

根区温度对黄瓜生长、产量及氮肥利用率的影响^①

薛鹤^{1,2}, 段增强^{1*}, 董金龙^{1,2}, 王媛华^{1,2}, 李汛¹, 邢鹏³

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049;

3 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘要: 采用土壤盆栽试验, 从设施土壤环境角度分析了冬季温室栽培中根区温度和氮肥用量对黄瓜生长、产量及氮素吸收的影响, 综合评价了不同根区温度下的氮肥利用率。试验设置根区加温(20℃)和不加温(12℃)两个温度水平, 氮肥处理设 N0、N1、N2 和 N3 共 4 个水平(用量分别为每 1 kg 土含纯氮 0、96、128、160 mg)。结果表明: 在相同氮水平下, 加温处理的黄瓜单株产量、氮肥表观利用率和氮肥农学利用率显著高于不加温处理, 在 N0~N3 水平下, 加温处理比不加温处理分别增产 78.99%、120.48%、126.77% 和 105.56%。不加温时, 增加氮肥用量, 黄瓜单株产量无显著差异。加温时, 黄瓜单株总氮吸收随氮肥用量的增加呈显著上升趋势。根区温度和氮肥用量对黄瓜生长、单株产量和单株总氮吸收均有显著影响, 且提高根区温度比增加氮肥投入更能促进黄瓜生长, 提高氮肥利用率。冬季设施栽培中, 提高根区温度能够促进作物对养分的高效利用。采用增温减氮的措施既可保证蔬菜产量稳定, 又可避免化肥过量施用对设施土壤的危害。

关键词: 黄瓜; 根区温度; 氮肥用量; 单株产量; 氮肥利用率

中图分类号: S625.5; S642.2

近几年, 我国设施栽培得到迅猛发展, 但是化肥投入量愈来愈高, 氮肥利用率越来越低的问题日益突出^[1]。针对这一问题, 不少学者做了大量研究。但大多数都集中在对肥料本身的调控上, 如研究氮肥施用量、氮肥运筹模式、化学氮肥与有机肥配合施用和研发新型肥料等方面对氮肥利用率的影响。也有部分学者研究了影响养分吸收利用的外界环境因素, 如灌溉方法^[2]、种植密度^[3]和水氮耦合^[4-5]等因素。但长期以来, 人们多重视对地上部环境的调控, 而对土壤环境的改良重视不够, 如冬季地温过低的问题。

设施生产中, 冬春季节温室内的气温在太阳光照射时会快速升高, 但土壤温度由于土壤比热大和作物对地面的遮挡等因素升高较慢。当气温达到适宜作物生长温度时, 低的根区温度就成为限制作物正常生长的重要因子。

虽然有不少学者对根区温度进行了研究, 但大部分停留在研究根区温度对幼苗生长生理的影响方面。关于土壤温度的研究表明: 在一定温度范围内, 随土壤温度的升高土壤有机质分解速度增加^[6], 土壤氮素

的矿化速率增强^[7], 土壤硝化细菌硝化能力提高^[8]等。所以, 改善作物对氮素的吸收利用, 可以通过调控作物的根区温度。因此, 本研究在已有的根区温度研究背景上, 重点研究根区温度和氮肥水平对设施水果黄瓜生长、产量及氮肥利用率的影响。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤为水稻土, 采自于江苏省苏州太仓市塑料大棚。土壤基本理化性状为: pH 8.01, 电导率(EC) 304.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 有机质 10.5 g/kg, 全氮 0.79 g/kg, 水解性氮 130 mg/kg, 全磷 1 072.5 mg/kg, 有效磷 84.9 mg/kg, 全钾 17.6 g/kg, 速效钾 65 mg/kg。供试作物为津美 3 号水果黄瓜。供试肥料为尿素(N 46%)、磷酸二氢钾(K_2O 34%, P_2O_5 52%)、硫酸钾(K_2O 54%)。

1.2 试验设计

采用土壤盆栽试验, 试验设置两个根区温度处理: T1(对照不加温)和 T2(根区加温至 20℃)。每个温度处理下设 N0、N1、N2、N3 4 个氮肥水平, 每 1 kg

