

宋丹华,黄俊华,王 丰,等. 铃铛刺苗期对持续干旱胁迫的生理响应[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):292-295,525.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.084

铃铛刺苗期对持续干旱胁迫的生理响应

宋丹华,黄俊华,王 丰,刘 灿

(新疆农业大学林学与园艺学院,新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:采用盆栽试验和直播试验方法,测定持续干旱胁迫条件下铃铛刺幼苗的脯氨酸、丙二醛、可溶性蛋白质、可溶性糖、可溶性淀粉、根系活力、细胞膜透性、叶绿素、根相对含水量、茎相对含水量等生理指标含量,研究铃铛刺幼苗对干旱胁迫的生理响应。结果表明:随着干旱胁迫程度的加剧,直播苗与容器苗的叶片相对含水量和叶绿素含量呈递减变化,相对电导率、脯氨酸含量、丙二醛含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量均呈递增趋势,直播苗体内的可溶性淀粉含量先升高后降低,容器苗体内的可溶性淀粉含量先减少后增加,直播苗与容器苗在根系活力上都表现为先递减后增加,干旱胁迫的第 6—9 天是植物生理变化的重要时期。直播苗比容器苗具有更强的抗旱性能,容器育苗适宜在持续干旱 6 d 进行灌溉。

关键词:铃铛刺;苗期;抗旱性;生理指标

中图分类号: Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0292-04

干旱对人类社会、经济可持续发展影响巨大,人们越来越关注干旱问题,世界 42.9% 的耕地面积是干旱半干旱耕地,我国 48% 的耕地面积是干旱半干旱耕地^[1-2]。干旱半干旱地区沙质土地不合理的利用方式经常会引发沙漠、戈壁面积增加,而且会影响陆地生态系统功能与结构,最终导致生态环境恶化^[3-4]。干旱地区生态修复的主要限制问题是缺水 and 植物生长困难,因此,筛选出耐旱植物是加快干旱半干旱地区植被生态建设、恢复生态系统的有效方法之一,植物在干旱环境下生长繁殖的必备条件是抗旱,植物的抗旱性是各种因素综合作用的产物,植物的抗旱性会通过生理生化功能、生长发育、形态适应以及生物生产力等多种形式表现^[5-8]。目前为止还没有形成统一的方法能够全面描述各种植物的抗旱特征。铃铛刺属豆科铃铛刺属灌木,产自内蒙古自治区西部和新疆维吾尔自治区、甘肃省等地(河西走廊沙地)。铃铛刺生于荒漠盐化沙土和河流沿岸的盐质土上,常见于胡杨林下^[1]。铃铛刺在年降水量为 85~175 mm、3 m 深沙层且平均含水量仅有 2.1% 的高大格状沙丘上,也可以正常生长发育、开花、结实,是非常好的固沙植物,在园林中可用作绿(花)篱,也可丛植,条件较好的地方有时出现纯丛景观。本研究选择造林常用的 2 种方式——大田直播育苗、容器育苗进行持续干旱胁迫试验,测定铃铛刺脯氨酸、丙二醛(MDA)、可溶性蛋白质、可溶性糖、细胞膜透性等生理生化指标,以期了解铃铛刺苗期持续干旱胁迫的极限时间,旨在为开发利用铃铛刺种质资源提供理论依据。

收稿日期:2015-03-27

基金项目:国家自然科学基金(编号:31160168,31260040);新疆维吾尔自治区森林培育重点学科资助项目。

作者简介:宋丹华(1989—),女,硕士研究生,主要从事野生植物资源利用研究。E-mail:sdh525@163.com。

通信作者:黄俊华,博士,教授,硕士生导师,主要从事植物资源学与植物地理学研究。E-mail:huangjunhua-7311@163.com。

1 材料与方法

1.1 材料

2014 年 4—11 月在新疆农业大学网室和新疆农业大学综合实验楼进行试验。选择采自新疆维吾尔自治区阜康市梧桐沟沙漠风景区的种子分别进行直播育苗、容器育苗,以新疆农业大学网室土壤作为供试土壤。育苗容器选用 10 cm × 15 cm 的黑色聚乙烯薄膜底部及中下部周围打孔的营养钵。每穴(盆)播种 3 粒并培育植株,每穴(盆)只保留 1 株,培育 3 个月,选择生长健康、长势一致的铃铛刺幼苗作为供试材料,于 2014 年 9 月 1 日浇透水,保证土壤吸足水分,9 月 1 日取样测定植物生理生化指标作为对照值(CK),次日开始断水处理,分别于断水后 3、6、9、12 d 取样测定,每处理取样 6 株,整个试验过程在人工温室大棚内进行。

