

# 地下滴灌增温对盆栽花椰菜生长、 产量和营养品质的影响

王帘里<sup>1,2</sup>, 翟国亮<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院 农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003; 2. 南京中山园林建设(集团)有限公司, 江苏 南京 210014)

**摘 要:**以盆栽花椰菜为研究对象,在温室开展滴灌水增温处理(2、4、6℃)对花椰菜生长、生理、产量和营养品质的影响研究。结果表明:增温处理花椰菜株高、茎粗和叶片数增加;生长旺盛期,4℃和6℃增温处理叶片叶绿素相对含量增加( $P<0.05$ ),增幅分别为13.7%和22.0%;4℃和6℃增温处理花球产量增加( $P<0.05$ ),增幅分别为20.5%和26.6%;4℃和6℃增温处理花球氮、磷含量增加( $P<0.05$ ),氮增幅分别为8.4%、14.5%,磷增幅分别为25.0%、36.7%;2、4、6℃增温处理,花球铁含量降低( $P<0.05$ ),降幅高达50.2%~83.1%;增温处理花球钾、锌和钙含量增加,但未达差异显著水平( $P>0.05$ );增温处理根干重增加。

**关键词:**滴灌水增温;花椰菜;生长;产量;品质

**中图分类号:**S 635.307<sup>+</sup>.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)06-0014-06

温度(热量)是影响作物生长发育的重要环境因子<sup>[1]</sup>。种子萌芽、出苗、根系生长、吸收土壤水分、养分均依赖于温度。在全球气候变化的背景下,众多学者关注、研究温度(升高)对作物生长发育及产量的影响<sup>[2-6]</sup>。增温装置<sup>[7-9]</sup>、客土<sup>[10]</sup>等调温措施因耗资大而无法大面积推广;电热加温线<sup>[11-14]</sup>、红外加热器<sup>[15]</sup>等调温措施存在耗电量大、增温不均匀等局限性。

灌溉作为基本农田管理措施,灌溉水增温可调控、可推广。王立权等<sup>[16]</sup>采用渠灌,探讨了井水增温对水稻产量的影响。地下滴灌是节水增产的高效灌溉方式<sup>[17]</sup>,滴灌水增温处理可直接作用于作物根际,热量利用率高。定量研究滴灌增温对作物生长、产量的影响,对节约灌区水资源、促进农业生产效益具有重要意义。该研究采用地下滴灌增温装置,以温室盆栽花椰菜为研究对象,初步探讨了地下滴灌增温对花椰菜生长、产量和营养品质的影响,以期设施栽培花椰菜优质高产提供参考依据。

**第一作者简介:**王帘里(1982-),女,河南周口人,博士,助理研究员,现主要从事节水灌溉和土壤质量的关系等研究工作。E-mail:ll-wangfiri@yeah.net.

**责任作者:**翟国亮(1963-),男,河南周口人,研究员,现主要从事节水灌溉技术理论研究和相关产品设备开发等工作。E-mail:zhai3393@126.com.

**基金项目:**国家公益性行业(农业)科研专项经费资助项目“西北非耕地园艺作物节水技术和设备研究与产业化示范”(201203003)。

**收稿日期:**2015-12-18

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在河南省新乡市(北纬35.19°,东经113.53°,海拔72.7 m)中国农业科学院农田灌溉研究所内进行。该区域属于半湿润、半干燥的暖温带季风气候,年均温13.5℃;年均降水量610 mm,2/3集中在6—9月。土壤类型主要为黄河沉积物发育的潮土,并伴有盐土、碱土、沙土和沼泽土的插花分布。

### 1.2 试验材料

供试土壤为荒地潮土。试验前采集0~20 cm土层土壤测定基本理化性状(表1)。

供试作物为花椰菜品种“曼陀绿”。

试验装置如图1所示,滴灌增温装置由保温马氏瓶(专利)、输水管和插入式地下滴灌滴水器<sup>[18]</sup>3个部分组成,水头2 m。其中,滴水器<sup>[19]</sup>长度可根据插管(5 cm/个)串联数量调节,滴水强度通过选用不同流量规格滴水器(1 L/h和2 L/h)实现。该研究中滴水器插管2个,流量2 L/h,距花椰菜8 cm处以45°倾角插入土壤(图2)。为了尽量减少试验中同一处理盆之间的灌水误差,定期调换盆的位置(1次/周)。灌溉水选用自来水,水温用水银温度计测定,在灌溉水温基础上分别增加2、4、6℃,灌入相应的保温马氏瓶,共4个马氏瓶。

