

沙冬青 A20/AN1 锌指蛋白基因序列及表达分析

史军娜 刘美芹 刘杰 陈玉珍 卢存福

(北京林业大学林木育种国家工程实验室 教育部林木花卉遗传育种重点实验室)

摘要: A20/AN1 锌指蛋白普遍存在于真核生物中,在胁迫响应引起的信号传导过程中发挥着重要作用。本文利用生物信息学和 RT-PCR 方法从低温干旱胁迫的沙冬青叶片组织中分离锌指蛋白基因 *AmSTZF*,该基因编码一条含 172 个氨基酸残基的多肽,含 A20 和 AN1 两个锌指蛋白保守结构域,属 A20/AN1 锌指蛋白。生物信息学分析显示该蛋白定位于细胞质中,具有磷酸化位点,参与细胞转录调控。RT-PCR 分析表明:低温和干旱胁迫处理的沙冬青叶片中,*AmSTZF* 的表达增强,初步推测该基因与沙冬青低温、干旱胁迫响应相关。

关键词: 沙冬青; A20/AN1 锌指蛋白; 序列分析; 表达分析

中图分类号: S759.95 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2012)02-0103-06

SHI Jun-na; LIU Mei-qin; LIU Jie; CHEN Yu-zhen; LU Cun-fu. **Sequence analysis and expression pattern of *AmSTZF* encoding an A20/AN1 zinc finger protein in *Ammopiptanthus mongolicus*.**

Journal of Beijing Forestry University (2012) 34(2) 103-108 [Ch, 18 ref.] National Engineering Laboratory for Tree Breeding, Key Laboratory of Genetics and Breeding in Forest Trees and Ornamental Plants of Ministry of Education, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China.

A20/AN1 zinc finger protein widely exists in eukaryote and plays a central role in signal transduction pathway involved in stress response. We cloned zinc finger gene *AmSTZF* from cold- and drought-treated *Ammopiptanthus mongolicus* leaves by bio-informatics and RT-PCR. The cDNA of *AmSTZF* encodes a polypeptide with 172 amino acids, which contains A20 and AN1 conserved domains and belongs to A20/AN1 zinc finger protein. Bio-informatics predicts that *AmSTZF* has phosphorylation sites, exists in cytoplasm and is involved in the regulation of gene transcription. RT-PCR analysis shows that the expression of *AmSTZF* is up-regulated under cold- and drought-stresses and that *AmSTZF* is related to the response to drought and chilling stresses.

Key words *Ammopiptanthus mongolicus*; A20/AN1 zinc finger protein; sequence analysis; expression analysis

A20/AN1 锌指蛋白包括 A20 和 AN1 两个锌指结构域。其中: A20 结构域在 N 端,为 [Cys-X(2-4)-Cys-X11-Cys-X2-Cys]; AN1 结构域在 C 端,为 [Cys-X2-Cys-X(9-12)-Cys-X(1-2)-Cys-X4-Cys-X2-His-X5-His-X-Cys]。酵母双杂交分析表明 OsSAP8 的 A20 和 AN1 锌指结构域相互作用。A20/AN1 锌指蛋白广泛存在于各类真核生物中,并在胁迫响应过程中发挥着重要的作用。最初发现, A20/AN1 锌指蛋白在调节动物的免疫反应过程中发挥着重要的作用^[1-2]。而在植物中 A20/AN1 锌指蛋白研究最早的是 *OSISAP1*,该基因对低温、

盐、重金属、ABA 等多种胁迫都产生响应。另外,过量表达 *OSISAP1* 的转基因烟草 (*Nicotiana tabacum*) 对低温、盐和脱水胁迫有一定抗性^[3]。随着水稻 (*Oryza sativa*) 等植物基因组测序工作的完成,拟南芥 (*Arabidopsis thaliana*)、水稻、玉米 (*Zea mays*)、毛果杨 (*Pinus trichocara*) 等物种中已发现有多数 A20/AN1 型锌指蛋白,且这些基因的表达与非生物胁迫相关^[4-6]。

沙冬青 (*Ammopiptanthus mongolicus*) 是暖温带荒漠生态系统中的物种,属豆科 (Leguminosae),沙冬青属,是我国北方荒漠地区唯一的强旱生常绿阔