1.2 方法

采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛含量;采用考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白质含量;采用相对电导率法测定细胞膜透性;采用 TTC 染色法测定根系活力;采用烘干法测定相对含水量;采用水合茚三酮比色法测定脯氨酸含量;采用 SPAD-502 叶绿素仪测定叶绿素含量;采用蒽酮比色法测定可溶性糖、可溶性淀粉含量。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 软件、SPSS 软件、DPS 软件统计分析数据。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对铃铛刺叶片脯氨酸含量的影响

脯氨酸是水溶性氨基酸,具有非常强的水合能力,是一种良好的渗透调节物质。植物体内脯氨酸以游离状态存在。受到干旱危害时,植物体内脯氨酸大量累积^[9]。由图 1 可以看出,随着土壤干旱胁迫的加剧,直播与容器内的铃铛刺幼苗叶片的脯氨酸含量都呈上升趋势,容器苗脯氨酸含量在断水 6 d

之前与直播苗趋势一样,增幅不大,持续断水 6 d 以后,容器苗脯氨酸含量明显增加,断水 9~12 d,增幅减缓,说明在水分胁迫初期,生成的游离脯氨酸可以维持各器官较强的渗透能力,以提高植株对干旱的适应能力,但随着干旱胁迫的进一步加剧,植物组织因严重萎蔫、碳水化合物供给减少以及酶活性丧失而导致游离脯氨酸积累减少,断水 6 d 时土壤含水量是植株良好生长的临界点,正常种植情况下应该在第 6 天进行复水。直播苗脯氨酸含量虽然呈递增趋势,但是增幅缓慢,说明直播苗受到水分胁迫的影响较容器苗小,这可能与直播苗可以吸取到地下水有关。断水 0~3 d,直播苗与容器苗脯氨酸含量差异不明显,断水 6 d 时差异显著,断水 9~12 d,差异极显著。

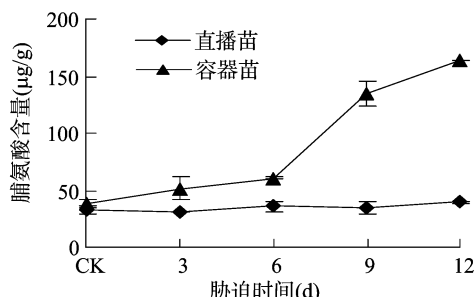


图1 干旱胁迫对铃铛刺叶片脯氨酸含量的影响

2.2 干旱胁迫对铃铛刺叶片可溶性蛋白含量的影响

蛋白质是生命的物质基础,植物在逆境条件下通过可溶性蛋白合成的增加,直接参与其适应逆境的过程。从图 2 可以看出,随着干旱胁迫的加剧,直播与容器内铃铛刺幼苗体内可溶性蛋白均呈现增加趋势。干旱胁迫时期容器内铃铛刺幼苗可溶性蛋白含量高于直播苗,干旱胁迫 9 d 时直播苗可溶性蛋白含量高于容器苗。干旱胁迫后期,容器内铃铛刺幼苗可溶性蛋白含量迅速增加。胁迫 12 d 时,直播苗和容器苗可溶性蛋白含量分别比胁迫前增加 416.58%、478.51%。直播苗与容器苗可溶性蛋白含量差异显著,从可溶性蛋白的增加可以推测有“旱胁迫蛋白”产生,这种热稳定性蛋白有利于增强苗木抗旱性。

