

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2009.01313

低温驯化及封冻后不同抗寒性小麦品种的形态建成及生理基础分析

王晓楠¹ 付连双^{1,2} 李卓夫^{1,*} 孙艳丽¹ 王玉波¹ 刘 灿¹ 王金伟¹
陈禹兴¹

¹东北农业大学农学院, 黑龙江哈尔滨 150030; ²沈阳农业大学农学院, 辽宁沈阳 110161

摘 要: 为比较抗寒性不同的冬麦品种对低温胁迫的适应性, 在低温驯化及封冻阶段对东农冬麦 1 号(抗寒)、东农 705 (较抗寒)和济麦 22 (不抗寒) 3 个品种的植株形态和叶、叶鞘、分蘖节的若干生理指标进行了调查。结果表明, 东农冬麦 1 号在封冻前形成的分蘖数、分蘖叶数显著高于其他两个品种; 低温胁迫下 3 个品种各个部位的含水量均降低, 东农冬麦 1 号地上部含水量降低较快, 分蘖节含水量降低较慢且保持较高水平, 而济麦 22 地上部含水量降低较慢, 分蘖节含水量降低较快。电导率变化表明, 东农冬麦 1 号、东农 705 品系和济麦 22 叶片分别在封冻后 30、20 和 0 d 死亡。东农冬麦 1 号叶片、叶鞘的可溶性总糖含量最高, 济麦 22 最低; 封冻期东农冬麦 1 号分蘖节可溶性总糖含量最高, 济麦 22 最低。封冻后 20 d 东农 705 品系和济麦 22 叶片 SOD 失活, 封冻后 40 d 东农冬麦 1 号叶片 SOD 仍有活性, 调查期内济麦 22 各个部位 SOD 活性显著低于其他两个品种; 封冻期东农冬麦 1 号叶鞘和分蘖节 POD 活性保持较高水平, 东农 705 品系分蘖节 POD 活性较高, 而叶鞘 POD 活性迅速降低, 济麦 22 叶鞘和分蘖节 POD 活性均处于较低水平。

关键词: 寒地; 冬小麦; 抗寒性

Morphogenesis and Physiological Basis in Wheat Cultivars with Different Levels of Cold-Resistance during Cold Acclimation and Freezing Period

WANG Xiao-Nan¹, FU Lian-Shuang^{1,2}, LI Zhuo-Fu^{1,*}, SUN Yan-Li¹, WANG Yu-Bo¹, LIU Can¹, WANG Jin-Wei¹, and CHEN Yu-Xing¹

¹ College of Agronomy, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; ² College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China

Abstract: “Dongnong dongmai 1” is the released cultivar of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in Heilongjiang province in China. However, the physiological metabolism in the over-wintering process of the cultivar is unclear. In this study, the plant morphological characters were investigated and several physiological parameters were measured with comparisons of three winter wheat cultivars, Dongnong Dongmai 1 (cold tolerant), Dongnong 705 (semitolerant to coldness), and Jimai 22 (cold susceptible), the objective was to understand the physiological adaptation to low temperature of Dongnong Dongmai 1. The numbers of leaf, tiller, and tiller leaf as well as water content in plant were investigated from 3 Oct. to 8 Nov. at a 5 d interval. Leaf, sheath, and tiller nod were sampled from 22 Oct. to 22 Dec. at a 10 d interval. The numbers of tiller and tiller leaf were significantly higher in Dongnong Dongmai 1 than in other cultivars before frozen period. Under cold stress, water content decreased in all parts of cultivars. Dongnong Dongmai 1 had the largest reduction of water content in leaf, but the water content in tiller nod declined slower and maintained the highest level among the three cultivars. In contrast, Jimai 22 had relatively higher water content in leaf and sharp reduction in tiller nod. The electric conductivity measurement indicated that leaves died at 30, 20, and 0 d after the frozen day in Dongnong Dongmai 1, Dongnong 705, and Jimai 22, respectively. The total soluble sugar content in leaves and leaf sheathes was the highest in Dongnong Dongmai 1, and the lowest in Jimai 22. Similarly, during frozen period, the content of total soluble sugar in tiller nod was the highest in Dongnong Dongmai 1 and the lowest in Jimai 22. Superoxide dismutase (SOD) in leaf was inactivated at 20 d after the frozen day in Dongnong 705 and Jimai 22, but maintained the certain activity even at 40 d

本研究由东北农业大学创新团队项目(cxz003)资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 李卓夫, E-mail: zlficn@163.com; Tel: 0451-55190274

第一作者联系方式: E-mail: xnwang1982@yahoo.com.cn; Tel: 13204517968

Received(收稿日期): 2008-12-01; Accepted(接受日期): 2009-03-20.