### 1.3 试验方法

试验采用盆栽模式。聚乙烯栽种盆,盆口直径33 cm,盆口面积为 $8.55 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ ,每盆装砂壤土16.5 kg。

表 1 供试土壤基本理化性状

Table 1 The basic physicochemical properties of tested soil

| 土层<br>Soil depth<br>/cm | pH  | 质地<br>Texture | 有机质<br>OM<br>/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 全氮<br>Total N<br>/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 全磷<br>Total P<br>/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 全钾<br>Total K<br>/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 碱解氮<br>Alkali-hydrolyzale N<br>/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 速效磷<br>Available P<br>/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 速效钾<br>Available K<br>/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 容重<br>Bulk density<br>/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 田间持水量<br>Field capacity<br>/% |
|-------------------------|-----|---------------|-------------------------------------|---|---|---|--|---|---|--|-------------------------------|
| 0~20                    | 8.4 | 砂壤土           | 13.6                                | 1.3                                     | 0.63                                    | 13.63                                   | 97.1   | 8.6   | 183.1   | 1.8  | 16.6                          |



图 1 试验场  
Fig. 1 The test site

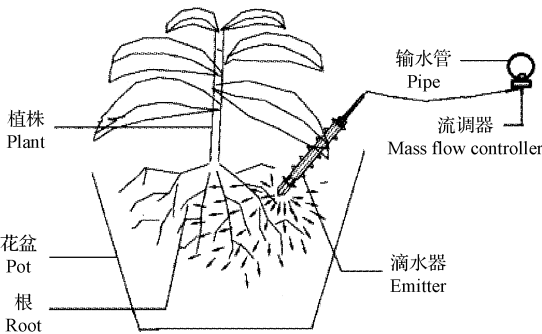


图 2 盆栽花椰菜地下滴灌剖面示意图  
Fig. 2 A sketch profile of applying drip irrigation to potted cauliflower

设对照组(CK)、施肥处理组(NPK),在施肥处理上再设滴灌水增温 2℃(NPK+2)、4℃(NPK+4)和 6℃(NPK+6)处理,共 5 个处理。其中,CK 处理设 3 次重复,其余 4 个处理分设 6 次重复,共 27 盆,随机区组排列。

肥料选择尿素、磷酸二铵、硫酸钾和硼砂,施肥量为纯氮 300 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 180 kg/hm<sup>2</sup>、硼砂 60 kg/hm<sup>2</sup>。氮肥作基肥、苗肥(定植后 21 d)、花蕾肥(定植后 48 d),比例 5:2:3;钾肥作基肥和花蕾肥,比例 1:1;磷肥和硼肥均作基肥。微量元素营养液施用“亿农龙 8 号”,在花椰菜定植后 10、40 d 通过灌溉水加入各盆。

花椰菜苗于 4 月 10 日移栽入盆。移栽后灌 2.5 L 定苗水,后期灌水量视蒸发量及花椰菜生育期而定,灌水量=灌水系数×蒸发量。按照花椰菜生育期确定灌溉水系数和灌水频率,详见表 2。灌水时间为 08:00—12:00。

表 2 花椰菜不同生育期灌水设计

Table 2 Designs for irrigating cauliflower in its some growing period

| 项目<br>Item                     | 04-10—05-01 | 05-01—05-15 | 05-15—06-05 | 06-05—06-15 | 06-15—06-25 |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 灌水系数<br>Irrigation coefficient | 2.0         | 3.0         | 4.0         | 4.0         | 3.0         |
| 灌水频率<br>Irrigation frequency   | 1 次/2d      | 1 次/2d      | 1 次/d       | 1 次/d       | 1 次/d       |

1.4 项目测定

蒸发量用 ADM7 型蒸发器测定。

生长指标:移苗 7 d 后,测量花椰菜株高、茎粗、叶片数,每隔 6 d 测量 1 次。

生理指标:花椰菜生长旺盛期,分别于 5 月 10 日和 5 月 24 日采用 CCM-200 叶绿素测定仪测定叶片叶绿素相对含量。选取上端健康全展叶 3 片,每片叶子测定 30 下(测定时避开叶脉),取平均值。

