

DOI: 10.11766/trxb201206280258

# 根区温度对黄瓜生长和土壤养分利用的影响\*

闫秋艳<sup>1,2</sup> 段增强<sup>1†</sup> 李 汛<sup>1</sup> 董金龙<sup>1</sup> 王媛华<sup>1</sup> 邢 鹏<sup>3</sup> 董 飞<sup>4</sup>

(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)

(4 山西省襄汾县农业委员会, 山西襄汾 041500)

**摘 要** 采用盆栽试验,研究了不同土壤温度(对照不加温  $10 \pm 2^\circ\text{C}$ 、加温到  $18 \pm 2^\circ\text{C}$ 、加温到  $26 \pm 2^\circ\text{C}$ )和不同盐分含量土壤(1#>2#>3#)对黄瓜干物质积累、矿质元素吸收与分配特征的影响,并对土壤性状、酶活性的影响进行了研究。结果表明:与对照不加温  $10^\circ\text{C}$  相比,加温到  $18^\circ\text{C}$  和  $26^\circ\text{C}$  可以克服冬季土壤低温对黄瓜生长的限制作用,促进黄瓜苗的正常生长,为黄瓜开花结果提供保障。随着土壤温度升高,黄瓜果实干物重增加;加温到  $26^\circ\text{C}$  与加温到  $18^\circ\text{C}$  相比,三种盐分含量土壤 1#、2#、3# 黄瓜果实干物重分别增加了 41.84%、15.49%、3.59%,同时反映了盐分含量高的土壤加温对提高黄瓜产量更明显。与对照不加温相比,土壤加温使黄瓜单株 N、P、K 的总摄取量增加,促进黄瓜根系吸收的养分向地上部转移,使土壤中速效养分(碱解氮、速效磷、速效钾)含量降低。土壤加温使土壤脲酶活性明显升高,对磷酸酶和过氧化氢酶影响不大。因此,冬季升高土壤温度可增加黄瓜产量,促进土壤养分转化,提高土壤养分利用率。

**关键词** 土壤温度;黄瓜;干物重;养分吸收;土壤性质;酶活性

**中图分类号** S642.2 **文献标识码** A

节能日光温室在我国发展迅速,主要靠积蓄太阳能来提高室内温度。晴天时室内气温升高迅速,很快达到作物生长适温,且波动幅度大,随太阳照射室内气温在中午 13:00 可达到  $30^\circ\text{C}$ ,冬季夜间降为  $12^\circ\text{C}$  及以下<sup>[1]</sup>。但土壤温度的升高较缓慢,较气温变化存在一定的滞后现象,且变化幅度小<sup>[2]</sup>。因此,通常在自然状态下,植物根系和冠层所处的环境温度不同。阴雨、雪天时,空气和土壤温度均很低,致使喜温性蔬菜如番茄、黄瓜等生长迟缓,有时甚至出现冷害<sup>[3]</sup>。植物的生长发育可能对根温更加敏感<sup>[4-5]</sup>。

根区温度是重要的生态因子之一,对植物根系水分、营养的吸收有重要影响,其对植物生长发育的影响既是重要的生产实际问题,也是重要的理论问题<sup>[6]</sup>。根温可直接影响植物的生长,也可通过对光合作用、水分代谢、矿质营养和植物激素等的作用间接影响植物生长<sup>[7-8]</sup>。根温还可以直接影响土

壤养分的有效性。有关根区温度对作物的影响报道很多,主要集中在对作物生长和生理响应机理的影响上<sup>[1,3-4,7,9-11]</sup>,而对作物养分吸收及土壤养分有效性影响的报道较少。

因此本文通过沙浴加温法,研究不同土壤温度对黄瓜干物重积累、各种养分吸收的影响,并对土壤理化性状影响进行了研究,以期探明土壤温度对土壤养分供应与黄瓜养分吸收关系的影响,为冬季塑料大棚反季节黄瓜高效栽培提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试土壤

供试土壤包括潮土,采自于安徽和县乌江镇两个塑料大棚内表层(0~20 cm)土壤,季节性大棚,种植年限 15 年,分别为 1#土和 2#土。水稻土采自于江苏省泰州市塑料大棚表层(0~20 cm)土壤,常

\* 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)、土壤与农业可持续发展国家重点实验室 2012 年开放课题(0812201217)资助

† 通讯作者;E-mail:zqduan@issas.ac.cn

作者简介:闫秋艳(1983—),女,山西襄汾人,博士研究生,主要从事设施栽培及植物营养方面研究。E-mail:qyyan@issas.ac.cn

收稿日期:2012-06-28;收到修改稿日期:2012-09-07

年大棚(稻-菜轮作),种植年限5年,为3#土。土样采集时采样地均处于闲茬期(当即作物收获,下季作物种植前的空闲期),按照“S”曲线采取0~20 cm的混合土样。土壤自然风干,研磨过2 mm筛备用。土壤基本理化性状见表1。