after the frozen day in Dongnong Dongmai 1. Moreover, the activities of SOD in all parts of Jimai 22 were lower than those of other cultivars. During frozen period the activities of peroxidase (POD) were higher in sheath and tiller nod in Dongnong Dongmai 1, it was higher in tiller nod and lower in leaf sheath in Dongnong 705, and significantly lower both in sheath and tiller nod in Jimai 22. The results suggest that high resistance to coldness in Dongdong Dongmai 1 is probably related to the translocation of total soluble sugar from leaf to sheath and tiller nod. Low water content in plant and relative high activities of SOD and POD in sheath and tiller nod are also contributed to the cold-resistance of Dongnong Dongmai 1.

Keywords: Cold region; Winter wheat; Cold resistance

东北农业大学培育成在黑龙江省部分地区冬季能够安全越冬的冬小麦新品种——东农冬麦 1 号, 但对该品种安全越冬的代谢基础, 目前尚未见研究报道。前人对小麦抗寒性进行了大量的研究, Equiza^[1]对低温下冬麦和春麦根处的形态、显微结构、生理指标进行了分析比较。电导率表示植物组织受伤害的程度, 相对电导率达到 50%时植物组织就已经死亡^[2-3], 刘艳阳等^[4]、Bohn 和 Lutyie^[5]指出细胞膜透性可作为小麦抗寒性的指标。刘炜等^[6]指出低温逆境下小麦 Ca^{2+} -ATPase 的活性及其稳定性是决定植株抗寒能力的关键。细胞渗透调节物与抗寒性关系密切, 孙金月等^[7]研究表明, 羟脯氨酸、糖蛋白含量与小麦抗寒性相关显著, 李永华等^[8]报道低温下甜菜碱对改善小麦渗透调节、保护细胞膜有重要作用。本研究对抗寒性不同的 3 个冬小麦品种, 低温驯化及封冻后植株的外部形态建成、含水量和生理变化进行了比较, 以探讨低温胁迫下冬小麦安全越冬的生理基础。

1 材料与方法

1.1 材料和处理

抗寒品种东农冬麦 1 号, 于 2007 年经黑龙江省品种审定委员会审定推广, 在黑龙江省饶河地区 ($46^{\circ}30' \sim 47^{\circ}34' \text{N}$) 连续 5 年区域试验的越冬返青率均达到 70%以上, 最高可达 90%以上。不抗寒品种济麦 22 为山东省农业科学院作物研究所选育, 在黑龙江省冬季严寒条件下冻害严重, 越冬返青率为 0。较抗寒品种东农 705 品系, 抗寒性介于上两个品种之间, 2006 年和 2007 年的越冬返青率分别为 40.0%和 37.5%。3 个品种均于 2007 年 9 月 10 日播种于哈尔滨市 ($44^{\circ}04' \sim 46^{\circ}40' \text{N}$) 东北农业大学实验实习基地, 随机区组设计, 播种密度 266 万株 hm^{-2} , 行长 2 m, 行距 0.15 m, 10 行区, 3 次重复。

1.2 外部形态调查及田间取样

从三叶期后(10月3日)每 5 d 取样一次, 进行外部形态的调查, 每次每个品种取样 15 株, 记录叶数(以叶片完全展开为一片叶)、分蘖数、分蘖叶数(每

一植株各个分蘖所形成叶片的总和)。

10月22日开始取样, 测定含水量和生理指标, 每 10 d 取样 1 次, 共取 7 次, 每次每个品种的每个重复取样 30 株, 共取 90 株, 从中随机抽取 5 株, 用于电导率的测定; 随机抽取 15 株, 用于含水量的测定; 剩下的植株于 -20°C 冰箱保存, 用于生理指标的测定。

1.3 植株含水量测定

称取叶片、叶鞘和分蘖节各 3 g, 清水冲洗 3 遍后用滤纸吸干, 分别置铝盒中于 90°C 烘箱过夜烘干, 次日称量干物重, 并计算含水量。含水量(%)=(鲜重 - 烘干后干重)/鲜重 $\times 100\%$ 。

1.4 生理指标的测定

采用氮蓝四唑法^[9]测定超氧化物歧化酶(SOD)活性; 采用愈创木酚显色法^[9]测定过氧化物酶(POD)活性; 采用蒽酮比色法^[9]测定可溶性总糖含量; 用赛多利斯电导率仪测定电导率; 采用酸性茚三酮法^[9]测定脯氨酸含量。