基金项目 国家科技支撑计划项目(2014BAD14B04)、土壤与农业可持续发展国家重点实验室 2011 年度优秀青年人才项目(Y212000011)和土壤与农业可持续发展国家重点实验室 2012 年开放课题项目(Y212000016)资助。

* 通讯作者(zqduan@issas.ac.cn)

作者简介: 薛鹤(1989—), 女, 湖北襄阳人, 硕士研究生, 主要从事设施栽培中作物养分高效利用的研究。E-mail: hxue@issas.ac.cn

土纯氮用量分别为 0、96、128、160 mg。磷、钾肥均为每 1 kg 土 P₂O₅ 60 mg、K₂O 144 mg。每盆装风干土(过 2 mm 筛)2 kg,定植黄瓜一株。每处理重复 6 次,随机区组排列。

试验时间为 2013 年 9 月至 12 月,试验地点为中国科学院南京土壤研究所玻璃温室,施肥方式为磷钾肥一次性基施,氮肥 75% 基施,25% 初果期追施,基肥在装土时拌入,追肥随灌溉水施入。

2013 年 9 月 25 日浸种催芽,9 月 26 日点播至含有泥炭和蛭石(2:1, v/v)混合基质的育苗盘中,10 月 13 日幼苗两叶一心时定植。11 月 1 日开始温度处理,温度控制装置参考文献[9]。温度监控情况见图 1,根区温度控制基本达到设置要求,根区加温和不加温处理的其气温基本一致。

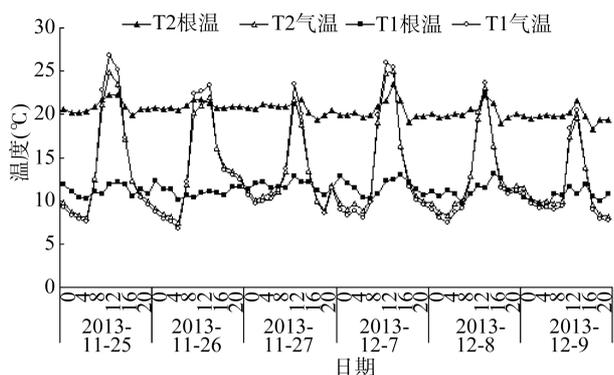


图 1 昼夜空气和根区温度日变化规律图

Fig. 1 Day and night changes of temperature of air and root zone

1.3 测定项目与方法

生长指标于加温 25 天后测定。株高是子叶到生长点的高度,用卷尺测量;茎粗是子叶和第一片真叶间茎的直径,用游标卡尺测量;叶面积测定方法参照文献[10]。

单株产量:采用累积计产,统计 11 月 25 日到 12 月 22 日单株结瓜总鲜重。

干物质及矿质元素测定:黄瓜整株收获取样后,105℃ 烘箱杀青 30 min,于 75℃ 烘干至恒重,称重、粉碎后备用。植物氮素含量测定参照文献[11]。

相关参数计算:

氮肥表观利用率(%) = (施氮区植株地上部吸氮量 - 不施氮区植株地上部吸氮量) / 施氮量 × 100%

氮肥农学利用率(kg/kg) = (施氮区产量 - 不施氮区产量) / 施氮量

土壤氮素依存率(%) = 不施氮区植株地上部总吸氮量 / 施氮区地上部植株总吸氮量 × 100%

试验数据采用 Microsoft Excel(2003)和 SPSS19.0 统计软件进行统计分析,LSD 法进行差异性检验。

2 结果与分析

2.1 黄瓜生长势及单株总干重分析

温度处理 25 天后,加温处理的黄瓜生长势优于不加温处理(表 1)。不加温时,氮水平对茎粗和叶面积无显著影响。加温时,氮水平对株高和叶面积有显著影响,株高表现为 N1、N2 和 N3 显著高于 N0,而 N1、N2 和 N3 之间无显著差异;叶面积表现为 N1 显著高于 N2 和 N0。

由图 2 可知:与不加温相比,根区加温显著提高黄瓜单株总干重;不同氮水平对黄瓜单株总干重有显著影响。加温时,N1、N2 和 N3 水平的单株总干重显著高于 N0 水平,而 N1、N2 和 N3 之间无显著差异。不加温时,仅 N2 水平单株总干重显著高于 N0 水平,N1、N3 与 N0 无显著差异。

