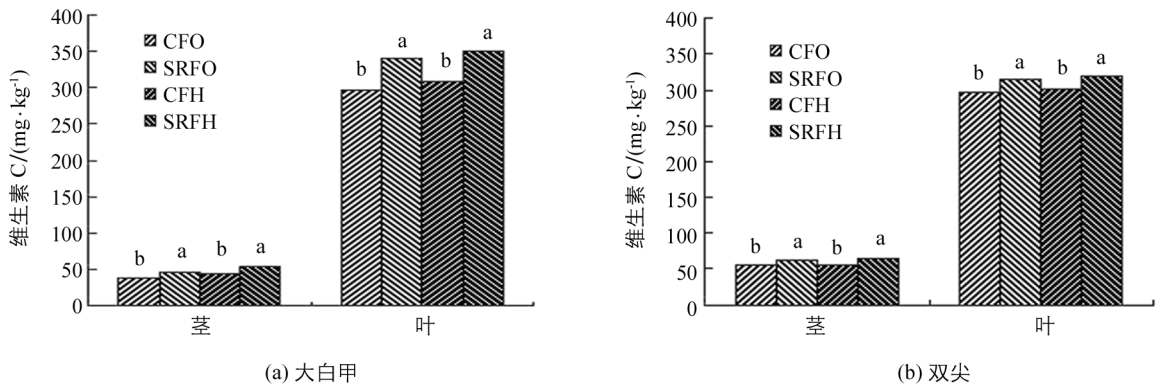


图 3 不同施肥处理对莴笋维生素 C 的影响

2.3.3 糖组分

蔬菜中糖的种类和质量分数不仅是酸、色素和一些芳香类物质合成的基础原料,还是蔬菜食用品质的一个重要指标^[17]。大白甲莴笋茎葡萄糖、蔗糖以及总糖质量分数以缓释复合肥处理显著增加;大白甲莴笋叶葡萄糖、蔗糖、还原糖以及总糖质量分数以缓释复合肥处理显著增加。双尖莴笋茎果糖、蔗糖、还

原糖和总糖质量分数无论是在适量施肥还是在高量施肥下均以缓释复合肥处理显著高于化肥处理; 而双尖莴笋叶仅蔗糖和总糖质量分数以缓释复合肥处理显著高于化肥处理. 缓释复合肥处理显著增加 2 个品种莴笋茎和叶蔗糖和总糖质量分数, 分别使茎蔗糖增加 13.3%~92.6% 和总糖增加 15.8%~62.2%, 叶蔗糖增加 13.0%~96.2% 和总糖增加 5.7%~35.0%. 综合考虑莴笋各种糖组分的均衡性, 无论是适量还是高量仍以缓释复合肥处理最好(表 3).

表 3 不同施肥处理莴笋糖组分

%

糖 组 分	大 白 甲				双 尖				
	CF ₀	SRF ₀	CF _H	SRF _H	CF ₀	SRF ₀	CF _H	SRF _H	
茎	葡萄糖	0.14b	0.25a	0.15b	0.23a	0.12a	0.12a	0.18a	0.15b
	果糖	0.91a	0.93a	1.57a	0.81b	1.08b	1.41a	1.01b	1.17a
	蔗糖	4.13b	4.68a	3.42b	5.42a	1.95b	3.38a	1.75b	3.37a
	还原糖	0.96b	1.21a	1.76a	1.06b	1.24b	1.56a	1.11b	1.25a
	总糖	5.30b	6.14a	5.36b	6.75a	3.29b	5.12a	2.96b	4.80a
叶	葡萄糖	0.14b	0.32a	0.16b	0.50a	0.12a	0.11b	0.26a	0.13b
	果糖	0.97a	0.92b	1.02a	0.95b	0.99a	1.00a	0.98a	0.82b
	蔗糖	1.38b	1.93a	1.60b	2.27a	0.77b	0.87a	0.52b	1.02a
	还原糖	1.15b	1.26a	1.18b	1.48a	1.13a	1.13a	1.26a	0.97b
	总糖	2.60b	3.31a	2.86b	3.86a	1.94b	2.05a	1.80b	2.03a

