

喷施组合型生长调节剂对不同品种小麦 冬前分蘖和生长及抗寒性的影响

彭 静, 杨 雪, 罗梦娜, 刘西平

(西北农林科技大学生命科学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:采用大田随机区组试验,比较研究了一种已获得国家发明专利的组合型生长调节剂对不同冬小麦品种(西农 979、西农 889、郑州 831 和小偃 22)冬前分蘖和生长以及抗寒性的影响。结果表明:在播种后一个半月喷施该生长调节剂能显著提高西农 979、西农 889 及郑州 831 的冬前分蘖数和地上生物量,但对小偃 22 的分蘖数和生物量没有显著影响;与未喷施生长调节剂的对照植株相比,在一年中最寒冷的时间,喷施生长调节剂的西农 979 叶片中叶绿素、类胡萝卜素、可溶性糖和淀粉、可溶性蛋白质和脯氨酸含量以及 SOD 和 POD 活性均显著提高,而丙二醛含量显著降低,但谷胱甘肽和抗坏血酸含量没有显著变化,表明喷施该组合型生长调节剂有助于提高西农 979 的抗寒性能;而对其余三个小麦品种而言,这些与植物抗寒性相关的生理生化指标未受到显著影响。对产量性状分析结果表明,喷施生长调节剂后,西农 979、西农 889 和郑州 831 的单株成穗数分别提高了 19.0%、17.8% 和 5.3%,单位面积产量分别提高了 16.9%、16.2% 和 5.9%,但是小偃 22 的产量基本没有受到影响。说明该生长调节剂对不同品种冬小麦的冬前分蘖和生长、抗寒性及产量的效应不同,其中对西农 979 冬前分蘖和生长以及抗寒能力的提高、还有增产效果最明显,但对小偃 22 的效应不明显。

关键词:生长调节剂;冬小麦;冬前分蘖;生长;抗寒性;产量

中图分类号:S512.1 **文献标志码:**A

Effects of spraying a blended plant growth regulator on the tillering, growth, and the cold-resistance of different wheat varieties

PENG Jing, YANG Xue, LUO Meng-na, LIU Xi-ping

(Northwest A&F University, College of Life Science, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Effects of spraying a blended plant growth regulator, which had got the national invention patent, on the tillering, growth, cold-resistance, and yield of different winter wheat varieties (Xinong 979, Xinong 889, Zhengzhou 831, and Xiaoyan 22) were compared in a field experiment. On the 45th day after sowing, the plant growth regulator was sprayed on the leaf surface. The results showed that the application of the blended plant growth regulator significantly improved the tillering in the winter and increased above-ground biomass of Xinong 979, Xinong 889, and Zhengzhou 831 while only Xiaoyan22's tiller number and biomass were not significantly affected. Meanwhile, the contents of chlorophyll, carotenoid, soluble sugar, starch, soluble protein, free proline, and the activities of SOD and POD in the leaves of Xinong 979 were increased sharply after spraying the plant growth regulator, whereas the content of MDA was significantly lower than that of the control, and glutathione and ascorbic acid contents were not impacted significantly. Hence, the cold-resistance of Xinong 979 was enhanced. For the other three varieties, the physiological and biochemical parameters relating to the cold-resistance were not impacted by the application of the plant growth regulator. In addition, the spike number per plant of Xinong 979, Xinong 889, and Zhengzhou831 were increased by 19.0%, 17.8%, and 5.3%, while the yield per hectare increased by 16.9%, 16.2%, and 5.9%, respectively, but the yield of Xiaoyan 22 was not affected. The results showed that effects of the growth regula-

收稿日期:2017-11-29

修回日期:2018-03-12

项目基金:国家“863”科技计划(2013AA102902)

作者简介:彭静(1992-),女,甘肃兰州人,硕士研究生,研究方向为植物营养与生理。E-mail:1607168698@qq.com

通信作者:刘西平(1963-),男,陕西周至人,教授,博士生导师,主要从事植物逆境生理、植物与环境间的相互作用等研究。E-mail:xpliuderen@163.com

tor on the tillering and growth in the winter, the cold-resistance, and yield varied with wheat varieties. For its application, Xinong 979 is the most suitable wheat variety based on increased tillers and growth in the winter as well as enhanced cold-resistance and improved yield, but its effects on Xiaoyan 22 was negligible.