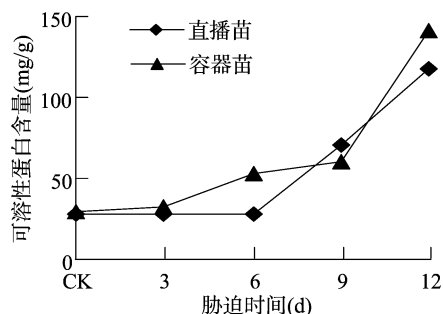


图2 干旱胁迫对铃铛刺可溶性蛋白含量的影响

2.3 干旱胁迫对铃铛刺叶片可溶性糖的影响

可溶性糖也是植物体内的一种重要的渗透调节物质,在水分胁迫下,能增加细胞液浓度,提高对水分的吸收能力及保水能力,从而有利于适应干旱缺水的环境^[10-12]。从图 3 可以看出,随着干旱胁迫的加剧,直播苗和容器苗幼苗可溶性糖含量整体上呈增加趋势。干旱胁迫初期,直播苗和容器苗幼苗可溶性糖含量变化不大,说明轻度的水分胁迫对于铃铛刺幼

苗无太大影响。干旱胁迫后期,容器苗的可溶性糖含量有所升高,但是直播苗的可溶性糖含量下降。方差分析表明,在整个干旱胁迫的各阶段,直播苗与容器苗体内可溶性糖含量只有在第 6 天差异极显著。

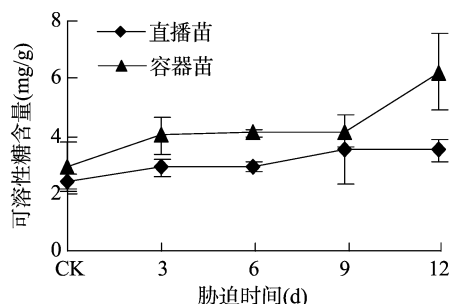


图3 干旱胁迫对铃铛刺可溶性糖含量的影响

2.4 干旱胁迫对铃铛刺叶片可溶性淀粉的影响

可溶性淀粉同样是植物体内的一种重要的渗透调节物质,植物在逆境条件下通过增加可溶性淀粉的合成,直接参与其适应逆境的过程。从图 4 可以看出,在土壤干旱胁迫过程中,直播苗体内可溶性淀粉含量先升高后降低,可能是由于这一土壤水分范围适宜其合成可溶性淀粉;容器苗体内可溶性淀粉含量呈先减少后增加趋势,临界点出现在第 6 天。

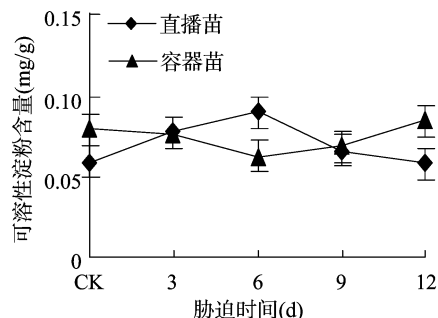


图4 干旱胁迫对铃铛刺可溶性淀粉含量的影响

2.5 干旱胁迫对铃铛刺根系活力的影响

植物根系是活跃的吸收器官和合成器官,根的生长情况和活力水平直接影响地上部的营养状况及产量水平,根系活力是表征植物根系的量。从图 5 可以看出,在土壤干旱胁迫过程中,直播苗与容器苗根系活力上都表现为先递减后增加,都在胁迫后 9 d 时递增,说明胁迫后 9 d 的土壤含水量是根系活力变化的一个临界点。胁迫后 3 d 和 12 d 直播苗和容器苗根系活力差异极显著。

