

两种罗布麻营养器官的解剖结构及其生态适应性

王东清^{1,2}, 李国旗^{1,2*}, 刘亚武^{1,2}

(1. 宁夏大学 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 银川 750021;

2. 宁夏大学 西部生态与生物资源开发联合研究中心, 银川 750021)

摘要: 采用石蜡切片法, 对红麻和大麻状罗布麻的营养器官进行解剖学观察。结果显示: (1) 红麻和大麻状罗布麻叶片均为异面叶, 叶片表皮均被不同厚度的角质层, 气孔具孔下室, 栅栏组织 2 层; 红麻的栅栏组织比大麻状罗布麻的排列紧密, 而海绵组织比大麻状罗布麻的排列疏松; 大麻状罗布麻叶片主脉厚度平均值为 489.61 μm , 而红麻仅为 369.29 μm , 差异达到极显著; (2) 红麻和大麻状罗布麻茎的维管束均属典型的双韧维管束结构; (3) 红麻根的周皮层数(4~5 层)比大麻状罗布麻的(5~7 层)少, 二者的皮层厚度平均值分别为 698.23 和 744.11 μm , 差异不显著; (4) 二者根、茎、叶中富含大量分泌细胞。结果表明, 2 种罗布麻均具有适应干旱环境的能力, 且大麻状罗布麻在宁夏地区引种栽培具有可行性。

关键词: 罗布麻; 营养器官; 解剖结构

中图分类号: Q944.53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2011)05-0588-07

Anatomical research on nutritive organs of two species of *Apocynum* and their ecological adaptability

WANG Dong-Qing^{1,2}, LI Guo-Qi^{1,2*}, LIU Ya-Wu^{1,2}

(1. Key Laboratory for Restoration and Regeneration of Degenerated Ecosystem in Northwest China of Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. United Research Center for Exploitation of

Ecological and Biological Resources in West China, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The anatomical structure of nutritive organs of two *Apocynum* species (*A. cannabinum* L. and *A. venetum* L.) were studied by using the method of paraffin section. The results were as follows: (1) The leaf of two *Apocynum* species was bifacial. The leaf-epidermal cell of two species had cuticle layer with different thickness. Substomatic chamber developed well. Both had two layers of palisade tissues. Compared with *A. cannabinum*, the palisade tissues of *A. venetum* arranged more tight, but spongy tissues more loose. Vein tissues of *A. cannabinum* developed well and the thickness of major vein was up to 489.61 μm , significantly thicker than that in *A. venetum* (369.29 μm). (2) The vascular bundle of stem for both *Apocynum* species typically belong to bicollateral bundle. (3) There were 4—5 layers of periderm cells in roots of *A. venetum*, while 5—7 layers in *A. cannabinum*. There was a large root cortex tissue for both species. (4) A large number of secretory cells were observed in the roots, stems and leaves for both species. The anatomical investigation indicated that both the two *Apocynum* species were characterized as xeromorphism to cope with the arid environments.

Key words: *Apocynum*; nutritive organs; anatomical structure

罗布麻为夹竹桃科 (Apocynaceae) 多年生宿根草本植物, 成活期可达 30 a (中国植物志编辑委员

会, 1977)。在我国主要分布于长江、淮河、秦岭和昆仑山以北的广大区域 (张绍武等, 2000)。罗布麻生

收稿日期: 2010-11-08 修回日期: 2011-03-10

基金项目: 教育部留学回国人员科研启动基金 [Supported by Project Sponsored by the Scientific Research Foundation of State Education Ministry for the Returned Overseas Chinese Scholars, China].

作者简介: 王东清 (1981-), 女, 山西怀仁县人, 硕士研究生, 研究方向为植物生态学, (E-mail) wangdongqing2046@163.com。

* 通讯作者: 李国旗, 研究员, 主要从事植物生态学研究, (E-mail) guoqilee@163.com。

存能力强,在极端高温、低温和荒滩盐碱地都能存活(揭雨成等,2001)。另外,其茎部韧皮纤维是纺织、造纸的优质原料;其根、茎、叶、花全草入药,有平心悸、止眩晕、消痰止咳、强心利尿之功效(钱学射等,2005);叶子可制成保健茶、保健烟;种子纤毛可作枕头等的填充物。可见,在我国荒漠化地区引种种植罗布麻能够收到生态和经济双重效益。

近年来,在回归自然的思潮影响下,罗布麻产品的开发利用如火如荼,但原材料的供不应求制约了罗布麻产业的发展,而种质资源匮乏是其主要原因。鉴于此,引进了国内外的种质材料 10 多种,经过 5 年的引种栽培试验,已经选出适应性较好的 1 种罗布麻——来自美国的大麻状罗布麻(*A. cannabinum*)。目前,关于罗布麻营养器官的解剖学研究已有少量报道(周波,2005),但大都限于结构性状的定性描述,对其结构进行系统深入的定量描述、对比分