收稿日期: 2011-03-04

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30700559、30671476)。

第一作者: 史军娜。主要研究方向: 沙冬青抗逆基因的功能研究。电话: 010-62390696 Email: sjn19851105@bjfu.edu.cn 地址: 100083 北京市清华东路 35 号北京林业大学生物学院。

责任作者: 卢存福, 博士, 副教授。主要研究方向: 植物抗逆性。电话: 010-62338189-54 Email: lucunfu@bjfu.edu.cn 地址: 同上。

本刊网址: <http://journal.bjfu.edu.cn>

叶灌木,具有极强的抗逆性与重要的资源价值;但是由于其分布范围狭小和人类活动的破坏,沙冬青已濒临灭绝,因此,在探讨树木对环境的适应机理和研究珍稀树种保护方面,沙冬青都是一种非常理想的研究材料。目前沙冬青 A20/AN1 型锌指蛋白的相关研究还未见文献发表。在实验室前期工作^[7-9]的基础上,从木本植物材料沙冬青中获得一个 A20/AN1 型锌指蛋白基因,命名为 *AmSTZF*。运用生物信息学方法对该基因进行分析和预测^[10-12],并检测其在低温和干旱胁迫条件下的表达模式,为进一步研究该基因在逆境胁迫条件的作用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

沙冬青的种子采自内蒙古阿拉善荒漠地区,播种在珍珠岩基质中,生长至 3~4 叶期的幼苗。取叶片在液氮速冻后,保存于 -80℃ 冰箱用于目的基因的克隆及胁迫处理对照。3~4 叶期的幼苗同时进行低温和干旱胁迫处理。低温处理:将幼苗置于 4℃ 的低温室处理 2、24、48 h;干旱处理:将基质干燥的幼苗持续干旱处理,时间梯度为 1、2、3、4 d。分时段收获不同处理的材料,在液氮中速冻后保存于 -80℃ 冰箱用于目的基因的胁迫诱导表达分析。

1.2 RNA 的提取与基因的分离

将保存于 -80℃ 冰箱的沙冬青叶片用液氮研磨后,按照 RNA 提取试剂盒(科百奥生物技术)说明提取,根据蒺藜苜蓿 (*Medicago sativa*)、鲁豆 (*Glycine max*) 基因序列设计正、反向引物(北京奥科生物技术公司)。取 2 μg 经 DNaseI 处理的总 RNA 为模板,进行 RT-PCR 扩增,目的片段经琼脂糖凝胶电泳分离后,用回收试剂盒回收。正向引物:ZF5 5'-ACTCGAGATGGA_gGTCTCAGCAAGAGACAGG-3';反向引物:ZF3 5'-AAGCTTTGCCTAGATTTTGTCAACCTTATC-3'。

1.3 基因克隆和测序

将回收的目的片段与 pMD18-T 载体连接,经蓝白斑筛选后用碱裂解法提取质粒,将重组质粒进行双酶切鉴定,并由北京奥科生物技术公司测序。

1.4 生物信息学分析

采用 DNAMAN6.0 软件分析 cDNA 序列;NCBI (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) 分析氨基酸的保守性结构域及同源性;氨基酸多序列比对和系统发生分析采用 Bioedit 5.0 和 MEGA 4.0。分别利用 ProtParam (<http://au.expasy.org/cgi-bin/protparam>), <http://cubic.bioc.columbia.edu/cgi/var/nair/resonline.pl>), Psort (<http://www.psort.org/>),

ProtFun (<http://www.cbs.dtu.dk/services/ProtFun/>和 <http://www.predictprotein.org/>) 等各种生物信息学分析软件对氨基酸的理化性质、氨基酸的核定位信号、蛋白质的亚细胞定位、蛋白质功能、蛋白质二级结构进行分析预测。