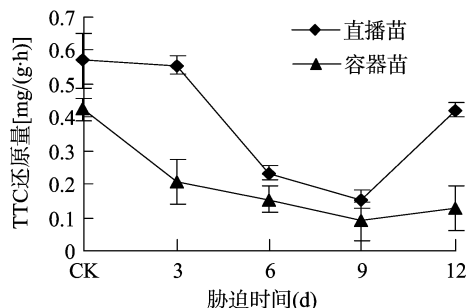


图5 干旱胁迫对铃铛刺根系活力的影响

2.6 干旱胁迫对铃铛刺 MDA 含量的影响

逆境环境会对植物细胞膜系统造成破坏,MDA 含量体现

了生物膜脂过氧化强度和膜系统受伤害程度。从图6可以看出,干旱胁迫过程中,直播苗与容器苗MDA含量都呈现升高趋势。干旱胁迫初期,铃铛刺MDA含量较低,且变化较平缓,胁迫后期,MDA含量上升较为明显。干旱胁迫后9 d,直播苗与容器苗的MDA含量分别比胁迫前增加2.12倍、2.18倍。从保护酶协调作用保护细胞膜来看,MDA含量应该越来越少。试验结果表明,随着胁迫程度的增强,MDA含量呈现升高趋势,这可能是由于保护酶活性和抗氧化物质含量的上升并不意味着活性氧清除能力同步上升,从而引起膜脂过氧化加剧。经方差分析,直播苗与容器苗MDA含量差异不显著,只有在3 d时差异显著,说明断水处理对容器苗的影响一开始就比直播苗明显。

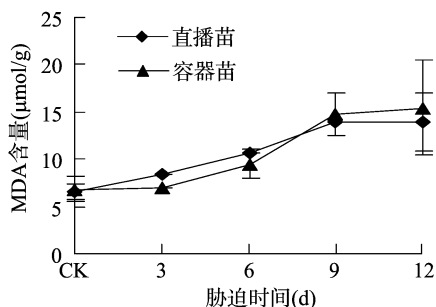


图6 干旱胁迫对铃铛刺丙二醛(MDA)含量的影响

2.7 干旱胁迫对铃铛刺细胞膜相对透性的影响

逆境对植物细胞最开始的伤害是对膜的伤害,细胞膜一旦遭到破坏,透性会增大,接着细胞内的电解质会外渗,导致细胞浸提液电导率增大^[13-14]。从图7可以看出,随着干旱胁迫的加剧,直播苗和容器苗的细胞相对透性整体呈现增加趋势,说明干旱胁迫伤害了幼苗的膜系统。干旱胁迫初期,细胞相对透性变化不大,说明轻度的水分胁迫对于铃铛刺幼苗生长无太大影响。干旱处理后期,容器苗的细胞相对透性有所升高,但是直播苗的细胞相对透性增幅不大。干旱胁迫后3 d,直播苗、容器苗的细胞相对透性分别是胁迫前的1.40倍、1.05倍;干旱胁迫后6 d,直播苗和容器苗的细胞相对透性分别是胁迫前的1.53倍、1.15倍;干旱胁迫后9 d,直播苗和容器苗的细胞相对透性分别是胁迫前的1.64倍、1.75倍,增长幅度不大,说明轻度干旱胁迫对灌木幼苗膜系统的影响不大;断水后12 d,直播苗和容器苗的细胞相对透性分别是胁迫前的1.87倍、3.03倍,容器苗的细胞相对透性与胁迫初期相比增长幅度明显变大,说明干旱胁迫程度对幼苗的影响较大。方差分析表明,干旱胁迫各阶段,直播苗与容器苗体内细胞相对透性只在胁迫后9 d和12 d差异显著。

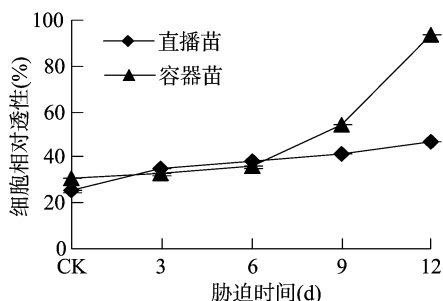


图7 干旱胁迫对铃铛刺细胞相对透性的影响

2.8 干旱胁迫对铃铛刺叶绿素含量的影响

逆境下植物光合能力会受到严重影响,叶绿素是植物光合作用的重要参与物质,所以叶绿素含量变化可直接反映植物受干旱胁迫的程度^[15]。叶绿素含量是衡量叶片衰老程度的重要生理指标。从图8可见,随着干旱胁迫加剧,直播苗和容器苗的幼苗叶绿素含量整体呈递减趋势,整体变化趋势不明显,说明轻度水分胁迫对于铃铛刺幼苗叶绿素含量影响不大。干旱处理后期,直播苗和容器苗的幼苗叶绿素含量较胁迫前递减明显。方差分析表明,整个干旱胁迫过程中,直播苗与容器苗体内可溶性糖含量只有在胁迫后12 d差异显著。