Keywords: plant growth regulator; winter wheat; tillering in the winter; growth; cold-resistance; yield

小麦单株产量由穗数、穗粒数与粒重三个因素构成。增加小麦的成穗数是实现小麦高产的有效途径之一,而成穗数与其分蘖能力密切相关。从生物学特性而言,小麦从冬前到翌春不间断地进行分蘖,但并非所有的分蘖都能生长发育为有效穗。已有的研究发现,冬前分蘖由于生长早,叶面积较大,根系发达,成穗率较高^[1],而小麦返青后出现的分蘖成为无效分蘖的比率远远大于冬前分蘖^[2],因而,小麦冬前分蘖很大程度上决定了小麦的穗数和穗粒数^[3]。因此,通过人为措施,科学合理地调节分蘖过程并提高冬前分蘖数,进而提高分蘖成穗率成为提高小麦产量的一个重要环节。

小麦的分蘖是由分蘖芽产生及发育而来,分蘖数的多少不仅与小麦植株的遗传特性、体内营养物质及内源激素代谢有关,也受气候因素及栽培措施等因素的影响^[4]。植物生长调节剂作为一种人工合成的激素类化学物质可以通过影响内源激素代谢来调控植物生长发育过程,在培育壮苗、控制分蘖方面都发挥着一定作用。研究发现,喷施适宜浓度的 6-BA 可以解除 IAA 对分蘖芽生长的抑制作用^[5],显著提高分蘖发生率和分蘖数^[6-8],并且能增强冬小麦抵御低温的能力^[9];同时,生长调节剂对分蘖的调控作用也与植物氮素代谢密切相关,若氮素缺乏,6-BA 虽然能缓解分蘖芽的休眠现象,但不能长时间维持分蘖芽的生长^[10],这可能与细胞分裂素的代谢和转运受到氮素营养的调控有关^[11];另外,在小麦生长后期喷施外源 GA₃ 可以改善植物氮代谢,有利于氮素向分蘖部位转运,促进分蘖发育和增加不同分蘖干物质的积累^[12],增加粒重^[13],而且适宜浓度的 GA₃ 也可以提高冬小麦的耐冷性^[14]。

根据前人的研究结果及小麦幼苗在冬前生长发育的特点和栽培管理的技术要求,本实验室研制出了一种促进小麦冬前分蘖但不降低其抗寒性的生长调节剂配方(含 0.1 mmol · L⁻¹ 6-BA, 0.1 mmol · L⁻¹ GA₃, 2 mmol · L⁻¹ KH₂PO₄, 10 g · L⁻¹ 尿素),在小麦品种西农 389 上试验取得了理想结果^[15],并申请和获批了相应的国家发明专利(专利号:CN201410138153.2)。生长调节剂的应用效果常常会因不同植物种类和品种对生长调节剂的敏感性不同而有所差异^[9,16],该生长调节剂是否适用于其他小麦

品种以及对后期小麦产量的影响尚不清楚。基于此,本试验选择当前在黄淮海区主要推广的 4 个小麦品种(西农 979、西农 889、郑州 831 及小偃 22)喷施该生长调节剂,研究其对不同小麦品种冬前分蘖和生长、抗寒性及产量的影响,以期为该生长调节剂的推广及使用提供更多的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2016 年 10 月至 2017 年 6 月在西北农林科技大学农作试验一站进行,前茬作物为玉米,土壤为壤土。0~20 cm 土层养分含量如下:有机碳 15.41 g · kg⁻¹,全氮 1.187 g · kg⁻¹,碱解氮 63.59 mg · g⁻¹,速效磷 11.78 mg · g⁻¹,速效钾 163.37 mg · g⁻¹。

1.2 试验材料与处理

供试材料选择 4 个黄淮海区已大面积种植的品种:西农 979、西农 889、郑州 831 和小偃 22,种子均由西北农林科技大学农学院提供。这 4 个小麦品种中,西农 979 和西农 889 属于半冬性品种,而郑州 831 和小偃 22 均属于弱春性品种。播种前精细整地,按照 255 kg · hm⁻²用量施用脲醛缓释肥(总养分 ≥51%, N : P₂O₅ : K₂O = 26% : 15% : 10%)作为底肥。4 个小麦品种按照随机区组布设,每个小区长 3.5 m,宽 2.5 m,小区面积 8.75 m²,每小区周围设长 0.5 m,宽 2.5 m 的隔离带,每一品种的喷施处理与对照均设 3 个重复小区。2016 年 10 月 20 日开沟点播,穴距 6 cm,成“品”字形排列,行距 20 cm。播种后 45 d 叶面喷施组合型生长调节剂,以叶面形成小液滴为准,对照小区的植株叶面喷施等量蒸馏水。喷施后,每隔 7 天统计单株分蘖数并取样测定植株地上部分生物量与地下部分生物量,共取样 5 次。

鉴于冬小麦在越冬过程中要经历漫长而寒冷的冬季,为了检验喷施生长调节剂对其抗寒性的影响,在一年中气温最低的时间点——农历大寒节气(当天最高和最低温度分别为 4℃ 和 -6℃)取样。取样时,弃用每个小区的边行小麦;每个小区收取 6 株长势均一(每个品种每个处理的 3 个小区共 18 株)的小麦植株,其中 3 株用于测定细胞膜相对透性,另 3 株将所有叶片立即放在液氮中,并在液氮条件下研磨后,于 -80℃ 冰箱中保存,用于生理生化指

