

# 种子超干贮藏对紫花苜蓿前期 生长和生理特性的影响

霍平慧, 李剑峰, 师尚礼, 张淑卿

(1. 甘肃农业大学 草业学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 草业生态系统教育部重点实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 采用硅胶室温干燥法对陇东紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L. cv. Longdong) 种子进行超干处理, 使其含水量由 9.03% (CK) 分别降至 7.09% ~ 4.59% 共八个不同含水量水平, 用铝箔纸密封, 常温下贮藏 1 年后, 采用沙培盆栽试验, 研究种子超干贮藏对苜蓿生长和生理的影响。结果表明, 超干贮藏后, 紫花苜蓿种子的出苗数、植株的株高比 CK 显著提高, MDA 含量显著降低。播种第 30 天时, 含水量为 6.36% ~ 4.59% 处理种子的出苗数较 CK 提高 25% ~ 50%; 播种第 60 天时, 种子含水量为 6.36% ~ 5.46% 处理的植株株高较 CK 提高 11.02% ~ 15.68%, 各超干处理种子的植株 MDA 含量仅为 CK 的 44.92% ~ 70.29%; 所有处理植株的根体积、地上干重、地下干重和可溶性糖含量仅为 CK 的 55.36% ~ 89.29%、63.06% ~ 88.05%、50.71% ~ 76.69% 和 63.35% ~ 97.86%; 除 4.59% 含水量处理的叶片数和 5.18% 含水量处理的根瘤数与 CK 比差异不显著, 其它各处理的单株叶片数与根瘤数均显著低于 CK, 其中各超干处理的根瘤数仅为 CK 的 63.00% ~ 92.56%。说明超干贮藏能够提高苜蓿种子的出苗数、植株的株高和耐受性, 但降低了植株的生物量及根体积, 并影响了叶片生长及根瘤的形成。

**关键词:** 紫花苜蓿; 种子超干处理; 幼苗生长; 生理

**中图分类号:** S330.3<sup>+</sup>1; Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)01-0171-06

## Effects of seed ultra-drying storage on growth and physiological characteristics of *Medicago sativa* seedlings

HUO Ping-hui, LI Jian-feng, SHI Shang-li, ZHANG Shu-qing

(1. College of Grassland Science, Lanzhou, Gansu, 730070, China;

2. Gansu Agricultural University / Key Laboratory of Grassland Ecosystem of Ministry of Education / Sino - U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** *Medicago sativa* L. cv. Longdong was used as test material to explore the effect of ultra-drying storage on seedling growth. The seeds were ultra-dried from an initial moisture content of 9.03% (CK) to 7.09% ~ 4.59%, respectively, with silica gel method, and then hermetically sealed in aluminized paper at ambient temperature for storage. One year later, all the seeds with different moisture contents were sown in pot with sand to study the growth and physiology of the resulting seedlings. The result indicated that moderately ultra-dried seeds performed better in seedling emergence, shoot height and MDA content, on day 30, seedling number of treatments with moisture contents from 6.36 to 4.59 were 25% ~ 50% times higher than the control, and on day 60, shoot height of treatments with moisture contents from 6.36 to 5.46 were 11.02% ~ 15.68% times higher than control. MDA content of all the ultra-drying treatments were only 44.92% ~ 70.29% of the CK treatment. Root volume, aboveground dry weight, underground dry weight and soluble sugar content were only 55.36% ~ 89.29%, 63.06% ~ 88.05%, 50.71% ~ 76.69% and 63.35% ~ 97.86% of the CK, respectively, except the non-significant difference of 4.59% treatment in leaf number and 5.18% treatments in nodule number compared with CK. All the other treatments were found significantly lower than CK in leaf and nodule numbers, and the nodule number of the ultra-dry treatments was only 63.00% ~ 92.56% of CK, indicating

收稿日期: 2013-04-26

基金项目: 国家自然科学基金(31060326); 甘肃农业大学盛彤笙科技创新基金(GSAU-STS-1224)

作者简介: 霍平慧(1986—), 女, 山东郯城人, 在读博士, 主要从事牧草种质资源方面的研究。E-mail: lovelylabelhuo@126.com.

通信作者: 师尚礼(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事牧草种质资源方面的研究。E-mail: shishl@gasu.edu.cn.

that ultra-drying storage could increase seedling emergence, shoot height and plant resistance, but decrease plant biomass and root volume.