1.5 目的基因胁迫诱导表达

根据目的基因序列设计特异引物,以 *Actin* 基因为内标设计参比引物用于目的基因低温、干旱诱导表达分析。20 μL PCR 反应体系循环:94℃ 预变性 5 min,94℃ 变性 30 s,54℃ 复性 30 s,72℃ 延伸 1 min,共 25 个循环,最后 72℃ 延伸 15 min。取 5 μL PCR 产物上样,用琼脂糖凝胶电泳分析检测,琼脂糖凝胶用紫外凝胶成像仪扫描,目的条带用 Quantity One4.4 软件处理,计算相对表达量。特异引物:ZFR5 5'-CAGAACGTCCCATCTTTGCATTAA-3';ZFR3 5'-ACACCCTGACCAACAGTCCTATA-3'。参比引物:Actn5 5'-ACCTTGCTGGCCGTGATTAAACG-3';Actn3 5'-ATAGTGGACCCACCACT AAGCAGC-3'。

2 结果与分析

2.1 目的片段扩增和 cDNA 序列

琼脂糖凝胶电泳显示 RT-PCR 产物扩增条带大小在 500 bp 左右,测序结果表明此条带长 519 bp,编码 172 个氨基酸残基(图 1)。

2.2 生物信息学分析

2.2.1 氨基酸性质分析

ProtParam 推测该蛋白相对分子质量为 18.4×10^3 ,等电点为 8.47。其中,带负电荷的 Asp 和 Glu 总数为 19,带正电荷的精氨酸和赖氨酸残基总数为 23。*AmSTZF* 锌指蛋白中有 14 个 Ser、9 个 Thr、3 个 Tyr,另外在氨基酸位点 97、98 处分别有 CKII 和 ATM 磷酸化位点。理论推导半衰期为 30 h,不稳定参数为 25.14,属于稳定蛋白。二级结构预测表明螺旋、链和环分别占 18.4%、4.6%、77.0%。SignalP 程序分析 *AmSTZF* 的 N 末端序列,没有发现信号肽结构,无核定位信号序列。跨膜结构预测表明,该蛋白也不存在跨膜区。PSORT 预测发现 *AmSTZF* 存在于细胞质。通过 ProtFun2.2 Server 进一步分析 *AmSTZF* 的主要功能,发现该蛋白有转录调控功能。推测沙冬青锌指蛋白可能在胁迫条件下与特定靶 DNA 或靶蛋白结合,在转录调控和信号传导中发挥重要作用。

2.2.2 锌指蛋白 *AmSTZF* 的保守区域分析

AmSTZF 氨基酸序列保守性分析表明,在氨基酸 15~38 和 112~150 残基间分别存在 zf-A20 和 zf-AN1 保守结构域。在 *AmSTZF* 氨基酸序列 N 端

```

1 ATGGAGTCTCACGAAGAGACAGGATGCCAGGCTCCAGAACGTCCTTCTTGCAATTAAT
1 M E S H E E T G C Q A P E R P I L C I N
61 AATTGTGGCTTCTTCGGAAGGGCTGCTACCATGAATATGTGTTCCAAGTGTTACAAGGAC
21 N C G F F G R A A T M N M C S K C Y K D
121 ATGCTGTTGAAGCAGGAACAGGACAAACTTGCAGCAGCATCGGTTGAAAACATTGTGAAT
41 M L L K Q E Q D K L A A A S V E N I V N
181 GGAAATTCAAATGGCAACGGAAAAACAGGTTGTGACTGCGGGTTCTGTGATGTGCAAGTT
61 G N S N G K Q V V T A G S V D V Q V
241 GGAAGTGTGGAGGTCAAGACAGTCTCTACTGGGATTCTGGGGATTCTGCTCTGTGTGAG
81 G T V E V K T V S T G I S G D S S S G E
301 AGTTTGAGAGGAAGGCCAAGACAGGTCCTAGCAGATGTGCCACTTGCAGGAAGCGTGT
101 S L E R K A K T G P S R C A T C R K R V
361 GGATTAGCTGGTTTCAGCTGCAATGTGGAATCTCTTTGTGCAATGCATCGCTATTCT
121 G L A G F S C K C G N L F C A M H R Y S
421 GATAAACATGATTGCCCATTTGATTATAGGACTGTTGGTCAGGATGCTATAGCTAAAGCC
141 D K H D C P F D Y R T V G Q D A I A K A
481 AACCTGTGAATTAAGGCAGATAAGGTTGACAAAATCTAG
161 N P V I K A D K V D K I *

