

## 不同根区温度对冬小麦生长发育 及养分吸收的影响

刘 炜<sup>1,2</sup>, 杨君林<sup>3</sup>, 许安民<sup>1,4</sup>, 张建平<sup>5</sup>, 田霄鸿<sup>1,4</sup>, 高亚军<sup>1,4</sup>

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省宝鸡市农业技术推广服务中心, 陕西 宝鸡 721001;  
3. 甘肃省农业科学院土壤与肥料研究所, 甘肃 兰州 730070; 4. 农业部黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室,  
陕西 杨凌 712100; 5. 陕西省西安市长安区农技推广中心, 陕西 西安 710100)

**摘 要:**以 Hoagland 营养液为介质, 采用自制的恒温培养系统研究了不同根区温度对冬小麦生长发育以及 N、P、K 养分吸收的影响。结果表明: 小麦冬前至返青期低温处理明显抑制根系发育, 根长、根体积、根系生物量、叶面积、地上部生物量、养分累积量均比常温处理显著降低, 其中越冬前低温处理对地上部的影响大于对根系的影响, 而返青期低温处理对根系的影响大于地上部; 越冬前和越冬期高温促进了根系生长, 但地上部生物量和养分累积量呈降低趋势, 返青期高温抑制了根长和根体积的增加, 但有促进地上部生长的作用。

**关键词:** 根区温度; 冬小麦; 生长发育; 养分吸收

**中图分类号:** S512.1<sup>+</sup>1; S152.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)04-0197-05

温度是重要的生态因子。自然条件下, 植物根、冠所处环境温度不同, 根系内部温度也不一致。气温的生态生理效应已经受到普遍重视, 积累了大量的资料, 但对根系温度的研究相对较少<sup>[1]</sup>。植物生长发育可能对根温更敏感, 根温变化 1℃ 就能引起植物生长的明显变化<sup>[2]</sup>, 而且根温对植物的影响是多方面的<sup>[3,4]</sup>。以前的试验研究大多通过将整个植株全部放在不同的气候室中产生不同的根系生长环境温度<sup>[5,6]</sup>, 但因此造成根温和气温相同的现象, 这与植物自然生长的情况并不相同。

一般认为, 土壤温度升高能使根系生长加快, 超过最适温度后, 根系生物量和根系长度随温度继续升高而下降<sup>[7~9]</sup>。有研究表明, 小麦根系在 12~16℃ 时生长最好<sup>[10]</sup>。然而, 冬小麦生长期漫长, 既要经历一年中温度最低的时期, 生育后期也要经受一段高温的考验。那么, 是不是在各个生育期小麦生长对土壤温度的反应都相同呢? 本研究采用自制的恒温培养系统, 使培养钵及其中生长的小麦根系处于不同温度, 小麦地上部分则处于相同的气温条件, 探讨不同根区温度对冬前至返青期小麦生长发育以及 N、P、K 养分吸收的影响, 旨在阐明土壤温度对冬小麦生长的阶段性效应, 为小麦田间温度调控提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

本研究设低温、常温、高温三个根区温度处理(根据我们研究小组的冬小麦田间试验连续监测结果设计), 重复 6 次。根区温度特指根系生长环境温度(即营养液温度)。按越冬前(11 月 11 日~12 月 10 日, 1 个月)、越冬期(12 月 11 日~1 月 10 日, 1 个月)和返青期(2 月 21 日~3 月 20 日, 1 个月)三个时期分别进行处理。当期处理结束后, 测定并收获小麦。后一时期的处理另外取小麦苗培养。温度设置见表 1。

### 1.2 水培试验

首先在室内育苗: 精选籽粒饱满、大小均匀的小麦 22~3 小麦种子, 加 55℃ 热水浸泡 15 min, 然后放入 3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液中消毒杀菌 10 min, 用蒸馏水冲洗后在蒸馏水中浸泡 3 h。将浸种催芽的种子平铺在放有滤纸的培养皿中用蒸馏水打湿, 盖上报纸避免强光直射。每天给培养皿中补充水分。待种子露白后, 将幼苗移入砂盘(在磁盘中平铺一层砂子), 然后用细砂薄薄盖住根系, 将芽露在外面, 最后在其上面喷洒适量蒸馏水。将在砂盘上发芽一周后长势大小一致的植株挑选出来移栽到 1.2 L 的广口瓶中。广口瓶分 3 组置于 3 个恒温水浴锅和低温恒温槽中,

