

# 壳聚糖对小麦种子萌发及干旱胁迫下 幼苗保护酶活性的影响

姜 山,朱启忠,张真豪

(山东大学威海分校 海洋学院, 山东 威海 264209)

**摘 要:**采用喷洒不同浓度的壳聚糖溶液处理小麦,测定小麦发芽势、发芽率、干(湿)重、胚根长、胚芽长,及干旱胁迫下超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性。结果表明:壳聚糖处理可提高小麦种子萌发等生理特性;干旱胁迫下小麦幼苗 SOD、POD 及 CAT 活性均高于对照组(CK);随着干旱时间的延续,POD 活性先升后降,而 CAT、SOD 活性则呈现逐渐降低趋势;干旱期间各处理小麦苗期生理特性差异较小,但干旱后壳聚糖溶液处理幼苗恢复情况强于对照组。壳聚糖溶液处理对小麦种子萌发和幼苗生长有促进作用,对于干旱胁迫下幼苗保护酶活性有明显提高作用。

**关键词:**壳聚糖;小麦;干旱胁迫;保护酶

**中图分类号:**S512.101 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7601(2011)01-0206-04

壳聚糖(Chitosan, CTS),又称为脱乙酰甲壳素、甲壳胺,是通过将甲壳素进行一定程度的脱乙酰基而获得。壳聚糖是一种天然的高分子物质,它的许多结构特性与纤维素相似,是一类氨基多糖<sup>[1]</sup>。前人研究证明甲壳素可以从蟹壳、虾壳等天然物质中提取,蟹壳、虾壳等废料来源广、价格低廉,将其制成甲壳素(壳聚糖),无疑是一种废物再利用的新的有效途径<sup>[2]</sup>。壳聚糖具有无毒、无害、安全可靠等特点,产量仅次于纤维素的第二大可再生资源<sup>[3]</sup>,是自然界中唯一的天然碱性多糖<sup>[3~6]</sup>,也是少数带电荷的天然产物。作为一种天然高分子生物材料,壳聚糖有许多特殊的功能和广泛的用途:其短链降解产物能调节植物生长<sup>[4]</sup>,提高植物几丁质酶活性<sup>[5]</sup>,增强植物抗真菌病害的能力<sup>[6]</sup>;壳聚糖还可用作多种粮食、蔬菜作物种子的处理剂,激发种子提前发芽<sup>[7,8]</sup>;许多研究认为它可以作为新型的植物生长调节剂,促进作物生长,增强作物抗病虫害能力,从而大大提高粮食和蔬菜的产量<sup>[9]</sup>。

大量资料显示,壳聚糖在饲料添加剂、种子处理剂、土壤改良剂等方面应用广泛。小麦的生长、抗旱机制也越来越为人们所重视。近年来,有许多科研小组致力于改良小麦抗旱方式的研究,并取得了一些成果<sup>[8]</sup>。苟作旺等研究表明小麦根系的数量较少,根总干重中等,但根系较长的品种抗旱性较强;吴永成等报道,水分穿过根组织进入木质部的流动阻力是限制植物水分吸收的一个瓶颈<sup>[9]</sup>;另据报道,抗旱性强的

品种水势高,过氧化氢酶(CAT)活性随土壤含水量的增加而增加<sup>[10]</sup>。同时近年来发现,壳聚糖对植物抵抗逆境也有一定的作用,如可提高香蕉幼苗、黄瓜幼苗的抗冷性,增强小麦和油菜的抗病能力,但关于壳聚糖处理对苗期小麦抗旱性影响的研究报道较少<sup>[11~14]</sup>。了解壳聚糖对植物的保护酶产生的影响,进行小麦抗旱方式的优化,具有重要的实际意义。本试验选择壳聚糖作为处理剂,以细沙为栽培土壤,研究了不同浓度的壳聚糖溶液对小麦种子萌发、幼苗生长以及干旱胁迫下保护酶活性的影响,以及干旱后幼苗恢复情况,旨在为壳聚糖对小麦种子萌发、茎叶根系生长以及抵抗干旱胁迫的影响提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**1.1.1 供试土壤** 供试土壤为细沙,采自山东威海国际海水浴场。细沙取回后经历混匀、冲洗、风干、过滤等四步,制成 pH 7.7±0.2 的供试土壤。