## 1.2 供试作物与幼苗培养

以抗冷性较强的黄瓜(*Cucumis Sativus* L.)品种津绿3号(Jinlv No.3)为试验试材。选取饱满、整齐一致的黄瓜种子,55℃温汤浸种15 min,置于温度28℃、湿度70%的光照培养箱中催芽。待种子露白后,播种至含有泥炭和蛭石(2:1, V/V)混合基质的育苗盘中,待幼苗一片真叶后,选取整齐一致的幼苗定植。

## 1.3 试验设计

试验于2011年12月至2012年2月在中国科学院南京土壤研究所日光温室内进行。土壤温度控制系统包括:聚乙烯栽培槽(长240 cm×宽70 cm×深20 cm)、塑料烧杯、黄沙、地热线(宁波市鄞州东海畜牧器械厂生产,长100 m,功率为800 W)。每个栽培箱体含48个1 L塑料烧杯。塑料烧杯间空隙充满内含地热线的沙。通过对地热线加热,

热量传递给沙子,并加热塑料烧杯中的土壤基质,利用定时器和温控器调节温度,温度控制系统的横切面图如图1所示。待黄瓜苗定植至塑料烧杯内再进行不同根区温度处理(低温 $10 \pm 2^\circ\text{C}$ 、亚适温 $18 \pm 2^\circ\text{C}$ 和适温 $26 \pm 2^\circ\text{C}$ ),地上部均保持为温室自然条件,各处理设置3次重复。

## 1.4 测量项目与方法

**1.4.1 黄瓜干物质及矿质元素含量测定** 黄瓜取样后用纯水洗净,用脱脂棉将植株擦干,将植株分为根系、茎、叶片和果实四部分,105℃烘箱杀青30 min,于75℃烘干24 h后,称重、粉碎后备用。植物主要矿质营养成分N、P、K含量测定参照文献[12]。

黄瓜对矿质元素的摄取量( $\text{mg Plant}^{-1}$ ) = 矿质元素含量( $\text{mg g}^{-1}$ ) × 干重( $\text{g Plant}^{-1}$ )

总摄取量 = 根系摄取量 + 地上部摄取量

**1.4.2 土壤基本理化性状及酶活性** 土壤基本理化性状参照文献[12]相关方法测定。土壤脲酶活性采用苯酚-次氯酸钠比色法测定<sup>[13]</sup>;土壤中磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定<sup>[13]</sup>。土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定<sup>[14]</sup>。

表1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Physico-chemical properties of the tested soils

供试土壤编号 Soil code	pH	EC ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	有机质 Organic matter ( $\text{g kg}^{-1}$ )	全氮 Total N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	碱解氮 AlkalyticN ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	速效磷 Available P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	速效钾 Available K ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
1#	5.15	1 012	13.06	5.36	262.5	155.6	118.3
2#	6.75	462.5	14.63	4.24	259.0	92.09	87.44
3#	6.56	280.0	14.92	7.80	164.5	72.60	51.74

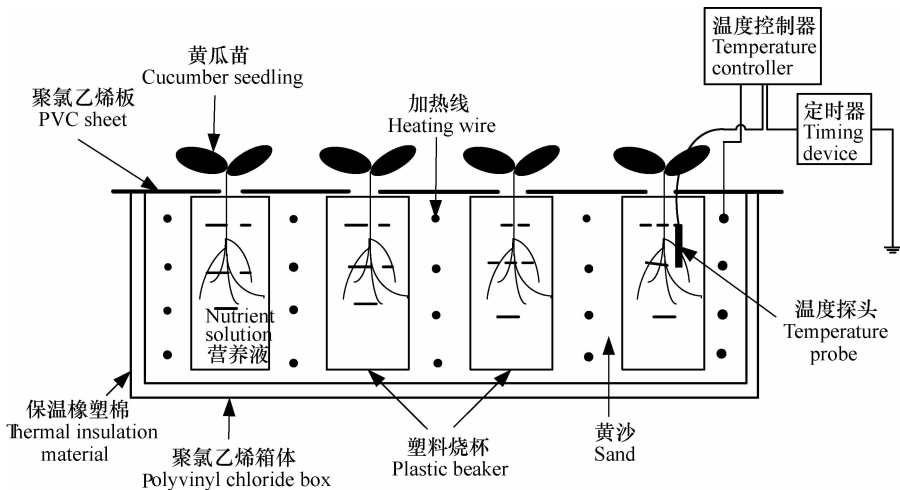


图1 温度控制系统的横切面图

Fig. 1 Cross section of the temperature control system

## 2 结 果

### 2.1 不同土壤温度对黄瓜干物质量积累的影响

由表 2 可以看出,与对照不加温相比,对三种盐分含量不同的土壤加温均可以促进黄瓜苗生长,且黄瓜植株总干物重的积累明显提高。加温处理黄瓜的根系、茎和叶片干物重大大高于对照不加温处理,表现为加温到 18℃ > 加温到 26℃ > 对照不加温 10℃。土壤低温条件 10℃ 抑制黄瓜苗的正常生长,导致植株未结果实,而加温促进黄瓜结果,表现为加温到 26℃ > 加温到 18℃。可见根区加温使黄瓜地上部长势增强。