```

图 1 AmSTZF 全长 cDNA 序列及推导的氨基酸序列

Fig. 1 cDNA full sequence and corresponding amino acid sequence of AmSTZF

注: 黑体的字母分别代表起始密码子和终止密码子; 下划线部分分别是 zf-A20 和 zf-AN1 结构域。

有 4 个保守的半胱氨酸残基, 这种结构与抑制细胞凋亡的锌指蛋白 A20 类似^[13]; 在 C 端具有 AN1 型的典型锌指结构域, 其中保守的半胱氨酸和组氨酸残基可参与形成锌指结构。BLAST 比对显示 AmSTZF 与多种锌指蛋白氨基酸序列相似性较高。从中选取毛果杨 (XP_002323304.1)、柑橘 (*Citrus reticulata*) (ABL67658.1)、拟南芥 (NP_192941.1)、鲁豆 (ACU19355.1)、蒺藜苜蓿 (ABN08135.1)、番茄 (*Solanum lycopersicum*) (ACM68442.1) 锌指蛋白保守氨基酸序列与 AmSTZF 保守区域比对 (图 2)。

2.2.3 与逆境胁迫相关锌指蛋白的同源性比较和系统发生分析

根据对数据库检索及文献报道的具有锌指结构的植物相关蛋白氨基酸序列的 Blast 比对分析, 沙冬青 AmSTZF 编码区序列与多种植物逆境相关蛋白有一定的同源性, 与玉米 ZnF-AN1 蛋白 (NP_001106266.1) 的同源性达 29.4%, 与毛果杨锌指蛋白

(ABK92973.1) 同源性为 67%, 与葡萄 (*Vitis vinifera*) 锌指蛋白 (CAN65596.1) 的同源性为 73.2%, 与柑橘胁迫响应锌指蛋白 (ABL67658.1) 的同源性为 68.6%, 与玉米 ISAP1 (multiple stress-responsive zinc-finger protein) (ACG38807.1) 的同源性为 33.8%, 与念珠菌球虫 (*coccidium*) MPER_13207 蛋白 (EEB88778.1) 的同源性为 65.1%。

此外, 通过 Blast 分析编码锌指保守区的序列发现, AmSTZF 与植物相关锌指蛋白锌指保守区具有较高的相似性, 与蒺藜苜蓿锌指蛋白 (ABN08135.1)、毛果杨锌指蛋白 (XP_002323304.1)、番茄锌指蛋白 (ACM68442.1)、柑橘锌指蛋白 (ABL67658.1) 的相似性都高达 99%, 与籼稻锌指蛋白 (AAQ84334.1)、拟南芥锌指蛋白 (NP_192941.1)、芸苔 (*Brassica rapa*) 锌指蛋白 (ABL97956.1)、陆地棉 (*Gossypium hirsutum*) 锌指蛋白 (ABD65463.1) 相似均超过 90%。

```

A
15 P I L C I N N C G F F G R A A T M N M C S K C Y 38 AmSTZF
15 . . . . . S . . . . . H 38 PtSTZF
15 . . . . . V . . . . . S . . . . . H 38 ChSTZF
15 . K . . D . G . . . . . S P S N . . L . . . . . 38 AtSTZF
15 . . . . . T . . . . . S . . . . . 38 GmSTZF
15 . . . . . V . . . . . E . . . . . 38 MtSTZF
15 . . . . . S . . . . . H 38 SiSTZF

B
114 R C A T C R K R V G L A G F S C K C G N L F C A M H R Y S D K H D C P F D 150 AmSTZF
114 . . T A . . . . . T . . G . R . . . . . I . . . . . 150 PtSTZF
114 . . T . . N . . . . . T . . N . R . . . . . V . . . . . G . . . . . 150 ChSTZF
114 . . F S . N . K . . V M . . K . . . . S T . . G S . . P E . . E . S . . 150 AtSTZF
114 . . S N . N . . . . . T . . N . R . . . . . S V . . . . . N . . . . . 150 GmSTZF
114 . . . . . T . . . . . S H . . . . . 150 MtSTZF
114 . . T . . . . . T . . N . . . . . A . . . . . E . . . . . 150 SiSTZF