**Keywords:** *Medicago sativa* L.; ultra-dried seed; seedlings; physiology

种子超干贮藏是通过降低种子含水量至种质保存的安全含水量(5%~7%)甚至更低,以达到安全保存种质目的的一种技术<sup>[1]</sup>,与传统的低温冷藏法相比较,具有环保、节能和低耗的优点。Ellis 研究证实超干处理可提高芥菜(*Brassica juncea*)、甘蓝型油菜(*Brassica napus*)和向日葵(*Helianthus annuus*)等作物种子的贮藏耐性<sup>[2]</sup>。Ellis 和 Hong 研究表明种子水分含量对红三叶、紫花苜蓿种子的寿命有显著影响<sup>[3]</sup>。目前有关超干处理的研究多集中在如何提高种子耐贮性和活力等方面<sup>[1,4-5]</sup>,但有关种子超干处理及贮藏对植株生长的影响尚少见文献报道。超干贮藏作为种子的一种预处理方式,深入探讨其与植株生长的关系,对种子超干贮藏技术在种植和生产中的应用具有一定的实践指导意义。

紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)是多年生优质豆科牧草,对多种胁迫环境具有抗性并能够适应低营养条件,在世界范围内种植较为广泛,种子需求量大,寻求一种优质、低耗的种质保存方法十分重要。本试验采取沙培与营养液培养相结合的方法,对不同程度干燥处理的陇东苜蓿种子进行盆栽实验,测定各处理苜蓿植株的生长状况及生理反应,旨在为种子超干贮藏技术在紫花苜蓿上的应用提供理论指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料与试验设计

1.1.1 试验材料 供试材料为陇东紫花苜蓿(*Medicago sativa* L. cv. Longdong)种子,由甘肃农业大学草业生态系统教育部重点实验室提供。纯净度 98.5%,发芽率 85.5%,含水量 9.03%,室温(23℃~26℃)通风处避光保存。

1.1.2 种子处理方法 采用硅胶干燥法<sup>[4]</sup>对种子进行超干处理。选取 5 g 饱满均匀的种子,装入透气网袋并埋入硅胶,种子与硅胶的比例为 1:10(w/w),每 24 h 更换一次硅胶(120℃高温烘干至恒重)。将种子分别干燥 12、24、48、72、96、120、144 h 和 216 h 后,种子含水量由 9.03%(CK)分别降至 7.09%、6.93%、6.36%、5.72%、5.46%、5.18%、4.97%和 4.59%;干燥后的种子用双层铝箔纸密封,置于盛满硅胶的干燥皿中,室温(23℃~26℃)下贮藏 1 年。

1.1.3 种子含水量测定 参照 James 等<sup>[6]</sup>的方法,将种子置于 105℃烘箱中烘烤 72 h。

1.1.4 种子复水处理 为避免吸胀损伤,利用不同的盐饱和溶液[CaCl<sub>2</sub> RH = 35.0%(20℃),NH<sub>4</sub>Cl RH = 75.0%(20℃),水溶液 RH = 100.0%]调节密封环境的相对湿度,将种子依次置于这 3 种溶液形成的湿度环境中 24 h,由低到高逐渐提高种子含水量<sup>[7]</sup>。

1.1.5 盆栽方法 清洁河沙过 1 mm 筛后清水洗净,蒸馏水浸洗 3 遍,121℃下高温灭菌 2 h。

选择饱满一致的种子,均匀播于盛有 480 g 121℃下高温灭菌河沙的培养钵中(口径 7 cm,深 7.5 cm,容积 200 mL),每钵 25 粒,覆沙 40 g 后置入 Hoagland 营养液水槽中,每处理 3 次重复,待培养钵完全渗透后,保持水槽的营养液高度在 1 cm。播种后用蒸馏水补充营养液至所需高度,每 3 天用营养液灌透各处理一次,使营养液的浓度维持在所需水平。

Hoagland 营养液的配制<sup>[8]</sup>:大量元素:Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 417 mg·L<sup>-1</sup>;KNO<sub>3</sub> 607 mg·L<sup>-1</sup>;MgSO<sub>4</sub> 493 mg·L<sup>-1</sup>;(NH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 115 mg·L<sup>-1</sup>;微量元素:H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 2.86 mg·L<sup>-1</sup>;MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O 1.81 mg·L<sup>-1</sup>;ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0.22 mg·L<sup>-1</sup>;CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 0.08 mg·L<sup>-1</sup>;H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 0.02 mg·L<sup>-1</sup>。营养液用 NaOH(1 mol·L<sup>-1</sup>)或 HCl(1 mol·L<sup>-1</sup>)调节 pH 值至 7.0。

### 1.2 测定指标与方法

1.2.1 出苗数、叶片数和株高的测量 播种后 10 天起,每 5 天记录出苗数,直至第 30 天各处理的出苗数基本稳定为止<sup>[9]</sup>;播种后第 10 天、30 天和 60 天分别记录各处理的叶片数,并将各处理随机标记 3 株,从苗基部至叶片顶端测量其高度并求平均值<sup>[10]</sup>。

1.2.2 植株生物量、根长、根体积和根瘤数的测定

播种第 60 天,将苜蓿植株从培养钵中取出,蒸馏水冲洗干净,并用吸水纸吸去植株表面附着的水分,然后取出标记植株,将其地上部分与地下部分分开后分别测定鲜重、根系长度和体积(WinRHIZO 根系分析系统,Regent Instruments, Inc., Ouebec., Canada)及植株结瘤数,然后置于烘箱中 105℃杀青 15 min 后,调至 80℃烘至恒重并称取干重<sup>[11]</sup>。