收稿日期: 2009-11-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40471069); 教育部“新世纪优秀人才支持计划”项目(NCET-08-0465); 现代农业产业技术体系建设专项; 西北农林科技大学 2007“青年学术骨干支持计划”项目

作者简介: 刘 炜(1981—), 女, 陕西眉县人, 助理农艺师, 主要从事旱地农业等方面的研究。E-mail: vera\_0908@126.com。

通讯作者: 高亚军(1968—), 男, 陕西岐山人, 教授, 博士, 研究方向为旱地农业与植物营养。E-mail: yajungao@nwsuaf.edu.cn。

分别设置为试验设计温度,水浴锅和低温恒温槽放在玻璃置顶、四周铁丝网的温室中。营养液采用 Hoagland 配方和 Arnon 配方。培养瓶盖子用塑料泡沫板制成,上有 4 孔,每孔用棉花固定 1 株幼苗,每瓶共 4 株。幼苗先在 1/2 Hoagland 营养液中培养 5 d,然后移入瓶中用 Hoagland 营养液继续培养。期间每日补充损失的水分,并用自动加氧机通气 2~3 h,每日 10:00 和 16:00 测定营养液温度,将温度控制在试验所需范围内。

2005 年 11 月 11 日至 12 月 10 日实施越冬前处理(温室内 14:00 时气温 1~12℃),12 月 27 日至 2006 年 1 月 21 日实施越冬期处理(温室内 14:00 时气温 -3~6℃),2 月 28 日至 3 月 25 日实施返青期处理(温室内 14:00 时气温 2~18℃)。温度通过电热恒温水浴锅(北京科伟仪器有限公司,温度波动±1℃,控温精度 1℃)和低温恒温槽(上海精宏实验设备有限公司在 DKB-1915 基础上特制,温度波动±0.5℃,温度精度 0.5℃)来控制,实际控制温度与设计温度通常有 1~2℃ 的变幅(表 1),但各温度处理之间始终能维持 2~3℃ 的温差。

1.3 测定项目和分析方法

测定各生育阶段根系分支(初生根、次生根和新生根的数量和长度分别计量)、根系体积(排水法)、叶面积<sup>[11]</sup>;小麦植株洗净后分为根系和地上部两部分,先在 80℃ 下杀青 20 min,在 60℃ 下烘 48 h,然后分别称取根系和地上部干重;将烘干样粉碎后用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消化,用连续流动分析仪测定地上部

和根系全 N、全 P 含量,用火焰分光光度计测定全 K 含量<sup>[14]</sup>。

表 1 冬小麦不同生育期温度处理  
Table 1 Temperature treatments during different growing stages of winter wheat

| 处理时期<br>Treatment stage        | 处理<br>Treatments | 设计温度 Temperature(℃)        |                              |                           |
|--------------------------------|------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|
|                                |                  | 前 10 天<br>First<br>10 days | 中间 10 天<br>Middle<br>10 days | 后 10 天<br>Late<br>10 days |
| 越冬前<br>Before winter<br>period | 低温 Low temp.     | 6(6)                       | 3(4)                         | 2(2)                      |
|                                | 常温 Normal temp.  | 8(7)                       | 5(6)                         | 4(6)                      |
|                                | 高温 High temp.    | 10(8)                      | 7(9)                         | 6(8)                      |
| 越冬期<br>Over winter<br>period   | 低温 Low temp.     | 2(3)                       | 1(3)                         | 0(3)                      |
|                                | 常温 Normal temp.  | 4(5)                       | 3(6)                         | 1(5)                      |
|                                | 高温 High temp.    | 6(7)                       | 5(8)                         | 2(8)                      |
| 返青期<br>Turning green<br>stage  | 低温 Low temp.     | 2(3)                       | 4(5)                         | 6(6)                      |
|                                | 常温 Normal temp.  | 4(5)                       | 6(7)                         | 8(9)                      |
|                                | 高温 High temp.    | 6(6)                       | 8(9)                         | 10(11)                    |

注:括号中的数据为试验实际控制的温度。  
Note: Numbers in brackets are practical temperature in the experiment.