**1.1.2 供试小麦品种** 供试小麦品种为“先超一号”(纯度≥99.0%,净度≥90.0%,发芽率≥85%,水分≤13.0%)、“良星 66”(纯度≥99.0%,净度≥92.0%,发芽率≥80%),购买于济南、潍坊种子站。

### 1.2 试验设计

盆栽试验时,两个品种小麦各取粒大饱满、生长程度相似的种子 960 粒,放入冰箱进行低温(3℃)处理 2 d,取出后随机平均分为 24 组,每组 40 粒,分别

收稿日期:2010-06-10

基金项目:国家大学生创新性实验计划(101042239);山东大学威海分校科研立项资助项目(A10031)

作者简介:姜 山(1990—),男,山东济南人,主要从事海洋天然产物化学的研究 E-mail: paul\_jiang@mail.sdu.edu.cn。

通讯作者:朱启忠(1957—),男,教授,主要从事生物化学和酶工程学方面的教学和科研工作。E-mail: hzzqz@sdu.edu.cn。

浸入 0%、0.2%、0.4%、0.6% 的不同浓度的壳聚糖溶液对种子进行包衣处理 1 h<sup>[4]</sup>,晾干后分别种在装有 700 g 细沙的 24 个塑料花盆(花盆底部开 5 孔,口部直径 12 cm)内,置于向阳处培养。试验共分 ABCD 4 组:A、B、C 组各 6 盆,为试验组;D 组 6 盆,为对照组(CK)。4 组每天均光照 12 h,光照强度约为 50 μmol/(m<sup>2</sup>·s)。

根据以上试验的测定结果选择种子活力较大品种的种子为干旱胁迫试验的供试小麦,进行干旱胁迫下的盆栽试验。取粒大饱满、生长程度相似的种子 960 粒,放入冰箱进行低温(3℃)处理 2 d,取出后随机平均分为 24 组,每组 40 粒,种在装有 700 g 细沙的 24 个塑料花盆(花盆底部开 5 孔,口部直径 12 cm)内,置于向阳处培养。试验共分 ABCD 4 组:A、B、C 组各 6 盆,为试验组,分别在小麦种后第 10 至 15 天喷洒 0.2%、0.4%、0.6% 的壳聚糖溶液 20 ml;D 组 6 盆,为对照组,喷洒等量的蒸馏水。喷洒过程中将花盆摆成正六边形,保证每盆小麦均匀受喷;同时遮蔽土壤,以免喷洒出的水或壳聚糖落到土壤中对试验产生影响。ABCD 4 组每天均光照 12 h,光照强度约为 50 μmol/(m<sup>2</sup>·s)。第 16~20 天停止对小麦进行喷洒处理,正常光照下缺水培养,第 21 天时测定小麦保护酶活性,连续测定 5 d。

1.3 测试方法

1.3.1 小麦发芽势、发芽率以及干、湿重的测定 种子处理后第 3 天,统计正常幼苗数,并计算小麦种子的发芽势;种子处理后第 7 天时,计算小麦种子的发芽率。将小麦幼苗取出,用 pH7.8 磷酸缓冲液冲洗小麦幼苗根部,除去多余细沙。小麦幼苗分地上部和根部烘干称重,并计算出水分系数。测定全株生长采用湿重乘水分系数折算出总干重<sup>[15]</sup>。

种子发芽势(%) =  $\sum G_t / T \times 100\%$

种子发芽率(%) =  $\sum T_3 / T \times 100\%$

式中, $G_t$  为在  $t$  日的发芽数; $T$  为种子总数; $T_3$  为发芽至第 3 天时发芽种子总数。

1.3.2 小麦根系生长 种子处理后第 7 天时,将小麦幼苗取出,用蒸馏水冲洗幼苗根部,除去细沙,测其株高以及小麦幼苗的胚根、胚芽长度。根部总干重与地上部总干重之比即为根冠比<sup>[15]</sup>。

1.3.3 小麦保护酶活性测定 小麦超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)以及过氧化氢酶(CAT)的活性测定均参照李合生<sup>[16]</sup>的方法。