2.3.4 氨基酸品质性状

研究资料表明, 氨基酸的品质性状可分 3 类^[18], 即: 甜味氨基酸(甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸和苏氨酸)、鲜味氨基酸(天门冬氨酸、谷氨酸和赖氨酸)和苦味氨基酸(缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、蛋氨酸、精氨酸、组氨酸和苯丙氨酸). 氨基酸的品质性状与蔬菜的食用品质密切相关, 影响其口感和味道等. 缓释复合肥 2 个处理显著增加大白甲莴笋茎鲜味氨基酸质量分数达 12.6%~24.4%, 叶鲜味氨基酸质量分数增加 10.2%. 缓释复合肥显著降低双尖莴笋茎苦味氨基酸质量分数, 降幅为 15.9%~19.4%; 缓释复合肥处理较化肥处理对双尖莴笋叶氨基酸总量、甜味氨基酸、鲜味氨基酸和苦味氨基酸质量分数均无显著差异. 2 个品种莴笋茎和叶甜味氨基酸和鲜味氨基酸几乎占氨基酸总量的一半以上. 而莴笋风味品质以甜味氨基酸和鲜味氨基酸质量分数增加、苦味氨基酸降低最好, 可见缓释复合肥处理改善了大白甲莴笋的食用品质(表 4).

表 4 不同施肥处理莴笋氨基酸品质性状

品 种	氨基酸	CF ₀		SRF ₀		CF _H		SRF _H		
		/(g·kg ⁻¹)	%	/(g·kg ⁻¹)	%	/(g·kg ⁻¹)	%	/(g·kg ⁻¹)	%	
大白甲	茎	氨基酸总量	77.1a	100	80.8a	100	74.4a	100	78.0a	100
		甜味氨基酸	13.2a	17.1	12.1b	15.0	12.2a	16.4	11.4b	14.6
		鲜味氨基酸	29.1b	37.7	36.2a	44.8	30.1b	40.5	33.9a	43.5
		苦味氨基酸	33.4a	43.3	31.3b	38.7	31.2a	41.9	31.2a	40.0
叶	氨基酸总量	135a	100	127b	100	133a	100	139a	100	
		甜味氨基酸	26.0a	19.2	25.0a	19.7	26.9b	20.3	28.4a	20.4
		鲜味氨基酸	36.4b	26.9	40.1a	31.6	40.1b	30.3	44.2a	31.8
		苦味氨基酸	47.0b	34.7	51.0a	40.3	54.7a	41.3	55.2a	39.7
双尖	茎	氨基酸总量	74.8a	100	65.1b	100	77.7a	100	78.8a	100
		甜味氨基酸	13.6a	18.2	11.2b	17.2	13.1a	16.9	13.0a	16.5
		鲜味氨基酸	28.8a	38.5	27.8a	42.7	27.2b	35.0	34.3a	43.5
		苦味氨基酸	31.0a	41.4	25.0b	38.4	35.9a	46.2	30.2b	38.3
叶	氨基酸总量	138a	100	135a	100	132a	100	133a	100	
		甜味氨基酸	29.1a	21.0	28.2a	21.0	28.4a	21.6	27.6a	20.7
		鲜味氨基酸	41.8a	30.2	41.5a	30.9	41.0a	31.2	39.9a	29.9
		苦味氨基酸	55.9a	40.4	54.2a	40.3	52.0a	39.5	54.2a	40.6