1.5 低温驯化及封冻阶段的定义

低温驯化阶段指, 白天温度在 0°C 以上, 晚间温度在 -2°C 以下, 日平均温度低于 10°C , 土壤表面成昼消夜冻状态的时段^[10]。封冻阶段指环境最高温度在 0°C 以下, 小麦苗处于休眠状态的时段^[10]。根据试验期内的日最高温度与日最低温度(图 1), 取样的 10 月 22 日至 11 月 12 日处低温驯化阶段; 11 月 12 日后除 11 月 16 日最高温度为 3°C 外, 其余日期最高气温为 0°C , 最低气温恒定低于 0°C , 均处封冻阶段。取样的 11 月 22 日、12 月 2 日、12 月 12 日和 12 月 22 日分别为封冻后 10、20、30 和 40 d。

2 结果与分析

2.1 3 个品种外部形态及含水量的比较

至叶片停止生长时, 东农冬麦 1 号、东农 705 品系和济麦 22 形成的叶片数差异不显著, 分别为 5.87、5.85 和 5.87。东农冬麦 1 号叶片出生较其他两品种快, 10 月 23 日其叶片数恒定, 而东农 705 品系和济麦 22 的叶片数分别在 10 月 28 日和 11 月 3

日恒定; 封冻前东农冬麦 1 号、东农 705 品系和济麦 22 形成的分蘖数分别为 4.67、3.00 和 2.79, 10 月 18 日东农 705 品系停止分蘖, 10 月 23 日济麦 22 停

止分蘖, 而东农冬麦 1 号的分蘖数至 11 月 3 日恒定; 封冻前东农冬麦 1 号、东农 705 品系和济麦 22 的分蘖叶片数分别为 8.14、5.96 和 6.01(图 2)。

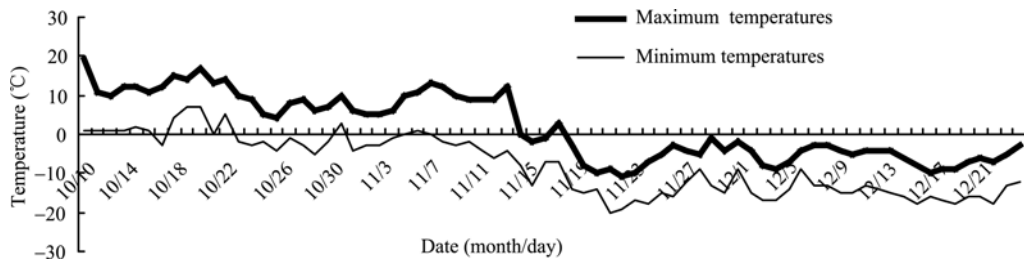


图 1 试验期内的日最高温度与日最低温度

Fig. 1 Maximum and minimum temperatures in wheat growing period

数据来源: 黑龙江省气象台。

Data provided by meteorological observatory of Heilongjiang province.

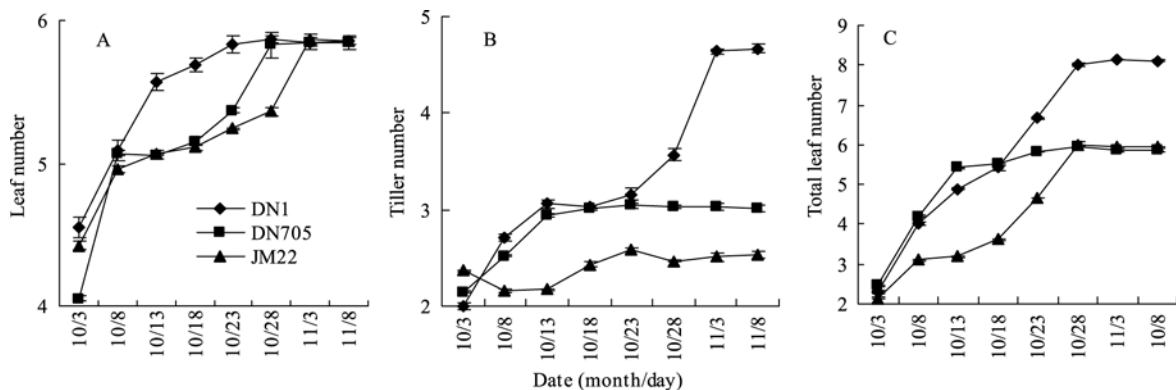


图 2 3 个品种的叶数(A)、分蘖数(B)和分蘖叶数(C)

Fig. 2 Leaf number (A), tiller number (B), and total leaf number on tillers (C) in three cultivars

DN1: Dongnong Dongmai 1; DN705: Dongnong 705; JM22: Jimai 22.