标的测定。小麦整个生育期末进行灌溉施肥,其他管理同当地大田生产。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 单株分蘖数及生物量调查 每个小区设 1 m × 1 m 样点,于喷施调节剂后每隔 7 d 统计单株分蘖数。同时每个小区选取 3 株生长中等的植株,测定单株地上鲜重和地下生物量,共取样 5 次。

1.3.2 小麦叶片抗寒性相关生理指标测定 选择叶绿素含量、细胞膜相对透性、可溶性蛋白、可溶性糖、淀粉、脯氨酸、丙二醛、抗坏血酸和谷胱甘肽含量,以及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性等生理生化指标作为评价小麦叶片抗寒性的参数。叶绿素含量测定采用乙醇-丙酮混合液提取法,叶片细胞膜相对透性通过电导率仪测定相对电导率来评定;可溶性蛋白测定采用考马斯亮蓝 G-250 法;可溶性糖和淀粉含量测定采用蒽酮比色法;脯氨酸含量测定采用茚三酮显色法;丙二醛含量测定采用硫代巴比妥酸法;抗坏血酸含量测定采用钼蓝比色法;谷胱甘肽含量测定采用 TDNB(二硫代双-二硝基苯甲酸)法;超氧化

物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑光还原法;过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法;过氧化氢酶(CAT)活性测定采用紫外吸收法^[17]。

1.3.3 小麦产量性状调查分析 小麦成熟时每小区选取生长均一的小麦 60 株(每个品种每个处理 3 个小区共 180 株)进行单株成穗数和穗粒数的统计。同时每小区选取 1 m × 1 m 样方收获全部小麦,脱粒晒干,然后测定千粒重,并换算出产量。

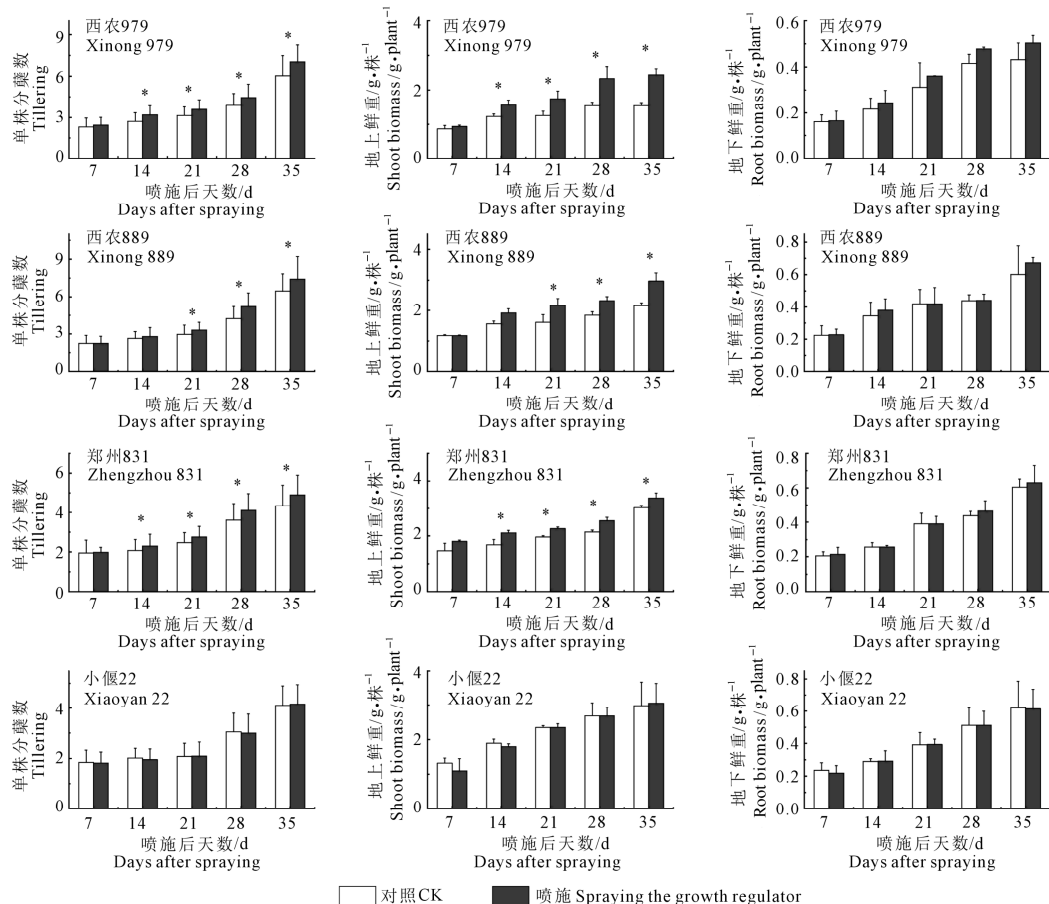
1.4 数据处理与分析

试验数据采用 Excel 2007 软件计算各个测定指标的均值和标准差,用统计分析软件 SPSS 20.0 分析差异显著性(独立样本 T 检验),作图所用的软件为 OriginPro 2016。