1.2.3 植株根系活力的测定<sup>[12]</sup> 播种第 60 天时,取出钵中苜蓿植株,并称取新鲜根系 0.1 g,浸入

66.7 mmol·L<sup>-1</sup>的 PBS(含有 0.2% TTC)溶液中,37℃ 避光保温 1 h,然后加入 1 mol·L<sup>-1</sup>的硫酸终止反应。取出根研磨后用乙酸乙酯反复提取红色的 TTC 还原产物 TTF,于 485 nm 波长下测定提取液的 OD 值。根据标准曲线计算 TTC 还原量。以单位时间内单位鲜根还原的 TTC 量表示根系还原力,反映植株的根系活力,单位:μg·g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>FW。

1.2.4 叶片叶绿素含量的测定<sup>[13]</sup> 称取 0.5 g 新鲜苜蓿叶片,加 80% 的丙酮研磨提取后,测定 663 nm、646 nm、470 nm 下的 OD 值,根据修正的 Arnon 公式计算浓度:

$$Ca = 12.21 \times OD_{663} - 2.81 \times OD_{646}$$

$$Cb = 20.13 \times OD_{646} - 5.03 \times OD_{470}$$

式中, *Ca*、*Cb* 分别为叶绿素 a、叶绿素 b 的浓度; *OD*<sub>663</sub>、*OD*<sub>646</sub>、*OD*<sub>470</sub> 分别为提取液在波长 663 nm、646 nm、470 nm 下的 OD 值。

叶绿素含量(mg·g<sup>-1</sup>) = 色素浓度 × 提取液体积 × 稀释倍数/样品鲜重。

1.2.5 丙二醛(MDA)含量的测定<sup>[14]</sup> 称取新鲜苜蓿叶片 0.5 g,加 5 mL 10% TCA 溶液及少量石英砂,研磨至匀浆,4 000 r 离心 10 min,取 2 mL 上清液(对照为 2 ml 蒸馏水),加 2 mL 0.6% TBA 溶液,混匀后沸水浴反应 15 min,迅速冷却后离心 10 min,测定 532 nm、600 nm、450 nm 波长下的 OD 值。

MDA 浓度(nmol·L<sup>-1</sup>) = 6.45 × (*OD*<sub>532</sub> - *OD*<sub>600</sub>) - 0.56 × *OD*<sub>450</sub>

MDA 含量(nmol·g<sup>-1</sup>) = MDA 浓度(nmol·L<sup>-1</sup>) × 提取液体积(mL)/1000/植物组织鲜重(g)

1.2.6 叶片可溶性糖含量的测定<sup>[15]</sup> 取新鲜苜蓿叶片 0.5 g,剪碎后装入试管,加 10 mL 蒸馏水并封

口后于沸水浴中提取 30 min,将提取液转至容量瓶中定容。取提取液 0.5 mL,加蒸馏水 1.5 mL,然后按顺序向试管中加入 0.5 mL 蒽酮乙酸乙酯试剂、5 mL 浓硫酸,充分震荡后放入沸水浴中保温 1 min,取出后自然冷却,测定 630 nm 下的 OD 值。

可溶性糖含量(%) = (*C* × *V*/*a* × *n*)/(*W* × 10<sup>6</sup>)  
式中,*C* 为标准方程求得糖量(μg);*a* 为吸取样品液体积(mL);*V* 为提取液体积(mL);*n* 为稀释倍数;*W* 为组织重量(g)。

### 1.3 数据分析

采用 SPSS16.0 以 SNK 法进行数据分析和差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 苜蓿种子超干贮藏对出苗数和植株生物量的影响

超干处理后,苜蓿种子的出苗数随着种子含水量的降低呈先升高后降低的趋势(图 1)。出苗 10~20 d 时,不同超干处理苜蓿种子的出苗数均显著低于对照(CK)(*P* < 0.05)或与 CK 差异不显著;出苗 25 d 时,5.72%~5.46% 含水量范围内苜蓿种子的出苗数显著高于 CK;出苗 30 d 时,6.36%~4.59% 含水量范围苜蓿种子的出苗数显著高于 CK(*P* < 0.05),且与种子含水量呈  $y = -0.3333x^2 + 3.8333x + 3.75$  相关( $r = 0.8466$ )。说明适度超干处理可以促进种子的萌发与出苗,本试验中 CK 的成苗数则随着时间的推移出现降低现象,说明部分出土幼苗难以适应外部环境而死亡,而所有超干处理未发现这一现象,表明种子超干处理提高了幼苗对外部环境的适应能力。