```

A. N 端的 A20 型锌指结构; B. C 端的 AN1 型锌指结构

图 2 AmSTZF 保守氨基酸序列及与同源氨基酸序列的多序列比对

Fig. 2 Conserved amino acid sequence of AmSTZF and multiple sequence alignment with that of other plants

注: STZF 为胁迫相关锌指蛋白; Am 为沙冬青; PT 为毛果杨 (XP_002323304.1); CH 为柑橘 (ABL67658.1); AT 为拟南芥 (NP_192941.1); GM 为鲁豆 (ACU19355.1); MT 为蒺藜苜蓿 (ABN08135.1); SL 为番茄 (ACM68442.1)。

系统发生分析表明,沙冬青 *AmSTZF* 锌指蛋白与蒺藜苜蓿锌指蛋白(ABN08135.1)的亲缘关系最近,属同一类功能蛋白;其次与番茄胁迫相关锌指蛋白(ACM68442.1)、拟南芥锌指蛋白(XP_002891622.1)、橐豆锌指蛋白(ACU19355.1)、野茶树(*Camellia sinensis*)锌指蛋白(ABI31653.1)有较

近的亲缘关系,而与芸苔锌指蛋白(ABL97956.1)、北美云杉(*Picea sitchensis*)锌指蛋白(ABK21092.1)、蓖麻(*Ricinus communis*)锌指蛋白(XP_002523785.1)、百脉根(*Lotus japonicus*)转录因子C2H2(BAG50058.1)等的亲缘关系较远(图3)。

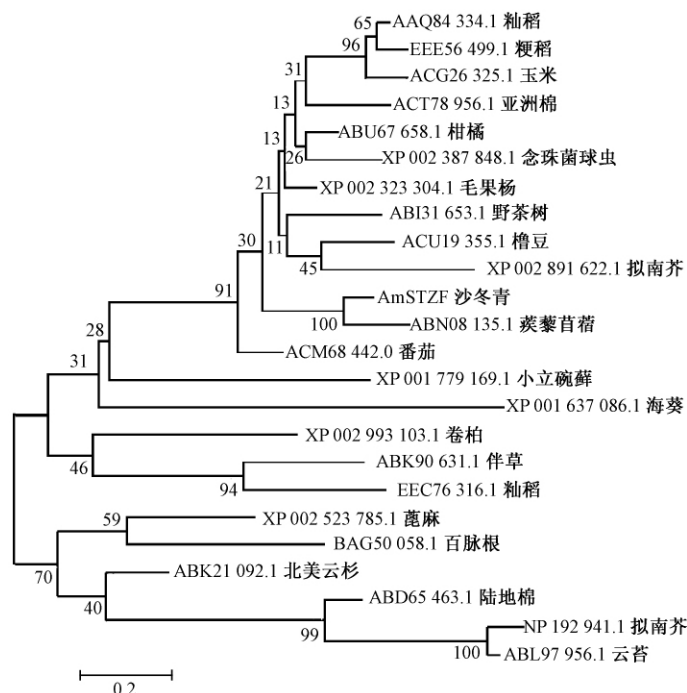


图3 沙冬青锌指蛋白 *AmSTZF* 与其他锌指蛋白的系统发生分析

Fig. 3 Phylogenetic analysis of *AmSTZF* and other reported zinc finger proteins

注:小立碗藓(*Physcomitrella patens*);海葵(*Actinaria*);卷柏(*Selaginella tamariscina*);伴草(*Aeluropus litoralis*)。

2.3 锌指蛋白基因 *AmSTZF* 在沙冬青胁迫处理叶片中的表达

RT-PCR 检测沙冬青在胁迫处理下 *AmSTZF* 的表达(图4、5)。*AmSTZF* 在对照和低温、干旱处理过的沙冬青叶片中均表达。在干旱处理条件下,沙冬青 *AmSTZF* 的表达量随时间的延长明显增加,由此推断该基因的表达与干旱胁迫正向相关。低温 4℃处理 2 h 后, *AmSTZF* 的表达量增大;4℃处理 24 h 后, *AmSTZF* 的表达量比 2 h 没有明显变化,说明该基因的表达与低温胁迫也相关。