2 结果与分析

2.1 喷施组合型生长调节剂对小麦冬前单株分蘖数及生物量的影响

从图 1 可以看出,无论是否喷施生长调节剂,4 个小麦品种的分蘖数都会随着时间推移不断增加,



注:标有 * 表示同一品种喷施与不喷施具有显著性差异($P < 0.05$),下同。

Note: * indicate the significant difference at $P < 0.05$. The same below.

图 1 喷施组合型生长调节剂对不同品种冬小麦冬前分蘖及生物量的影响

Fig.1 Effects of spraying the growth regulator on tillering and biomass of different winter wheat varieties

而喷施组合型生长调节剂后,其分蘖数与对照植株相比也有不断增加的趋势,其中西农 979、西农 889 和郑州 831 的单株分蘖数分别在喷施后 14、21 d 和 14 d 较对照显著增加,但小偃 22 的单株分蘖数与对照相比并没有显著变化。与此同时,除了小偃 22 外,其它品种的地上生物量也因分蘖数的增加而比对照显著提高;而且,西农 979 根系生物量较对照有所增加,但其余几个品种的根系生长没有受到明显影响。

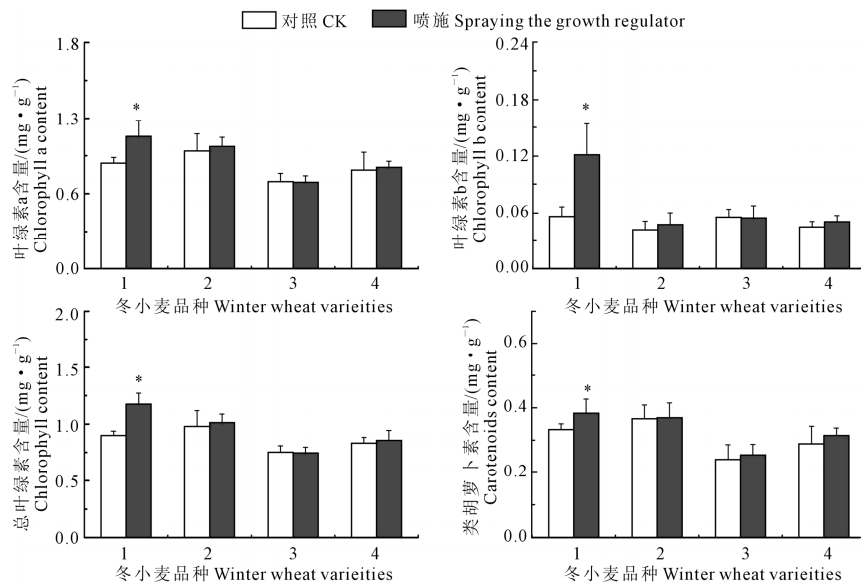
2.2 喷施组合型生长调节剂对小麦叶片越冬期抗寒性的影响

2.2.1 光合色素含量的变化

调节剂对不同品种小麦叶片的叶绿素和类胡萝卜素含量影响效应不同。其中,西农 979 叶片中的叶绿素与类胡萝卜素含量较对照分别增加了 30.7% 和 15.1%,增加效应最显著。西农 889 和小偃 22 的叶绿素含量均增加 3.3%,类胡萝卜素含量分别增加了 0.8% 和 9.0%,郑州 831 的叶绿素含量略有下降,但类胡萝卜素含量增加。总体来说,除西农 979 以外,其余 3 个品种喷施处理后叶绿素含量和类胡萝卜素含量变化不显著。

2.2.2 与抗寒性相关主要渗透调节物质含量的变化

从图 3 可以看出,喷施生长调节剂后,西农 979



注: 1-西农 979; 2-西农 889; 3-郑州 831; 4-小偃 22。下同。
 Note: 1-Xinong 979; 2-Xinong 889; 3-Zhengzhou 831; 4-Xiaoyan 22. The same below.