东农冬麦 1 号叶片含水量呈降低趋势, 东农 705 品系和济麦 22 叶片含水量均在 11 月 2 日达到最高后降低, 封冻期济麦 22 叶片含水量显著高于其他两个品种。11 月 2 日后济麦 22 叶鞘含水量显著高于其他两个品种,

东农冬麦 1 号、东农 705 品系和济麦 22 试验期内叶鞘含水量分别降低 33.5%、34.4%和 17.6%; 封冻后 40 d 分蘖节含水量分别为 53.4%、40.6%和 13.7%, 试验期内分蘖节含水量分别降低 18.8%、38.7%和 80.0%(图 3)。

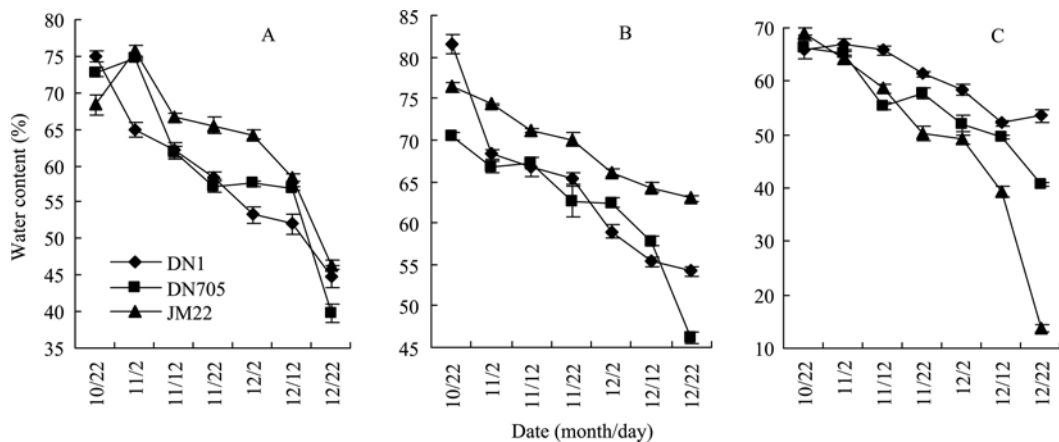


图 3 3 个品种叶片(A)、叶鞘(B)和分蘖节(C)含水量的变化

Fig. 3 Changes of water content in leaf (A), sheath (B), and tiller nod (C) in three cultivars

DN1: Dongnong Dongmai 1; DN705: Dongnong 705; JM22: Jimai 22.

2.2 低温驯化及封冻阶段植株的生理代谢

2.2.1 电导率 低温驯化结束至封冻后 30 d 济麦 22 叶片相对电导率最高, 东农冬麦 1 号最低, 说明这个过程中济麦 22 叶片的细胞膜受害程度最重, 东农冬麦 1 号最轻。11 月 12 日济麦 22 叶片的

相对电导率为 0.501, 表明此时其叶片已经死亡。东农 705 品系和东农冬麦 1 号叶片的相对电导率分别在 12 月 2 日和 12 月 12 日高于 0.5, 说明这两个品种叶片分别在封冻后 20 d 和封冻后 30 d 死亡(图 4)。

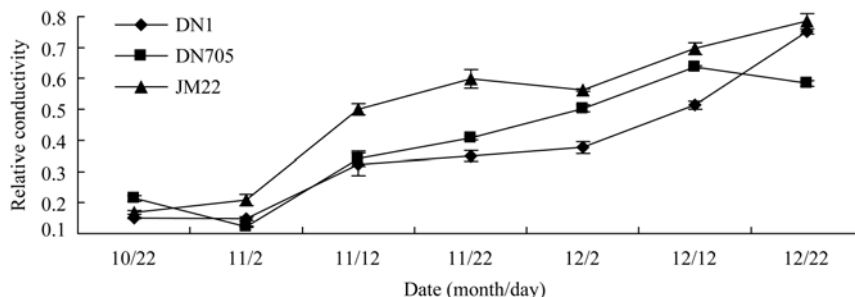


图 4 3 个品种叶片相对电导率的变化

Fig. 4 Changes of relative conductivity in leaf in three cultivars
DN1: Dongnong Dongmai 1; DN705: Dongnong 705; JM22: Jimai 22.