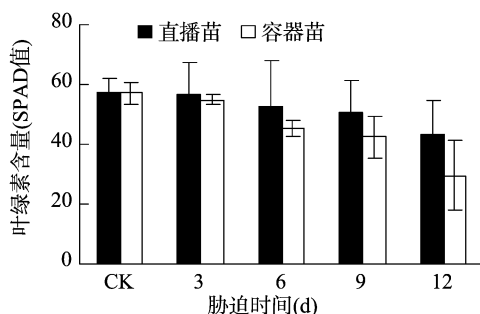


图8 干旱胁迫对铃铛刺叶绿素含量的影响

2.9 干旱胁迫对铃铛刺相对含水量的影响

从图9、图10可以看出,干旱处理0~6 d,铃铛刺直播苗与容器苗的根、茎相对含水量基本一样。干旱处理9 d,直播苗与容器苗的根、茎相对含水量出现差异,直播苗的根、茎相对含水量高于容器苗,且直播苗与容器苗的根相对含水量差异显著。干旱处理12 d,直播苗与容器苗的茎相对含水量差异显著。

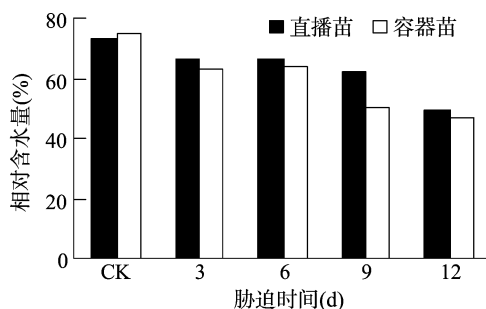


图9 干旱胁迫对铃铛刺根相对含水量的影响

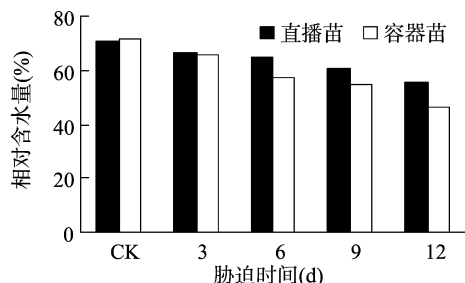


图10 干旱胁迫对铃铛刺茎相对含水量的影响

3 结论与讨论

植物抗旱性受到多种因素影响,只靠单一指标无法反映植物整体抗旱能力,因此需要采用多个指标鉴定植物抗旱

性^[16]。研究表明,植物处于干旱胁迫环境时,脯氨酸、MDA、可溶性蛋白质、可溶性糖、细胞膜透性等生理生化指标含量变化可以在一定程度上反映植物的抗逆性能力^[17-21]。植物叶片相对含水量能够反映植物水分状况与蒸腾作用之间的平衡关系,是反映植物叶片水分状况的重要指标^[22]。研究表明,随着干旱胁迫程度的加强,植物叶片相对含水量下降,但抗旱能力强的植物叶片相对含水量下降速度较慢^[22]。叶绿素是与光合作用(photosynthesis)有关的最重要的色素,干旱胁迫会影响叶绿素的合成,并会加速现有叶绿素的分解,导致叶片变黄。本试验结果表明,直播苗与容器苗的叶片相对含水量和叶绿素含量均随干旱胁迫的加强呈递减变化,与陈娟等关于胡颓子(*Elaeagnus pungens* Thunb.)、三颗针(*Berberis diaphana* Maxim.)、金丝梅(*Hypericum patulum* Thunb. ex Murray)、十大功劳(*Mahonia fortunei* (Lindl.) Fedde)、刺梨(*Rosa roxburghii* Tratt.)、火棘(*Pyracantha fortuneana* (Maxim.) Li)等6种野生灌木随着水分胁迫的日益加重,叶绿素含量呈持续下降趋势的研究结果^[23]一致。直播苗的相对含水量下降速度相对较慢,说明直播苗叶片失水速度慢,水分是植物正常生命活动的必需物质之一,植物一切生命活动都必须在细胞水分充足的情况下进行,水分直接参与植物的光合作用、呼吸作用,为植物的各项生理活动正常进行提供了重要保障。干旱胁迫下,直播苗保水能力比容器苗强。从植物外观特征来看,干旱胁迫后6 d,容器苗部分叶片开始黄化,胁迫后9 d叶片开始干枯卷曲,胁迫后12 d植株叶片基本全部干枯,茎干枯严重;直播苗在干旱胁迫后12 d才开始出现叶片变黄的现象,直播苗抗旱能力明显比容器苗强。