采用 SAS 8.1 统计软件<sup>[12]</sup>对数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同根区温度对小麦根长的影响

冬小麦 3 个时期小麦根系分支见图 1。3 个时期内低温和高温处理均在一定程度上影响了小麦根系的生长发育。

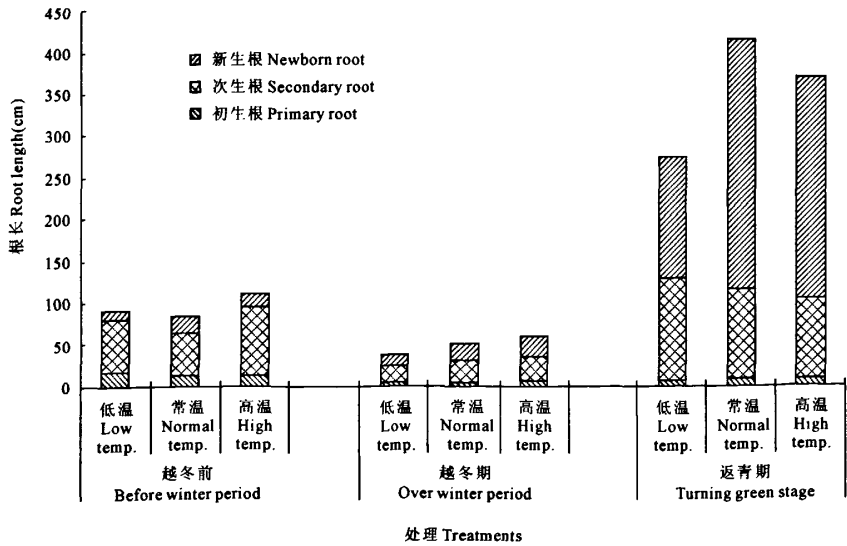


图 1 根系分支

Fig.1 Root system branching

越冬前低温处理对小麦根长没有显著影响,而高温处理促进了根系生长(高温处理根长比常温增加 35.2%);越冬期表现为低温处理抑制了根系生长(低温比常温的根长减少 28.0%),而高温在一定程度上促进了根系生长(高温比常温的根长增加 17.0%);返青期低温处理使根长减少 33.7%,而高温处理根长减小 11.1%。

越冬前及越冬期,根系生长发育情况都是次生根最长,其次是新生根,初生根最短。返青期新生根

长度远远大于次生根长度:常温与高温处理下新生根长度均是次生根长度的 3 倍左右(常温处理下新生根为 300.13 cm,次生根为 106.87 cm;高温处理下新生根为 264.47 cm,次生根为 97.97 cm);低温处理新生根长度稍高于次生根(新生根为 146.67 cm,次生根为 123.53 cm)。

2.2 不同根区温度对小麦植株发育的影响

表 2 是冬小麦三个时期的植株发育情况。

表 2 不同根区温度下小麦的植株发育  
Table 2 Wheat development of different temperature treatments

| 处理<br>Treatments         | 干重 (mg/株) Dry weight (mg/plant) |            |              | 根冠比<br>Root shoot<br>ratio | 根系体积<br>Root volume<br>(ml) | 叶面积<br>Leaf area<br>(cm <sup>2</sup> /plant) |
|--------------------------|---------------------------------|------------|--------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------|
|                          | 整株<br>Total                     | 根系<br>Root | 地上部<br>Shoot |                            |                             |                                              |
| 越冬前 Before winter period |                                 |            |              |                            |                             |                                              |
| 低温 Low temp.             | 92.3 b *                        | 31.2 b     | 61.0 c       | 0.52 a                     | 0.55 c                      | 7.4 b                                        |
| 常温 Normal temp.          | 158.2 a                         | 44.5 a     | 113.8a       | 0.40 b                     | 0.74 b                      | 14.6 a                                       |
| 高温 High temp.            | 134.5 a                         | 48.8 a     | 85.6 b       | 0.56 a                     | 0.94 a                      | 18.0 a                                       |
| 越冬期 Over winter period   |                                 |            |              |                            |                             |                                              |
| 低温 Low temp.             | 215.6 a                         | 29.4 a     | 186.3 a      | 0.16 a                     | 0.45 b                      | 56.5 b                                       |
| 常温 Normal temp.          | 254.6 a                         | 33.3 a     | 221.3 a      | 0.14 a                     | 0.55 b                      | 65.9 ab                                      |
| 高温 High temp.            | 214.4 a                         | 24.4 a     | 190.0 a      | 0.11 a                     | 0.77 a                      | 72.4 a                                       |
| 返青期 Turning green stage  |                                 |            |              |                            |                             |                                              |
| 低温 Low temp.             | 1051.1 b                        | 262.2 b    | 788.9 b      | 0.34 a                     | 1.34 c                      | 106.8 b                                      |
| 常温 Normal temp.          | 2330.0 a                        | 634.4 a    | 1695.6 a     | 0.38 a                     | 7.28 a                      | 175.0 a                                      |
| 高温 High temp.            | 2322.2 a                        | 590.0 a    | 1732.2 a     | 0.34 a                     | 3.71 b                      | 172.9 a                                      |