1.3.4 小麦生长观察 继续缺水培养至第 25 天观察干旱胁迫对小麦生长的影响,并将各组情况进行比较。第 28 天重新浇水,观察各组小麦的恢复情况。

1.4 数据处理

试验数据使用 SPSS 17.0 整理与统计分析。

2 结果与分析

2.1 壳聚糖对小麦发芽势、发芽率及干、湿重的影响

从表 1 可以看出,不同浓度的壳聚糖溶液处理小麦种子时,小麦种子的发芽势、发芽率、干重以及湿重较对照组有明显提高,说明壳聚糖包衣对小麦种子的萌发及幼苗阶段的生长起到了促进作用,除 A1 组外,促进作用十分显著( $P < 0.01$ )。“先超一号”品种小麦在 0%~0.4% 浓度范围内出现发芽势、发芽率、干、湿重随浓度升高而升高,且在 0.4% 浓度下效果最好,与对照组呈极显著性差异( $P < 0.01$ );0.6% 浓度下出现下降情况。“良星 66”品种小麦的发芽势、发芽率及干、湿重在 0%~0.6% 浓度范围内随浓度升高而提高,且总体的萌发、生长情况好于“先超一号”。

表 1 壳聚糖包衣对各组小麦发芽势、发芽率及干、湿重的影响

Table 1 Effects of chitosan coating on germination power, germination rate, wet weight and dry weight in wheat

| 品种<br>Varieties         | 组别<br>Groups | 壳聚糖包衣浓度(%)<br>Chitosan coating concentration | 发芽势(%)<br>Germination power | 发芽率(%)<br>Germination rate | 湿重(g)<br>Wet weight | 干重(g)<br>Dry weight |
|-------------------------|--------------|----------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|
| “先超一号”<br>Xianchao No.1 | D1(CK)       | 0%                                           | 77.92                       | 80.42                      | 2.11 ± 0.01A        | 0.87 ± 0.01A        |
|                         | A1           | 0.2%                                         | 78.75                       | 85.83                      | 2.13 ± 0.02A        | 1.02 ± 0.01B        |
|                         | B1           | 0.4%                                         | 85.00                       | 92.92                      | 3.25 ± 0.02B        | 1.12 ± 0.02C        |
|                         | C1           | 0.6%                                         | 84.17                       | 88.33                      | 2.72 ± 0.01C        | 1.04 ± 0.01B        |
| “良星 66”<br>Liangxing 66 | D2(CK)       | 0%                                           | 83.33                       | 87.50                      | 2.43 ± 0.01D        | 0.91 ± 0.01D        |
|                         | A2           | 0.2%                                         | 84.17                       | 86.67                      | 3.08 ± 0.02E        | 1.11 ± 0.01C        |
|                         | B2           | 0.4%                                         | 84.39                       | 92.50                      | 3.36 ± 0.01F        | 1.37 ± 0.01E        |
|                         | C2           | 0.6%                                         | 85.42                       | 93.33                      | 2.74 ± 0.02C        | 1.01 ± 0.01B        |

注:同列含相同英文字母者表示组间差异不显著,不同字母者表示组间差异显著( $P < 0.01$ )。下同。

Note: The means with different letters are significantly different at the  $P < 0.01$  probability level, and the means with the same letters are not significantly different. The same as below.

2.2 壳聚糖对小麦根茎生长的影响

两品种小麦的根茎生长情况均在 0% ~ 0.6% 浓度范围内随浓度升高而提高(表 2),与对照组有

显著或极显著差异( $P < 0.01$ )。“良星 66”品种的胚根、胚芽长度总体长于“先超一号”,且根与叶片的比重更为接近,利于幼苗根部对水分的吸收。

表 2 壳聚糖包衣对各组小麦胚根长、胚芽长及根冠比的影响

Table 2 Effects of chitosan coating on radicle length, embryonic length and R/S - ratio in wheat

| 品种<br>Varieties         | 组别<br>Groups | 壳聚糖包衣浓度(%)<br>Chitosan coating concentration | 胚根长(cm)<br>Radicle length | 胚芽长(cm)<br>Embryonic length | 根冠比<br>R/S ratio |
|-------------------------|--------------|----------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------|
| “先超一号”<br>Xianchao No.1 | D1           | 0%                                           | 12.84 ± 0.01a             | 10.48 ± 0.02A               | 0.37a            |
|                         | A1           | 0.2%                                         | 12.87 ± 0.02aB            | 10.51 ± 0.01Ag              | 0.42b            |
|                         | B1           | 0.4%                                         | 12.87 ± 0.01AB            | 11.02 ± 0.02B               | 0.43b            |
|                         | C1           | 0.6%                                         | 13.11 ± 0.03b             | 10.61 ± 0.02C               | 0.47c            |
| “良星 66”<br>Liangxing 66 | D2           | 0%                                           | 13.10 ± 0.02b             | 10.32 ± 0.01D               | 0.46c            |
|                         | A2           | 0.2%                                         | 13.29 ± 0.01c             | 10.74 ± 0.01E               | 0.54d            |
|                         | B2           | 0.4%                                         | 13.33 ± 0.02d             | 11.11 ± 0.03F               | 0.61e            |
|                         | C2           | 0.6%                                         | 13.34 ± 0.04d             | 10.45 ± 0.02aG              | 0.60e            |