析及生态适应性方面未有报道。本文从应用基础研究的角度出发,通过对产自我国的红麻和产自美国的大麻状罗布麻的营养器官进行系统的比较解剖学研究,并对其结构的数量性状及生态适应性进行了比较分析,旨在探讨 2 种罗布麻内部结构对旱生环境的适应机制,为其在宁夏地区引种驯化及合理开发利用提供解剖学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

2 种罗布麻种植于宁夏大学实验苗圃,该地区位于 $105^{\circ}45' \sim 106^{\circ}47' E$, $37^{\circ}43' \sim 39^{\circ}23' N$,具典型的大陆性气候特点,干旱少雨,年平均气温为 $8 \sim 9^{\circ}C$, $\geq 10^{\circ}C$ 有效积温 $3\ 303^{\circ}C$;年平均降水量 $150 \sim 200\ mm$,蒸发量为 $1\ 800\ mm$ 左右;土壤以灰钙土为

表 1 两种罗布麻叶解剖结构比较

Table 1 Major anatomical features of leaf for two species of *Apocynum*

种类 Species	叶片厚度 Thickness of leaf (μm)	表皮细胞厚度 Thickness of epidermis cell (μm)		角质层厚度 Thickness of cuticle (μm)		主脉 厚度	栅栏组 织厚度	海绵组 织厚度	栅栏组织/ 海绵组织	
		上表皮	下表皮	上表皮	下表皮				栅栏组织/ 叶肉组织	
红麻 <i>A. venetum</i>	161.82± 1.80A	17.10± 0.55A	15.18± 0.49a	2.49± 0.18A	1.76± 0.12a	369.29± 2.04A	56.58± 1.06a	49.54± 1.21A	1.16± 0.033A	53.39± 0.67A
大麻状罗布麻 <i>A. cannabinum</i>	173.98± 4.14B	19.49± 0.54B	13.22± 0.57b	3.32± 0.18B	2.19± 0.15b	489.61± 4.20B	58.46± 0.89a	80.23± 0.95B	0.73± 0.013B	42.14± 0.45B

注: 同列不同小写字母,表示在 0.05 水平下差异显著;同列不同大写字母,表示在 0.01 水平下差异极显著。下同。

Note: The same column with different lowercase letters indicates significant difference at 0.05 level. The same column with different capital letters indicates very significant difference at 0.01 level. The same below.

主,土质为沙土,有机质含量低(张永霞等,2007)。

1.2 试验材料

供试材料为红麻(*A. venetum*)和大麻状罗布麻(*A. cannabinum*)。红麻为宁夏本地种,大麻状罗布麻于 2004 年引自美国华盛顿州艾伦斯堡(Washington Ellensburg),该地位于华盛顿州东部的沙漠地区,平均海拔 470 m,年均降水量仅 23 mm。

试材为 2 年生,2010 年 5 月初待幼苗长到 50 cm 左右时,分别选取正常植株的根、茎和叶片作为实验材料。叶片取中部切成 $5\ mm \times 10\ mm$ 小片;根、茎取直径在 5 mm 以内的切取 1 cm 左右小段,切好后迅速投入 FAA 固定液中,固定时间不少于 48 h。