注:具有相同字母的处理表示差异不显著,5%,邓肯法  
Note: Treatments sharing the same letter mean insignificant difference at  $P < 0.05$  (Duncan's method)

与常温相比,越冬前低温处理小麦根系干重和根体积显著减少(根系干重减少 29.8%,根体积减少 25.7%),地上部干重和叶面积也显著减少(地上部干重减少 46.4%,叶面积减少 49.2%),而根冠比显著增大,表明越冬前低温抑制小麦生长,其中对地上部的影响大于对根系的影响。越冬前高温处理根系体积显著高于常温(高温比常温增大 27.0%),根系干重也有增加的趋势,而地上部干重显著低于常温(高温比常温减少 24.7%),因而根冠比显著提高,表明越冬前高温促进根系生长而不利于地上部干物质累积。

越冬期低温有降低小麦根系干重和根系体积的趋势,同时也趋于降低小麦地上部干重和叶面积。越冬期高温显著提高根系体积(高温比常温增大 40.0%),但对根系干重的影响未能达到显著水平,对地上部干重和叶面积的影响也不显著。

返青期低温处理显著降低了小麦根系干重和根系体积(低温比常温的根系干重减少 58.7%,根系

体积减少 81.6%),同时也显著降低地上部干重和叶面积(低温比常温的地上部干重减少 53.5%,叶面积减少 40.0%),而根冠比也趋于降低,表明返青期低温明显抑制小麦生长,其中对根系的影响稍大于地上部。返青期高温处理根系体积显著低于常温(高温比常温减少 49.2%),而地上部干重和叶面积均与常温处理没有显著差异,根冠比趋于降低,表明返青期高温主要影响小麦根系生长。

2.3 不同根区温度对小麦 N、P、K 养分累积量的影响

表 3 是不同根区温度处理小麦的 N、P、K 累积量。从表中可以看出,越冬前不同根区温度处理小麦整株 N、P、K 养分累积量的高低顺序为:常温 > 高温 > 低温,表明冬前低温和高温均不利于小麦对养分的吸收,其中低温的影响更大。根区温度对地上部和根系养分吸收的作用有明显差异:随着温度升高,根系养分累积量显著增加;地上部养分累积量则在常温时最高,高温时次之,低温时最低。

表 3 不同根区温度下小麦的 N、P、K 累积量(mg/株)  
Table 3 N, P and K uptake under different temperature treatments(mg/plant)