3 结论与讨论

沙冬青胁迫处理结果显示 *AmSTZF* 在受到低温和干旱胁迫后表达量增加。新近研究表明, A20/AN1 型锌指蛋白在动物免疫响应和植物胁迫响应中发挥着关键的作用。过量表达水稻 A20/AN1 型锌指蛋白基因 *OsDOG* 的转基因植株出现矮化,施加外源的 GA 可以拯救过表达转基因植株的矮化型, *OsDOG* 具有调节赤霉素动态平衡的功能,负向调节植物细胞伸长^[14]。水稻中所有与胁迫相关的 A20/

AN1 锌指蛋白基因表达至少受到一种非生物胁迫的诱导。其中, *OsSAP1* 和 *OsSAP8* 的表达受盐、干旱、低温、ABA 和重金属等多种非生物胁迫的诱导^[3,5]。水稻 *OsSAP1* 和 *OsSAP8* 的表达量在幼苗受到以上各种胁迫 30 min 后开始增加,24 h 后快速减少,这些与 *AmSTZF* 表达的时间进程不同。*AmSTZF* 在受到干旱处理后 1、2 d 相对于对照的表达量逐渐增大,干旱处理 3、4 d 的表达量与第 1、2 d 相比明显增大,而且处在较高的水平。推测可能是在进化过程中启动子的结构发生了改变,与喜湿的水稻相对,生境干旱的沙冬青已形成一种抗旱的特性^[6]。

植物在生长发育过程中受低温、干旱等非生物胁迫后,胁迫信号经历一系列传递过程,诱导特定功能基因表达,通过改变形态、生理和生化来适应环境。与胁迫响应相关的基因可以概括地分为 2 类:一类是编码调控蛋白的基因,如转录因子;另一类是编码效应蛋白的基因,直接保护植物免受各种胁迫损伤^[15-16]。相关研究中,把与胁迫相关的 A20/AN1 锌指蛋白被归为胁迫信号传导调控蛋白。一方面,研究表明,位于胞浆内的人类 A20 锌指蛋白是一种

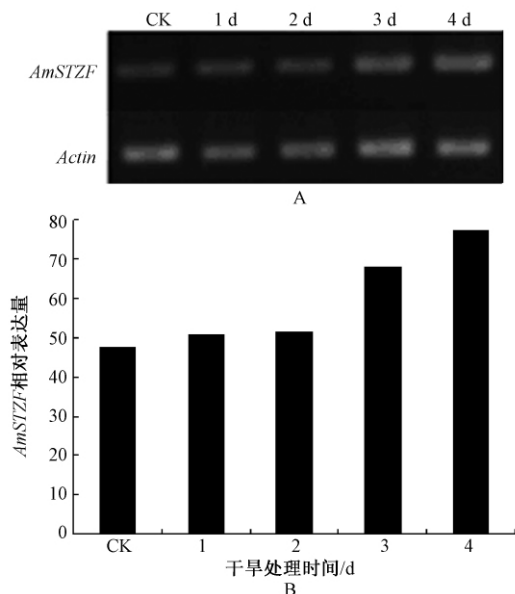
图4 干旱胁迫下沙冬青叶片 *AmSTZF* 的表达

Fig. 4 Expression of *AmSTZF* in *Ammopiptanthus mongolicus* leaves incubated under drought

注: A. 沙冬青幼苗干旱处理 0、1、2、3、4 d 后, RT-PCR 检测 *AmSTZF* 在干旱处理过的沙冬青叶片中的表达量; B. Quantity One 分析 RT-PCR 结果中 *AmSTZF* 的条带, 估测 *AmSTZF* 在干旱处理 0、1、2、3、4 d 的沙冬青叶片中的表达量。