土壤温湿度:采用土壤温度水分测定仪 TZS 测定 0~7 cm 土壤温、湿度。

产量:花椰菜结球后,于开花前采摘,称重;根风干、称重。

土壤基础性状测定:土壤有机质含量用重铬酸钾法-硫酸氧化法测定;全氮含量用自动定氮仪(Büchi, Autokjeldahl Unit, K-370)测定;全磷含量用酸溶-钼锑抗比色法测定,全钾含量用氢氧化钠熔融-火焰光度计测定;速效磷含量用碳酸氢钠法测定,速效钾含量用乙酸铵提取法-火焰光度计测定;铵态氮含量用 2 mol/L KCl 浸提、连续流动分析仪测定;硝态氮含量用 2 mol/L KCl 浸提、紫外 UV-Probe 测定;pH 值用电位法测定(水土比为 2.5)。土壤容重用环刀法测定;土壤含水量用 105℃ 烘干法测定。

花球品质测定:花球全氮含量用硫酸-双氧水消煮-蒸馏定氮法测定;全磷含量用硫酸-双氧水消煮-钼蓝法测定;全钾含量用硫酸-双氧水消煮-火焰光度法测定;钙含量用硫酸-双氧水消煮-原子吸收法测定;铁含量用硫酸-双氧水消煮-原子吸收法测定;锌含量用硫酸-双氧水消煮-原子吸收法测定。

1.5 数据分析

试验数据差异显著性分析采用 SPSS 13.0(SPSS Inc., Chicago, IL)数据处理系统。绘图采用 Origin 8.0 制图软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 滴灌水增温对花椰菜株高、茎粗和叶片数的影响

试验花椰菜生育期分为苗期(4月10日至5月5日)、生长旺盛期(5月5—25日)和结球-成熟期(5月25日至6月20日)3个时期,每个时期测定株高、茎粗、叶片数2次。

从图3可以看出,随滴灌水增温增加,花椰菜株高、茎粗和叶片数呈现增加趋势,从大到小的顺序是:(NPK+6)>(NPK+4)>(NPK+2)>NPK。鉴于花椰菜各生长性状的叠加效应,同时分析了增温对花椰菜生长增量

(后期与前期的差值)的影响。

从表3可以看出,随滴灌水增温增加,花椰菜株高、茎粗和叶片数增量基本呈增加趋势,从大到小的顺序是:(NPK+6)>(NPK+4)>(NPK+2)>NPK。生长旺盛期,和NPK处理相比,地下滴灌增温处理株高增量为0.6~1.1cm,茎粗增量为0.3~0.5mm,叶片数增量为0.2~0.5片;在结球-成熟期,和NPK处理相比,地下滴灌增温处理株高增量为1.1~2.6cm,茎粗增量为0.9~1.6mm,叶片数增量为0.8~1.0片。

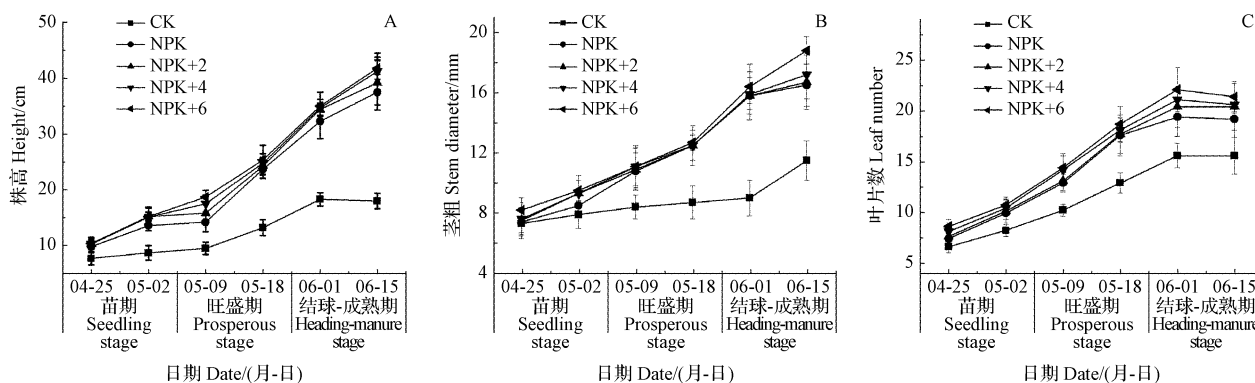


图3 花椰菜不同生育期株高、茎粗和叶片数的变化

Fig. 3 Change of cauliflower height, stem diameter and leaf number during its different growing period