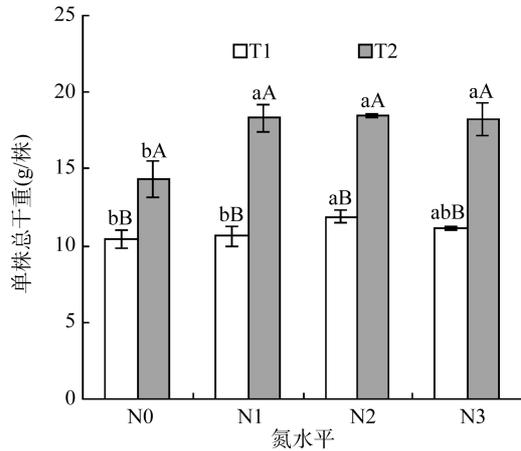
2.2 黄瓜单株产量统计

由图 3 可知,相同氮水平下(N0 ~ N3),加温处

表 1 各处理黄瓜生长势指标
Table 1 Growth parameters of cucumber at different treatments

温度处理	氮肥处理	株高(cm)	茎粗(mm)	叶面积(cm ²)
T1	N0	76.58 ± 6.58 bA	5.97 ± 0.27 aB	211.75 ± 16.47 aA
	N1	88.69 ± 6.30 aA	5.94 ± 0.30 aB	195.05 ± 20.60 aB
	N2	85.26 ± 6.50 abB	6.09 ± 0.28 aB	208.72 ± 16.15 aA
	N3	84.04 ± 1.58 abB	5.70 ± 0.28 aB	202.18 ± 19.28 aB
T2	N0	84.74 ± 2.43 bA	6.62 ± 0.28 abA	225.79 ± 19.72 bA
	N1	96.05 ± 2.39 aA	6.58 ± 0.26 bA	254.56 ± 19.03 aA
	N2	94.79 ± 3.52 aA	7.00 ± 0.15 aA	232.39 ± 15.96 bA
	N3	95.58 ± 3.12 aA	6.87 ± 0.28 abA	237.63 ± 12.45 abA

注:表中同列数据小写字母不同表示同一根区温度下,不同氮水平间差异显著(P<0.05);同列数据大写字母不同表示同一氮水平下,不同根区温度间差异显著(P<0.05),下表同。



(图中小写字母不同表示同一根区温度下,不同氮水平间差异显著 ($P < 0.05$); 大写字母不同表示同一氮水平下,不同根区温度间差异显著 ($P < 0.05$), 下同)

图 2 不同根区温度和氮肥用量对单株总干重的影响

Fig. 2 Effects of different root zone temperatures and N fertilizer rates on total dry matter of cucumber

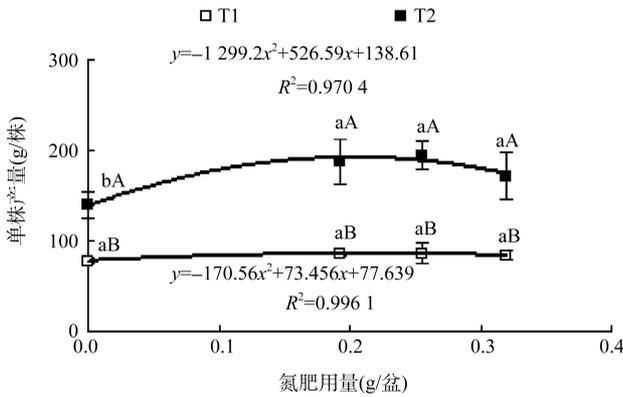


图 3 施氮量与黄瓜单株产量之间的关系曲线

Fig. 3 Relation curves between nitrogen application and cucumber yield per plant

理黄瓜单株产量比不加温处理分别增加 78.99%、120.48%、126.77% 和 105.56%。不加温时,随着氮肥用量增加,黄瓜单株产量无显著差异;加温时,N1、N2 和 N3 黄瓜单株产量较 N0 分别提高了 35.22%、39.62% 和 23.58%。

对黄瓜单株产量和氮肥用量回归分析表明:加温

时,回归方程达到显著水平($\text{sig.} = 0.005$),不加温时回归方程未达到显著水平($\text{sig.} = 0.178$)。因此,加温条件下黄瓜对肥料敏感,施肥有效。