图 2 喷施组合型生长调节剂对不同品种冬小麦光合色素含量的影响

Fig.2 Effects of spraying the growth regulator on contents of photosynthetic pigments of different winter wheat varieties

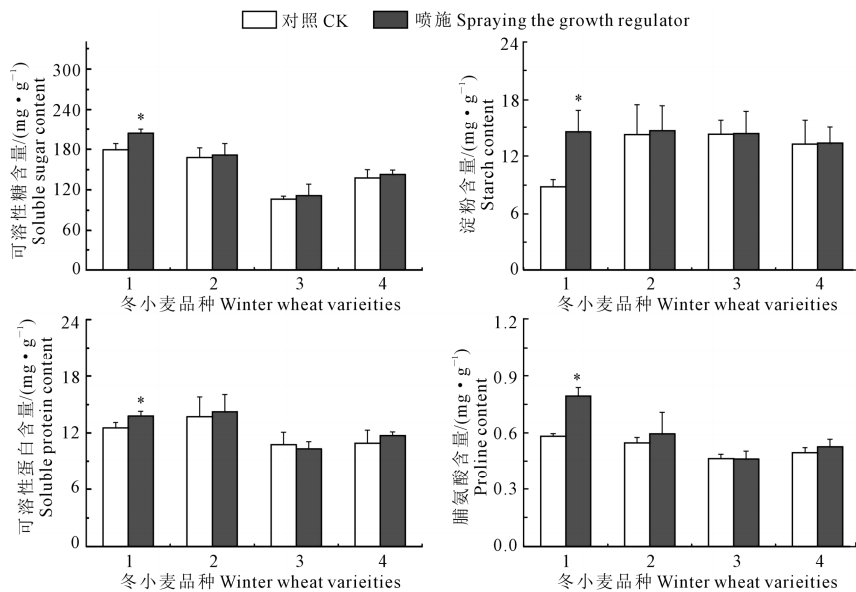


图 3 喷施组合型生长调节剂对不同品种冬小麦叶片中与抗寒性相关的物质含量的影响

Fig.3 Effects of spraying the growth regulator on the contents of main metabolites relating to cold-resistance in leaves of different winter wheat varieties

叶片中的可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白及脯氨酸含量均较对照显著性增加,分别增加了 13.7%、65.3%、9.9%和 36.6%;小偃 22 和西农 889 的主要渗透调节物质含量也都有不同程度的增加,其中西农 889 的可溶性糖、可溶性蛋白与脯氨酸含量较对照分别增加 2.2%、3.6%和 8.7%,小偃 22 则分别提高了 4.0%、7.3%和 6.0%,但二者的淀粉含量基本没有变化。郑州 831 的可溶性糖、淀粉与脯氨酸含量均没有明显变化,可溶性蛋白含量有所下降。从这 4 种代谢物含量变化情况来看,喷施组合型生长调节剂可显著提高西农 979 叶片的抗寒性,对其他品种的抗寒能力也没有削弱。

2.2.3 叶片抗氧化酶活性的变化 由图 4 可见,喷施生长调节剂后西农 979 叶片中 SOD 和 POD 活性显著增强, CAT 活性也较对照增强了 4.6%;但西农 889、郑州 831 和小偃 22 叶片的 3 种抗氧化酶活性都没有明显变化,说明西农 979 叶片的 SOD、POD、CAT 酶活性对该生长调节剂比较敏感。

2.2.4 叶片非酶促反应抗氧化剂含量的变化 喷

施组合型生长调节剂以后,4 个小麦品种叶片中抗坏血酸与谷胱甘肽含量均有所增加,其中西农 979 的增幅最大,分别较对照增加了 15.2%和 6.6%,但这些变化都未达到统计学上的显著性(图 5)。

2.2.5 叶片膜脂过氧化程度的变化 喷施组合型生长调节剂后,西农 979 叶片的丙二醛含量显著降低,较对照下降了 21.7%,其它 3 个小麦品种叶片中丙二醛的含量也有降低的趋势,而 4 个品种叶片的细胞膜相对透性则没有受到明显影响(图 6)。

2.3 喷施组合型生长调节剂对不同品种小麦籽粒产量性状的影响

图 7 表明,喷施生长调节剂后,西农 979、西农 889、郑州 831 的单株成穗数都得到了显著提高,分别提高了 19.0%、17.8%和 5.3%。4 个小麦品种的穗粒数与千粒重变化并不明显。从换算出的单位面积产量来看,喷施生长调节剂之后,西农 979 每公顷产量增加了 16.9%,西农 889 增加了 16.2%,郑州 831 增加了 5.9%,小偃 22 反而降低了 0.4%。