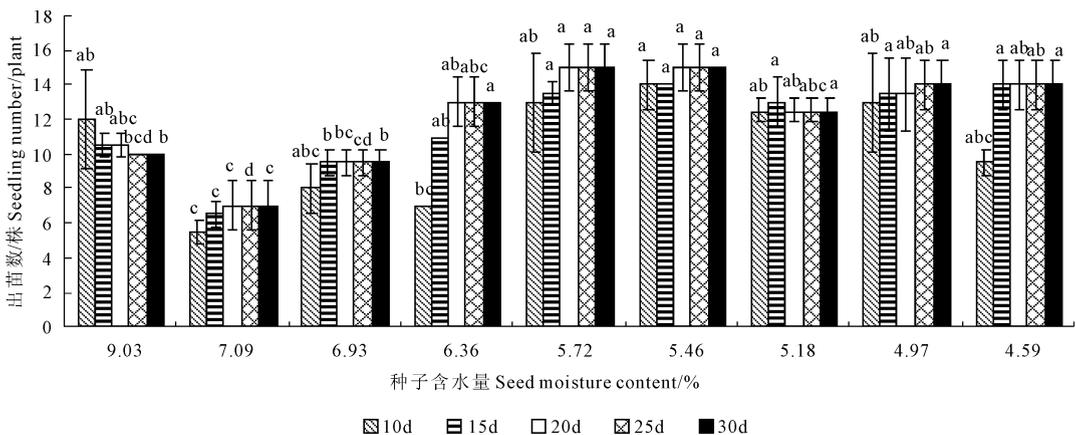


图 1 不同含水量超干苜蓿种子盆栽的出苗数

Fig. 1 Seedling number for each pot sown by seeds with different moisture contents

如图 2 所示,超干处理后,各处理植株的地上部

分鲜重与 CK 差异不显著或显著低于 CK,各处理植

株的地下部分鲜重均显著低于 CK ( $P < 0.05$ )。由图 3 可知,超干处理后,各处理植株的干重指标与鲜重指标表现一致,即各处理植株的地上部分干重与 CK 差异不显著或显著低于 CK ( $P < 0.05$ ),各处理植株的地下部分干重均显著低于 CK ( $P < 0.05$ )。说明种子超干处理对植株的生物量不仅没有促进作用,甚至降低了植物的生物量,这一现象在地下部分生物量指标中表现尤为突出。

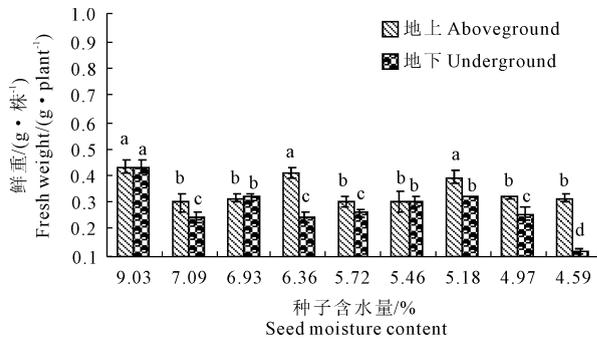


图 2 不同含水量超干苜蓿种子盆栽植株的鲜重

Fig.2 Fresh weight of seedlings of ultra-dried seeds with different moisture contents

## 2.2 种子超干贮藏对苜蓿植株的株高、单株叶片数和根瘤数的影响

由表 1 可知,超干处理后,5.46%、5.72% ~ 4.97% 和 6.36% ~ 5.46% 含水量范围内各处理植株

表 1 不同含水量超干苜蓿种子盆栽植株的株高、单株叶片数和根瘤数

Table 1 Shoot height, individual leaflet number and individual nodule number for seedlings of ultra-dried alfalfa seeds with different moisture contents

种子含水量 Seed moisture content/%	株高 Shoot height/cm			单株叶片数 Individual leaflet number			单株根瘤数 Individual nodule number
	10 d	30 d	60 d	10 d	30 d	60 d	
9.03(CK)	2.20 ± 0.35bc	9.68 ± 0.23d	15.88 ± 1.31b	3.00 ± 0.00a	18.33 ± 1.03ab	43.67 ± 4.84a	9.00 ± 1.00a
7.09	1.75 ± 0.55c	9.55 ± 0.23d	14.63 ± 1.63b	3.00 ± 0.00a	19.33 ± 1.37a	31.33 ± 3.39c	5.67 ± 0.58d
6.93	1.85 ± 0.33c	9.15 ± 0.24d	13.77 ± 1.02b	3.00 ± 0.00a	18.50 ± 3.45ab	34.67 ± 2.80c	6.67 ± 0.58cd
6.36	1.80 ± 0.24c	9.55 ± 0.58d	18.00 ± 1.33a	2.50 ± 0.55ab	15.17 ± 1.33c	33.00 ± 3.41c	5.67 ± 0.58d
5.72	2.15 ± 0.14bc	10.83 ± 0.37bc	17.63 ± 1.28a	2.17 ± 0.41b	15.83 ± 0.41bc	36.67 ± 2.94bc	7.33 ± 0.58bc
5.46	2.88 ± 0.18a	12.37 ± 0.57a	18.37 ± 1.21a	3.00 ± 0.00a	17.67 ± 2.42abc	34.50 ± 3.56c	7.67 ± 0.58bc
5.18	2.55 ± 0.83ab	11.18 ± 0.29bc	15.13 ± 0.99b	2.83 ± 0.41a	16.50 ± 1.05bc	35.67 ± 3.08bc	8.33 ± 0.58ab
4.97	2.33 ± 0.21bc	11.47 ± 0.71b	13.87 ± 1.02b	3.00 ± 0.00a	16.17 ± 1.17bc	36.67 ± 3.61bc	6.33 ± 0.58cd
4.59	2.07 ± 0.52bc	10.28 ± 1.93cd	14.50 ± 1.38b	2.83 ± 0.41a	15.67 ± 0.82bc	41.00 ± 3.35ab	5.67 ± 0.58d

注:同列数据不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ),下同。

Note: Different lowercase letters in each column indicate significant difference at 0.05 level, the same below.