2.2.2 植株内渗透调节物 3 个品种叶、叶鞘、分蘖节处脯氨酸含量随时间推移均呈升高趋势, 同一品种各个部位脯氨酸含量差异不显著, 不同品种

同一部位脯氨酸含量差异不显著(图 5), 所以低温胁迫下植株体内脯氨酸含量呈增加趋势是冬小麦对低温的一种普遍反应。

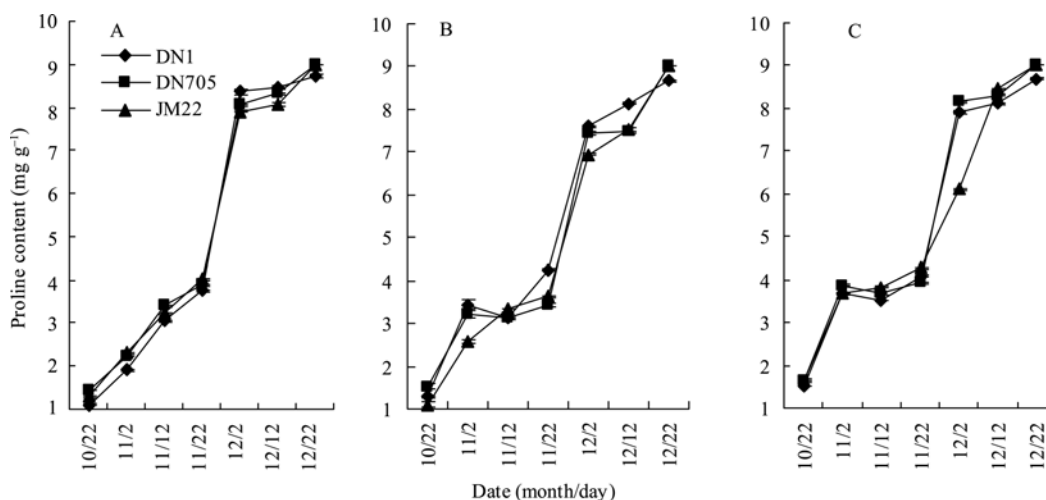


图 5 3 个品种叶片(A)、叶鞘(B)和分蘖节(C)脯氨酸含量的变化

Fig. 5 Changes of proline content in leaf (A), sheath (B), and tiller nod (C) in three cultivars
DN1: Dongnong Dongmai 1; DN705: Dongnong 705; JM22: Jimai 22.

可溶性总糖含量在不抗寒品种济麦 22 叶片、叶鞘和分蘖节中均显著低于其他两个品种相应部位中。低温驯化结束至封冻后 20 d 东农冬麦 1 号叶片中显著高于东农 705 品系叶片中, 封冻后 40 d 东农冬麦 1 号叶片中为 39.1 mg g^{-1} , 而东农 705 品系为 45 mg g^{-1} 。封冻后 40 d 东农冬麦 1 号叶鞘和分蘖节中显著高于东农 705 品系相应部位中(图 6)。

2.2.3 保护酶系统 3 个品种叶片 POD 活性均在封冻后 20 d 达到最高。试验期内除 10 月 22 日外, 济

麦 22 叶片 POD 活性显著低于其他两个品种, 东农冬麦 1 号与东农 705 品系叶片 POD 活性差异不显著, 12 月 12 日后 3 个品种叶片 POD 活性差异不显著。

东农冬麦 1 号、东农 705 品系和济麦 22 叶鞘 POD 活性分别在 12 月 2 日、11 月 2 日、11 月 12 日达到最高, 试验期内分别降低 26.7%、49.0%和 64.2%。东农冬麦 1 号和东农 705 品系分蘖节的 POD 活性呈波动变化, 济麦 22 分蘖节 POD 活性 12 月 2 日后迅速降低, 显著低于其他 2 个品种, 进入 12 月