2.3 单株总氮吸收和氮肥利用率分析

由图 4 知,加温处理单株总氮吸收显著高于不加温处理。加温时,单株总氮吸收随氮肥用量增加而显著增加;不加温时,单株总氮吸收先随氮肥用量增加(N0 ~ N2)而增加,再随氮肥用量增加(N2 ~ N3)而显著降低。

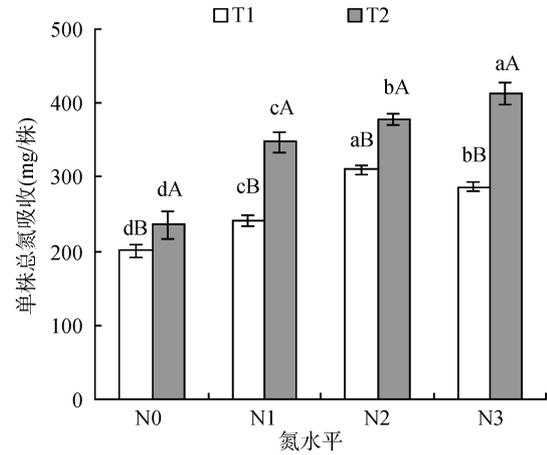


图 4 根区温度和氮肥用量对单株总氮吸收的影响

Fig. 4 Effects of different root zone temperatures and N fertilizer rates on total N uptake per plant

表 2 表明,与不加温相比,加温处理显著提高了氮肥表现利用率和氮肥农学利用率,降低了土壤氮素依存率。两不同根区温度下,氮肥农学利用率均表现为随氮肥用量增加呈下降趋势。

2.4 根区温度和氮肥用量对黄瓜生长各指标的影响

通过双因素方差分析表明(表 3),根区温度对黄瓜株高、茎粗、叶面积、单株总干重、单株产量、单株总氮吸收均有显著影响。而氮肥用量对茎粗、叶面积没有影响。根区温度和氮肥用量的互作效应对叶面积、单株总干重、单株产量和单株总氮吸收的影响显著,对株高和茎粗影响不显著。

表 2 不同根区温度和氮肥用量的氮肥利用率

Table 2 Nitrogen use efficiencies at different root zone temperatures and N fertilizer rates

温度处理	氮肥处理	氮肥表现利用率(%)	氮肥农学利用率 (kg/kg)	土壤氮素依存率(%)
T1	N0	—	—	—
	N1	20.84 cB	4.74 aB	82.89 aA
	N2	41.64 aB	3.71 abB	64.45 cA
	N3	26.71 bB	2.21 bB	69.34 bA
T2	N0	—	—	—
	N1	57.09 aA	30.60 aA	67.82 aB
	N2	54.34 aA	25.81 aA	62.36 bA
	N3	54.42 aA	12.29 bA	56.98 cB

表3 根区温度和氮肥用量对黄瓜生长各指标的影响
Table 3 Effects of different root zone temperatures and N fertilizer rates on each growth index of cucumber

指标	F 值		
	根区温度	氮肥用量	根区温度×氮肥用量
株高	34.56**	11.04**	0.34
茎粗	73.70**	1.86	1.63
叶面积	47.50**	0.30	4.16*
单株总干重	516.35**	21.13**	8.01**
单株产量	242.03**	5.22**	3.78*
单株总氮吸收	592.93**	312.03**	39.16**

注：* 表示影响达到 $P < 0.05$ 显著水平，** 表示影响达到 $P < 0.01$ 显著水平。

3 结论与讨论

冬春季节设施栽培中,提高根区温度对作物生长有显著促进作用。Lee等^[12]研究表明低根区温度(12℃和16℃)显著抑制黄瓜干物质积累。本研究表明,根区温度的提高显著增加了黄瓜的株高、茎粗和叶面积。与根区不加温相比,加温处理的黄瓜单株总干重和单株总氮吸收分别增加了57.35%和32.05%。其可能原因是温度升高促进了土壤有机质矿化,同时土壤中一些盐类溶解度增大^[13];温度升高增强土壤脲酶活性,使更多的有机氮转化为有效氮,从而被植物吸收利用^[9]。另一方面,土壤温度升高使作物根系代谢活动加快,细胞分裂素合成增多,从而增加作物根长和根系干物重,增强根系活力,进而改善了根系向地上部供应水分和养分的能力^[14-18]。