| 处理<br>Treatments         | N           |            |              | P           |            |              | K           |            |              |
|--------------------------|-------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|
|                          | 整株<br>Total | 根系<br>Root | 地上部<br>Shoot | 整株<br>Total | 根系<br>Root | 地上部<br>Shoot | 整株<br>Total | 根系<br>Root | 地上部<br>Shoot |
| 越冬前 Before winter period |             |            |              |             |            |              |             |            |              |
| 低温 Low temp.             | 3.98 c *    | 1.35 c     | 2.62 c       | 0.81 b      | 0.26 c     | 0.55 c       | 3.09 c      | 0.85 c     | 2.24 c       |
| 常温 Normal temp.          | 7.06 a      | 1.62 b     | 5.43 a       | 1.53 a      | 0.48 b     | 1.05 a       | 7.06 a      | 1.97 b     | 5.09 a       |
| 高温 High temp.            | 6.52 b      | 2.07 a     | 4.45 b       | 1.48 a      | 0.58 a     | 0.90 b       | 6.49 b      | 2.45 a     | 4.04 b       |
| 越冬期 Over winter period   |             |            |              |             |            |              |             |            |              |
| 低温 Low temp.             | 6.46 b      | 0.62 ab    | 5.86 b       | 0.70 b      | 0.10 a     | 0.57 b       | 3.78 a      | 0.45 a     | 3.44 a       |
| 常温 Normal temp.          | 7.70 a      | 0.71 a     | 6.97 a       | 0.83 a      | 0.12 a     | 0.68 a       | 4.21 a      | 0.43 a     | 3.82 a       |
| 高温 High temp.            | 6.88 ab     | 0.48 b     | 6.43 ab      | 0.72 b      | 0.10 a     | 0.65 a       | 4.19 a      | 0.38 a     | 4.12 a       |
| 返青期 Turning green Stage  |             |            |              |             |            |              |             |            |              |
| 低温 Low temp.             | 27.87 b     | 5.05 b     | 22.40 b      | 3.64 b      | 1.17 b     | 2.43 c       | 27.71 b     | 5.84 b     | 21.58 b      |
| 常温 Normal temp.          | 75.26 a     | 13.43 a    | 61.83 a      | 11.77 a     | 4.89 a     | 6.88 b       | 105.67 a    | 21.71 a    | 83.96 a      |
| 高温 High temp.            | 83.35 a     | 18.86 a    | 64.49 a      | 12.23 a     | 4.64 a     | 7.60 a       | 107.01 a    | 19.96 a    | 87.05 a      |

注:具有相同字母的处理表示差异不显著,5%,邓肯法。  
Note: Treatments sharing the same letter mean insignificant difference at  $P < 0.05$  ( Duncan's method).

越冬期小麦整株养分累积量仍表现为常温较高,低温明显抑制整株养分吸收。与低温和高温相比,常温处理小麦根系及地上部养分累积量略高,低温处理根系养分累积量略高于高温,地上部养分累积量略低于高温。

返青期高温处理小麦整株养分累积量与常温处理无显著差异,低温显著抑制了小麦整体养分吸收。根系养分累积量与整株呈相同规律。低温显著降低地上部养分累积量,高温则有提高地上部养分吸收的趋势。

3 讨 论

植物根系的生长及其养分吸收功能均受土壤温度的直接影响。大量研究表明<sup>[4,7-9]</sup>,在其他条件相同的情况下,土壤温度升高能使根系生长加快。具有代表性的就是根系生物量和根系长度在一定范围内随土壤温度的升高而增加,超过这一温度范围则会降低。这种情况在农学植物和一些森林树种上很普遍<sup>[13]</sup>。一般植物的根系在土壤温度 2~4℃时开始有微弱的生长,在 10℃以上根系生长比较活跃,超过 30~35℃时根系生长受到阻碍。小麦根系在 12~16℃时生长最好<sup>[10]</sup>。

本研究根据田间实际监测(全生育期、每天 24 h 连续测定)获得的土壤温度结果<sup>[14]</sup>设置了 3 种根系温度处理,结果发现,与常温处理相比,在冬前和越冬期,低温处理均显著影响小麦根系和地上部分的生长;高温处理根系长度、体积和叶面积虽然呈增加

趋势,但地上部生物量和养分吸收量却有降低趋势。我们通过田间试验发现,秸秆覆盖条件下,冬小麦田土壤温度在冬前和越冬期间显著高于无覆盖土壤<sup>[14]</sup>,然而,秸秆覆盖并没有使小麦增产(未发表资料),甚至有减产的现象<sup>[15]</sup>。根据本研究结果,我们认为这可能与秸秆覆盖造成的冬前和越冬期较高土壤温度有关。返青期高温处理抑制了根长和根体积的增加,其原因尚待进一步研究。

4 结 论

1) 小麦冬前至返青期低温处理明显抑制根系发育,根长、根体积、根系生物量、叶面积、地上部生物量、养分累积量均比常温处理显著降低。其中越冬前低温处理对地上部的影响大于对根系的影响,而返青期低温处理对根系的影响大于地上部。