### 2.2 不同土壤温度对黄瓜不同组织氮、磷和钾含量的影响

由表 3 可以看出,不同土壤温度对黄瓜不同组织矿质元素含量(以干重计)影响较大。

N:随着土壤温度的升高,根系内 N 的含量在三种盐分含量不同的土壤中均表现为降低;1#土壤中生长的黄瓜茎 N 含量表现为加温处理 18℃ 和 26℃ 高于对照不加温 10℃ 处理,2#和 3#土壤中生长黄瓜的茎 N 含量表现为对照不加温 10℃ > 加温到 26℃ > 加温到 18℃;叶片 N 含量在 1#土壤温度处理间差异明显且随土壤温度升高而增加,2#和 3#土壤叶片 N 含量受土壤温度影响不大;果实 N 含量在 2#和 3#土壤上表现为加温到 26℃ 大于 18℃,而 1#土壤表现相反。对照不加温 10℃ 条件下,N 含量在三种盐分含量不同的土壤条件下均表现为根系 > 叶片 > 茎,而 1#土壤加温处理 18℃ 和 26℃ 表现为叶片 > 茎 > 根系 > 果实,2#和 3#土壤加温处理表现为叶片 > 根系 > 果实 > 茎。

P:黄瓜根系中 P 含量在三种养分含量不同的土壤条件下均表现为加温土壤大于不加温土壤,其中 1#土壤受温度影响较大且随温度升高而增加,加温到 18℃ 和 26℃ 分别较对照不加温增加 36.62% 和 58.10%;三种养分含量不同的土壤中生长黄瓜的茎和叶片 P 含量均随土壤温度的增加而增加;果实 P 含量表现为加温到 26℃ 大于 18℃。对照不加温处理 10℃ 根系 P 含量大于茎和叶片内 P 含量,加温到 18℃ 和 26℃ 表现为根系 P 含量明显小于地上部茎、叶片和果实内 P 含量。

K:在 1#和 3#土壤栽培条件下黄瓜根系 K 含量均表现为加温到 18℃ 和 26℃ 明显小于对照不加温处理 10℃,2#土壤表现为加温到 26℃ > 对照不加温 10℃ > 加温到 18℃;与对照不加温 10℃ 相比,土壤加温明显促进茎和叶片对 K 元素的吸收。1#土壤栽培条件下,茎和叶片 K 含量均随土壤温度的升高而增加,而 2#和 3#土壤表现为加温到 18℃ > 加温到 26℃ > 对照不加温 10℃;加温促进黄瓜果实 K 元素的积累。根系 K 含量在低温 10℃ 较茎和叶片高,而加温处理使茎 K 元素积累增多,其次是果实,且明显大于根系和叶片中 K 元素的含量。

### 2.3 不同土壤温度对黄瓜不同组织氮、磷、钾摄取量及分配比率的影响

由图 2 可以看出,与对照不加温比,土壤加温大大促进了黄瓜植株对矿质元素 N、P 和 K 的总摄取量。N 和 P 的总摄取量均随土壤温度的升高而增加,而 K 总摄取量在 1#土壤上表现为随土壤温度升高而增加,在 2#和 3#土壤上表现为加温到 18℃ 大于 26℃。总摄取量的降低直接影响了植株的生长势和干物质量的积累。

表 2 不同土壤温度对黄瓜干物质量积累的影响

Table 2 Dry matter accumulation related to soil temperature

供试土壤编号 Soil code	土壤温度 Soil temperature	干物重(g plant <sup>-1</sup> DW <sup>1)</sup> )				
		根系 Root	茎 Stalk	叶片 Leaf	果实 Fruit	总干重 Total dry weight
1#	对照不加温 <sup>①</sup>	0.135	0.428	0.975	—	1.538
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	0.641	2.115	3.992	4.037	10.79
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	0.255	2.008	3.329	5.726	11.32
2#	对照不加温 <sup>①</sup>	0.055	0.313	0.596	—	0.964
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	0.363	1.843	3.595	4.233	10.03
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	0.229	1.697	3.408	4.889	10.22
3#	对照不加温 <sup>①</sup>	0.071	0.268	0.595	—	0.934
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	0.203	1.493	2.989	3.673	8.358
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	0.147	1.287	2.627	3.805	7.866

① no heating; ② heating 18℃; ③ heating 26℃; 1) DW: 干物重 Dry weight

由图 2 还可以看出,土壤温度对黄瓜不同组织矿质元素的分配比率有明显的影 响。元素的分配比率的改变会使干物质的分配产生变化。低土壤温度下,大量元素 N、P、K 主要分配在叶片中,其次为茎,根系内分配最少;加温处理中 N 和 P 在果实和叶片的累

积大于茎内,根系分配最少,而 K 在果实内分配最多,其次为茎和叶片,根系分配 K 最少;与对照不加温相比,加温处理减少了矿质元素在根系内的分配。土壤低温下,根系对 N、P、K 累积量的顺序为  $K > P > N$ 。加温处理对 N 素的累积大于 P 和 K。