在相同氮水平下,加温处理的黄瓜单株产量显著高于不加温处理,并且加温时N0处理黄瓜单株产量显著高于不加温时所有氮处理。不加温时,黄瓜单株产量随氮肥用量增加无显著差异。因此,冬季设施栽培中,低的根区温度是限制作物产量的重要因素。根区温度过低,增加氮肥用量也不能提高作物产量。Yan等^[19]研究指出,在低营养液温度时(10℃),提高养分浓度对黄瓜幼苗总干重累积无促进作用;卜玉山等^[12]研究表明,提高根区温度使玉米产量提高了约15%,本研究结果与此一致。其可能原因是根区温度提高促进作物营养生长,而果实形成与营养器官长势有一定正相关关系,高生物量的根系和茎叶为果实形成提供了充足的同化物。加温条件下,黄瓜最高单株产量对应的施氮量是0.203 g/盆。施氮量为0~0.203 g/盆时,黄瓜单株产量随氮肥用量增加而呈上升趋势;氮肥用量高于0.203 g/盆时,黄瓜单株产量随氮肥用量增加而下降。因此,设施栽培中不能盲目增施氮肥,改善根区温度同样能保证蔬菜稳产。

本试验中,根区加温处理氮肥表观利用率显著高于不加温处理。一般来说,氮肥同等投入,氮肥表观利用率愈高,施用氮肥肥效愈好。随着土壤和环境养分供应量增多、化肥增产效益下降,已不能简单通过氮肥表观利用率来表征氮肥的施用效果^[20-21],需借助氮肥农学利用率和土壤氮素依存率等指标来综合评价氮肥肥效。与不加温相比,加温处理的氮肥农学利用率显著增加。土壤氮素依存率反映了土壤氮对作物氮营养的贡献率。本研究表明,相同氮水平下,根区加温处理土壤氮素依存率显著降低,说明黄瓜对土壤氮的依存性减弱,而对肥料氮的依赖性增强。

综上所述,冬春季节设施栽培中,调控根区温度,一方面可以通过影响土壤物理化学和生物过程而改善土壤养分有效性;另一方面可直接影响根系生长,进而影响根系活力,改善其向地上部运输水分和养分的能力。因此,设施栽培中不应通过盲目增施氮肥来获得蔬菜高产,更应考虑土壤环境因素。改善根区温度,能够促进作物对养分的高效利用,进而减少化肥投入。增温减氮既可保证蔬菜产量,又可减少施肥成本,同时还能避免化肥过量施用带来的环境污染问题。

参考文献：

- [1] 郭世荣,孙锦,束胜,陆晓民,田婧,王军伟.我国设施园艺概况及发展趋势[J].中国蔬菜,2012,1(18):1-14
- [2] 孙伟,张玉龙,虞娜,刘畅.不同渗灌方法和氮肥用量对保护地黄瓜产量及氮肥利用率的影响[J].沈阳农业大学学报,2011,42(2):157-163
- [3] 杜少平,马忠明,薛亮.密度、氮肥互作对旱砂田西瓜产量、品质及氮肥利用率的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(1):150-157
- [4] 李银坤,武雪萍,武其甫,吴会军,张彦才,李若楠,蔡典雄.不同水氮处理对温室黄瓜产量、品质及水分利用效率的影响[J].中国土壤与肥料,2010(3):21-24
- [5] 王丽英,张彦才,李若楠,武雪萍,翟彩霞,陈丽莉,吴会军.水氮供应对温室黄瓜干物质积累、养分吸收及分配规律的影响[J].华北农学报,2013,27(5):230-238
- [6] 齐宇.土壤温度对土壤性质的影响及调节作用[J].河北农业科技,2008(19):38-39
- [7] Melillo JM, Steudler PA, Aber JD, Newkirk K, Lux H, Bowles FP, Catricala C, Magill A, Ahren T, Morrisseau S. Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system[J]. Science, 2002, 298(5601): 2 173-2 176
- [8] Sahrawat KL. Factors affecting nitrification in soils[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2008, 39(9-10): 1 436-1 446
- [9] 闫秋艳,段增强,李汛,董金龙,王媛华,邢鹏,董飞.根区温度对黄瓜生长和土壤养分利用的影响[J].土壤学报,2013,50(4):752-760