份东农冬麦 1 号分蘖节 POD 活性最高, 济麦 22 最低(图 7)。

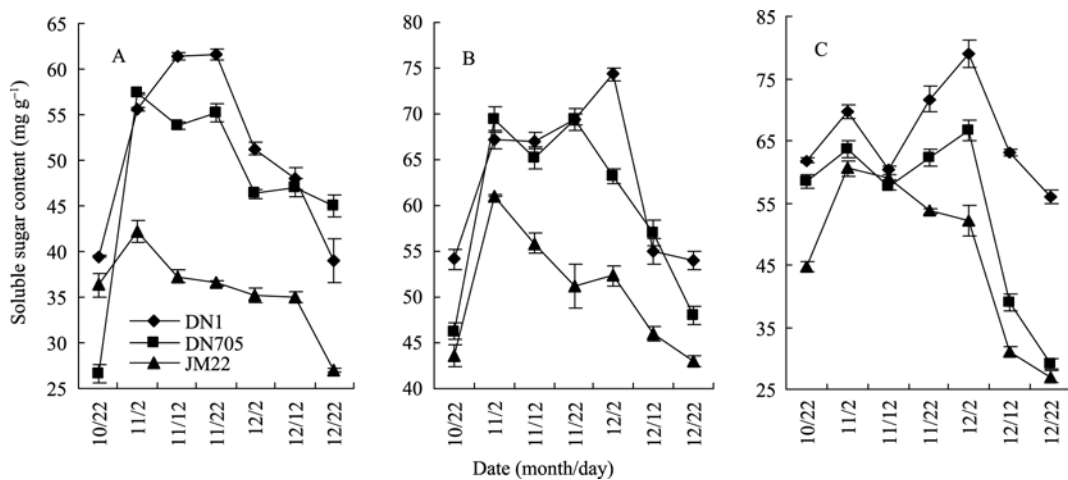


图 6 3 个品种叶片(A)、叶鞘(B)和分蘖节(C)可溶性总糖含量的变化
Fig. 6 Changes of total soluble sugar content in leaf (A), sheath (B), and tiller nod (C) in three cultivars
DN1: Dongnong Dongmai 1; DN705: Dongnong 705; JM22: Jimai 22.

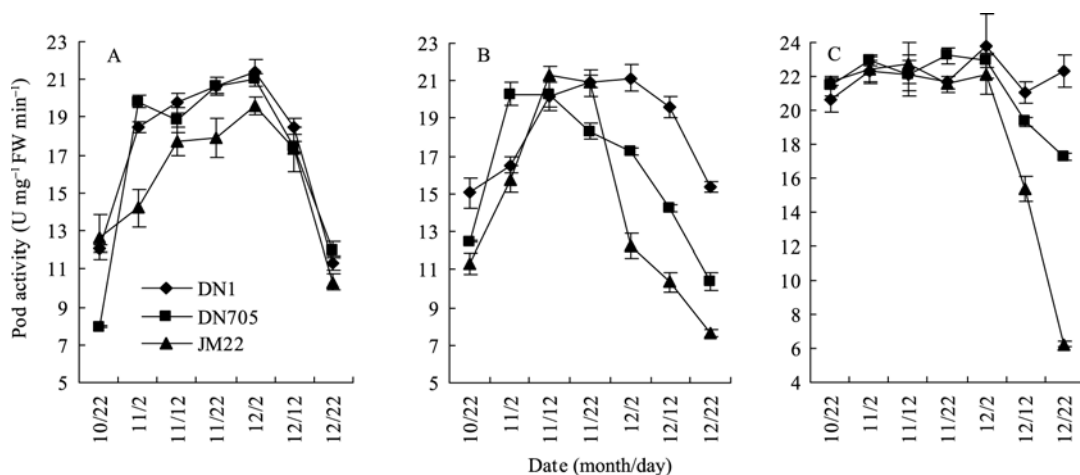


图 7 3 个品种叶片(A)、叶鞘(B)和分蘖节(C)POD 活性的变化
Fig. 7 Changes of POD activity in leaf (A), sheath (B), and tiller nod (C) in three cultivars
DN1: Dongnong Dongmai 1; DN705: Dongnong 705; JM22: Jimai 22.

封冻后 20 d 东农 705 品系和济麦 22 叶片的 SOD 失活, 封冻后 40 d 东农冬麦 1 号叶片的 SOD 仍有活性。东农冬麦 1 号和东农 705 品系叶鞘的 SOD 活性在 11 月 12 日达到最高, 济麦 22 在 11 月 2 日达到最高, 3 个品种叶鞘的 SOD 活性均在封冻后 20 d 失活, 有活性时表现为济麦 22 叶鞘 SOD 活性最低。3 个品种分蘖节 SOD 活性呈降低趋势, 封冻后 10 d 3 个品种分蘖节 SOD 活性均丧失(图 8)。

3 讨论

3.1 植株形态建成及含水量与抗寒性

小麦生育进程中, 地上部光叶系统与地下部根土系统的发展密切相关并相互影响, 小麦次生

根发生在茎基部的节上和分蘖的基部节上^[11]。抗寒品种东农冬麦 1 号形成的分蘖数量最多, 东农 705 品系其次, 不抗寒品种济麦 22 最少。较多的分蘖能形成较多的地上部光合叶片和较多的次生根系, 这样地上部光合作用增强、地下部水分和养分的吸收能力增强使植株健壮, 来抵御低温的伤害。

低温胁迫下植物组织含水量的降低是植物对低温的一种适应, 这样能减轻因细胞间或者细胞内结冰对植株造成的伤害。同时, 植物保持活力也需要一定的水分含量。冬小麦分蘖节的安全越冬能保证次年返青时继续形成分蘖。叶鞘中包含着生长点, 它的安全越冬能保证次年返青时长出新叶。低温胁迫