表 3 不同土壤温度对黄瓜不同组织氮、磷、钾含量的影响

Table 3 Concentrations of N, P and K in different tissues of the cucumber plant related to soil temperature

供试土壤编号 Soil code	土壤温度 Soil temperature	根系 Root	茎 Stalk	叶片 Leaf	果实 Fruit
N (mg g <sup>-1</sup> DW <sup>1)</sup> )					
1#	对照不加温 <sup>①</sup>	13.94	11.81	13.81	—
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	11.15	12.60	18.08	11.50
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	10.36	12.58	19.47	10.59
2#	对照不加温 <sup>①</sup>	11.92	8.63	11.38	—
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	9.71	6.52	10.62	8.26
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	9.69	7.84	11.78	9.21
3#	对照不加温 <sup>①</sup>	12.65	9.39	11.21	—
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	8.75	5.75	10.44	7.79
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	7.74	6.64	11.16	7.9
P (mg g <sup>-1</sup> DW)					
1#	对照不加温 <sup>①</sup>	2.84	2.29	2.54	—
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	3.88	5.58	6.01	5.75
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	4.49	6.19	7.24	6.28
2#	对照不加温 <sup>①</sup>	3.22	3.06	3.20	—
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	3.94	5.59	5.61	5.77
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	3.74	7.16	7.67	6.73
3#	对照不加温 <sup>①</sup>	3.09	2.83	2.39	—
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	4.06	6.41	6.92	6.96
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	3.57	7.48	9.03	7.01
K (mg g <sup>-1</sup> DW)					
1#	对照不加温 <sup>①</sup>	20.57	10.48	11.80	—
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	15.76	27.05	11.97	26.06
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	15.53	30.83	14.04	28.76
2#	对照不加温 <sup>①</sup>	15.11	14.12	10.93	—
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	13.24	32.58	12.21	30.63
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	16.21	28.93	12.03	31.39
3#	对照不加温 <sup>①</sup>	13.66	11.47	5.52	—
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	6.77	23.08	9.55	26.57
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	9.17	22.84	8.43	27.18