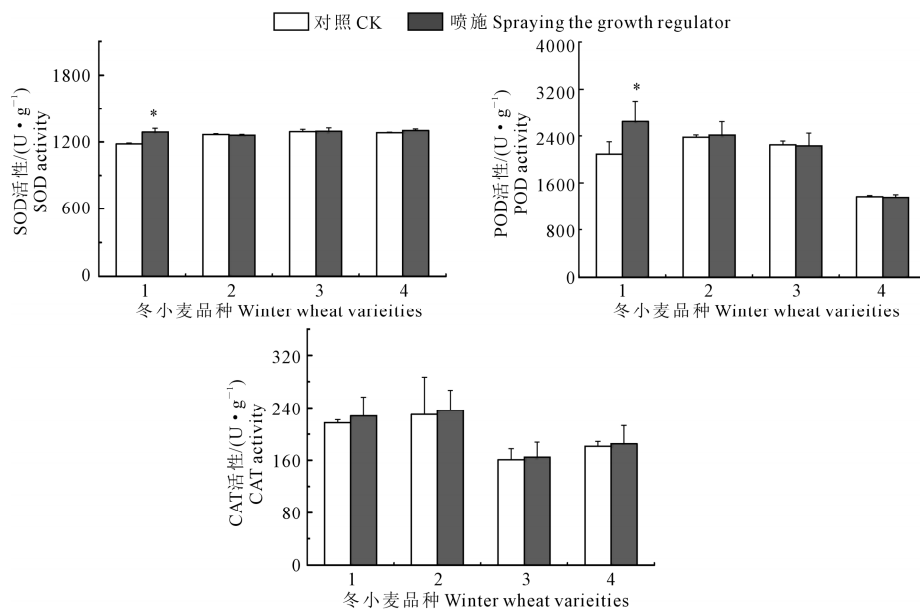


图 4 喷施组合型生长调节剂对不同品种冬小麦叶片中抗氧化酶活性的影响

Fig.4 Effects of spraying the growth regulator on antioxidant enzyme activity in leaves of different winter wheat varieties

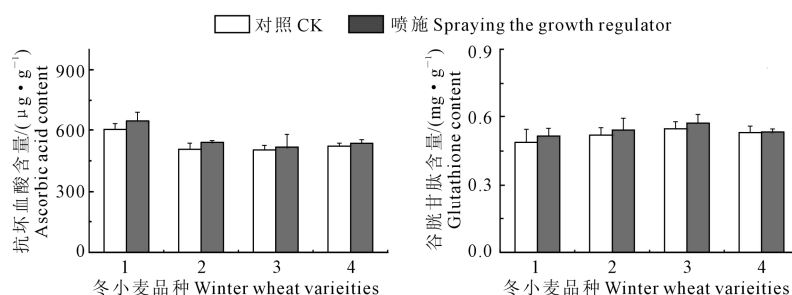


图 5 喷施组合型生长调节剂对小麦叶片抗坏血酸与谷胱甘肽含量的影响

Fig.5 Effects of spraying a growth regulator on ascorbic acid and glutathione content in leaves of different winter wheat varieties

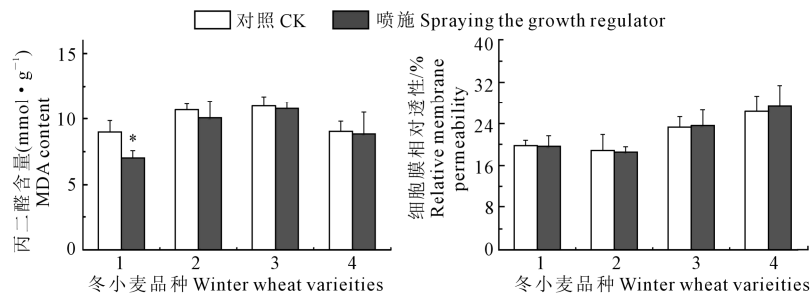


图 6 喷施组合型生长调节剂对小麦叶片丙二醛含量和细胞膜相对透性的影响

Fig.6 Effects of spraying the growth regulator on melonaldehyde content and relative membrane permeability in leaves of different winter wheat varieties

