植物营养与肥料学报 2016,22(3): 847 -854
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer
doi: 10.11674/zwyf.14505
http: //www.plantnutrifert.org

不同缓/控释氮肥对基质栽培甜瓜生理特性与品质的影响

王晓巍[1,2], 蒯佳林[2], 郁继华[1*], 刘晓静[1]
(1 甘肃农业大学园艺学院, 兰州 730070; 2 甘肃省农业科学院蔬菜研究所, 兰州 730070)

摘要:【目的】缓/控释氮肥的养分释放速率因介质而异,应根据作物种类、栽培模式及土壤等环境条件合理选择缓释肥类型。本试验以异丁叉二脲(IBDU)、硫包衣尿素(SCU)、脲甲醛(UF)、亚甲基脲(MU)、树脂包膜尿素(ESN)5 种不同缓/控释氮肥为试材,通过研究在等养分水平下对基质栽培甜瓜生理特性及品质的影响,筛选出适宜基质栽培的缓/控释氮肥,以期为西北地区非耕地甜瓜的高品质、简约化栽培提供理论依据。**【方法】**采用基质盆栽(草炭:蛭石:珍珠岩 =3:1:1,V:V)试验,设 CK(不施氮肥)、U(普通尿素)、IBDU、SCU、UF、MU 和 ESN 7 个处理。幼苗长至 2 ~ 3 片真叶时,定植于高 30 cm、直径 30 cm 的盆中,在甜瓜营养生长旺盛期即开花期取功能叶片进行生理生化指标的测定。**【结果】**与普通尿素相比,5 种缓/控释氮肥可不同程度地提高甜瓜开花期叶片的叶绿素含量、净光合速率、蒸腾速率、氮含量和根系活力;缓/控释氮肥处理均能显著提高甜瓜单瓜重,有效改善甜瓜品质。效果表现为亚甲基脲(MU) > 异丁叉二脲(IBDU) > 脲甲醛(UF) > 树脂包膜(ESN) > 硫包衣尿素(SCU),化学型缓/控释氮肥(MU、IBDU、UF)好于物理型缓/控释氮肥(ESN、SCU)。其中 MU 缓/控释氮肥处理的甜瓜叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a + b 含量分别较 U 处理增加了 41.0%、31.0% 和 38.3%,叶片光合速率和蒸腾速率提高了 28.9% 和 95.5%,叶片全氮、可溶性蛋白质、硝态氮含量分别增加了 23.7%、24.3%、269.7%,根系活力提高了 37.5%,果实单瓜重、中心可溶性固形物、可溶性糖、Vc 含量分别提高了 54.5%、4.1%、10.6%、16.7%,硝酸盐含量降低了 9.9%。**【结论】**缓/控释氮肥可提高基质栽培甜瓜叶片的叶绿素含量,改善光合作用,增强甜瓜根系吸收功能,促进氮素的吸收和同化,进而提高产量和品质。缓/控释氮肥处理的甜瓜产量和品质与叶绿素、光合速率、叶片全氮、可溶性蛋白质、硝态氮、根系活力等生理指标有一定的相关性。

关键词: 缓/控释氮肥; 甜瓜; 生理特性; 品质
中图分类号: S652.601;S145.6　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1008 -505X(2016)03 -0847 -08

Effects of controlled/slow-released nitrogen fertilizers on physiological characteristics and quality of melon under substrate cultivation

WANG Xiao-wei[1,2], KUAI Jia-lin[2], YU Ji-hua[1*], LIU Xiao-jing[1]
(*1 College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;*
2 Vegetable Science Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

Abstract:【Objectives】 Nutrient release rates of slow/controlled nitrogen fertilizers vary with different medium. Types of slow release fertilizers should be selected according to crop species, cultivation model and soil environment, etc. To provide theoretical basis for high quality and simplified cultivation of melon in non-cultivated land of northwestern China, effects of five controlled release nitrogen fertilizers, including Iso-butyl diurea (IBDU), sulfur-coated urea (SCU), urea formaldehyde (UF), methylene urea (MU) and polyolefin-coated urea (ESN), on physiological characteristics and qualities of melon were investigated in special fertilizers at the same level of whole nutrients, and suitable slow/controlled release nitrogen fertilizer in substrate culture was screened.

收稿日期: 2014 -11 -07　　**接受日期:** 2015 -01 -08　　**网络出版日期:** 2015 -07 -17
基金项目: 农业部行业专项"西北地区非耕地园艺作物生产关键技术研究与示范项目(201203095)"; 农业部西北地区蔬菜科学观测实验站项目(2015 -A2621 -620321 -G1203 -066)资助。
作者简介: 王晓巍(1968—), 男, 甘肃宁县人, 研究员, 硕士研究生导师, 主要从事设施作物栽培方面的研究。E-mail:wangxw1968@sina.com
* 通信作者 E-mail: yujihua@gsau.edu.cn