① no heating; ② heating 18℃; ③ heating 26℃; 1) DW: 干物重 Dry weight

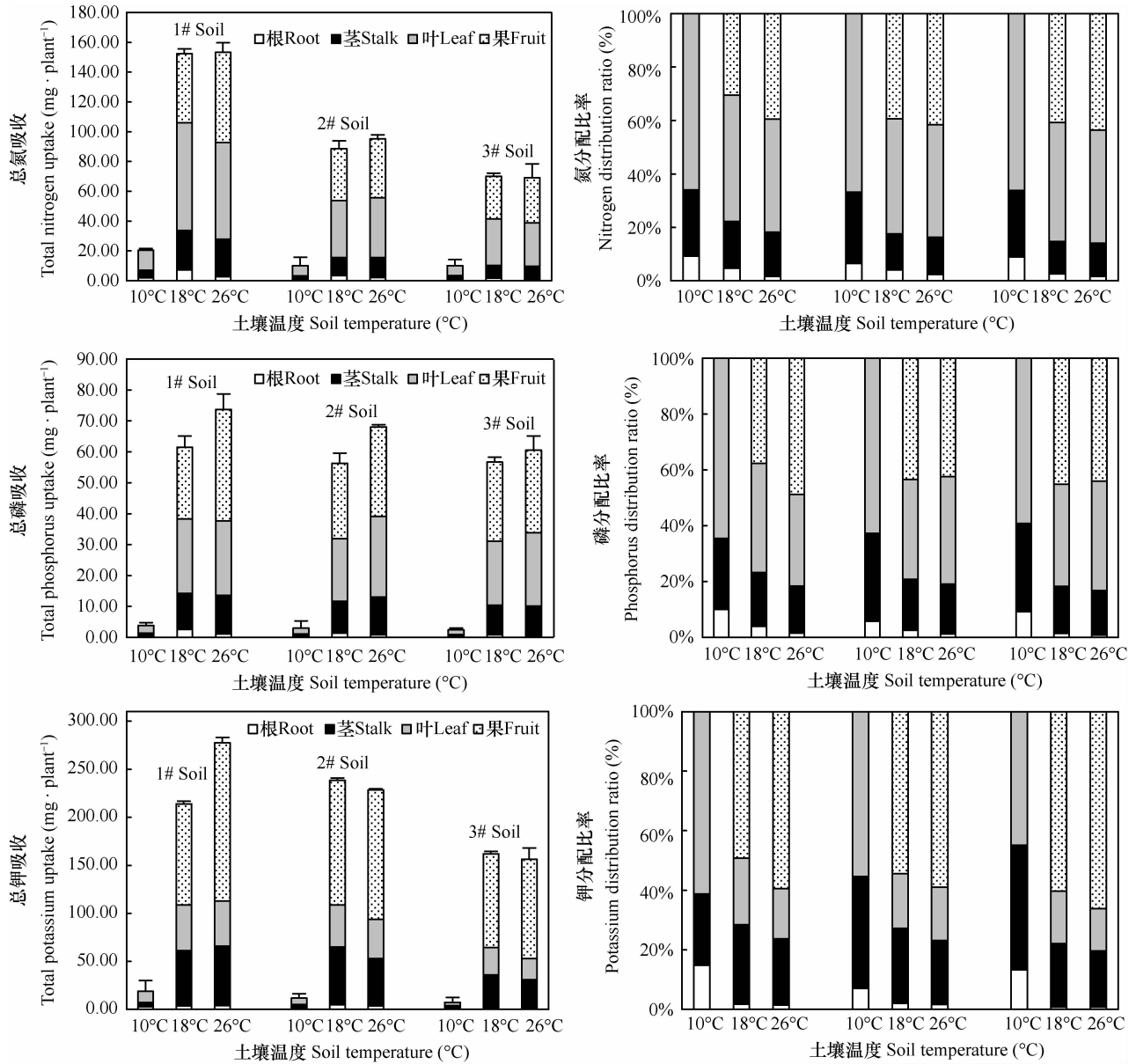


图2 不同土壤温度(对照不加温 10°C、加温到 18°C、加温到 26°C)对黄瓜不同组织总 N、P、K 摄取量及分配比率的影响

Fig.2 Total N, P, and K uptake and distribution ratio in different tissues of the cucumber plant related to soil temperature

## 2.4 不同土壤温度对供试土壤理化性状的影响

由表 4 可以看出,加温使土壤 pH 降低,其中在 18°C 土壤温度条件下 pH 下降最多;除 1# 土壤加温到 26°C EC 值降低外,其余处理 EC 值在土壤加温后均出现升高;1# 土壤有机质含量表现为加温到 18°C > 对照不加温 10°C > 加温到 26°C, 2# 和 3# 土壤有机质受土壤温度影响变化不大;土壤全氮含量随土壤温度的升高明显降低;土壤加温使土壤中速效养分分解氮、速效磷、速效钾含量降低。

## 2.5 不同土壤温度对供试土壤酶活性的影响

由表 5 可以看出,土壤加温明显促进脲酶活性升高;磷酸酶活性在三种盐分含量不同的土壤中变化规律不同,1# 土壤在加温后降低,2# 土壤加温至 18°C 后升高,加温至 26°C 时降低,3# 土壤在加温至 18°C 加温后降低,加温至 26°C 时升高;1# 土壤在土壤加温至 18°C 时升高,加温至 26°C 时降低,2# 土壤受温度影响不大,3# 土壤过氧化氢酶活性随土壤温度升高而降低。

表 4 不同土壤温度对供试土壤理化性质的影响

Table 4 Physico-chemical properties of the tested soil as affected by soil temperature

供试土壤编号 Soil code	土壤温度 Soil temperature	pH	EC ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	有机质 Organic matter ( $\text{g kg}^{-1}$ )	全氮 Total N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	碱解氮 Alkalystic N ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	速效磷 Available P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	速效钾 Available K ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
1#	对照不加温 <sup>①</sup>	5.51	711.0	13.44	5.95	234.5	162.1	144.1
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	5.26	815.0	14.50	2.45	189.8	161.2	86.03
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	5.34	677.5	12.88	1.33	156.6	157.4	75.82
2#	对照不加温 <sup>①</sup>	7.33	233.0	14.63	4.41	168.0	100.7	120.9
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	6.89	347.0	15.20	1.96	166.3	83.67	64.21
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	7.11	327.0	15.19	1.61	157.5	80.13	58.83
3#	对照不加温 <sup>①</sup>	6.73	155.5	15.76	7.84	194.3	81.02	55.43
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	6.67	174.3	15.82	1.05	152.4	67.51	40.41
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	6.62	168.5	15.52	0.56	152.3	72.60	35.32

① no heating 10℃; ② heating 18℃; ③ heating 26℃

表 5 不同土壤温度对土壤脲酶、中性磷酸酶以及过氧化氢酶活性的影响

Table 5 Activities of urease, phosphatase and catalase in the soil as affected by different soil temperature

供试土壤编号 Soil code	土壤温度 Soil temperature	脲酶 Urease ( $\text{NH}_3 - \text{N mg g}^{-1} \text{DW}^{-1}$ )	磷酸酶 phosphatase ( $\text{mg g}^{-1} \text{DW}$ )	过氧化氢酶 catalase ( $\text{H}_2\text{O}_2 \text{ mg g}^{-1} \text{DW}$ )
1#	对照不加温 <sup>①</sup>	0.29	1.33	0.81
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	0.39	1.03	0.83
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	0.42	1.27	0.74
2#	对照不加温 <sup>①</sup>	0.38	0.66	1.43
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	0.46	0.68	1.43
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	0.48	0.62	1.42
3#	对照不加温 <sup>①</sup>	0.40	1.33	1.23
	加温到 18℃ <sup>②</sup>	0.47	1.14	1.17
	加温到 26℃ <sup>③</sup>	0.46	1.39	1.12