3 讨 论

植物光合作用是一个内外因子共同作用的复杂过程. 为提高光合作用而调节某个(某些)因子时, 要充分考虑某个(某些)因子变化对光合作用所产生的直接或间接影响. 气孔是植物进行气体交换的主要通道, 控制着叶片和大气之间的 CO_2 和水蒸汽的扩散传导, 调节植物的碳固定和水分散失的平衡关系^[19]. 胞间 CO_2 质量分数在光合作用的气孔限制分析中经常用到, 空气中的 CO_2 质量分数增高、气孔导度与叶肉导度增大和叶肉细胞的光合活性降低等主要的 4 个因素都可以导致胞间 CO_2 质量分数增高^[20]. 本试验中 2 个品种茼蒿气孔导度和胞间 CO_2 质量分数在适量和高量施肥下均以缓释复合肥处理显著增加, 这可能是气孔导度增加影响胞间 CO_2 质量分数增加. 研究证明蒸腾作用减弱可能会导致植物叶温过高, 增加了植物发生热害的可能性^[21]. 缓释复合肥在适量和高量施肥下显著增加两种茼蒿的蒸腾作用. 叶绿素是光合作用的光敏催化剂, 与光合作用密切相关, 其质量分数和比例是植物适应和利用环境因子的重要指标^[22, 23]. 邱现奎等的研究结果指出施用控释肥料提高花生叶片叶绿素质量分数、光合速率和蒸腾速率等生理指标^[24]. 本研究中在适量和高量施肥下, 2 个品种茼蒿的光合特性以缓释复合肥处理好于普通化肥处理. 这可能是因为缓释复合肥中的有机质在土壤中分解、转化形成各种腐殖酸, 腐殖酸含有多种活性功能团, 调节作物体内养分平衡状态以及刺激多种光合作用所需酶的活性等^[15], 进而促进了蔬菜的生长发育. 肥料中多种营养成分特别是有机和无机养分的共存, 是作物优质高产的基础, 例如在化肥的基础上配施一定比例沼液和沼渣能显著增加茼蒿产量^[25]. 缓释复合肥提供光合作用酶所需养分, 影响光合作用, 而光合速率和光合功能期影响光合生产能力, 进而影响作物产量^[26-27], 本试验中缓释复合肥处理大白甲和双尖茼蒿茎和叶产量均显著高于化肥处理, 这与茼蒿光合特性提高相一致.

植物吸收利用的主要无机氮形态铵态氮(NH_4^+)和硝态氮(NO_3^-)的不同比例对蔬菜生理代谢等有极大影响, 进而影响蔬菜收获物的硝酸盐、维生素 C、糖、氨基酸质量分数等品质^[28]. 当硝态氮作氮源时, 蔬菜生长良好, 而铵态氮作氮源时, 则蔬菜生长会受到抑制; 就蔬菜产量和品质而言, 选择肥料中的铵态氮和硝态氮的适宜比例和供应速率是很重要的. 有研究证实, 等氮量条件下随着铵硝比的降低, 硝酸盐质量分数表现线性增加; 而增铵能提高维生素 C、可溶性糖质量分数等^[29]. 供试缓释复合肥料中的氮素分为无机氮和有机氮两大部分, 无机氮中硝态氮和铵态氮的适宜比例可提高茼蒿糖和氨基酸等质量分数, 而有机氮中的酸溶性氨基酸氮和氨基糖氮等^[30]可能与茼蒿的糖组分和氨基酸组分相关. 表明缓释复合肥料中多形态氮素和缓释供氮特性符合茼蒿的基本营养特点, 能明显改善茼蒿糖组分和氨基酸组分, 提高茼蒿食用价值, 适应优质生产的需要.

4 结 论

缓释复合肥在适量(150-50-100)和高量(225-75-150)施肥水平较普通化肥显著提高大白甲和双尖茼蒿气孔导度(增幅 43.3%~115%)、胞间 CO_2 质量分数(增幅 6.9%~24.4%)、蒸腾速率(增幅 54.6%~143%)等光合特性. 施用缓释复合肥使 2 个品种茼蒿产量显著增产(8.1%以上)和改善营养品质和卫生品质, 蔗糖和总糖质量分数显著增加(13.0%~96.2%和 5.7%~62.2%), 显著提高大白甲茼蒿鲜味氨基酸质量分数、显著降低双尖茼蒿茎苦味氨基酸质量分数. 一次性施用缓释复合肥较化肥节省劳力, 提高茼蒿光合特性、产量和品质, 以缓释复合肥适量施肥水平效果更佳.