【**Methods**】Seven treatments were included in this study, namely, no N fertilizer treatment (CK), common urea (U), Iso-butyl diurea, sulfur-coated urea, urea formaldehyde, methylene urea and polyolefin-coated. At the two-leaf stage, muskmelon seedlings were transferred to pot (height 30 cm, diameter 30 cm) within 5 kg substrate. One pot had one muskmelon seedling. The nutrient concentrations of substrate in a pot were N 7.5g, P_2O_5 3.25g and K_2O 7.5g. The formulation of matrix was peat∶vermiculite∶perlite = 3∶1∶1 (in volume). All the slow/controlled release nitrogen fertilizers were applied as basal fertilizers. For the common urea treatment, 40% urea was used for basal application and 60% amount of urea was used as topdressing. Calcium superphosphate was supplied once at the beginning for all treatments. 40% potassium sulfate was fertilized as basal dressing and 60% used as top dressing. The top dressing was supplied at the fruit setting and fruit-development stages, and the same amount was applied for the two times. Leaf samples were collected randomly at the flowering stage of melon for testing. Three replicates for each treatment were laid out in a random design. 【**Results**】Compared with the ordinary urea, the five kinds of slow/controlled release fertilizers increase the leaf chlorophyll content, net photosynthetic rate, transpiration rate, nitrogen content and root activity at different degrees. The slow/controlled release nitrogen fertilizer treatments significantly increase the single fruit weight and improve fruit quality, and the order of the fertilizers' effects from high to low are methylene ureas > iso-butylene diurea > urea formaldehyde > polyolefin- coated > sulfur-coated urea. In a word, the chemical slow/controlled fertilizers are better than physical type. Compared with the ordinary urea, the chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll contents of plants under the methylene urea treatment are increased by 41.0%, 31.0% and 38.3%, the net photosynthetic rate and transpiration rate of plants are increased by 28.9% and 95.5%, the leaf total nitrogen content, soluble protein content, nitrate content and root activity are improved by 23.7%, 24.3%, 269.7% and 37.5%, and the average fruit mass, the central soluble solid content, the soluble sugar content and Vc content are increased by 54.5%, 4.1%, 10.6% and 16.7%, while the nitrate content is decreased by 9.9%. 【**Conclusions**】The slow/controlled release nitrogen fertilizers could increase the content of chlorophyll and photosynthesis of muskmelon leaves, enhance the function of muskmelon root absorption, promote the absorption and assimilation of nitrogen, and improve yield and quality. The yield and quality of the slow/controlled fertilizer treated melon are correlated with physiological indices, such as chlorophyll content, photosynthetic rate, leaf total nitrogen content, soluble protein content, nitrate content and root activity, etc.

Key words: controlled/slow-release nitrogen fertilizer; melon; physiological characteristic; quality

氮是构成植物体内蛋白质、核酸、叶绿素和多种酶、多种维生素的主要成分,氮素营养水平直接影响作物的产量和品质。甜瓜生长对氮素营养水平的反应比较敏感[1]。当前,在蔬菜生产中普遍存在过量投入化肥以追求高产的现象,其结果则是蔬菜增产幅度和品质逐年下降,另外,施肥次数增加,造成施肥成本高、劳动强度大、肥料利用率低、给土壤和水体带来严重的污染。在保证作物产量和品质的前提下,减少肥料施用量已成为我国农业生产的重要任务。

缓/控释肥料是采用一定工艺手段,制成肥料的养分释放比常规肥料养分释放缓慢的一类新型环境友好型肥料[2-4]。众多研究表明,施用缓/控释肥料可提高作物叶片的叶绿素含量和光合速率,增加物质积累和产量,提高品质。施用控释尿素较普通尿素更能有效地提高水稻生育后期叶片的叶绿素含量和净光合速率[5-6]。李学刚等[7]研究表明,100%的树脂包膜尿素和棉花控释专用肥处理提高了棉花叶龄45 d和60 d叶片的叶绿素含量、PsⅡ的活性、光化学最大效率、实际光化学效率和光化学猝灭系数,使叶片保持了较高的净光合速率。马忠明等[8]在旱砂田西瓜上的研究表明,缓/控释肥较常规施肥处理可使西瓜增产34%,品质和肥料利用率也显著提高;罗兰芳等[9]报道,施控释氮肥的杂交水稻糙米氨基酸总量、必需氨基酸和限制性氨基酸含量均较施用尿素明显提高。另外,缓/控释氮肥也可显著提高菜薹[10]、大白菜[11]、茶树[12]等作物的产量和品质。缓/控释氮肥按照肥料的加工过程的不同分为物理型、化学型和物理化学型,不同类型的缓/控释肥由于生产材料、工艺等方面存在差异,导致其在不同介质中的养分释放速率也不同[13]。因此,应

根据作物种类、栽培模式及气候、土壤等环境条件合理选用缓释肥类型。为此，本研究选择了 5 种不同类型的缓/控释氮肥，研究在等养分水平条件下对基质栽培甜瓜生理特性及品质的影响，筛选出适宜基质栽培的缓/控释氮肥，以期为西北地区非耕地甜瓜高品质、简约化栽培提供理论依据。