## 2.3 种子超干贮藏对苜蓿植株根系生长的影响

由图 4 可知,随着种子含水量的降低,各处理植株的根长呈单峰曲线变化,根长与种子含水量间呈  $y = 0.2573x^2 + 2.8482x + 10.616$  相关 ( $r = 0.9601$ ),除 5.46% 含水量处理的根长显著高于 CK 外,其它

的株高分别在第 10 天、30 天、60 天时显著高于 CK,其它各处理均与 CK 差异不显著 ( $P < 0.05$ )。单株叶片数在播种第 10 天、30 天时,除 5.72%、6.36% 含水量处理显著低于 CK 外,其它各处理均与 CK 差异不显著,播种第 60 天时,除 4.59% 含水量处理的叶片数与 CK 差异不显著,其它各处理的单株叶片数均显著低于对照 ( $P < 0.05$ )。单株根瘤数的变化和单株叶片数表现一致,播种第 60 天时,除 5.18% 含水量处理的单株根瘤数与 CK 差异不显著,其它各处理的根瘤数均显著低于 CK,仅为 CK 的 63% ~ 92.56%。说明适度超干处理促进了植株的高度生长,但不利于叶片的生长以及根瘤的形成。

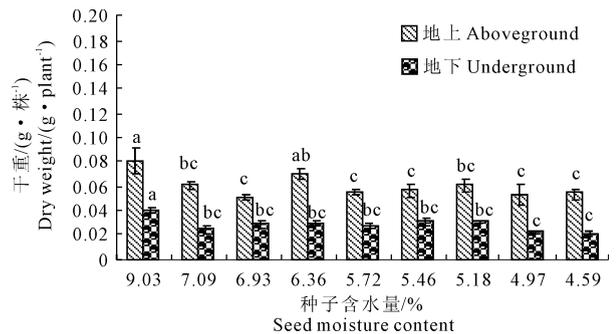


图 3 不同含水量超干苜蓿种子盆栽植株的干重

Fig.3 Dry weight of seedlings of ultra-dried seeds with different moisture contents

各处理的根长显著低于 CK ( $P < 0.05$ )或与 CK 差异不显著。所有超干处理植株的根体积呈不规则变化(图 5),均显著低于 CK ( $P < 0.05$ )。说明种子的超干处理不利于植株根系的生长。

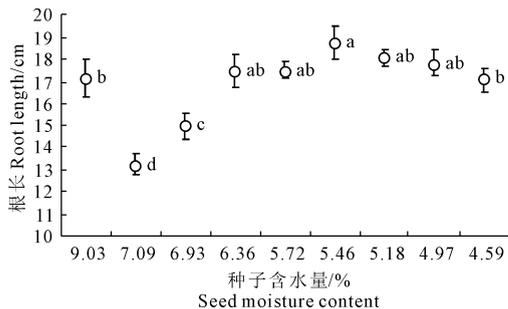


图 4 不同含水量超干苜蓿种子盆栽植株的根长

Fig. 4 Root length of seedlings of ultra-dried seeds with different moisture contents

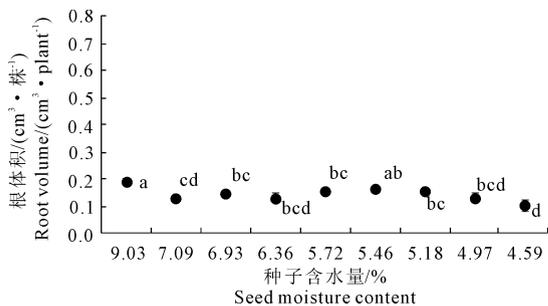


图 5 不同含水量超干苜蓿种子盆栽植株的根体积

Fig. 5 Root volume of seedlings of ultra-dried seeds with different moisture contents

表 2 不同含水量超干苜蓿种子盆栽植株的生理活性

Table 2 Physiological activity of seedlings of seeds with different moisture contents