表3

滴灌水增温对花椰菜株高、茎粗和叶片数增量的影响

Table 3

Effect of temperature-increased subsurface drip-irrigation on cauliflower height, stem diameter and leaf number

| 处理<br>Treatment | 生长旺盛期增量 Growth increment of vigorous stage |                        |                      | 结球-成熟期增量 Growth increment of heading-manure stage |                        |                      |
|-----------------|--|------------------------|----------------------|---|------------------------|----------------------|
|                 | 株高<br>Height/cm                            | 茎粗<br>Stem diameter/mm | 叶片数<br>Leaf number/片 | 株高<br>Height/cm                                   | 茎粗<br>Stem diameter/mm | 叶片数<br>Leaf number/片 |
| NPK             | 9.2±1.2b                                   | 2.9±0.5a               | 7.5±1.1a             | 13.8±1.4b   | 3.1±0.6b               | 1.7±0.7a             |
| NPK+2           | 9.8±0.8a                                   | 3.2±0.5a               | 7.7±0.6a             | 14.9±1.7b   | 4.0±1.0a               | 2.7±0.3a             |
| NPK+4           | 10.0±1.1a                                  | 3.4±0.4a               | 7.8±0.8a             | 16.3±1.4a   | 4.2±0.8a               | 2.7±0.4a             |
| NPK+6           | 10.3±1.3a                                  | 3.2±0.8a               | 8.0±1.2a             | 16.4±1.7a   | 4.7±0.7a               | 2.5±0.7a             |

注:不同字母表示处理间差异达5%显著水平。以下同。

Note: Different letters indicate significant difference at 5% level among different treatments. The same below.

### 2.2 滴灌水增温对花椰菜生长旺盛期叶片叶绿素相对含量(CCM-200值)的影响

生长旺盛期是作物产量形成的关键期。王帝里等<sup>[10]</sup>研究表明,玉米生长旺盛期叶片叶绿素相对含量能很好地反应土壤氮素供应状况并能较好地预测作物产量。因此,该研究选择花椰菜生长旺盛期(5月5—25日)为研究对象,测定叶片叶绿素相对含量(CCM-200),探讨花椰菜叶片氮素营养状况对增温滴灌的响应。

从图4可以看出,生长旺盛前期(5月10日),CK处理和NPK处理叶绿素相对含量分别为47.2和96.6,随滴灌温度增加,叶绿素相对含量呈现上升趋势,其从大到小的顺序是(NPK+6)>(NPK+4)>(NPK+2)>NPK。经方差分析,4℃和6℃增温处理显著增加了叶绿素相对含量( $P<0.05$ ),增幅分别达13.7%和22.0%。

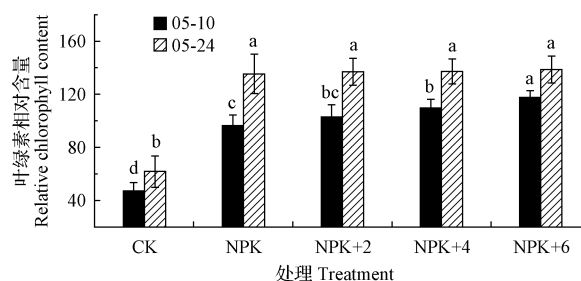


图4 花椰菜生长旺盛期叶片叶绿素相对含量(CCM-200值)

Fig. 4 Relative chlorophyll content of cauliflower in its prosperous stage

生长旺盛后期(5月24日),CK处理和NPK处理叶绿素相对含量分别为61.7和135.4,随地下滴灌温度增加,



叶绿素相对含量趋势平稳。

### 2.3 滴灌水增温对花球产量的影响

由图 5 可以看出,与 CK 处理 0 产量相比,NPK 处理显著增产至 200 g/株;随滴灌水增温增加,产量呈上升趋势,从大到小的顺序是:(NPK+6)>(NPK+4)>(NPK+2)>NPK。与 NPK 处理相比,4℃和 6℃增温处理增加了花椰菜花球产量,增幅分别为 20.5%和 26.6%。