1　材料和方法

1.1　试验材料

供试甜瓜品种为银帝，由甘肃省河西瓜菜研究所提供。栽培基质以草炭、蛭石和珍珠岩为原料，体积混合比例为 3∶1∶1。栽培基质有机质含量为 58.40%、全氮 9.73 g/kg、全磷 0.11 g/kg、全钾 33.86 g/kg、速效氮 141.93 mg/kg、速效磷 24.70 mg/kg、速效钾 107.45 mg/kg、容重 0.29 g/cm^3、比重 1.92 g/cm^3、总孔隙度 86.3%、电导率 0.44 mS/cm、pH 6.0。供试缓/控释肥料种类及养分释放特性见表 1，养分释放特性采用静态水溶法在实验室测定[14]。磷肥为过磷酸钙（P_2O_5 12%），钾肥为硫酸钾（K_2O 50%）。

表 1　供试缓/控释肥料性质

Table 1　Property of the tested controlled/slow-release fertilizers

肥料名称 Fertilizer name	处理代码 Treatment code	氮素含量（%） Nitrogen content	初期溶出率（%） Preliminary solubility	微分溶出率（%） Differential solubility	28 d 溶出率（%） N dissolution rate of 28 d
异丁叉二脲 Isobutylidene diurea	IBDU	32	3.50	2.56	24.91
硫包衣尿素 Sulfur coated urea	SCU	34	13.27	1.76	31.93
脲甲醛 Urea formaldehyde	UF	38	18.11	1.04	26.98
亚甲基脲 Methylene urea	MU	40	13.87	1.00	21.71
树脂包膜尿素 Resin-coated urea	ESN	44.5	10.15	3.69	65.86
普通尿素 Conventional urea	U	46			

1.2　试验设计

试验于 2010 年 5 月至 9 月在甘肃省农科院日光温室中进行，采用基质盆栽试验，共设 7 个处理，分别为不施氮肥（CK）、普通尿素（U）、异丁叉二脲（IBDU）、硫包衣尿素（SCU）、脲甲醛（UF）、亚甲基脲（MU）、树脂包膜尿素（ESN）。每处理 3 次重复，每重复 15 盆，完全随机区组设计。于 5 月初育苗，当外界气温稳定在 15℃左右，幼苗长到 2～3 片真叶时，定植于高 30 cm、直径 30 cm 的盆中，每盆定植 1 株；每盆装入基质 5 kg，N－P_2O_5－K_2O 养分含量均为 7.5－3.25－7.5g。缓/控释氮肥处理一次性施入，普通尿素处理 40% 作基施，60% 作追肥；所有处理磷肥作基肥一次性施入，钾肥 40% 作基施、60% 作追肥。追肥分别于定果期、果实膨大期分 2 次等量施入。在甜瓜营养生长旺盛期即开花期（7 月 5 日），每个处理每次重复选 3 株代表性植株，取同一叶位的功能叶片用于生理生化指标的测定。

1.3　测定项目与方法

叶绿素含量采用丙酮、无水乙醇混合液浸提法[15]；光合特性采用德国 WALZ 公司生产的 GFS－3000 便携式光合－荧光测量系统测定。选晴天上午 9:30～11:30 进行，温度和光照均采用 GFS－3000 的温度控制系统和人工光源，其中光照强度 1100 μmol/（m^2·s）、CO_2浓度 360 μmol/mol，叶室温度设为 28℃；叶片全氮含量采用浓 H_2SO_4－H_2O_2 消煮—蒸馏法测定[16]，可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G－250 染色法[16]；根系活力采用 TTC 法[16]；果实可溶性固形物含量采用手持式折光仪测定，Vc 含量采用比色法[16]，硝酸盐含量采用紫外分光光度法（NY/T 1279－2007）测定。

1.4　数据处理

试验数据采用 Excel 2003 及 DPS 6.5 软件进行处理与统计分析，Duncan 法进行多重比较。

2 结果和分析

2.1 缓/控释氮肥对甜瓜叶片叶绿素含量的影响

叶绿素作为重要的光合色素,在光合作用过程中担负着光能吸收和转化的重要作用。从表2可以看出,施氮处理的甜瓜叶片叶绿素a、叶绿素b和叶绿素a+b含量均显著高于不施氮处理(CK),缓/控释氮肥处理甜瓜叶片叶绿素a、叶绿素b和叶绿素a+b含量均高于普通尿素处理(U)。MU处理甜瓜叶片叶绿素a、叶绿素b和叶绿素a+b含量均显著高于CK和U处理,分别较U提高了41.0%、31.0%和38.3%。ESN处理甜瓜叶片叶绿素b和叶绿素a+b含量均显著高于CK和U处理,叶绿素a含量显著高于CK,与U处理无显著差异;叶绿素b和叶绿素a+b含量分别较U处理提高了53.5%和34.0%。

表2 不同氮肥处理甜瓜叶片的叶绿素含量(mg/dm^2)

Table 2 Chlorophyll contents of melon leaves under different nitrogen fertilization treatments

处理 Treatment	叶绿素a Chl. a	叶绿素b Chl. b	叶绿素总量 Chl. a+b
CK	1.41±0.25 c	0.92±0.05 d	2.33±0.30 c
U	2.51±0.20 b	1.29±0.13 c	3.79±0.25 b
IBDU	2.94±0.52 ab	1.32±0.22 c	4.26±0.74 ab
SCU	3.19±0.51 ab	1.60±0.20 bc	4.79±0.68 ab
UF	2.95±0.22 ab	1.37±0.09 bc	4.32±0.19 ab
MU	3.54±0.41 a	1.69±0.08 ab	5.24±0.37 a
ESN	3.10±0.74 ab	1.98±0.34 a	5.08±1.07 a

注(Note):同列数据后不同字母表示差异达5%显著水平 Values followed by different letters in the same column are significantly different at the 5% level.