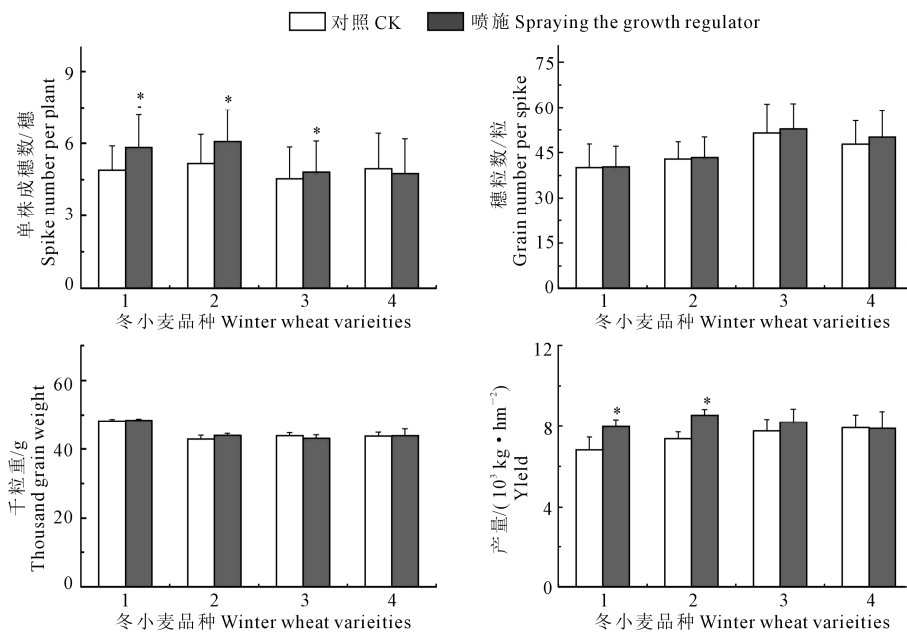


图 7 喷施组合型生长调节剂对不同品种冬小麦产量性状的影响

Fig.7 Effects of spraying the growth regulator on the yield traits of different winter wheat varieties

3 讨论与结论

小麦冬前管理的主要目标是促进冬前分蘖, 培育壮苗, 同时提高抗寒性, 保证小麦顺利越冬^[18]。因此, 生长调节剂的研制和使用既要着眼于内源激素平衡和碳氮代谢以促进分蘖发生, 同时也需要考虑营养生长与生殖生长之间的平衡^[19-22], 并确保小麦幼苗的抗寒性不因分蘖引起的地上部分生长的促进而降低^[23]。本试验中所用组合型植物生长调节剂加入的 6-苄基腺嘌呤和赤霉素为促进小麦分蘖及其生长的主要组分, 同时加入尿素和磷酸二氢钾以补充因生长和分蘖增加而产生的对氮、磷、钾的需求, 并已在小麦品种西农 389 上取得了理想效果^[15]。由于生长调节剂的应用效果常常会因不同植物种类和品种对生长调节剂的敏感性不同而有所差异^[16], 本试验的目的是通过其对另外 4 个小麦品种的效应检测, 为该生长调节剂在生产中的推广

应用提供参考。

从本试验数据来看, 该组合型生长调节剂能显著提高西农 979、西农 889 和郑州 831 这 3 个小麦品种的冬前分蘖数, 并相应增加地上生物量, 同时小麦叶片的抗寒能力也没有因为分蘖数和地上生物量的增加而降低, 最终基于成穗数比率的提高而增加了产量, 这与前期在西农 389 上的研究结果^[23]是一致的。但是, 该生长调节剂在小偃 22 上的喷施效果并不明显。在这些小麦品种中, 西农 979 和西农 889 均属于半冬性品种; 半冬性品种植物体内冬前的 IAA/(ZR+Z) 值较低^[24], 自身分蘖能力强, 喷施含有 6-BA 和 GA₃ 的生长调节剂会进一步降低植物内源激素中 IAA 的相对含量, 因而有助于促进其分蘖。该生长调节剂对小偃 22 冬前分蘖的促进作用并不显著, 这可能与该品种为弱春性品种有关; 春性品种冬前 IAA/(ZR+Z) 比值较高, 不利于分蘖发生^[24], 该生长调节剂所含的 6-BA 和 GA₃ 浓度在喷

施后对其体内这种比值的影响可能有限。然而,对于同样是弱春性的郑州831而言,喷施该生长调节剂对这一比值的影响可能较大,从而促进了其分蘖和生长,并提高了产量。由于本试验并没有检测各个小麦品种中的 IAA/(ZR+Z) 比值及其变化,因而,该生长调节剂在不同基因型小麦品种上喷施效果的明显差异是否与小麦品种的冬春性密切相关,尚需进一步研究和探讨。本试验的研究结果也表明,同其他生长调节剂一样,该组合型生长调节剂的使用效果也存在着品种间的差异问题。目前的试验结果表明,该生长调节剂对西农979、西农889和郑州831这3个小麦品种是适用的,可以通过促进这几个小麦品种的冬前分蘖数提高有效穗数,进而增加产量,但对小偃22并不适用。

在实际生产中,小麦的产量高低与遗传因素(品种特性)、气候因素及栽培管理措施等密切相关。尽管喷施该组合型生长调节剂具有显著增加西农389、西农979、西农889和郑州831的冬前分蘖数,从而增加有效穗数和产量的效应,但在种植这些小麦品种并应用该生长调节剂时,需要注意该生长调节剂引起的密度效应,同时保持良好的水、肥(特别是氮肥)条件,以避免因为地上生长的促进而引起营养代谢(特别是氮代谢)水平降低的问题。此外,本试验结果仅来自于1年的大田小区试验数据,而且在当年最寒冷时期的日最低温度为 -5°C ~ 6°C ,也没有冻害的发生,因此,在冻害较为严重的小麦主栽地区使用该生长调节剂时,应进一步加强对小麦抗寒能力的观察。