种子含水量 Seed moisture content/%	可溶性糖含量 Soluble sugar content / (mg · g <sup>-1</sup> )	丙二醛含量 MDA content / (nmol · g <sup>-1</sup> )	叶绿素含量 Chlorophyll content (a + b) / (mg · g <sup>-1</sup> )	根系活力 Root activity / (μg · g <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup> )
9.03 (CK)	100.12 ± 4.65a	21.44 ± 1.04a	2.34 ± 0.06b	152.28 ± 9.90b
7.09	97.97 ± 5.63a	12.30 ± 1.09d	2.03 ± 0.04d	101.45 ± 7.99d
6.93	82.81 ± 4.25b	14.41 ± 1.00bc	2.17 ± 0.03c	125.99 ± 14.93c
6.36	85.68 ± 6.33b	14.50 ± 0.77bc	2.28 ± 0.05bc	86.12 ± 6.48d
5.72	80.21 ± 4.22b	13.18 ± 0.59bcd	2.01 ± 0.05d	122.15 ± 8.83c
5.46	86.65 ± 5.52b	15.07 ± 0.44b	2.49 ± 0.04a	104.28 ± 2.58d
5.18	78.07 ± 3.72b	14.11 ± 0.79bc	2.38 ± 0.09b	129.35 ± 6.88c
4.97	63.43 ± 5.44c	12.88 ± 0.60cd	2.21 ± 0.08c	190.57 ± 8.93a
4.59	63.82 ± 6.14c	9.63 ± 0.34e	1.96 ± 0.03d	150.67 ± 7.33b

### 3 讨论

研究表明,不同程度的干燥脱水处理可显著影响种子的生活力<sup>[1,4-5]</sup>。Woodstock 等研究发现在超低水分状态下洋葱种子活力保持良好<sup>[16]</sup>;Ellis 等研究发现将芝麻种子的含水量从 5%降至 2%时,种子寿命提高了 40 倍<sup>[17]</sup>。但种子超干贮藏的最佳含水量,因植物种和品种的不同而存在差异<sup>[18]</sup>。

本试验中,经超干处理并贮藏 1 年的苜蓿种子其植株在各项生理指标中的表现随着种子含水量的

### 2.4 种子超干贮藏对苜蓿植株生理活性的影响

由表 2 可知,随着种子含水量的降低,各种子超干处理植株的可溶性糖含量呈下降趋势,与种子含水量间呈  $y = -0.1091x^2 - 3.1982x + 101.53$  相关 ( $r = 0.8433$ ),各种子超干处理植株的可溶性糖含量仅为对照的 63.35% ~ 97.85%,除含水量为 7.09% 的超干处理外,其余超干处理植株的可溶性糖含量均显著低于 CK。MDA 是膜脂过氧化的产物,其含量高低代表植物遭受逆境胁迫的程度,本试验各种子超干处理植株的 MDA 含量均显著低于 CK ( $P < 0.05$ ),为 CK 的 44.92% ~ 70.29%,说明适当程度超干处理并贮藏后的种子所得植株的脂质过氧化程度较 CK 低。叶绿素含量和根系活力是反映植物生长状况的重要指标,除含水量为 5.46% 的超干处理外,其它种子超干处理植株叶绿素含量均显著低于 CK ( $P < 0.05$ ) 或与 CK 差异不显著;除含水量为 4.97% 的超干处理植株的根系活力显著高于 CK 外 (为 CK 的 125.14%),其它各超干处理均与 CK 差异不显著或显著低于 CK ( $P < 0.05$ )。说明种子超干处理在提高植株抗逆性的同时也显著影响植物的光合作用与根系状态。

不同而有明显差异。超干处理植株的出苗数表现较 CK 高,长势优于 CK,而 MDA 含量低于 CK。在高粱 (*Sorghum vulgare*)、花生<sup>[19]</sup>、油菜<sup>[20]</sup>、榆树<sup>[21]</sup>、洋葱<sup>[22]</sup>等种子的超干处理研究中发现,经过一段时间的贮藏后,种子胞内电解质外渗量显著低于未经超干处理的种子,表明在贮藏过程中超干种子的膜系统较未超干处理种子保持完整。在种子发育成熟过程中,脱水还能够导致玻璃态的发生。作为一种粘滞度很高的固液半平衡体系,玻璃态不具晶体结构,不易受水分和温度影响,是细胞最有利的保护状态,

它的高粘滞性可以降低胞内分子扩散,稳定失水状态下的生物大分子,降低活性氧危害<sup>[23]</sup>。而对于黄花补血草的研究也证实,适当超干处理后,种子的 POD、SOD、APX 和 CAT 活性高于 CK<sup>[1]</sup>,酶系统活性的提高直接促进了高水平自由基清除系统的维持,减少活性氧的积累从而降低膜脂过氧化物的产生,并最终提高植株的抗逆性,降低植株遭受胁迫的程度。因此本试验中,各超干处理植株的 MDA 含量显著低于 CK,但同时各处理可溶性糖含量也均低于 CK。这可能与超干处理的苜蓿种子含水量低,在贮藏期间的呼吸代谢以及各种生理生化活动均维持在较低水平有关。该过程中,未经处理的苜蓿种子一直维持着正常的老化速度,老化程度较处理后的种子严重,而超干贮藏种子因为含水量低,需氧量少,抑制了活性氧衍生物的产生,种子内部遭受伤害的程度小,并更好地维持了细胞膜系统的完整性,延缓了种子的老化进程,因此对渗透调节物质的需求量低。