2.2 缓/控释氮肥对甜瓜叶片光合特性的影响

光合速率是研究植物光合作用调节控制机理的一个重要指标,也是诊断植物光合系统运转状况和了解光合性能的重要指标。由图1可以看出,甜瓜在施氮处理下叶片光合速率均高于不施氮处理(CK),其中UF、MU、ESN处理的叶片光合速率较CK显著提高了46.3%、48.0%和30.8%。缓/控释氮肥处理下甜瓜叶片光合速率均高于普通尿素处理(U),其中UF、MU处理的叶片光合速率较U显著提高了27.4%和28.9%。UF和MU处理下叶片光合速率显著高于IBDU和SCU处理。所以,缓/控释氮肥对提高甜瓜叶片净光合速率具有显著效果,从而提高叶片光合作用强度,增加光合产物的积累。

缓/控释氮肥在提高甜瓜叶片光合速率的同时,也提高了蒸腾速率(图1),其中UF、MU、ESN处理的甜瓜叶片蒸腾速率显著高于CK、U和其他缓/控释氮肥,较CK分别显著提高了131.1%、103.4%和100.8%,较U处理分别显著提高了122.1%、95.5%和92.9%。施用氮肥对提高甜瓜叶片蒸腾速率具有显著效果,而且缓/控释氮肥对于增强甜瓜叶片蒸腾速率的效果要好于普通尿素。

2.3 缓/控释氮肥对甜瓜叶片全氮含量的影响

普通尿素处理(U)甜瓜叶片全氮含量与不施氮肥处理(CK)间无显著差异,而缓/控释氮肥处理甜瓜叶片全氮含量均显著高于CK,其中以SCU、MU和ESN处理最高,较CK分别提高了45.9%、52.9%和48.7%,较U分别显著提高了17.3%、23.7%和20.4%,较IBDU分别显著提高了10.2%、16.2%和13.1%,较UF分别显著提高了11.5%、17.65%和14.5%(图2A)。说明,缓/控释氮肥较普通尿素能显著提高甜瓜叶片的全氮含量。

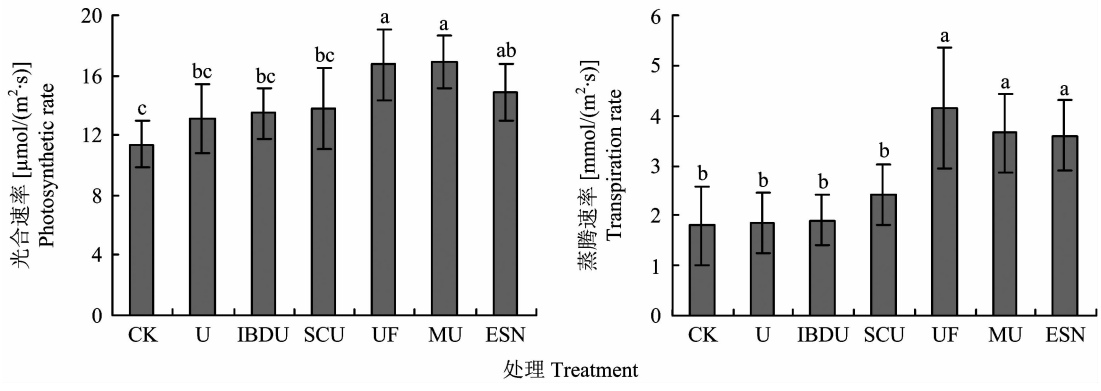

图1 不同氮肥处理甜瓜叶片光合速率和蒸腾速率

Fig.1 Photosynthetic rates and transpiration rates of melon leaves under different nitrogen fertilization treatments

[注(Note):柱上不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant among treatments at the 5% level.]

2.4　缓/控释氮肥对甜瓜叶片可溶性蛋白质的影响

植物体内的可溶性蛋白质大多数是参与各种代谢的酶类，其含量是了解植物体总代谢的一个重要指标。施氮处理的甜瓜叶片可溶性蛋白质含量均高于 CK，其中 IBDU 和 MU 处理的甜瓜叶片可溶性蛋白质含量较普通尿素（U）处理分别显著提高了 31.6% 和 24.3%（图 2B）。

2.5　缓/控释氮肥对甜瓜叶片硝态氮含量的影响

叶片硝态氮含量直接反映作物体内硝态氮累积与代谢情况，是作物的氮素营养、氮素同化利用与再利用状况的重要指标。缓/控释氮肥处理的甜瓜叶片硝态氮含量均显著高于 CK 和普通尿素（U）处理，其中 IBDU、SCU、UF、MU、ESN 处理的甜瓜叶片硝态氮含量较 U 处理分别提高了 125.6%、191.2%、363.9%、269.7% 和 396.9%，而 ESN 和 UF 处理显著高于其他缓/控释氮肥处理（图 2C）。可见，甜瓜叶片硝态氮含量与不同缓/控释氮肥中的氮养分含量表现出相同的变化趋势。