- [10] 裴孝伯, 李世诚, 张福墁, 蔡润. 温室黄瓜叶面积计算及其与株高的相关性研究[J]. 中国农学通报, 2006, 21(8): 80–82
- [11] 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
- [12] Lee SH, Chung GC, Steudle E. Low temperature and mechanical stresses differently gate aquaporins of root cortical cells of chilling-sensitive cucumber and -resistant figleaf gourd[J]. Plant, Cell & Environment, 2005, 28(9): 1 191–1 202
- [13] 王帘里, 孙波. 培养温度和土壤类型对土壤硝化特性的影响[J]. 土壤学报, 2011, 48(6): 1 173–1 179
- [14] 王连荣, 薛拥志, 陈海江, 徐继忠. 土壤温度对温室早露蟠桃休眠期根系酶活性的影响[J]. 河北北方学院学报: 自然科学版, 2006, 22(1): 45–48
- [15] Imran M, Mahmood A, Römhild V, Neumann G. Nutrient seed priming improves seedling development of maize exposed to low root zone temperatures during early growth[J]. European Journal of Agronomy, 2013, 49: 141–148
- [16] Díaz-Pérez JC. Root zone temperature, plant growth and yield of broccoli [Brassica oleracea (Plenck) var. italica] as affected by plastic film mulches[J]. Scientia Horticulturae, 2009, 123(2): 156–163
- [17] Yan QY, Duan ZQ, Mao JD, Li X, Dong F. Low root zone temperature limits nutrient effects on cucumber seedling growth and induces adversity physiological response[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 12(8): 1 450–1 460
- [18] Awal MA, Ikeda T. Effects of changes in soil temperature on seedling emergence and phenological development in field-grown stands of peanut (*Arachis hypogaea*)[J]. Environmental and Experimental Botany, 2002, 47(2): 101–113
- [19] Yan QY, Duan ZQ, Mao JD, Li X, Dong F. Effects of root-zone temperature and N, P, and K supplies on nutrient uptake of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings in hydroponics[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2012, 58(6): 707–717
- [20] 卜玉山, 王建程, 邵海林, 苗果园. 不同覆盖材料土壤生态效应与玉米增产效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(2): 138–141
- [21] 田昌玉, 林治安, 左余宝, 孙文彦, 车升国, 程明芳, 赵秉强. 氮肥利用率计算方法评述[J]. 土壤通报, 2011, 42(6): 1 530–1 536
- [22] 王火焰, 周健民. 肥料养分真实利用率计算与施肥策略[J]. 土壤学报, 2014, 51(2): 216–225

Effects of Root Zone Temperature on Cucumber Growth, Yield and Nitrogen Use Efficiency

XUE He^{1,2}, DUAN Zeng-qiang^{1*}, DONG Jin-long^{1,2}, WANG Ai-hua^{1,2}, LI Xun¹, XING Peng³

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: A pot experiment was carried out to study the effects of root-zone temperature (RZT) and N fertilizer rate on cucumber growth, yield, N uptake and N use efficiency. Two levels of RZT (12°C and 20°C) and four levels of N fertilizer (0, 96, 128, 160 mg/kg) were designed. The results showed that: cucumber yield, N apparent utilization and N agronomic efficiency of 20°C-RZT were significantly higher than those of 12°C-RZT in all specific N fertilizer conditions. Cucumber yields per plant of 20°C-RZT were 78.99%, 120.5%, 126.8% and 105.6% higher than those of 12°C-RZT in all N levels. There was no significant difference in cucumber yield per plant without heating when increasing N fertilizer rate. As a contrast, total N absorption per plant increased significantly when increasing N fertilizer rate under 20°C-RZT. Therefore, the RZT and N fertilizer rate have significant impact on cucumber growth, yield and N absorption. Raising RZT was more effective than increasing N fertilizer rate in promoting cucumber growth and N use efficiency. High RZT can promote nutrient use. As a result, reducing N fertilizer rate and increasing the RZT can not only achieve high yield, but also avoid the potential harmness caused by the overuse of fertilizers.

Key words: Cucumber; Root zone temperature; Nitrogen fertilizer; Yield per plant; Nitrogen use efficiency