试验还发现,超干处理及贮藏虽然促进了种子的萌发,提高了植株的高度,降低了植株膜脂过氧化物的程度,但并不利于植株生物量的形成、根系状态的维持、结瘤以及叶绿素含量的提高,这可能是由于超干处理对于种子而言本身就是一种脱水胁迫。而经过一定时期的贮藏后,这种脱水胁迫得以维持,一方面激发了种子内部酶活性的提高以及保护性物质含量的升高,但在种子形成了一定的脱水性的同时,也减少了种子内和生物量形成相关的物质的含量。Bowler 等的研究指出,逆境胁迫可以在细胞水平上对植物产生效应<sup>[24]</sup>,而发生在种子内部的各种物质含量的变化很有可能在植株上得以保持,如根系生长速率降低、活力下降、根长、生物量和叶绿素含量减少等<sup>[25]</sup>。光合产量的降低导致植株产量下降。本试验中,各超干处理植株的叶绿素含量均有不同程度下降,很有可能是通过影响植物的光合作用进而影响生物量。Ramos 研究发现,干旱胁迫下菜豆 (*Phaseolus vulgaris* L.) 的根瘤数目有不同程度的降低<sup>[26]</sup>,而本试验也发现通过超干处理的植株其结瘤数显著下降,与 Ramos 的结果一致。

总之,经超干处理并贮藏的紫花苜蓿种子的植株与 CK 比具有很大差异性,超干处理种子的出苗数较 CK 高,长势优于 CK,但其生物量、根系生长及活性、叶绿素含量较 CK 低。说明种子超干处理及贮藏有利于种子的萌发、出苗,促进其植株的生长,但影响了植株的茁壮程度。试验结果表明,超干处理诱发种子内部产生一系列生理变化,进而引起植

株体内的一系列生理指标发生变化。但超干处理对植物种子及植株生理特性的影响,因植物种、品种的不同而有差异,还会受到贮藏时间的影响,本试验得出的结论还有待进一步系统、深入地研究。

#### 参 考 文 献:

- [1] Li Y, Feng H Y, Chen T, et al. Physiological responses of *Limonium aureum* seeds to ultra-drying[J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2007, 49(5):569-575.
- [2] Ellis R H, Hong T D. Survival of dry and ultra-dry seeds of carrot, groundnut, lettuce, oilseed rape, and onion during five year's hermetic storage at two temperatures[J]. *Seed Science and Technology*, 1996, (24):347-358.
- [3] Ellis R H, Hong T D. Temperature sensitivity of the low-moisture-content limit to negative seed longevity-moisture content relationships in hermetic storage[J]. *Annals of Botany*, 2006, (97):785-791.
- [4] 曾 丽, 赵梁军, 孙 强, 等. 超干处理与贮藏温度对一串红种子生活力与生理变化的影响[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(10):2076-2082.
- [5] 邹冬梅. 柱花草种子超干保存效果及其对膜系统的影响[J]. *草地学报*, 2005, 13(2):23-26.
- [6] James W, Dennis M T, Dennis B E. Corn seed germination and vigor following freezing during seed development[J]. *Crop Science*, 2006, (46):1527-1535.
- [7] Huang Z Y, Zhang X S, Zheng G H, et al. Increased storability of *Haloxylon ammodendrom* seeds in ultradry storage[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2002, (44):239-241.
- [8] Hoagland D, Arnon D I. The water culture method for growing plants without soil[J]. *California Agricultural Experiment Station Bulletin*, 1938, (347):1-39.
- [9] 张 勇, 熊丙全, 曾 明. 种子处理对西番莲活力及苗木生长的影响[J]. *西南农业大学学报*, 2003, 25(2):135-137.
- [10] 柯玉琴, 潘庭国. NaCl 胁迫对甘薯苗期生长、IAA 代谢的影响及其与耐盐性的关系[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(10):1033-1036.
- [11] Liu J, Zhang M L, Zhang Y, et al. Effects of stimulated salt and alkali conditions on seed germination and seedling growth of sunflower (*helianthus annuus* L.) [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(10):1818-1825.
- [12] Huang B R, Gao H W. Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars[J]. *Crop Science*, 2000, (40):196-203.
- [13] Jennifer L F, Jac J V. Dependency of cotton leaf nitrogen, chlorophyll, and reflectance on nitrogen and potassium availability[J]. *Agronomy Journal*, 2004, 96:63-69.
- [14] Jiang Y W, Huang B R. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation[J]. *Crop science*, 2001, (41):436-442.
- [15] Steiger P A, Feller U. Senescence and protein remobilisation in leaves of maturing wheat plants grown on waterlogged soil[J]. *Plant and Soil*, 1994, (166):173-179.
- [16] Woodstck L W, Simkin E. Freeze-drying to improve seed storability [J]. *Seed Science and Technology*, 1976, 4(2):301-311.