2.6　缓/控释氮肥对甜瓜根系活力的影响

根系活力是植物生长情况的一个重要指标。除 UF 处理外，其余缓/控释氮肥处理的甜瓜根系活力均显著高于 CK 和普通尿素（U）处理，其中 IBDU、SCU、MU、ESN 较 U 分别显著提高了 33.1%、42.6%、37.5% 和 46.4%（图 2D）。

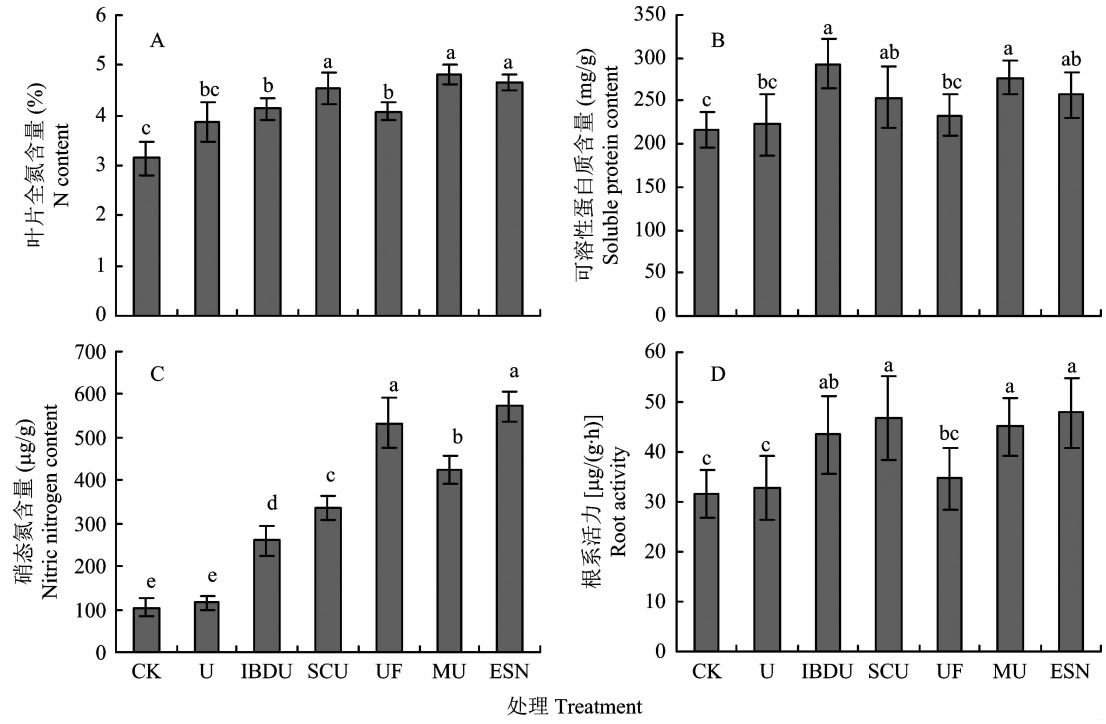

图 2　不同氮肥处理甜瓜叶片氮、可溶性蛋白质、硝态氮含量和根系活力

Fig. 2　Nitrogen, soluble protein, nitric nitrogen content of leaves and root activity of melon under different nitrogen fertilization treatments

［注（Note）：柱上不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Different letters above the bars mean significant among treatments at the 5% levels.］

2.7　缓/控释氮肥对甜瓜品质的影响

施氮处理的甜瓜单瓜重均高于对照，缓/控释氮肥处理的甜瓜单瓜重均显著高于不施氮肥（CK）和普通氮肥处理（U），其中较 CK 单瓜重提高幅度为 70.2%～80.9%；较 U 处理提高幅度为 45.5%～54.6%。不同缓/控释氮肥处理间甜瓜单瓜重以 MU 处理最高，为 0.85kg，但各处理间差异不显著（表 3）。

可溶性固形物含量是衡量甜瓜品质的一项重要指标，其中 SCU、MU、ESN 处理下甜瓜中心可溶性固形物含量较 CK 分别提高了 16.7%、18.5% 和 17.9%，氮肥处理的甜瓜边缘可溶性固形物含量均显著高于 CK。与可溶性固形物变化趋势相似，氮肥处理下甜瓜可溶性糖和 Vc 含量也显著高于 CK，其中以 MU 处理的最高，可溶性糖含量较 CK 和 U 处理分别显著提高了 37.9% 和 10.6%，Vc 含量较 CK 和 U 处理分别显著提高了 43.9% 和 16.7%（表 3）。硝酸盐含量的高低是评价蔬菜品质好坏的重要指标

表3 不同施肥处理甜瓜品质指标

Table 3 The quality of melon under different nitrogen fertilization treatments

处理 Treatment	单瓜重(kg) Single fruit weight	中心可溶性固形物含量 Central soluble solid content (%)	边缘可溶性固形物含量 Fringe soluble solid content (%)	可溶性糖 Soluble sugar (%)	维生素C Vc content (mg/kg)	硝酸盐含量 Nitrate content (mg/kg)
CK	0.47 c	12.11 b	8.46 b	7.28 c	22.3 c	81.12 c
U	0.55 b	13.78 ab	11.04 a	9.08 b	27.5 b	98.08 a
IBDU	0.83 a	13.95 ab	11.26 a	9.27 ab	29.7 ab	83.98 c
SCU	0.80 a	14.13 a	11.56 a	9.66 ab	30.9 ab	85.53 bc
UF	0.83 a	13.87 ab	11.13 a	9.49 ab	28.7 b	93.78 ab
MU	0.85 a	14.35 a	11.87 a	10.04 a	32.1 a	89.25 b
ESN	0.82 a	14.28 a	11.50 a	9.69 ab	31.4 ab	95.57 a

注(Note):同列数据后不同字母表示差异达5%显著水平 Values followed by different letters in the same column are significantly different at the 5% level.