参考文献:

- [1] 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 [J]. 中国农业科学, 2012, 45(18): 3782-3791.
- [2] NI B L, LIU M Z, LUE S Y. Multifunctional Slow Release Urea Fertilizer from Ethycellulose and Super Absorbent Coa-

- ted Formulations [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2009, 155(3): 892—898.
- [3] 卓莉,王碧,何倩. 羧甲基纤维素肥料包膜材料的研究 [J]. *四川师范大学学报*, 2013, 36(3): 424—429.
- [4] 王正银,叶学见,叶进,等. 绿色控释多养分肥料生产方法: CNC05G3/08 [P]. 2015—01—05.
- [5] FERNÁNDEZ J A, ESTEBAN A, CONESA E, et al. Nitrate Evolution in Soil, Leaching Water, and Lettuce Plant Crops using Different Fertilization Strategies [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2012, 43(19): 2467—2483.
- [6] 朱洪霞,狄彩霞,王正银,等. 钙对酸性土壤不同品种莴笋产量和品质的效应 [J]. *西南农业大学学报(自然科学版)*, 2005, 27(4): 456—458, 463.
- [7] 何晶晶,杨志敏,王莉玮,等. 几种化学物质抑制土壤汞、镉进入蔬菜的研究 [J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2014, 39(1): 1—5.
- [8] 李会合,田秀英,王正银. 增施氮钾和光照强度对不同品种莴笋光合特性和产量的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(3): 564—569.
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 146—196, 302—473.
- [10] 陈毓荃. 生物化学实验方法和技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 97—100, 102—107, 197—200.
- [11] [苏]X H 波钦诺克. 植物生物化学分析方法 [M]. 荆家海,丁钟荣,译. 北京: 科学出版社, 1976: 143—149.
- [12] 徐俊增,彭世彰,魏征,等. 不同供氮水平及水分调控条件下水稻光合作用光响应特征 [J]. *农业工程学报*, 2012, 28(2): 72—76.
- [13] 张治安,杨福,陈展宇,等. 菰叶片净光合速率日变化及其与环境因子的相互关系 [J]. *中国农业科学*, 2006, 39(3): 502—509.
- [14] 都韶婷,金崇伟,章永松. 蔬菜硝酸盐积累现状及其调控措施研究进展 [J]. *中国农业科学*, 2010, 43(17): 3580—3589.
- [15] 王正银. 蔬菜营养与品质 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 24—26, 100—104.
- [16] 熊又升,陈明亮,何圆球,等. 包膜尿素对芹菜产量、品质及氮素平衡的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(1): 104—109.
- [17] 王玲平,戴丹丽,胡海娇,等. 不同基因型茄子果实发育过程中色素与可溶性糖的关系 [J]. *中国蔬菜*, 2010(22): 41—46.
- [18] 沈中泉,郭云桃,袁家富. 有机肥料对改善农产品品质的作用及机理 [J]. *植物营养与肥料学报*, 1995, 1(2): 54—60.
- [19] 戴宏芬,邱燕萍,袁沛元,等. 螺旋环剥对幼龄“桂味”荔枝果期光合和蒸腾作用的影响 [J]. *园艺学报*, 2010, 37(8): 1241—1246.
- [20] 陈根云,陈娟,许大全. 关于净光合速率和胞间 CO₂ 浓度关系的思考 [J]. *植物生理学通讯*, 2010, 44(1): 64—66.
- [21] 郝兴宇,韩雪,李萍,等. 大气 CO₂ 浓度升高对绿豆叶片光合作用及叶绿素荧光参数的影响 [J]. *应用生态学报*, 2011, 22(10): 2776—2780.
- [22] 段兴友,刘仁祥,彭剑涛,等. 烤烟黄叶突变体幼苗光合特性及农艺性状分析 [J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2014, 39(10): 51—54.
- [23] 王朝英,李昌晓,王振夏,等. 枫杨与池杉对不同配置及水分的生理生化响应 [J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2012, 29(3): 48—56.
- [24] 邱现奎,董元杰,史衍玺,等. 控释肥对花生生理特性及产量、品质的影响 [J]. *水土保持学报*, 2010, 24(2): 223—250.
- [25] 李泽碧,王正银,李清荣,等. 沼液、沼渣与化肥配施对莴笋产量和品质的影响 [J]. *中国沼气*, 2006, 24(1): 27—30.
- [26] 吕长文,唐道彬,赵勇,等. 不同淀粉质量分数甘薯光合特性及其与产量的关系研究 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2014, 36(1): 24—31.
- [27] 阮琴妹,吴秋云,刘明月,等. 氮素水平对马铃薯光合特性的影响研究 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2014, 36(10): 6—11.
- [28] 罗学华,邹碧霞,吴菊群,等. 氮水平和形态配比对巴西橡胶树花药苗生长及氮代谢、光合作用的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(3): 693—701.