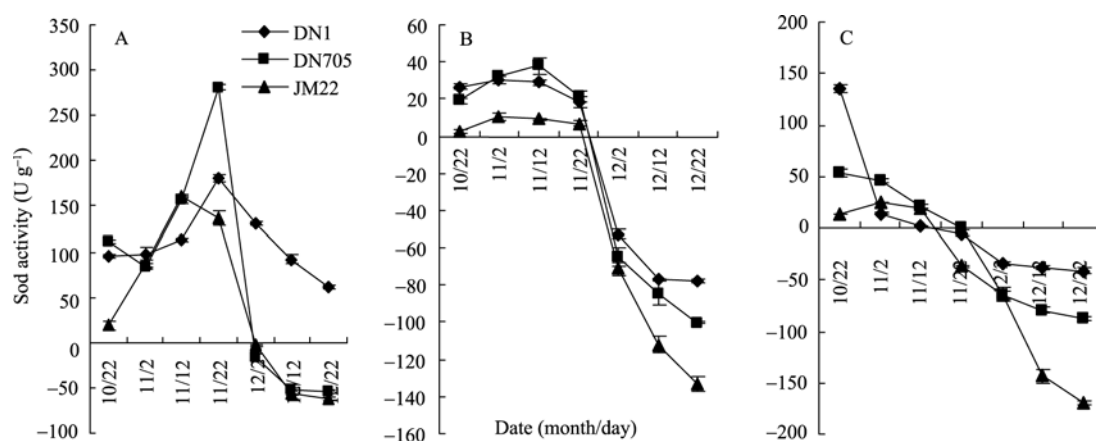


图 8 3 个品种叶、叶鞘、分蘖节的 SOD 活性的变化
 Fig. 8 Changes of SOD activity in leaf (A), sheath (B), and tiller nod (C) in three cultivars
 DN1: Dongnong Dongmai 1; DN705: Dongnong 705; JM22: Jimai 22.

迫下 3 个品种叶鞘和分蘖节含水量均降低, 至封冻后 40 d, 东农冬麦 1 号分蘖节和叶鞘的含水量均保持在 55%左右, 东农 705 品系保持在 40%左右, 济麦 22 分蘖节含水量只有 14%。

3.2 细胞内渗透调节物与抗寒性

可溶性糖的积累对于小麦抗寒具有重要意义, 糖可以使细胞渗透势增强, 冰点下降, 不易脱水, 能保护原生质, 使植物能忍受在体内形成相当数量的冰晶^[12]。脯氨酸作为细胞的渗透调节物在低温胁迫下可以增强细胞的持水力, 起到保护植物组织的作用^[13]。本试验中低温胁迫下品种间、植株不同部位间脯氨酸含量差异均不显著。可溶性总糖的不同则能反映出几个品种的抗寒性, 低温驯化阶段抗寒品种东农冬麦 1 号叶片和叶鞘的可溶性糖含量显著高于其他两个品种。封冻后东农冬麦 1 号分蘖节的可溶性总糖含量显著高于其他两品种。东农 705 品系叶片、叶鞘的可溶性总糖含量较高, 但是分蘖节的可溶性总糖含量较低, 如何提高地上部器官中可溶性总糖向分蘖节转移量是提高抗寒性中值得关注的一个方面。

3.3 保护酶与抗寒性

当植物遭受逆境时, 植物体内的抗氧化酶系统迅速启动, SOD 负责清除体内的 O_2^- , 将其氧化成 H_2O_2 , H_2O_2 会形成氧化能力极强的 $\cdot OH$, $\cdot OH$ 是膜脂过氧化的启动者, 若不迅速清除, 植株体内的膜脂过氧化程度会进一步加剧, POD 起到清除 $\cdot OH$ 的作用^[14-15]。本试验中东农 705 品系叶鞘 POD 活性在 11 月 2 日后呈降低趋势, 较低的 POD 活性不能清除多余的 $\cdot OH$, 加重膜脂过氧化程度, 推测低温下东

农 705 品系叶鞘抗寒性降低, 可能是由于封冻期东农 705 品系叶片中可溶性总糖没有大量转移至分蘖节。SOD 活性测定的原理是, 在有氧物质存在时核黄素被还原, 被还原的核黄素在有氧条件下极易再氧化而产生 O_2^- , O_2^- 可将氮蓝四唑还原为蓝色的甲腙, SOD 可清除 O_2^- , 反应液蓝色愈深, 说明 SOD 活性愈低。本试验中封冻后植株叶鞘、分蘖节 SOD 出现负值, 这说明封冻后植株不同部位膜脂过氧化程度较严重, 有大量强氧化物质, 能将核黄素氧化。负值越低, 说明膜脂过氧化程度越重, 不抗寒品种济麦 22 SOD 活性负值较其他两个品种低。