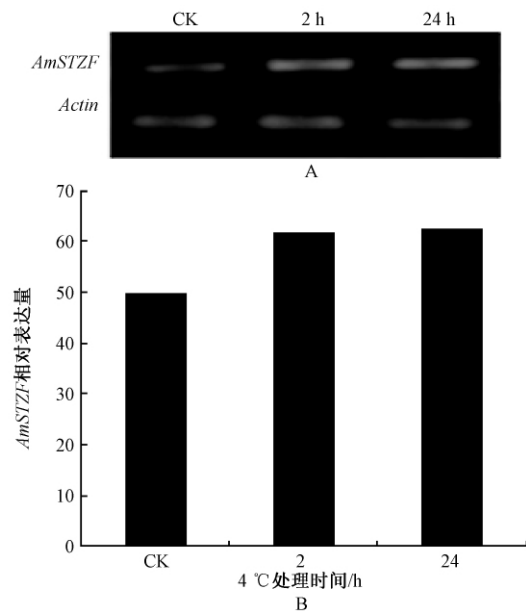
图5 低温(4 °C)胁迫下沙冬青叶片 *AmSTZF* 的表达

Fig. 5 Expression of *AmSTZF* in *Ammopiptanthus mongolicus* leaves incubated at 4 °C

注: A. 沙冬青幼苗 4 °C 处理 0、2、24 h 后, RT-PCR 检测 *AmSTZF* 在低温处理过的沙冬青叶片中的表达量; B. Quantity One 分析 RT-PCR 结果中 *AmSTZF* 的条带, 估测 *AmSTZF* 在低温处理 0、2、24 h 的沙冬青叶片中的表达量。

瞬时调控蛋白,可抑制不同细胞因子;另一方面, A20/AN1 锌指蛋白缺少典型的核定位信号^[17]。

生物信息学分析结果显示, *AmSTZF* 蛋白有 Ser、Thr、Tyr 和 CKII、ATM 磷酸化位点以及 zf-A20、

zf-AN1 结构域,且定位于细胞质。A20 结构域不但能与自身相互作用,而且可以与 AN1 结构域相互作用^[5]。此外,水稻中 OsSAP1 和 OsSAP8 是定位于细胞质中的蛋白,在 zf-A20、zf-AN1 结构域的参与下通过蛋白与蛋白相互作用而发挥作用^[3,5]。人类 A20/AN1 锌指蛋白 AWP1 与 Ser/Thr 蛋白激酶 PRK1 相互作用,在哺乳动物信号传导通路中发挥调控作用^[18]。推测 *AmSTZF* 可能与磷酸激酶相互作用作为转录因子在植物逆境胁迫信号传导中发挥调控作用。

参 考 文 献

- [1] HUANG J, TENG L, LI L, et al. ZNF216 is an A20-like and IkappaB kinase gamma-interacting inhibitor of NFkappaB activation[J]. *J Biol Chem* 2004, 279: 16847-16853.
- [2] HEYNINCK K, BEYAERT R. A20 inhibits NF-kB activation by dual ubiquitin-editing functions[J]. *Trends Biochem Sci* 2005, 30: 1-4.
- [3] MUKHOPADHYAY A, VIJ S, TYAGI A K. Overexpression of a zinc-finger protein gene from rice confers tolerance to cold, dehydration, and salt stress in transgenic tobacco [J]. *Proc Natl Acad Sci USA* 2004, 101: 6309-6314.
- [4] JIN Y, WANG M, FU J, et al. Phylogenetic and expression analysis of *ZnF-AN1* genes in plants [J]. *Genomics*, 2007, 90: 265-275.
- [5] KANNEGANTI V, GUPTA A K. Overexpression of *OsiSAP8*, a member of stress associated protein (SAP) gene family of rice confers tolerance to salt, drought and cold stress in transgenic tobacco and rice [J]. *Plant Mol Biol* 2008, 66: 445-462.
- [6] RANIA B S, NABIL Z, WALID B R, et al. Improved drought and salt stress tolerance in transgenic tobacco over-expressing a novel A20/AN1 zinc-finger "ALSAP" gene isolated from the halophyte grass *Aeluropus litoralis* [J]. *Plant Mol Biol* 2010, 72: 171-190.
- [7] LIU M Q, SHEN X, LU C F, et al. Functional analysis of cold inducible cDNA clones in the legume *Ammopiptanthus mongolicus* [J]. *CryoLetters* 2005, 26(4): 213-222.
- [8] LIU M Q, LU C F, YIN W L, et al. Characterization and function analysis of a cold-induced *AmCIP* gene encoding a dehydrin-like protein in *Ammopiptanthus mongolicus* [J]. *DNA Seq*, 2006, 17(5): 342-349.
- [9] 刘美芹, 尹伟伦, 卢存福. 沙冬青抗寒性分子基础研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [10] LI L B, ZHANG Y R, GAO J W, et al. Identification and bioinformatics analysis of *SnRK2* and *CIPK* family genes in *Sorghum* [J]. *Agricultural Sciences in China* 2010, 9(1): 19-30.
- [11] 刘志伟, 张智俊, 杨丽. 毛竹抗逆锌指蛋白基因 cDNA 克隆与序列分析[J]. 生物技术通报, 2010, 1: 87-92.
- [12] AMOLKUMAR U, SOLANKE M K, SHARMA A K, et al. Characterization and phylogenetic analysis of environmental stress-responsive SAP gene family encoding A20/AN1 zinc finger proteins