植物细胞膜对维持细胞正常的生理代谢起着重要作用,在多种逆境环境下,植物细胞膜系统都会受到伤害,进而引起膜透性增大。张立军等研究结果表明:不同胁迫强度下,细胞膜透性的增大可能存在不同的机制,在低强度的干旱胁迫下可能是由于自由基积累引起膜脂过氧化所致,在高强度干旱胁迫下,可能是膜物理结构改变的结果,MDA是膜脂过氧化的最终产物,因此一定程度上MDA含量高低同样可以反映细胞膜脂过氧化程度和植物对逆境条件的反应^[24]。本研究表明,随着干旱胁迫程度的加强,直播苗和容器苗MDA含量和细胞相对透性均呈明显递增趋势,这与陈志成等采用盆栽试验方法,测定持续干旱条件下2年生五角枫、臭椿、黄连木幼苗的MDA含量、细胞膜透性都呈上升趋势的研究结果^[25]基本一致。只是在干旱胁迫后9 d,铃铛刺幼苗MDA含量趋于平缓,同样在干旱胁迫后9~12 d,容器苗细胞透性骤然变大,说明干旱胁迫后9 d土壤含水量是铃铛刺幼苗的一个临界点。

脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白都是植物的渗透调节物质。脯氨酸作为能起到渗透调节和渗透保护作用的氨基酸,在正常情况下其含量很少,但是当植物处在逆境条件时,普遍会表现出脯氨酸积累^[26]。因为脯氨酸是最大的水溶性氨基酸,植物受旱时脯氨酸的增加有助于细胞或组织持水,起到防脱水剂的作用。可溶性糖也是干旱胁迫下植物体内的渗透调节物质,可以增加细胞的原生质浓度,从而起到抗脱水作用。植物在干旱胁迫下,可溶性蛋白会部分转化为氨基酸,从而增加渗透性物质。本研究表明,直播苗与容器苗的脯氨酸、

可溶性蛋白、可溶性糖含量都随着干旱胁迫的增加而增加,直播苗的脯氨酸、可溶性蛋白、可溶性糖含量变化缓慢,说明直播苗比容器苗具有更强的渗透调节能力及抗旱性,并且容器苗的脯氨酸、可溶性蛋白、可溶性糖含量在干旱胁迫后9 d猛然增加,说明干旱胁迫后9 d土壤含水量是容器苗的一个临界点。

干旱胁迫条件下,容器苗的根系活力在干旱胁迫第3天变化明显,可溶性淀粉含量在干旱胁迫后6 d变化明显,脯氨酸含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、MDA含量、细胞相对透性等生理生化指标都在干旱胁迫的第9天变化明显,这与上文中提到的容器苗外观特征表现相呼应,说明容器育苗方式干旱胁迫极限是9 d。干旱胁迫条件下,直播苗只有可溶性蛋白、可溶性淀粉、细胞相对透性在干旱胁迫第6天产生明显变化,其余生理生化指标都变化缓慢。干旱胁迫后12 d才开始出现叶片变黄现象,说明直播苗直到干旱胁迫后12 d也没有达到干旱胁迫极限,直播苗的干旱胁迫极限天数有待进一步研究。干旱胁迫后6~9 d是植物生理变化的重要时期,容器苗在灌溉时,干旱胁迫时间不要超过9天,最好在干旱胁迫6 d开始进行灌溉,直播苗最好在干旱胁迫后9 d开始灌溉。在铃铛刺苗期生长阶段,容器育苗的持续干旱时间不应超过6 d。直播苗比容器苗具有更强的抗旱性能,原因可能是干旱胁迫时直播苗根部可以吸收地下水。