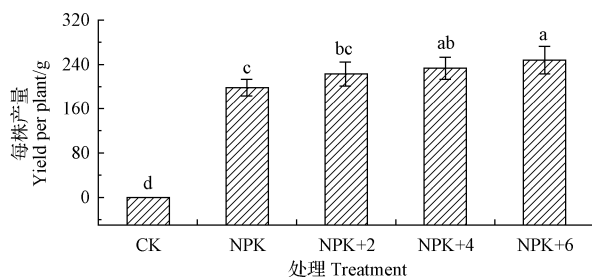


图 5 增温对花椰菜花球产量的影响

Fig. 5 Effect of increasing temperature on the yield of cauliflower

表 4

地下滴灌增温对花球部分大量元素及微量元素含量的影响

Table 4 Effect of temperature-increased subsurface drip-irrigation on macroelement and microelement concentration of cauliflower's fructification

| 处理<br>Treatment | 氮<br>N/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 磷<br>P/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 钾<br>K/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 铁<br>Fe/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 锌<br>Zn/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 钙<br>Ca/(mg·kg <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| NPK             | 37.9±1.1cd                   | 6.0±0.8c                     | 17.0±0.6a                    | 1 770.6±210.5a                 | 50.7±9.5a                      | 9 820.9±890.5a                 |
| NPK+2           | 39.3±1.4bc                   | 6.2±0.8bc                    | 17.1±1.0a                    | 881.6±90.3b                    | 53.6±10.4a                     | 10 638.4±1 187.9a              |
| NPK+4           | 41.1±1.8b                    | 7.5±1.1ab                    | 17.4±1.1a                    | 398.7±53.8c                    | 55.1±8.2a                      | 10 963.6±939.7a                |
| NPK+6           | 43.4±1.6a                    | 8.2±0.6a                     | 17.9±1.3a                    | 298.4±35.6d                    | 58.2±11.3a                     | 11 101.8±1 106.3a              |

## 3 讨论

### 3.1 增温对作物生长发育的影响

作物生长受气候、土壤、农田水利、田间管理等因素影响。作物生长对增温的响应,受供试作物、试验设计差异、区域气候等因素影响。比如,STONE 等<sup>[20]</sup>和田云录等<sup>[21]</sup>研究认为,增温加速了玉米、冬小麦生长,提高产量。房世波等<sup>[8]</sup>研究指出,夜间增温(2.5℃)处理冬小麦株高显著降低 9.9 cm,缩短了营养生长期和生殖发育期,不利于高产。郭建平等<sup>[22]</sup>研究也认为,增温(0.9~5.8℃)加快了农作物生育进程,在相同的发育期使作物叶面积、根、茎、叶等生长量不足,生物量下降,进而影响到产量。该研究结果表明,地下滴灌增温处理比 NPK 处理花椰菜株高、茎粗和叶片数生长增量分别提高了 0.6~2.6 cm、0.3~1.6 mm 和 0.2~1.0 片,说明滴灌水增温对花椰菜生长发育起促进作用,这与田云录等<sup>[21]</sup>的研究结果一致。

### 3.2 叶片叶绿素含量对增温的响应

叶片光合色素与植物光合作用休戚相关<sup>[23]</sup>。叶绿素仪可以快速测定叶片叶绿素相对含量,操作简单、不损伤叶片,且不受地域和土壤类型的影响<sup>[10]</sup>,已广泛应用到玉米<sup>[24]</sup>、烟草<sup>[25]</sup>、茶叶<sup>[26]</sup>等多种作物上。CCM-200 叶

### 2.4 滴灌水增温对花球部分大量元素及微量元素含量的影响

从表 4 可以看出,随滴灌水增温增加,花球氮素、磷素和钾素含量呈现增加趋势,其从大到小的顺序是:(NPK+6)>(NPK+4)>(NPK+2)>NPK。和 NPK 处理相比,4℃和 6℃增温显著增加了花球氮、磷含量( $P<0.05$ ),氮增幅分别为 8.4%、14.5%;花球磷含量增幅分别为 25.0%、36.7%。与 NPK 处理相比,地下滴灌增温处理降低了花球铁含量,其从大到小的顺序是:NPK>(NPK+2)>(NPK+4)>(NPK+6);增加了花球锌、钙含量,其从大到小的顺序是:(NPK+6)>(NPK+4)>(NPK+2)>NPK。与 NPK 处理相比,地下滴灌增温处理花球铁含量降幅高达 50.2%~83.1%。由进一步的方差分析可知,在施肥处理的基础上进行的 4℃和 6℃增温处理(NPK+4 和 NPK+6),显著增加了花球氮、磷含量( $P<0.05$ ),显著降低了花球铁含量( $P<0.05$ ),对花球钾、锌和钙含量影响未达差异显著水平( $P>0.05$ )。