之一,缓/控释氮肥处理的甜瓜硝酸盐含量均低于普通氮肥(U)处理,其中IBDU、SCU、MU处理较U处理分别显著降低了14.4%、12.8%和9.9%。

2.8 甜瓜生理与品质指标的相关性分析

甜瓜叶片叶绿素含量、光合参数、不同氮形态、根系活力之间表现出不同的相关性。根系活力与叶片叶绿素含量、全氮含量、可溶性蛋白质含量之间,叶片全氮含量与叶绿素含量和蒸腾速率之间显著正相关(表4),表明根系活力通过影响甜瓜氮素的吸收,进而对甜瓜叶片叶绿素含量和光合参数产生影响。甜瓜生理指标影响产量的构成和品质的形成,单瓜重与叶绿素含量、蒸腾速率、可溶性蛋白质及硝态氮含量之间,可溶性糖含量与叶绿素含量、光合速率及全氮含量之间,Vc含量与叶绿素含量、全氮含量之间呈显著正相关,说明甜瓜生理指标之间及与产量、品质指标密切相关,并相互影响。

3 讨论与结论

3.1 缓/控释氮肥对甜瓜生理特性的影响

氮素是限制作物生长和产量形成的首要因子。作物叶绿素、光合速率、氮含量、硝酸盐积累等生理指标不仅与施氮量有关,而且与供氮状态有关[17]。

表4 甜瓜生理、品质指标之间的相关性

Table 4 Correlations among physiology and quality indices of melon

项目 Item	叶绿素 Chlorophyll	光合速率 Pn	蒸腾速率 Tr	全氮 Total N	可溶性蛋白 Soluble protein	硝态氮 NO_3^--N	根系活力 Root activity	单瓜重 Fruit weight	可溶性糖 Soluble sugar	Vc	硝酸盐 Nitrate
叶绿素 Chlorophyll	1	0.69	0.810*	0.918**	0.588	0.757	0.824*	0.876**	0.975**	0.992**	0.396
光合速率 Pn		1	0.7	0.515	0.378	0.826*	0.38	0.649	0.796*	0.718	0.439
蒸腾速率 Tr			1	0.786*	0.151	0.924**	0.309	0.862**	0.608	0.547	0.451
全氮 Total N				1	0.665	0.721	0.865*	0.635	0.945**	0.985**	0.336
可溶性蛋白 Soluble protein					1	0.354	0.786*	0.785*	0.61	0.724	-0.22
硝态氮 NO_3^--N						1	0.573	0.802*	0.698	0.696	0.379
根系活力 Root activity							1	0.296	0.118	0.381	-0.298
单瓜重 Fruit weight								1	0.401	0.419	0.108
可溶性糖 Soluble sugar									1	0.173	0.484
维生素C Vc										1	0.019
硝酸盐 Nitrate											1

注(Note):*—$P<0.05$;**—$P<0.01$.

控释氮肥氮的释放速率与作物对氮素养分的需求基本同步，实现动态平衡[18]；控释氮肥可提高作物地上部叶绿素含量，改善光合作用，促进地下部根系生长和对矿质养分的平衡吸收，改善作物生理机能，从而促进产量和品质提高。控释氮肥可以明显增加茶树叶片叶绿素含量，促进氮素及钾、锌等矿质元素的吸收，提高产量和品质[19]；可提高玉米叶绿素含量和光合速率，增加植株全氮含量，提高产量[17, 20]；可改善棉花叶片 PSⅡ活性和光化学效率，提高群体和叶片光合速率[7, 21]；能显著增加水稻生长后期植株、稻谷中的氮含量，提高叶片光合速率和根系活力，延缓水稻根系和叶片早衰[3, 5, 22]。合适的控释尿素配比能提高小麦旗叶叶绿素含量和净光合速率，促进灌浆后期体内氮素的吸收和同化[23]。本研究表明，在甜瓜开花期，施氮处理可显著提高甜瓜叶片叶绿素含量，且 MU、ESN 处理较普通尿素分别提高了 38.3% 和 34.0%。缓/控释氮肥对甜瓜叶片光合性能也有一定改善作用，其中 UF、MU 处理的叶片光合速率较普通尿素处理分别显著提高了 27.4% 和 28.9%。缓/控释氮肥处理的甜瓜叶片全氮、可溶性蛋白质、硝态氮、根系活力等生理指标也优于普通氮肥，并与叶绿素及光合速率表现出一定的相关性。控释氮肥可以提高甜瓜根系吸收功能，促进氮素的吸收和同化，这可能与控释氮肥能够均衡足量的供给氮素营养有关，使甜瓜叶片具有较高的光合速率，为获得高产优质奠定了物质基础。