① no heating 10℃; ② heating 18℃; ③ heating 26℃; 1) DW: 干物重 Dry weight

### 3 讨论与结论

土壤低温是我国冬季日光温室栽培过程中出现的主要不利环境条件之一。任志雨等<sup>[11]</sup>研究显示长期处于低根区温度下的黄瓜出现根系变褐、沤根现象,进而导致黄瓜叶片变黄,花打顶现象。本试验结果表明,在地上部环境条件相同的条件下,10℃土壤低温对黄瓜植株产生了不良影响,植株生长势弱,根、茎、叶干物重积累明显小于加温后土壤,且低温严重阻碍了黄瓜的正常开花结果。随着土壤温度升高,黄瓜植株长势增强,总干物重增加。1#、2#、3#土壤加温到 26℃ 较 18℃ 果实干物重分别增加 41.84%、15.49%、3.59%。适宜土壤温度促进作物生长<sup>[3-5,7]</sup>。土壤温度直接影响根系的生长。本研究中,温度升高促进了根系的干重,这可能是

由于土壤温度升高,植物根系的代谢活动随着土壤温度的增加而加快,促进了细胞分裂和生长激素的分泌,从而促进根系体积和吸收面积的增加<sup>[15]</sup>。加温到 26℃ 较 18℃ 在增加黄瓜产量效果上不是很明显,所以与对照低温比,适当提高土壤温度 18 ± 2℃ 可以得到很好的效果。

土壤温度影响了黄瓜不同组织对矿质元素的吸收与分配。当地上部开始生命活动时,根系却仍处在温度较低的环境中,导致根系营养供给不能满足地上部生长的需要。这可能与根系长期处于低温环境导致根系水导和植物蒸腾速率下降有关<sup>[16]</sup>。Awal 等<sup>[17]</sup>研究表明根区温度从 12℃ 增加到 25℃,根系供应水分和养分的功能得到改善,根冠比减小。本结果显示,与对照不加温比,加温降低根系 N、K 含量,增加 P 含量;茎 N、P、K 含量均增加;叶片 P 和 K 含量增加,N 含量在 1#土壤上明显增加,在 2

#和3#土壤中表现不明显,果实 N、P、K 含量基本随土壤温度升高而增加。可见,土壤加温促进了养分从黄瓜根系向地上部的转移。同时,土壤加温增加了黄瓜单株 N、P、K 的总摄取量。

温度升高促进了土壤矿物质分解和有机质的矿质化作用以及铵态氮的硝化作用<sup>[18]</sup>,从而增加了土壤中速效养分的含量,而且,随着土壤温度的升高,一些盐类的溶解度增大,一些被土壤胶体吸附的离子也会因为土壤温度升高而吸附力减弱,从而被解吸转入土壤溶液中<sup>[18]</sup>。本试验结果显示,加温使土壤 EC 值升高,表明土壤溶液的浓度随土壤温度的升高而增加。1#土壤在加温 26℃ 条件下 EC 值小于对照不加温处理,可能是由于高温下植物生长快,对养分的吸收量大,导致土壤中滞留养分大大减少,EC 值降低,增加的速度养分被作物及时吸收。本研究还表明,虽然土壤加温使土壤中大量速效养分被黄瓜吸收利用,但加温使土壤 EC 值大多升高,可能是由于加温增加了其他养分离子的活度,也可能是土壤温度变化导致微生物群落组成及其活性产生变化,某些微生物群落成员在较高温度时有能力代谢那些在较低温度时不能被利用的基质<sup>[19]</sup>。因此有关土壤温度影响土壤养分离子组成还需进一步研究。土壤加温后,土壤溶液中  $K^+$  的浓度减少幅度大,可能是因为根系同化吸收更多的  $K^+$ ,植物体内高浓度的  $K^+$  用于抵御外界的逆境条件,使植物免受伤害,这是植物吸收养分的一种长期适应性表现<sup>[20]</sup>。

土壤酶是土壤生物学中的一项重要内容,对土壤肥力起着重要的作用。土壤脲酶直接参与土壤中含 N 有机化合物的转化,能促进含氮有机物尿素分子酰胺键水解为氨,是植物氮素营养的重要来源<sup>[21]</sup>。土壤加温使脲酶活性增加,使更多的有机氮转化为有效氮,因此加温后土壤全氮含量降低,而转化为有效氮被植物吸收。对照不加温比加温处理的根系积累氮素多,表明加温又促进了养分从植物根系向地上部转移。可见,脲酶活性与土壤氮素转化存在密切的关系。土壤磷酸酶能促进土壤有机磷化合物的分解,为植物提供有效磷素,土壤磷酸酶活性反映了土壤向作物供应有效磷的潜在能力<sup>[21-22]</sup>。本试验结果表明,土壤加温对磷酸酶活性影响规律不明显,可能是土壤磷酸酶活性不仅受土壤有机质、阳离子交换量、土壤速效磷影响,还受土壤容重、土壤砂粒含量等物理性状的影响<sup>[21]</sup>。过氧化氢酶能破坏由土壤中生化反应生成的过氧化氢,减轻过氧化氢对植物和土壤环境的毒害作用,其活