绿素仪(opti-sciences,美国)根据叶片在 940 nm 和 660 nm 不同的吸收率计算叶绿素相对含量(chlorophyll content index,CCM-200 值),测定值与叶绿素含量和氮素含量相关性高<sup>[26]</sup>。

与 NPK 处理相比,2、4、6℃增温处理花椰菜叶片叶绿素相对含量增加。这可能是由于灌溉水增温处理土壤温度和水分含量增加(表 5),促进土壤养分矿化,有利于花椰菜从土壤中吸收营养。

表 5 花椰菜生长旺盛期土壤(7 cm)温度、湿度

Table 5 Soil (7 cm depth) temperature and moisture at potted cauliflower prosperous stage

| 处理<br>Treatment | 05-10               |                  | 05-24               |                  |
|-----------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|
|                 | 温度<br>Temperature/℃ | 湿度<br>Moisture/% | 温度<br>Temperature/℃ | 湿度<br>Moisture/% |
| NPK             | 22.85               | 20.93            | 21.92               | 28.67            |
| NPK+2           | 23.42               | 20.60            | 21.93               | 30.25            |
| NPK+4           | 23.58               | 25.15            | 21.95               | 29.25            |
| NPK+6           | 24.57               | 23.55            | 22.37               | 28.62            |

### 3.3 增温影响作物产量和营养品质的机制

已有的增温研究均是针对玉米、水稻和小麦等农作物产量及品质<sup>[27-34]</sup>,有关增温对蔬菜产量及微量元素含

量影响的研究较少。花椰菜营养丰富,花球蛋白质、碳水化合物、维生素 C 含量较高,深受广大消费者喜爱。该研究中,2、4、6℃增温处理花椰菜产量增加,增幅分别为 13%、21%、27%;增温处理花球氮、磷、钾、锌、钙含量增加,铁含量显著降低。和 NPK 处理相比,增温处理根干重增加,增幅为 5.3%~9.7%。结合花椰菜生长指标及生理指标的分析结果,增温促进花椰菜地上部分和根的生长,有利于吸收土壤水分和养分,这可能是花椰菜增产的原因之一。郭建平等<sup>[22]</sup>研究得出,和对照相比,增温增加了农作物(玉米、大豆和小麦)叶片 Ca 含量,降低了 Zn 含量;增温增加了大豆和小麦叶片 Fe 含量,降低了玉米叶片 Fe 含量。可见,作物种类是响应增温效应的另一关键因素。

#### 4 结论

地下滴灌水增温处理促进了花椰菜生长。地下滴灌增温处理提高了土壤温度和水分含量,促进土壤矿质元素释放,利于花椰菜从土壤中吸收氮素营养,增加叶片叶绿素相对含量。地下滴灌增温处理的花椰菜根生物量增加,促进吸收利用土壤养分,增加花球产量及氮、磷、钾、锌、钙含量;地下滴灌增温处理花球铁含量显著降低,需进一步研究其生理生化机制。