4 结论

低温驯化阶段抗寒品种东农冬麦 1 号迅速形成叶片和分蘖, 较多的同化产物输送至分蘖节, 增强低温下分蘖节的渗透调节能力。低温下抗寒品种东农冬麦 1 号叶片和叶鞘大量脱水, 分蘖节含水量保持较高水平, 不抗寒品种济麦 22 叶片和叶鞘含水量较高, 分蘖节含水量较低。东农冬麦 1 号、东农 705 品系和济麦 22 的叶片分别在封冻后 30、20 和 0 d 死亡。可溶性总糖可以作为鉴定品种抗寒性的一个指标, 低温胁迫下加强叶片可溶性总糖向叶鞘和分蘖节转移是提高抗寒性中值得关注的一个因素。低温胁迫下济麦 22 膜脂过氧化程度最重, 东农冬麦 1 号最轻。

References

- [1] Equiza M A. Morphological, anatomical and physiological responses related to differential shoot vs. root growth inhibition at low temperature in spring and winter wheat. *Ann Bot*, 2001, 87:

67-76

- [2] Ma X-D(马晓娣), Wang L(王丽), Wang M(汪矛). Difference in relative conductivity and ultrastructure of leaf between two wheat cultivars with different thermotolerance under heat acclimation and heat stress. *J China Agric Univ* (中国农业大学学报), 2003, 8(5): 4-8 (in Chinese with English abstract)
- [3] Gong Z-H(巩振辉). *Plant Breeding* (植物育种学). Beijing: China Agriculture Press, 2008. pp 281-284 (in Chinese)
- [4] Liu Y-Y(刘艳阳), Li J-Z(李俊周), Chen L(陈磊), Cui D-Q(崔党群). Effect of low temperature stress on peroxidation product of membrane lipids and activity of related enzymes in wheat seedling leaves. *J Triticeae Crops* (麦类作物学报), 2006, 26(4): 70-73 (in Chinese with English abstract)
- [5] Bohn M, Luthje S. Plasma membrane lipid alterations induced by cold acclimation and abscisic acid treatment of winter wheat seedlings differing in frost resistance. *J Plant Physiol*, 2007, 164: 146-156
- [6] Liu W(刘炜), Sun D-L(孙德兰), Wang H(王红). Comparison of Ca-ATPase activity in seedling plasmolemma of cold resistant winter wheat vs. cold-sensitive spring wheat under 2 °C low temperature. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2003, 28(2): 227-232 (in Chinese with English abstract)
- [7] Sun J-Y(孙金月), Zhao Y-T(赵玉田), Liang B-W(梁博文), Liu F(刘方), You Y(尤勇). Changes of hydroxyproline-rich glycoprotein wheat under cold stress and its relationship to cold resistance. *J Plant Genet Resour* (植物遗传资源学报), 2004, 5(1): 6-11 (in Chinese with English abstract)
- [8] Li Y-H(李永华), Shang Y-P(尚玉萍), Zou Q(邹琦). Transformation and expression of *Nicotiana tobaccum* L. with gene encoding for the betaine aldehyde dehydrogenase from *Triticum aestivum* L. *J Henan Agric Univ* (河南农业大学学报), 2007, 41(1): 12-16 (in Chinese with English abstract)
- [9] Zhang Z-L(张志良). *Laboratory Guide to Plant Physiology* (植物生理学实验指导). Beijing: Higher Education Press, 1990 (in Chinese)
- [10] Wan F-S(万富士). *Theory and Practice of Improvement for Over-winter Survival of Winter Wheat Cultivars* (冬小麦品种越冬性改良理论与实践). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2006. pp 43-45 (in Chinese)
- [11] Jin S-B(金善宝). *Wheat Science in China* (中国小麦学). Beijing: China Agriculture Press, 1996. pp 58-67 (in Chinese)
- [12] Li R-Q(利容千), Wang J-B(王建波). *Plant Stress Cell and Physiology* (植物逆境细胞及生理学). Wuhan: Wuhan University Press, 2002. pp 160-164 (in Chinese)
- [13] Lü L-H(吕丽华), Hu Y-K(胡玉昆), Li Y-M(李雁鸣). Free proline accumulation dynamics of two wheat cultivars with different drought-resistance under water stress. *Acta Agric Boreal-Sin* (华北农学报), 2006, 21(2): 75-75 (in Chinese with English abstract)
- [14] Meng Y-L(孟亚利), Wang Y(王瑛), Wang L-G(王立国), Chen B-L(陈兵林), Zhang L-Z(张立桢), Shu H-M(束红梅), Zhou Z-G(周治国). Effect of the composite root population of wheat-cotton intercropping system on cotton root growth. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2006, 39(11): 2228-2236 (in Chinese with English abstract)
- [15] Chance B. *Assays of Caralase and Peroxidase Methods of Enzymology*. New York: Academic Press, 1995. pp 764-775