参考文献:

- [1] 赵洪海. 提高小麦分蘖成穗率是实现高产的有效措施[J]. 河南农业, 2011, (09): 45.
- [2] 王世之. 小麦分蘖规律及其在生产上的应用(二)[J]. 植物学杂志, 1975, (01): 32-34+14.
- [3] Araki H. Studies on the tillering of winter in Hokkaido; IV. Varietal difference in the effect of tillering time on ear formation and yield [J]. Japanese Journal of Crop Science, 2016, 85(2): 218-222.
- [4] 钱银飞. 控蘖剂对双季超级稻产量品质的影响及其机理研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [5] Liu Y, Ding Y F, Gu D D, et al. The positional effects of auxin and cytokinin on the regulation of rice tiller bud growth [J]. Crop Science, 2011, 51(6): 2749-2758.
- [6] 杨东清. 细胞分裂素参与氮素调控小麦分蘖发育的作用机制及构建合理群体结构的化控途径[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- [7] Nilanthi D, Inoka K P I, Dissanayaka D M P. Effect of benzyl aminopurine and kinetin hormones on vegetative and reproductive growth of two sri lankan traditional rice varieties (*Oryza sativa* L.); suwadal and kahata wee [J]. Tropical Agricultural Research & Extension, 2014, 17(3): 110-114.
- [8] 李阳, 程建平, 赵锋, 等. 植物生长调节剂对再生稻头季分蘖萌发和干物质积累的影响[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(24): 6154-6156.
- [9] 于晶, 王兴, 苍晶, 等. 外源6-BA对寒地冬小麦东农冬麦1号抗寒性的影响[J]. 作物杂志, 2012, (2): 71-75.
- [10] Liu Y, Ding Y, Wang Q, et al. Effects of nitrogen and 6-benzylaminopurine on rice tiller bud growth and changes in endogenous hormones and nitrogen [J]. Crop Science, 2011, 51(2): 786-792.
- [11] Takei K, Sakakibara H, Taniguchi M, et al. Nitrogen-dependent accumulation of cytokinins in root and the translocation to leaf; implication of cytokinin species that induces gene expression of maize response regulator [J]. Plant Cell Physiology, 2001, 42(1): 85-93.
- [12] Zhang G P. Gibberellic Acid 3, modifies some growth and physiologic effects of paclobutrazol (PP333) on wheat [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 1997, 16(1): 21-25.
- [13] Yang W B, Cai T, Ni Y L, et al. Effects of exogenous abscisic acid and gibberellic acid on filling process and nitrogen metabolism characteristics in wheat grains [J]. Australian Journal of Crop Science, 2013, 7(1): 58-65.
- [14] Wang X, Xu C, Cang J, et al. Effects of exogenous GA₃ on wheat cold tolerance [J]. Journal of Agricultural Science & Technology, 2015, 17(4): 921-934.
- [15] 刘西平, 王洪悦, 韩清芳. 促进小麦冬前分蘖和顺利越冬的生长调节剂: 中国, CN201410138153.2 [P]. 2014-8-6.
- [16] 王晓琳. 不同植物生长调节剂对玉米产量及农艺性状影响效果研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [17] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [18] 姜丽娜, 尚玉磊, 邵云, 等. 生长调节剂对冬小麦生理指标的影响[J]. 河南农业科学, 2004, (11): 3-7.
- [19] 蒋明洋, 商涛, 张娟, 等. 植物生长调节剂对超高产小麦生长发育的效果[J]. 山东农业科学, 2012, 44(9): 104-105.
- [20] 李梅, 孔祥英, 宋早芹, 等. 植物生长调节剂吨田宝在小麦生产上的示范[J]. 安徽农学通报, 2014, 20(23): 69-70.
- [21] 刘杨, 王强盛, 丁艳锋, 等. 氮素和6-BA对水稻分蘖芽发育的影响及其生理机制[J]. 作物学报, 2009, 35(10): 1893-1899.
- [22] 颜立新, 唐义军, 张贵之. 小麦旺长类型及冬春控制栽培技术[J]. 大麦与谷类科学, 2008, 4: 29-30.
- [23] 王洪悦. 喷施组合型生长调节剂对苗期小麦和玉米生理代谢及生长的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [24] 李春喜, 赵广才, 代西梅, 等. 小麦分蘖变化动态与内源激素关系的研究[J]. 作物学报, 2000, 26(6): 963-968.