- [29] 汪建飞, 董彩霞, 沈其荣. 不同铵硝比对菠菜生长、安全和营养品质的影响 [J]. 土壤学报, 2007, 44(4): 683–688.
- [30] 胡小凤, 苏胜齐, 王正银. 缓释复合肥氮素养分形态初步研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2008, 30(3): 90–95.

Effects of Slow-Release Compound Fertilizer on Photosynthetic Characteristics, Yield and Quality of Lettuce

WANG Fei^{1,2}, LI Hui-he³, WANG Zheng-yin²

1. Chongqing Industry Polytechnic College, Chongqing 401120, China;

2. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;

3. Chongqing University of Arts and Sciences, Yongchuan 402168, China

Abstract: A pot experiment was conducted to study the effect of chemical fertilizer and slow-release compound fertilizer at the appropriate and high levels on photosynthetic characteristics; yield and quality of two varieties lettuce called Dabajia and twin-tip lettuce, aiming to seek suitable management measures for the high yield and fine quality of lettuce production by using widely slow-release compound fertilizers in Chongqing region. It studied the effect law of common chemical fertilizer and slow-release compound fertilizer at appropriate (150–50–100) and high (225–75–150) levels on yield, photosynthetic characteristics, nitrate, vitamin C, sugar and amino of two varieties lettuce in the research. Results showed that the stomatal conductance (G_s), internal CO_2 concentration (C_i) and transpiration rate (Tr) of two varieties lettuce in slow-release compound fertilizer treatments (SRFO and SRFH) increased by 43.3%–115%, 6.9%–24.4% and 54.6%–143% respectively compared to chemical fertilizers treatments (CFO and CFH). The yield of two varieties lettuce increased in slow-release compound fertilizer treatments by 8.1%–25.4% in stem and 8.1%–32.1% in leaf compared to chemical fertilizers treatments. Meanwhile, nitrate content in slow-release compound fertilizer treatments decreased by 11.7%–18.1% in stem and 5.0%–17.0% in leaf. In both varieties of lettuce, the contents of Vc, sucrose, total sugar, sweet and flavor amino in slow-release compound fertilizer treatments were higher than that in chemical fertilizers treatments. Therefore, compared to chemical fertilizers, slow-release compound fertilizer could enhance photosynthetic characteristics, increase yield and improve quality of the two cultivars lettuce.

Key words: slow-release compound fertilizer; lettuce; photosynthetic characteristics; quality traits

责任编辑 陈绍兰

实习编辑 包颖