2) 越冬前和越冬期高温促进了根系生长,但地上部生物量和养分累积量呈降低趋势。返青期高温抑制了根长和根体积的增加,但有促进地上部生长的作用。

参 考 文 献:

[1] 冯玉龙,姜淑梅,邵 侠.根系温度对苋菜生长及光合特性的影响[J].植物研究,2000,20(2):180—185.  
[2] Walker JM. One degree increments in soil temperature affect maize seedling behaviour[J]. Pro Soc Soil Sci Amer, 1969, (33): 729—736.  
[3] 冯玉龙,刘恩举,孙国斌.根系温度对植物的影响(Ⅰ)——根温对植物生长及光合作用的影响[J].东北林业大学学报,1995,

- 23(3):63—69.
- [4] 冯玉龙,刘恩举,孟庆超.根系温度对植物的影响(Ⅱ)——根温对植物代谢的影响[J].东北林业大学学报,1995,23(4):94—99.
- [5] 魏 乐,杜军华.高温和零上低温对小麦根系含糖量及细胞透性的影响[J].青海师范大学学报,1999,(1):35—39.
- [6] 杨知建,成诗瑜.低温下土壤水分对水稻及梗稻根系生长的影响[J].湖南农业大学学报,2002,28(5):369—372.
- [7] 冯玉龙,刘恩举,崔臻祥.根系温度对番茄的影响Ⅱ.根温对番茄光合作用和水分代谢的影响[J].植物研究,1996,16(2):214—218.
- [8] 沈积坤,潘 坤.地面增温剂在落叶松育苗中的应用[J].林业科技,1987,(3):16—17.
- [9] 王会肖.土壤温度、水分胁迫和播种深度对玉米种子萌发出苗的影响[J].生态农业研究,1995,3(4):70—74.
- [10] 陈绍兰.土壤温度对植物生长发育的影响[J].农业科技情报(西南农学院),1990,(2):12—14.
- [11] 高俊凤.植物生理学实验技术[M].西安:世界图书出版公司,2000.
- [12] 胡小平,王长发.SAS基础及统计实例教程[M].西安:西安地图出版社,2001.
- [13] Hormoz BassiriRad editor. Nutrient Acquisition by Plants[M]. Germany: Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 2005:277—301.
- [14] 刘 炜,高亚军,杨君林,等.旱地冬小麦返青前秸秆覆盖的土壤温度效应[J].干旱地区农业研究,2007,25(4):197—201.
- [15] 高亚军,李生秀.旱地秸秆覆盖条件下作物减产的原因及作用机制分析[J].农业工程学报,2005,21(7):15—19.

## Effect of different root zone temperature on growth development and N, P and K uptake of winter wheat

LIU Wei<sup>1,2</sup>, YANG Jun-lin<sup>3</sup>, XU An-min<sup>1,4</sup>, ZHANG Jian-ping<sup>5</sup>,  
TIAN Xiao-hong<sup>1,4</sup>, GAO Ya-jun<sup>1,4</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Baoji Agricultural Technology Extension Center, Baoji, Shaanxi 721001, China;

3. Institute of Soil and Fertilizer, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;

4. Key Lab for Agricultural Resources and Environmental Remediation in Loess Plateau of Chinese Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China; 5. Xi'an Chang'an District Agricultural Technology Extension Center, Xi'an, Shaanxi 710100, China)

**Abstract:** A pot experiment was conducted to investigate the effect of different root zone temperature on growth development and N, P and K uptake of winter wheat in Hoagland solution. The results showed that low temperature restrained root development during pre-winter stage, winter period and turning green stage. Root length, root volume, root biomass, leaf area, shoot biomass, nutrient uptake of low temperature treatments decreased significantly compared to normal temperature treatments. Aboveground part of winter wheat was more sensitive to the decrease of root zone temperature than root during pre-winter stage. The reverse was true during turning green stage. High temperature improved root growth while it trended to reduce shoot biomass and nutrients uptake during pre-winter stage and winter stage. High temperature reduced root length and volume while improved aboveground part growth of wheat during turning green stage.

**Keywords:** root zone temperature; winter wheat; growth development; nutrition uptake