- in tomato[J]. *Mol Genet Genomics* 2009, 282: 153–164.
- [13] 解婧,王杰军. 锌指蛋白 A20 与恶性肿瘤相关性研究的进展[J]. *临床肿瘤学杂志* 2010, 15(1): 86–89.
- [14] LIU Y J, XU Y Y, XIAO J, et al. OsDOG, a gibberellin-induced A20/AN1 zinc-finger protein, negatively regulates gibberellin-mediated cell elongation in rice[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2011, 168(10): 1098–1105.
- [15] ZHU J K. Cell signaling under salt, water and cold stresses[J]. *Curr Opin Plant Biol* 2001, 4: 401–406.
- [16] SHINOZAKI K, YAMAGUCHI S K, SEKI M. Regulatory network of gene expression in the drought and cold stress responses[J]. *Curr Opin Plant Biol* 2003, 6: 410–417.
- [17] VIJ S H, TYAGI A K. A20/AN1 zinc-finger domain-containing proteins in plants and animals represent common elements in stress response[J]. *Funct Integr Genomics* 2008, 8: 301–307.
- [18] DUAN W, SUN B, LI T W, et al. Cloning and characterization of AWP a novel protein that associates with serine/threonine kinase PRK1 *in vivo*[J]. *Gene* 2000, 256: 113–121.

(责任编辑 赵 勃)

欢迎订阅《北京林业大学学报》

《北京林业大学学报》是教育部主管、国内外公开发行的全国性林学与森林生物学学术期刊。该刊是中文核心期刊、中国自然科学核心期刊、科技部“中国科技论文统计源期刊”和中国科学院“中国科学引文数据库统计源期刊”。2003 年《北京林业大学学报》荣获第二届国家期刊奖提名奖,2005 年荣获第三届国家期刊奖百种重点期刊,2006、2008、2010 年连续三届荣获“中国高校精品科技期刊”奖,2008 年被评为“中国精品科技期刊”。

连续收录《北京林业大学学报》的著名检索期刊和数据库有:美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、英国“国际农业与生物科学研究中心”数据库(CABI)、英国《动物学记录》(ZR)、中国科技论文引文数据库(CSTPCD)、中国科学引文数据库、《中国学术期刊文摘》、《中国生物学文摘》、中国林业科技文献数据库等;入编《中文核心期刊要目总览》,仍是 CSCD 核心期刊。

为保持学科特色,该刊重点报道以林木遗传育种学、森林培育学、森林经理学、森林生态学、树木生理学、森林土壤学、森林植物学、森林保护学、自然保护区学、园林植物与观赏园艺、水土保持与荒漠化防治、森林工程、木材科学与技术、林产化学加工工程、其他学科在林学上的应用等方面的论文。

《北京林业大学学报》为双月刊,大 16 开本,单月月底出版。每期定价 50 元。各地邮局发行,邮发代号:82–304。国内统一刊号:CN 11–1932/S。如当地邮局订阅不便或错过征订时间,也可直接汇款向本刊编辑部订阅。

地址:100083 北京市海淀区清华东路 35 号《北京林业大学学报》编辑部

发行电话:010–62338397 联系人:王伟 Email: wangwei66@bjfu.edu.cn

本刊网址: <http://journal.bjfu.edu.cn>