#### 参考文献

- [1] 李法虎.土壤物理化学[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [2] KRISHNAN P, SWAIN D K, BHASKAR B C, et al. Impact of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on rice yield and methods of adaptation as evaluated by crop simulation studies[J]. Agric Ecosyst Environ, 2007, 122(2): 233-242.
- [3] WALKER N J, SCHULZE R E. Climate change impacts on agro-ecosystem sustainability across three climate regions in the maize belt of South Africa[J]. Agric Ecosyst Environ, 2008, 124(1-2): 114-124.
- [4] XIAO G J, ZHANG Q, YAO Y B, et al. Impact of recent climatic change on the yield of winter wheat at low and high altitudes in semi-arid northwestern China[J]. Agric Ecosyst Environ, 2008, 127(1-2): 37-42.
- [5] SARKER M A R, ALAM K, GOW J. Exploring the relationship between climate change and rice yield in Bangladesh: An analysis of time series data[J]. Agric Syst, 2012, 112: 11-16.
- [6] JALOTA S K, KAUR H, KAUR S, et al. Impact of climate change scenarios on yield, water and nitrogen-balance and-use efficiency of rice-wheat cropping system[J]. Agric Ecosyst Environ, 2013, 116: 29-38.
- [7] 田景山, 虎晓兵, 勾玲, 等. 新疆棉花生育后期夜间增温对纤维产量和比强度的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(1): 140-147.
- [8] 房世波, 谭凯炎, 任三学. 夜间增温对冬小麦生长和产量影响的实验研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(15): 3251-3258.
- [9] 张吉旺, 董树亭, 王空军, 等. 大田增温对夏玉米产量和品质的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(1): 52-56.
- [10] 王帘里, 孙波, 隋跃宇, 等. 不同气候和土壤条件下玉米叶片叶绿素相对含量对土壤氮素供应和玉米产量的预测[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 327-335.
- [11] 王世平, 费全风, 秦卫国, 等. 根域加温对促成栽培绯红葡萄生长发育的影响[J]. 果树学报, 2003, 20(3): 182-185.
- [12] 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[J]. 园艺学报, 2001, 28(2): 144-148.
- [13] SCHINDLBACHER A, RODLER A, KUFFNER M, et al. Experimental warming effects on the microbial community of a temperate mountain forest soil[J]. Soil Biol and Biochem, 2011, 43(7): 1417-1425.
- [14] PATIL R H, LAEGDSMAND M, OLESEN J E, et al. Effect of soil warming and rainfall patterns on soil N cycling in Northern Europe[J]. Agric Ecosyst Environ, 2010, 139(1-2): 195-205.
- [15] ZHANG N, XIA J, YU X, et al. Soil microbial community changes and their linkages with ecosystem carbon exchange under asymmetrically diurnal warming[J]. Soil Biol and Biochem, 2011, 43(10): 2053-2059.
- [16] 王立权, 王忠玉, 姚章村. 井水增温对水稻产量的影响研究[J]. 黑龙江水专学报, 2005, 32(4): 56-58.
- [17] 黄兴法, 李光永. 地下滴灌技术的研究现状与发展[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 176-181.
- [18] 翟国亮, 李新国, 吕谋超, 等. 一种地下灌溉滴水器[P]. 中国专利: CN2612230, 2004-4-21.
- [19] 冯俊杰, 翟国亮, 仵峰, 等. 可移动地下滴灌装置的研制开发[J]. 中国农村水利水电, 2007(11): 34-36, 38.
- [20] STONE P J, SORENSEN I B, JAMIESON P D. Effect of soil temperature on phenology, canopy development, biomass and yield of maize in a cool-temperate climate[J]. Field Crop Res, 1999, 63(2): 169-178.
- [21] 田云录, 陈金, 邓艾兴, 等. 开放式增温下非对称性增温对冬小麦生长特征及产量构成的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3): 681-686.
- [22] 郭建平, 高素华. 高温、高 CO<sub>2</sub> 对农作物影响的试验研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(1): 17-20.
- [23] 武维华. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [24] 王爱玉, 张春庆, 吴承来, 等. 玉米叶绿素含量快速测定方法研究[J]. 玉米科学, 2008, 16(2): 97-100.
- [25] 李佛琳, 赵春江, 王纪华, 等. 应用叶绿素计诊断烤烟氮素营养状况[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1): 136-142.
- [26] 周小生, 周月琴, 庞磊, 等. 叶绿素仪 CCM-200 在测定茶树叶片叶绿素和氮素含量上的应用[J]. 安徽农业大学学报, 2012, 39(1): 150-153.
- [27] 张吉旺, 董树亭, 王空军, 等. 大田增温对夏玉米光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 81-86.
- [28] 董文军. 昼夜不同增温对梗稻产量和品质的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [29] 卞晓波, 陈丹丹, 王强盛, 等. 花后开放式增温对小麦产量及品质的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(8): 1489-1498.
- [30] HÖGY P, POLL C, MARHAN S, et al. Impacts of temperature increase and change in precipitation pattern on crop yield and yield quality of barley[J]. Food Chem, 2013, 136(3-4): 1470-1477.
- [31] LANNING S B, SIEBENMORGEN T J, COUNCE P A, et al. Extreme nighttime air temperatures in 2010 impact rice chalkiness and milling quality[J]. Field Crop Res, 2011, 124(1): 132-136.
- [32] AMBARDEKAR A A, SIEBENMORGEN T J, COUNCE P A, et al. Impact of field-scale nighttime air temperatures during kernel development on rice milling quality[J]. Field Crop Res, 2011, 122(3): 179-185.
- [33] NAGARAJAN S, JAGADISH S V K, PRASAD A S H, et al. Local climate affects growth, yield and grain quality of aromatic and non-aromatic rice in northwestern India[J]. Agric Ecosyst Environ, 2010, 138(3-4): 274-281.
- [34] MOHAMMED A R, TARPLEY L. Effects of high night temperature and spikelet position on yield-related parameters of rice (*Oryza sativa* L.) plants[J]. Eur J Agron, 2010, 33(2): 117-123.