综合以上结果,良星 66 品种的种子在相同环境下长势优于先超一号,具有较强的生命力。

2.3 干旱胁迫下壳聚糖对小麦幼苗保护酶活性的影响

2.3.1 SOD 活性 SOD 是膜脂过氧化防御系统的主要保护酶,它能催化活性氧发生歧化反应生成无毒分子氧和过氧化氢,从而避免植物遭受伤害。从图 1 可知,随着干旱胁迫时间的延长 SOD 活性呈下降趋势,与王海华等<sup>[17]</sup>在水稻上、任华中等<sup>[18]</sup>在番茄上观察到的结果相似。从壳聚糖喷洒效果来看,各浓度下 SOD 活性均比对照组均有提高;综合 5 d 测定结果可以看出 0.4% 浓度下处理效果最为理想,SOD 活性比对照组提高 17% 以上,差异极显著( $P < 0.01$ )。

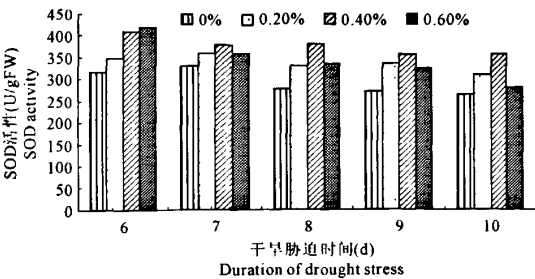


图 1 干旱胁迫下壳聚糖对小麦幼苗 SOD 活性的影响  
Fig.1 Effect of drought stress on activity of SOD of wheat seedlings

2.3.2 POD 活性 POD 是植物体内一类含血红素的氧化酶,对逆境反应较为灵敏,它催化由  $H_2O_2$  参与的各种还原剂的氧化反应,从而能氧化某些酚类、芳香胺和抗坏血酸等还原性物质<sup>[5]</sup>。从图 2 可以看出,经过壳聚糖溶液喷洒的小麦幼苗,随着干旱时间

的延长,POD 活性先升高后下降,处理第 7 天时最大;虽然在第 7 天时,0.4% 壳聚糖溶液处理的幼苗的 POD 活性最大,但随着时间的延长,0.6% 壳聚糖溶液处理的幼苗的 POD 活性略高于其他浓度处理组,且在第 10 天时比对照组高出 47.75%,差异极显著( $P < 0.01$ )。

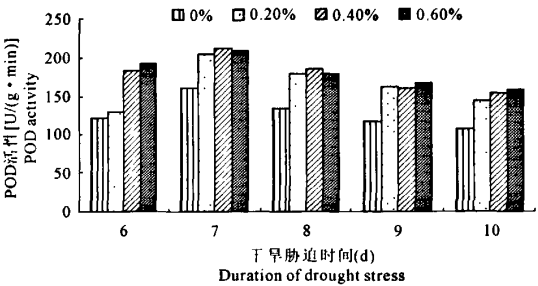


图 2 干旱胁迫下壳聚糖对小麦幼苗 POD 活性的影响  
Fig.2 Effect of drought stress on activity of POD of wheat seedlings

2.3.3 CAT 活性 CAT 也是植物机体在逆境中的保护性酶类蛋白之一,可以将  $H_2O_2$  分解成  $H_2O$  和  $O_2$ ,从而减小活性氧对有机体的毒害,其活性高低是机体自我解毒能力的标志<sup>[19]</sup>。由图 3 可以看出,随干旱时间的延长,对照和 0.6% 浓度处理小麦幼苗的 CAT 活性逐渐下降,其余两处理 CAT 活性呈现波动状态,变化平缓。总体上看,小麦幼苗的 CAT 活性随干旱情况加重而下降,4 组中未出现浓度效应,且 0.6% 浓度处理效果最佳,在干旱 6 ~ 10 d 内相比对照组均出现极显著性差异( $P < 0.01$ )。