3.2　缓/控释氮肥对甜瓜果实品质的影响

缓/控释氮肥可提高作物的产量和品质，但氮肥的效果和增产效应与肥料品种和用量有关[10]。黄云等[24]研究表明，控释氮肥脲甲醛（UF）可提高辣椒产量、增加总糖和 Vc 含量，且有随施用量增加而增加的趋势。与等氮量尿素相比，施用控释氮肥可使大白菜产量提高 8.2%～16.8%，收获期球叶硝酸盐含量降低 12.1%～21.4%，Vc 含量平均提高 24.8%[11]。控释专用肥可降低番茄果实硝酸盐含量，提高 Vc 含量，增加氮、钾吸收[25]。本研究结果表明，缓/控释氮肥可明显提高甜瓜单瓜重、中心可溶性固形物含量、可溶性糖和 Vc 含量，降低硝酸盐含量，表现为亚甲基脲（MU）＞异丁叉二脲（IBDU）＞脲甲醛（UF）＞树脂包膜尿素（ESN）＞硫包衣尿素（SCU），化学型缓/控释氮肥在基质栽培甜瓜上的效果好于物理型缓/控释氮肥。亚甲基脲控释肥（MU）处理单瓜重较普通尿素处理提高了 54.5%，中心可溶性固形物含量、可溶性糖含量、Vc 含量分别提高了 4.1%、10.6%、16.7%，硝酸盐含量降低了 9.9%。

综上所述，施用不同类型缓/控释氮肥均可不同程度地提高设施基质栽培甜瓜叶片的叶绿素含量、净光合速率、叶片全氮、可溶性蛋白质、硝态氮含量、根系活力，增加单瓜重，提高果实 Vc 和可溶性糖含量，降低果实硝酸盐含量。亚甲基脲控释肥（MU）效果要优于其他缓/控释氮肥。缓/控释氮肥处理下甜瓜产量和品质与叶绿素、光合速率、叶片全氮、可溶性蛋白质、硝态氮、根系活力等生理指标表现出一定的相关性，缓/控释氮肥可调控甜瓜的光合、蒸腾、氮代谢等，影响植物的生理特性，进而提高产量和品质。

参 考 文 献：

[1] 薛亮，马忠明，杜少平. 沙漠绿洲灌区不同水氮水平对甜瓜产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报，2012，31(3)：132-134.
Xue L, Ma Z M, Du S P. Effects of different irrigation and nitrogen rates on yield and quality of melon in desert oasis area [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2012, 31(3):132-134.

[2] Acquaye S, Inubushi K. Comparative effects of application of coated and non-coated urea in clayey and sandy paddy soil microcosms examined by the ^{15}N tracer technique [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2004, 50(2): 205-213.

[3] 李芳敏，樊小林，陈文东. 控释肥对水稻产量和氮肥利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2005，11(4)：494-500.
Li F M, Fan X L, Chen W D. Effects of controlled release fertilizer on rice yield and nitrogen use efficiency [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(4): 494-500.

[4] 段路路，张民，刘刚，等. 缓控释肥料在不同介质中的养分释放特性及其肥效[J]. 应用生态学报，2009，20(5)：1118-1124.
Duan L L, Zhang M, Liu G, *et al*. Nutrient release characteristics and use efficiency of slow- and controlled release fertilizers[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(5): 1118-1124.

[5] 聂军，郑圣先，戴平安，等. 控释氮肥调控水稻光合功能和叶片衰老的生理基础[J]. 中国水稻科学，2005，19(3)：255-261.
Nie J, Zhang S X, Dai P A, *et al*. Regulation of senescence and photosynthetic function of rice leaves by controlled release nitrogen fertilizer[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2005, 19(3): 255-261.

[6] 李敏，郭熙盛，叶舒娅，等. 硫膜和树脂膜控释尿素对水稻产量、光合特性及氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2013，19(4)：808-815.
Li M, Guo X S, Ye S Y, *et al*. Effects of sulfur- and polymer-coated controlled release urea on yield, photosynthetic characteristics and nitrogen fertilizer efficiency of rice[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2013, 19(4): 808-815.

[7] 李学刚，宋宪亮，孙学振，等. 控释氮肥对棉花叶片光合特性及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2010，16(3)：656-662.
Li X G, Song X L, Sun X Z, *et al*. Effects of controlled release N fertilizer on photosynthetic characteristics and yield of cotton[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(3): 656-662.

[8] 马忠明，杜少平，薛亮，等. NPK 养分配比与 NAM 长效剂对

旱砂田西瓜生长、品质和养分利用的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(3): 237-243.
Ma Z M, Du S P, Xue L, *et al*. Effects of different N, P and K ratios and NAM on growth, quality and nutrient utilization of watermelon mulched with gravel in semiarid area[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2013, 27(3): 237-243.

[9] 罗兰芳, 郑圣先, 廖育林, 等. 控释氮肥对杂交水稻糙米蛋白质品质和氮代谢关键酶活性的影响[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(4): 403-410.
Luo L F, Zheng S S, Liao Y L, *et al*. Effect of controlled release nitrogen fertilizer on protein quality of brown rice and key enzyme activity involved in nitrogen metabolism in hybrid rice [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2007, 21(4): 403-410.