# 内蒙古克什克腾旗种源西伯利亚杏果实表型多样性

叶冬梅, 薛海峰, 段国珍, 田有亮, 何炎红, 白玉娥

(内蒙古农业大学 林学院, 内蒙古 呼和浩特 010000)

**摘要:**以内蒙古克什克腾旗种源 10 个家系的西伯利亚杏为试材, 采用多元统计分析方法, 对西伯利亚杏的果实、杏核、杏仁、株高与地径共 17 个表型性状进行了研究, 以期为内蒙古西伯利亚杏的选育及遗传改良提供了理论基础。结果表明: 10 个家系间所有性状均存在极显著差异, 不同性状的变异系数幅度为 0.01~0.28, 果重变异系数最大为 0.28, 地径的变异系数最小为 0.01; 前 3 个主成分累计贡献率达到 84.86%; 聚类分析清楚地将 10 个家系分为 3 组, 散点图分析与聚类分析结果一致。

**关键词:**克什克腾旗; 西伯利亚杏; 家系; 表型性状

**中图分类号:**S 662.2(226) **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)06-0019-05

西伯利亚杏 (*Armeniaca sibirica* (L.) Lam) 属蔷薇科 (Rosaceae) 李亚科 (Prunoideae) 杏属 (*Armeniaca* Mill) 植物, 为多年生木本灌木或小乔木<sup>[1]</sup>, 又称山杏。

**第一作者简介:**叶冬梅(1971-), 女, 博士, 副教授, 现主要从事森林培育学理论技术等研究工作。E-mail: yiedongmei19@sina.com.

**责任作者:**白玉娥(1968-), 女, 博士, 教授, 现主要从事林木生物技术等研究工作。E-mail: baiyue@imau.edu.cn.

**基金项目:**“十二五”农村领域国家科技计划资助项目(2013BAD14B02); 内蒙古农业大学科技创新团队资助项目(NDPYTD2013-7)。

**收稿日期:**2015-12-18

西伯利亚杏抗逆性强, 具有优良的水土保持和防风固沙功能, 经济价值高, 是集抗旱、抗寒、抗风沙的“先锋”树种<sup>[2]</sup>。

表型变异是遗传变异的表征, 是各类形态性状的组合, 故其是遗传多样性研究的重要内容<sup>[3]</sup>。果实性状的表型变异也是研究植物种群的一个重要组成部分<sup>[4]</sup>。宋丹等<sup>[5]</sup>通过对内蒙古野生山杏优良单株果实性状的变异分析发现, 内蒙古山杏在果长、果宽、果厚等性状都有多种变异类型。KADIR 等<sup>[6]</sup>通过对 93 份突尼斯山杏种质共 13 个形态多样性的研究, 结果为山杏育种提供了理论基础。

## Effect of Temperature-increased Subsurface Drip Irrigation on Potted Cauliflower Growth, Yield and Nutrition Quality

WANG Lianli<sup>1,2</sup>, ZHAI Guoliang<sup>1</sup>

(1. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang, Henan 453003; 2. Nanjing Zhongshan Landscape Construction (Group) Co. Ltd., Nanjing, Jiangsu 210014)

**Abstract:** Potted cauliflower was used as material, the influence of underground temperature-increased drip irrigation water on the growth, physiology, curd yield and nutrition quality were carried out in greenhouse. The results showed that the effects of temperature enhancement on the height, stem diameter and leaf number of all the plots were obviously increased. The relative chlorophyll content of leaves under the treatment of 4°C and 6°C were increased during the vigorous growth period. Moreover, under the treatments of 4°C and 6°C, the yield was increased, the N and P contents in curd yields increased significantly ( $P < 0.05$ ), while the content of Fe decreased significantly ( $P < 0.05$ ). In addition, there was no significant change of the content of K, Zn and Ca in curd yields with different temperature treatments. The results also indicated that the root dry weights was increased by the treatments of temperature enhancement.

**Keywords:** temperature-increased drip irrigation water; cauliflower; growth; yield; quality