参考文献:

- [1] 吴征镒,陈心启,洪德元,等. 中国植物志:总论[M]. 北京:科学出版社,2003:17-22.
- [2] 武维华. 植物生理学[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [3] 孙鸿烈. 中国生态问题与对策[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [4] 王 移,卫 伟,杨兴中,等. 黄土丘陵沟壑区典型植物耐旱生理及抗旱性评价[J]. 生态与农村环境学报,2011,27(4):56-61.
- [5] 邹 琪. 植物生理实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2001:159-164.
- [6] 赵丽英,邓西平,山 仑. 活性氧清除系统对干旱胁迫的响应机制[J]. 西北植物学报,2005,25(2):413-418.
- [7] 鲁 萍,桑卫国,马克平. 外来入侵种飞机草在不同环境胁迫下抗氧化酶系统的变化[J]. 生态学报,2006,26(11):3578-3585.
- [8] 杨 帆,苗灵凤,胥 晓. 干旱胁迫对植物的影响研究进展[J]. 应用与环境生物学报,2007,13(4):586-591.
- [9] 张建国,李吉跃,沈国防. 树木耐旱特性及其机理研究[M]. 北京:中国林业出版社,2000:122-123.
- [10] 孙昌祖. 渗透胁迫对青杨叶片氧自由基伤害及膜脂过氧化的影响[J]. 林业科学,1993,29(2):104-109.
- [11] 李锦树,王洪春,王文英,等. 干旱对玉米叶片细胞透性及膜脂的影响[J]. 植物生理学报,1983,9(3):223-229.
- [12] 李广敏,关军峰. 作物抗旱生理与节水技术研究[M]. 北京:气象出版社,2001:75-77.
- [13] 胡新生,王世绩. 树木水分胁迫生理与耐旱性研究进展及展望[J]. 林业科学,1998,34(2):77-89.
- [14] 刘建伟,刘雅荣,王世绩. 不同杨树无性系光合作用与其抗旱能力的初步研究[J]. 林业科学,1994,30(1):83-87.
- [15] 裴宗平,余莉琳,汪云甲,等. 4种干旱区生态修复植物的苗期抗旱性研究[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(3):204-208.

(下转第 525 页)

表 5 各项指标权重

指标	准则层	指标代号	各指标权重	准则层权重
地均固定资产投资(万元/km ²)	土地利用投入强度	X_1	0.144 7	0.190 2
人均道路面积(m ²)		X_2	0.045 5	
在岗职工平均工资(元)	土地利用程度	X_3	0.110 7	0.227 7
人口密度(人/km ²)		X_4	0.061 0	
城镇化率(%)		X_5	0.056 0	
地均 GDP(万元/km ²)	土地利用效益	X_6	0.092 7	0.382 5
地均农业产值(万元/km ²)		X_7	0.114 2	
地均工业产值(万元/km ²)		X_8	0.090 2	
地均社会消费品零售总额(万元/km ²)	土地可持续利用度	X_9	0.085 4	
人均公共绿地面积(m ²)		X_{10}	0.090 2	0.199 0
森林覆盖率(%)		X_{11}	0.108 8	

推进,土地利用更加集约。伊犁州直土地集约利用度从 2003 年的 -3.31 上升至 2012 年的 4.25,土地集约利用程度有了大幅度提高,能够合理有效地使用土地。而这与土地投入的不断增加有着密切的关系。采用熵权法计算得出各指标所占权重,在伊犁州直城市化迅速发展的阶段,地均固定资产投资不断增加,它是促进伊犁州直土地集约利用的主要因素,此外,地均农业产值、在岗职工平均工资、森林覆盖率、地均 GDP、地均工业产值等因素对伊犁州直土地集约利用也有巨大贡献。

在城市发展开发过程中还需要注意生态环境等问题,避免因污染而影响土地集约利用;在今后发展过程中,还应充分利用闲置土地,注重土地整理,进行土地挖潜,提高城市土地的空间利用率和容积率;合理统筹不同产业对土地的需求,实行区域用地年度管理制度和用地总量控制等,以提高伊犁州直的土地利用效益,实现土地资源的可持续发展。

由于耕地集约利用涉及面广、影响因素众多,加之可借鉴的相关研究成果不多和部分指标数据的不可获取,本研究只选取了部分主要指标对伊犁州直土地集约利用进行综合评价,其评价指标体系有待进一步完善。

参考文献:

[1]朱天明,杨桂山,万荣荣. 城市土地集约利用国内外研究进展[J]. 经济地理,2009,29(6):977-983.