性可以反映土壤呼吸强度<sup>[23]</sup>。本文研究表明,加温对过氧化氢酶活性影响在不同土壤上表现不同,这可能与土壤本身的理化性状有关。因此,对于温度对土壤酶活性影响还需进一步研究其动态变化过程。

综上所述,冬季反季节栽培提高土壤温度后,促进了黄瓜的营养生长,生长速度快,果实产量提高。加温有效促进黄瓜植株对养分的吸收,单株大量元素的总摄取量增加,为黄瓜生长提供了基础。同时加温增加了土壤中养分的活度和有效性,酶活性增加,使土壤中的潜在养分发挥更好的作用,避免了土壤养分富营养化。

## 参 考 文 献

- [1] Miao M, Zhang Z, Xu X, et al. Different mechanisms to obtain higher fruit growth rate in two cold-tolerant cucumber (*Cucumis sativus* L.) lines under low night temperature. *Scientia Horticulturae*, 2009, 119(4): 357—361
- [2] 李仁杰,朱世东,袁凌云,等. 温室内地温变化规律及与气温的相关性. *中国农学通报*, 2010, 26(24): 209—212. Li R J, Zhu S D, Yuan L Y, et al. Study on the soil temperature variety regulation and the relativity with atmosphere temperature in the greenhouse (In Chinese). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(24): 209—212
- [3] 任志雨. 根区温度对番茄生长和产量的影响. *天津农业科学*, 2006, 12(3): 15—16. Ren Z Y. Effects of root zone temperature on growth and yield of tomato (In Chinese). *Tianjin Agricultural Sciences*, 2006, 12(3): 15—16
- [4] 范爱武,刘伟,刘炳成. 土温对植物生长的影响及其机理分析. *工热物理学报*, 2004, 25(1): 124—126. Fan A W, Liu W, Liu B C. Effect of soil temperature on the growth of plant and an analysis of its mechanism (In Chinese). *Journal of Engineering Thermophysics*, 2004, 25(1): 124—126
- [5] 王国良,吴竹华,汤庚国,等. 根际加温对无土栽培非洲菊冬季产花的影响. *园艺学报*, 2001, 28(2): 144—148. Wang G L, Wu Z H, Tang G G, et al. The effects of rhizosphere heating on flower yields and quality of soilless growing gerbera during winter (In Chinese). *Acta Horticulturae Sinica*, 2001, 28(2): 144—148
- [6] 冯玉龙,姜淑梅. 番茄对高根温引起的叶片水分胁迫的适应. *生态学报*, 2001, 21(5): 747—751. Feng Y L, Jiang S M. The adaptation to leaf water stress caused by high root temperature in tomato (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(5): 747—751
- [7] 易建华,贾志红,孙在军. 不同根系土壤温度对烤烟生理生态的影响. *中国生态农业学报*, 2008, 16(1): 62—66. Yi J H, Jia Z H, Sun Z J. Physiological and ecological effect of rhizospheric soil temperature on flue-cured tobacco (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(1): 62—66
- [8] Bassirirad H. Kinetics of nutrient uptake by roots: Responses to global change. *New Phytologist*, 2000, 147(1): 155—169
- [9] Zhang Y P, Zhang Y L, Zhou Y H, et al. Adaptation of cucurbit