[10] 彭霞辉, 刘厚诚, 孙光闻, 等. 控释氮肥对菜薹(菜心)产量和品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2006, (8):16-18.
Peng X H, Liu H C, Sun G W, *et al*. The effects of different controlled release nitrogen fertilizers on yield and quality of flowering Chinese cabbage[J]. China Vegetables, 2006, (8): 16-18.

[11] 王为木, 史衍玺, 杨守祥, 等. 控释氮肥对大白菜产量和品质的影响及其机理研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 357-362.
Wang W M, Shi Y X, Yang S X, *et al*. Effects of controlled-release nitrogen fertilizers on yield and quality of Chinese cabbage and their related mechanisms[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(3): 357-362.

[12] 韩文炎, 马立锋, 石元值, 等. 茶树施用控释氮肥的产量和品质效应[J]. 土壤通报, 2007, 38(6): 1145-1149.
Han W Y, Ma L F, Shi Y Z, *et al*. Effects of slow releasing urea on yield and quality of tea[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(6): 1145-1149.

[13] 杨雯玉, 贺明荣, 王运军, 等. 控释尿素与普通尿素配施对冬小麦氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(2): 627-633.
Yang W Y, He M R, Wang Y J, *et al*. Effect of controlled-release urea combined application with urea on nitrogen utilization efficiency of winter wheat [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(2):627-633.

[14] 王晓巍, 蒯佳林, 刘晓静, 等. 4种缓控释氮肥在不同环境条件下的养分释放特性的研究[J]. 草地学报, 2013, 21(2): 332-337.
Wang X W, Kuai J L, Liu X J, *et al*. Nutrient release characteristics of four slow and controlled release nitrogen fertilizer in different environmental conditions[J]. Acta Agrestia Sinica, 2013, 21(2): 332-337.

[15] 李得孝, 郭月霞, 员海燕, 等. 玉米叶绿素含量测定方法研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(6): 153-154.
Li D X, Guo Y X, Yuan H Y, *et al*. Determined methods of chlorophyll from maize [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(6): 153-154.

[16] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 163-165.
Zou Q. Plant physiology experiment instruction[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000. 163-165.

[17] 孙克君, 毛小云, 卢其明, 等. 几种控释氮肥的饲料玉米肥效及其生理效应研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 345-351.
Sun K J, Mao X Y, Lu Q M, *et al*. Manurial effect of several controlled-release N fertilizers (CRNFs) on forage maize and its physiological effects[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(3): 345-351.

[18] 郑圣先, 聂军, 戴平安, 等. 控释氮肥对杂交水稻生育后期根系形态生理特征和衰老的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 188-194.
Zheng S X, Nie J, Dai P A, *et al*. Effect of controlled release nitrogen fertilizer on the morphological and physiological characteristics and senescence of root system during late growth stages of hybrid rice[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(2): 188-194.

[19] 韩文炎, 马立锋, 石元值, 等. 茶树控释氮肥的施用效果与合理施用技术研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 1148-1155.
Han W Y, Ma L F, Shi Y Z, *et al*. Effects of a controlled-release nitrogen fertilizer on tea yield and quality and rational application technology [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(6): 1148-1155.

[20] 苏琳, 董志新, 邵国庆, 等. 控释尿素施用方式及用量对夏玉米氮肥效率和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(4): 915-920.
Su L, Dong Z X, Shao G Q, *et al*. Effects of different application modes and rates of controlled release urea on fertilizer nitrogen use efficiency and grain yield of summer maize[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(4): 915-920.

[21] 李伶俐, 马宗斌, 林同保, 等. 控释氮肥对棉花的增产效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 45-47.
Li L L, Ma Z B, Lin T B, *et al*. Effects of controlled release N fertilizer on cotton yield[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(3): 45-47.

[22] 鲁艳红, 纪雄辉, 郑圣先, 等. 施用控释氮肥对减少稻田氮素径流损失和提高水稻氮素利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(3): 490-495.
Lu Y H, Ji X H, Zheng S S, *et al*. Effect of controlled-release nitrogen fertilizer on reducing nitrogen runoff loss and increasing nitrogen recovery efficiency of rice plant[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(3): 490-495.

[23] 李伟, 李絮花, 董静, 等. 冬小麦控释尿素与普通尿素的最佳配比研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(3): 629-635.
Li W, Li X H, Dong J, *et al*. The appropriate mixing ratio of control-released urea and common urea in winter wheat production [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(3): 629-635.

[24] 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.
Huang Y, Liao T J, Xiang H H. Study on physiological effect and fertilizer utilization rate of controlled release nitrogen fertilizer for pepper[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2002, 8(4): 414-418.

[25] 杨俊刚, 倪小会, 曹兵, 等. 滴灌条件下控释专用肥对设施番茄氮、钾吸收及其残留的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1294-1302.
Yang J G, Ni X H, Cao B, *et al*. Effect of special controlled-release fertilizer application on nitrogen and potassium uptakes of tomato and their residue in soil with drip-irrigation in the greenhouse[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(5): 1294-1302.