2.4 干旱胁迫对小麦生长的影响

干旱胁迫至种后第 28 天,通过观察发现,对照、0.4% 浓度处理小麦卷曲叶片数量较少,枯黄叶片数

量较少;0.2%、0.6%浓度处理卷曲叶片数量较多,且枯黄叶片数量约占总叶片数量的40%。壳聚糖喷洒的抗旱效果不明显。各组重新浇水50 ml后置于底荫通风处,观察干旱后幼苗恢复情况。通过观察发现,经壳聚糖喷洒处理的小麦幼苗恢复能力强于对照,各盆中未出现缺水萎蔫致死的幼苗;对照中有2棵幼苗出现枯黄现象,其余幼苗恢复到正常生长状态所需时间长于壳聚糖处理组。

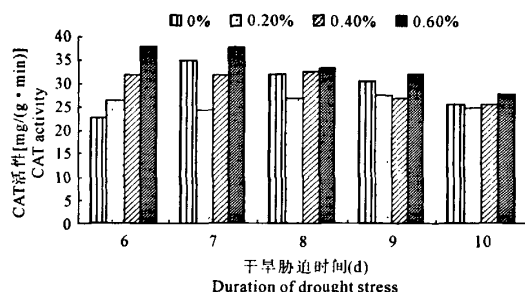


图3 干旱胁迫下壳聚糖对小麦幼苗CAT活性的影响

Fig.3 Effect of drought stress on activity of CAT of wheat seedlings

### 3 讨论

从以上试验可以看出,壳聚糖对小麦种子的包衣处理能提高种子发芽率,促进种子的萌发和幼苗的生长,从而保证了小麦自幼苗期以后的生长发育;壳聚糖处理能增高幼苗的高度,增加幼苗的干重和湿重,说明对作物生长和产量有促进作用;此外壳聚糖处理使得植株根系更加发达,促进根对水和无机盐的吸收,进而促进植株生长发育。

活性氧是植物正常代谢中的产物,在正常生长条件下,活性氧的形成和清除保持一种动态平衡,逆境胁迫,如气体污染、盐渍和病害等可诱导活性氧自由基的产生和积累,破坏这种平衡,SOD、POD、CAT正是植物体内酶促防御系统的3个保护酶,其中SOD和CAT作用大于POD<sup>[20]</sup>。本试验研究结果表明:随着干旱时间的延续,POD活性先升高后下降,而CAT、SOD活性呈现逐渐降低趋势,但是三者的相关性有待进一步研究;壳聚糖处理的幼苗的保护酶活性高于对照组,说明喷洒壳聚糖溶液对小麦幼苗中保护酶活性具有增强作用,对今后小麦抗旱新机制的研究有一定的借鉴意义。

据统计,仅加工虾蟹的废弃物虾蟹壳,每年全世界达 $1.54 \times 10^8$  t,这庞大的废弃物给环境带来了严重的污染。若将这些废弃物进行一系列加工转变为壳聚糖并利用到农作物抗旱方面,将会有广阔的前景。