[16]周仕千,陈张雷,郭 丽. 西南地区 3 种护坡灌木对干旱胁迫的响应研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(35):21712-21713,21782.

[17]李慧卿,马文元. 沙生植物抗旱性比较的主要指标及分析方法[J]. 干旱区研究,1998,15(4):12-15.

[18]蒋宣斌,耿养会,彭 秀,等. 常绿岩垂草抗旱生理特性分析[J]. 西南林业大学学报,2012,32(4):17-21.

[19]李 源,师尚礼,王 赞,等. 干旱胁迫下鸭茅苗期抗旱性生理研究[J]. 中国草地学报,2007,29(2):35-40.

[20]芦 静,曹俊梅,周安定,等. PEG 处理下新疆冬小麦品种幼苗期生理指标的抗旱性研究[J]. 新疆农业科学,2014,51(3):393-402.

[2]毕宝德. 土地经济学[M]. 6 版. 北京:中国人民大学出版社,2010.

[3]陈柯斯. 报酬递减规律在土地集约利用中的应用[J]. 商业文化:学术版,2008(6):152.

[4]杨红梅,邱道持,张传华,等. 基于因子分析的城市土地集约利用比较研究[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2006,31(1):165-169.

[5]温秀琴,汪应宏,陈 晨,等. 主成分分析法与熵值法结合用于土地集约利用评价——以徐州市为例[J]. 安徽农业科学,2008,36(28):12372-12373,12538.

[6]伊犁哈萨克自治州 2013 年国民经济和社会发展统计公报[R]. (2014-02-25)[2015-01-15]. <http://www.xjyl.gov.cn/info/1072/46598.htm>.

[7]渠丽萍,张丽琴,胡伟艳. 城市土地集约利用变化影响因素研究——以武汉市为例[J]. 资源科学,2010,32(5):970-975.

[8]赵小凤,黄贤金,陈 逸,等. 城市土地集约利用研究进展[J]. 自然资源学报,2010(11):1979-1996.

[9]张富刚,郝晋珉,姜广辉,等. 中国城市土地利用集约度时空变异分析[J]. 中国土地科学,2005,19(1):23-29.

[10]张田鑫. 西安市城市土地集约利用评价及提高途径研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2013.

[11]李洪波. 城市土地集约利用途径探索[D]. 北京:北京林业大学,2010.

[12]曹银贵,周 伟,王 静,等. 基于主成分分析与层次分析的三峡库区耕地集约利用对比[J]. 农业工程学报,2010,26(4):291-296.

[21]周锋利,宋西德,齐高强,等. 臭柏抗旱生理特性研究[J]. 西南林学院学报,2005,25(3):1-4.

[22]孟 林,杨宏新,毛培春,等. 偃麦草属植物种间苗期抗旱性评价[J]. 草业学报,2011,20(5):34-41.

[23]陈 娟,陈其兵,潘远志,等. 6 种野生灌木的抗旱性研究[J]. 四川林业科技,2007,28(5):50-54,49.

[24]张立军,胡文玉,戴俊英. 渗透胁迫下玉米幼苗离体叶片膜透性变化机理的研究[J]. 沈阳农业大学学报,1996,27(3):207-210.

[25]陈志成,王志伟,王荣荣,等. 3 种阔叶树种对持续干旱的生理响应及抗旱性评价[J]. 中国水土保持科学,2013,11(2):65-71.

[26]孟 鹏,李玉灵,张柏习,等. 沙地彩武松与樟子松苗木抗旱生理特性比较[J]. 林业科学,2010,46(12):56-63.