求,各零件之间不存在干涉现象。

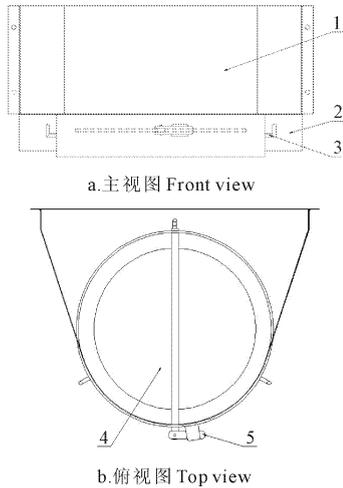


图 10 装袋装置结构图

Fig. 10 Structural drawing of bagging device

1. 筒体; 2. 筒底板; 3. 挂钩; 4. 圆盘; 5. 扳手  
1. Barrel; 2. Barrel baseplate; 3. Hook; 4. Disk; 5. Wrench



图 11 4U-1400 型马铃薯联合收获机三维图

Fig. 11 3D solid model of 4U-1400 potato combine harvester

## 4 结 论

结合当前马铃薯生产状况,通过运动学分析和

相关试验,成功地设计出了 4U-1400 型马铃薯联合收获机。其优点体现在以下几个方面:1) 采用分体式三阶平面组合铲提高了入土和碎土能力,同时,仿形碎土辊保证了挖掘深度一致。2) 垂直提升装置提升效果好,使得整机结构更加紧凑,便于运输。3) 功能较全,可一次性实现薯块的挖掘、土薯分离、薯秧、杂草和残膜分离、垂直提升以及装袋等功能。省工省时,免去了种植户不必要的开支和劳动强度。对于国内马铃薯早日实现高水平的机械化收获具有重要意义。

## 参 考 文 献:

- [1] 屈冬玉,谢开云,金黎平,等. 中国马铃薯产业发展与粮食安全[J]. 中国农业科学, 2005, 38(2): 358-362.
- [2] 谢开云,屈冬玉,金黎平,等. 中国马铃薯生产与世界先进国家的比较[J]. 世界农业, 2008, (5): 35-38.
- [3] 王洋洋. 引领马铃薯类食品新时尚[J]. 中国食品工业, 2010, (1): 34-34.
- [4] 宋言明,王芬娥. 国内外马铃薯机械的发展概况[J]. 农机化研究, 2008, (9): 225-226.
- [5] Bulter G P, Bemet T, Manrique K. Mechanization of potato grading on small scale farms: a case study from peru[J]. Expl Agric, 2005, 41: 81-92.
- [6] 曹树人. 旱作区黑膜马铃薯栽培技术十要点[J]. 农机科技推广, 2012, (6): 47-48.
- [7] 周良埔. 1700/1710 型马铃薯联合收获机[J]. 河北农机, 2008, (1): 36-36.
- [8] 晓 明. 4ULDX-1500 型马铃薯收获机[J]. 农业装备技术, 2005, 31(1): 37-37.
- [9] 李彦晶,魏安宏,杨小平,等. 4U-1400FD 型马铃薯联合收获机挖掘铲的参数优化[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(5): 132-134.
- [10] 桑永英,张东兴,张梅梅. 马铃薯碰撞损伤试验研究及有限元分析[J]. 中国农业大学学报, 2008, 13: 81-84.

(上接第 176 页)

- [17] Ellis R H, Hong T D, Rober E H. Logarithmic relationship between moisture content and longevity in sesae seeds[J]. Annals of Botany, 1986, (61): 405-408.
- [18] 程红焱. 种子超干贮藏技术应用面临的问题和研究方向[J]. 云南植物研究, 2006, 28(1): 59-68.
- [19] 林 坚,郑光华,张庆昌. 回湿预处理防护超低含水量花生种子吸胀损伤的效果[J]. 植物学集刊, 1994, 7: 294-298.
- [20] 程红焱,郑光华,陶嘉龄. 超干处理对几种芸萁属植物种子生理生化和细胞超微结构的效应[J]. 植物生理学报, 1991, 17(3): 273-284.
- [21] 汪晓峰,郑光华,杨世杰,等. 超干贮藏种子质膜流动性[J]. 科学通报, 1999, 44(7): 733-739.
- [22] 张明方. 洋葱和莧菜种子超干保存及其生理生化基础研究

[D]. 杭州:浙江大学, 1998: 58-67.

- [23] Leopold A C, Sun W Q, Bernal-Lguo I. The glassy state in seeds: analysis and function[J]. Seed Science Research, 1994, (4): 174-176.
- [24] Bowler C, Montagu M V, Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1992, 43: 83-116.
- [25] 孙梅霞,祖朝龙,徐经年. 干旱对植物影响的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2004, 32(2): 365-367, 384.
- [26] Ramos M L G, Gordon A J, Minchin F R, et al. Effect of water stress on nodule physiology and biochemistry of a drought tolerant cultivar of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) [J]. Annals of Botany, 1999, (83): 57-63.