### 参考文献:

- [1] 马力,郭静,刘蒲.壳聚糖含磷衍生物的合成、表征及其应用研究[J].化学进展,2010,22(5):938—947.
- [2] Dos Santos A L W, Gueddari E I, Tromboto S, et al. Partially acetylated chitosan oligo- and polymers induce an oxidative burst suspension cultured cells of the gymnosperm araucaria angustifolia[J]. Biomacromolecules, 2008, 9(12):3411—3415.
- [3] 严俊.甲壳素的化学和应用[J].化学通报,1984,(11):26—31.
- [4] Cheah L H, Page B B C, Shepherd R. Chitosan coating for inhibition of sclerotini rot of carrots[J]. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 1997, 25(1):89—92.
- [5] Hirano S, Yamamoto T, Hayashi M, et al. Chitinase activity in seeds coated with chitosan derivatives[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1990, 54(10):2719—2720.
- [6] 于汉寿,张益民,陈永萱,等.水溶性壳聚糖对小麦和油菜几丁质酶的诱导作用[J].江苏农业学报,1999,15(2):67—70.
- [7] 黄丽萍,刘宗明,姚波.壳聚糖在农业上的应用[J].天然产物研究与开发,1998,11(5):60—64.
- [8] 周天,刘晶,周晓梅,等.壳聚糖对作物的生理效应及增产作用[J].吉林师范大学学报(自然科学版),2003,(2):18—20.
- [9] 张俊凤,段新芳,李庆梅,等.壳聚糖处理对柠条种子萌发及幼苗生长的影响研究[J].种子,2009,28(9):80—83.
- [10] Loggini B, Scartazza A, Brugnoli E, et al. Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought[J]. Plant Physiology, 1999, 199(3):1091—1099.
- [11] Alexieva V, Sergiev I, Mapelli S, et al. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat[J]. Plant cell and environment, 2001, 24(12):1337—1344.
- [12] Bautista-Banos S, Hernandez-Lauzardo A N, Velazquez-del Valle M G, et al. Chitosan as a potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities[J]. Crop Protection, 2006, 25(2):108—118.
- [13] Hong Bo-shao, Zong Suo-liang, Ming An Shao, et al. Dynamic changes of anti-oxidative enzymes of 10 wheat genotypes at soil water deficits[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2005, 42:187—195.
- [14] Buchanan B B, Balmer Y. Redox regulation: a broadening horizon[J]. Annual Review of Plant Biology, 2005, 56:187—220.
- [15] 孟亚利,王璞,王立国,等.麦棉套作复合根系群体对棉花根系生长的影响[J].中国农业科学,2006,39(11):2228—2236.
- [16] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:164—167.
- [17] 王海华,康健,曾富华,等.高浓度镍对水稻幼苗生长及酶活性的影响[J].作物学报,2001,27:953—957.
- [18] 任华中,黄伟,张福媛.低温弱光对温室番茄生理特性的影响[J].中国农业大学学报,2002,7(1):95—101.
- [19] 罗明华,罗英,王璞.水杨酸处理对干旱胁迫下丹参幼苗抗氧化能力的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):102—105.
- [20] 吕金印,郭涛.水分胁迫对不同品种甜高粱幼苗保护酶活性等生理特性的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):89—93.

(英文摘要下转第218页)

## Landscape changes and its driving force in Kashi

LIU Shi-wei<sup>1,2</sup>, ZHOU Hua-rong<sup>1,2</sup>, HUANG Shi-guang<sup>1,2</sup>, LIANG Xue-qiong<sup>1,2</sup>

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 83001, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Based on the statistical data and three TM images in 1990, 2000 and 2008, and using the technology of GIS and RS, the land use change and its driving forces in Kashi in the past 20 years were analyzed. The results showed that: in the past 20 years, the single landscape types changed obviously. Along with the farmland and residential land increasing, the grassland and unused land decreased. The fragmentation and separation varied, owing to the natural and human disturbing. The artificial landscape tended to be stable and complicated, however the structure of natural landscape was simple and fragile. The dynamic degree of land use underwent an "obvious change-slow change" trend. The whole landscape fragmentation increased, and the shape became more complicated and irregular, and heterogeneity and relevancy are enhanced. During the study period, the land use degree was still very low, but increased sustainably. The informing entropy underwent a process of "order-disorder-order" change. The driving forces denote: the landscape types that can bring high revenue are disturbed more easily by human beings, while the natural landscapes are disturbed more by natural condition.

**Keywords:** landscape pattern; temporal change; driving force; Kashi

(上接第 209 页)

## Effects of chitosan on wheat germination and activities of protective enzyme in seedlings under drought stress

JIANG Shan, ZHU Qi-zhong, ZHANG Zhen-hao

(Marine College, Shandong University at Weihai, Weihai, Shandong 264209, China)

**Abstract:** To study the effects of chitosan on wheat germination power, germination rate, wet weight, dry weight, radicle length, embryonic length and activities of protective enzyme in seedlings under drought stress by measuring activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT). The results showed that all groups significantly improved the biophysical index, the activities of protective enzyme compared with CK. Activity of POD increased and then decreased, the activities of CAT and SOD decreased during the process of drought continuing. Physiological characteristics of seedlings of wheat in different groups are similar during the process of drought, but testing groups recovered faster than CK after drought. Spraying chitosan liquid can enhance wheat germination and growing, improve activities of protective enzyme in seedlings under drought stress significantly.

**Keywords:** chitosan; wheat; drought stress; protective enzyme