- species to changes in substrate temperature: Root growth, antioxidants, and peroxidation. *Journal of Plant Biology*, 2007, 50(5): 527—532
- [10] 李志英, 卢育华, 徐立. 土壤低温对嫁接黄瓜生理生化特性的影响. *园艺学报*, 1998, 25(3): 258—263. Li Z Y, Lu Y H, Xu L. Effects of low soil temperature on physiological and biochemical characteristics of grafted cucumber (In Chinese). *Acta Horticulturae Sinica*, 1998, 25(3): 258—263
- [11] 任志雨, 卢兴霞, 周富林. 根区温度对黄瓜生长和生理代谢的影响. *天津农业科学*, 2006, 12(4): 35—37. Ren Z Y, Lu X X, Zhou F L. Effects of root zone temperature on growth and physiological metabolism of cucumber (In Chinese). *Tianjin Agricultural Sciences*, 2006, 12(4): 35—37
- [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. Lu R K. Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural and Technology Press, 2000
- [13] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 中国农业出版社, 1986. Guan S Y. Soil enzymes and analysis (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1986
- [14] 杨兰芳, 曾巧, 李海波, 等. 紫外分光光度法测定土壤过氧化氢酶活性. *土壤通报*, 2011, 42(1): 207—210. Yang L F, Zeng Q, Li H B, et al. Measurement of catalase activity in soil by ultraviolet spectrophotometry (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(1): 207—210
- [15] 窦晶鑫, 刘景双, 王洋, 等. 模拟土壤温度升高对湿草甸小叶章生长及生理特性的影响. *应用生态学报*, 2009, 20(8): 1845—1851. Dou J X, Liu J S, Wang Y, et al. Effects of simulated soil warming on the growth and physiological characters of *Deyeuxia angustifolia* (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(8): 1845—1851
- [16] 梁建生, 张建华, 曹显祖. 根系环境温度变化对根系吸水和叶片蒸腾的影响. *植物学报*, 1998, 40(12): 1152—1158. Liang J S, Zhang J H, Cao X Z. Effects of changes of temperature around roots in relation to water uptake by roots and leaf transpiration (In Chinese). *Acta Botanica Sinica*, 1998, 40(12): 1152—1158
- [17] Awal M A, Ikeda T, Itoh R. The effect of soil temperature on source/sink economy in peanut (*Arachis hypogaea*). *Environmental and Experimental Botany*, 2003, 50(1): 41—50
- [18] 王帘里, 孙波. 培养温度和土壤类型对土壤硝化特性的影响. *土壤学报*, 2011, 48(6): 1173—1179. Wang L L, Sun B. Effects of incubation temperature and soil type on soil nitrification (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(6): 1173—1179
- [19] 肖辉林, 郑习健. 土壤温度上升对某些土壤化学性质的影响. *土壤与环境*, 2000, 9(4): 316—321. Xiao H L, Zheng X J. Effects of soil warming on some soil chemical properties (In Chinese). *Soil and Environmental Sciences*, 2000, 9(4): 316—321
- [20] 刘瑞文, 陈世庆, 董振国, 等. 温度条件对麦田土壤溶液浓度的影响. *生态学报*, 1993, 13(2): 164—170. Liu R W, Chen S Q, Dong Z G, et al. The effects of temperature on the nutrient concentration in soil solution (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 1993, 13(2): 164—170
- [21] 贾继文, 聂俊华, 李絮花, 等. 蔬菜大棚土壤理化性状与土壤酶活性关系的研究. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 2001, 32(4): 427—432. Jia J W, Nie J H, Li X H, et al. Study on the relationship between the soil physical-chemical properties and soil enzymatic activity of plastic greenhouse (In Chinese). *Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science*, 2001, 32(4): 427—432
- [22] 申卫收, 林先贵, 张华勇, 等. 不同栽培条件下蔬菜塑料大棚土壤氮磷生物转化特征. *农业工程学报*, 2008, 24(2): 199—204. Shen W S, Lin X G, Zhang H Y, et al. Biological transformation characteristics of N and P in different polytunnel greenhouse vegetable soils (In Chinese). *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(2): 199—204
- [23] 唐海滨, 廖超英, 刘莉丽, 等. 蔬菜大棚土壤脲酶、过氧化氢酶活性与土壤养分的关系. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(3): 165—169. Tang H B, Liao C Y, Liu L L, et al. Relationship between soil urease, catalase activities and soil nutrient in vegetable greenhouse (In Chinese). *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2011, 29(3): 165—169

## EFFECT OF ROOT ZONE TEMPERATURE ON GROWTH OF CUCUMBER AND NUTRIENT UTILIZATION IN SOILS

Yan Qiuyan<sup>1,2</sup> Duan Zengqiang<sup>1†</sup> Li Xun<sup>1</sup> Dong Jinlong<sup>1</sup> Wang Aihua<sup>1</sup> Xing Peng<sup>3</sup> Dong Fei<sup>4</sup>

(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)

(4 Agricultural Bureau of Xiangfen County, Xiangfen, Shanxi 041500, China)

**Abstract** A pot experiment was carried out to study effects of soil temperature and soil salinity on soil physico-chemical properties and enzyme activity in the soil as well as dry matter accumulation, nutrient uptake and distribution of cucumber. The experiment was designed to have 3 levels of soil temperature (10°C as control, 18°C and 26°C) and 3 lev-



els of salinity (1# > 2# > 3#). Results showed that compared with control, 18°C and 26°C wiped out the obstacle of low soil temperature for growth of the plant in winter, promoted normal growth of cucumber seedlings and provided the plants with guarantee to blossom and yield. With soil temperature rising from 18°C to 26°C, cucumber fruit dry weight increased by 41.84%, 15.49%, and 3.59% in soil 1#, soil 2# and soil 3#, respectively, demonstrating that the effect of higher soil temperature was more significant in soils high in salt content. Higher soil temperature increased total nutrient (N, P and K) uptake of the plant, promoted transfer of nutrients from roots to shoots and reduce the contents of readily available nutrients (alkalysite N, readily available P and readily available K) in the soil. Higher soil temperature significantly increased urease activity, but did not have much effect on the activities of phosphatase and catalase. Therefore, raising soil temperature in winter can increase cucumber yield, promote soil nutrient transformation and improve soil nutrient utilization efficiency.

**Key words** Soil temperature; *Cucumis sativus* L.; Dry weight; Nutrient uptake; Soil physico-chemical properties; Soil enzyme activity

(责任编辑:檀满枝)