1.3 试验方法

采用常规石蜡切片法(李正理,1996)。具体过程:取样→固定→脱水→透明、浸蜡→包埋→切片(切片厚度为 $10\ \mu m$)、贴片、烘干→染色(番红—固绿

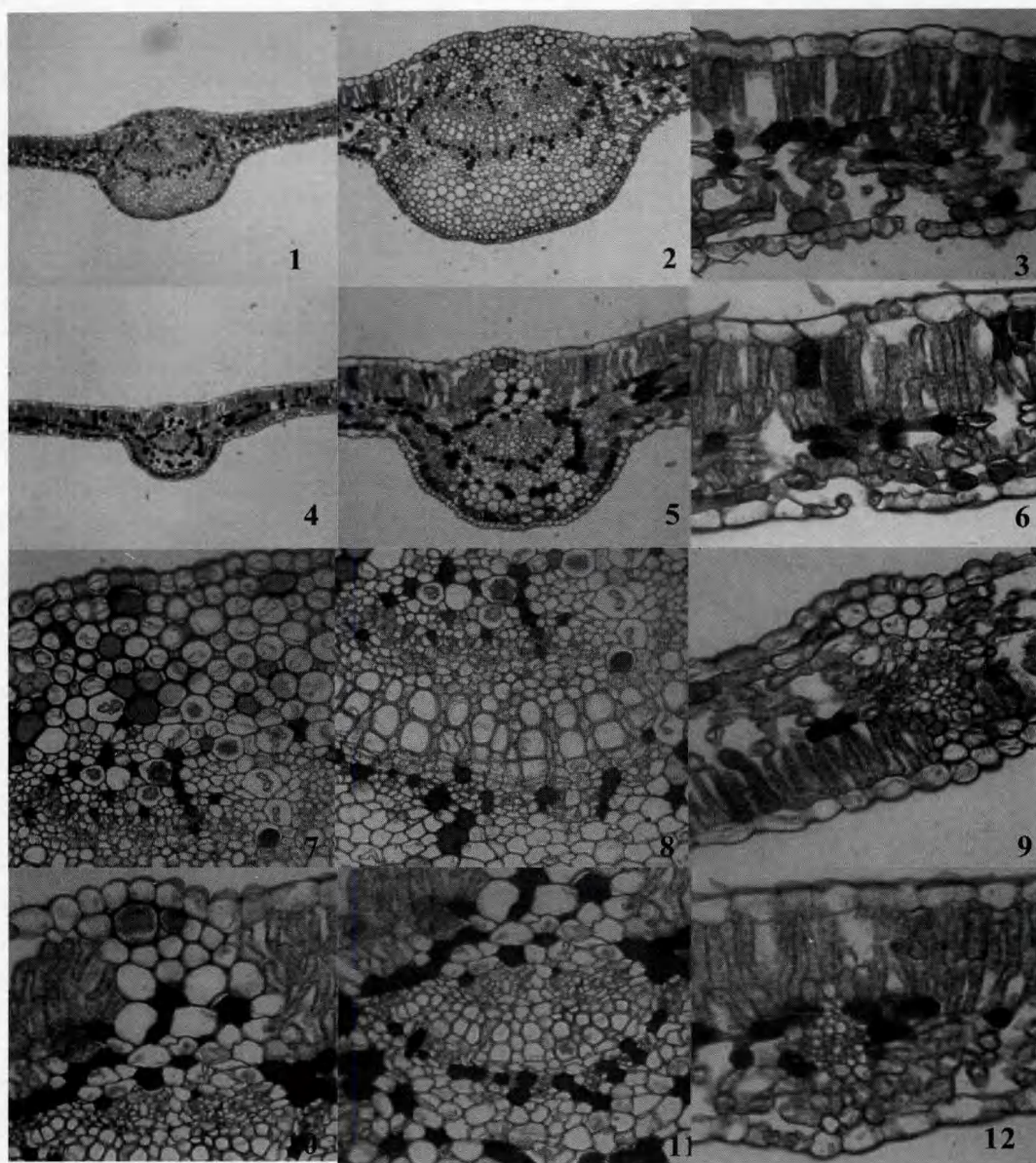
对染)→中性树胶封片后制成永久制片,用 Olympus 显微镜分别观察 2 种罗布麻根、茎和叶横切面的形态结构,用 Motic Images Advanced 3.0 软件系统测量根、茎、叶的组织结构参数,每项记录 30 个数据,取平均值。采用 t 检验法检验两种罗布麻各项指标差异显著性,数据均采用 Excel 和 SPSS13.0 处理。

2 结果

2.1 叶片解剖结构比较

叶的横切面观,2 种罗布麻均由表皮、叶肉、叶脉三部分组成。二者叶片解剖结构特征比较见表 1。

2.1.1 表皮 从横切面观察,2 种罗布麻叶片上下表皮细胞各一层,排列整齐紧密(图版 I:1,4)。大麻状罗布麻上表皮细胞长形至椭圆形,厚约 $19.49\ \mu m$;下表皮细胞较小且不规则,厚约 $13.22\ \mu m$ 。红



图版 I 1-3. 大麻状罗布麻叶 1. 示叶整体($\times 40$); 2. 示叶主脉($\times 100$); 3. 示叶肉及气孔($\times 400$); 4-6. 红麻叶 4. 示叶整体($\times 40$); 5. 示叶主脉($\times 100$); 6. 示叶肉及气孔($\times 400$); 7-9. 大麻状罗布麻叶 7. 示厚角组织($\times 400$); 8. 示维管束($\times 400$); 9. 示小脉($\times 400$); 10-12. 红麻叶 10. 厚角组织($\times 400$); 11. 示维管束($\times 400$); 12. 示小脉($\times 400$).

Plate I 1-3. The leaf of *A. cannabinum* 1. The whole leaf ($\times 40$); 2. The major vein ($\times 100$); 3. The mesophyll and stomatal apparatus ($\times 400$); 4-6. The leaf of *A. venetum* 4. The whole leaf ($\times 40$); 5. The major vein ($\times 100$); 6. The mesophyll and stomatal apparatus ($\times 400$); 7-9. The leaf of *A. cannabinum* 7. The collenchyma ($\times 400$); 8. The vascular bundle ($\times 400$); 9. The veinlet ($\times 400$); 10-12. The leaf of *A. venetum* 10. The collenchyma ($\times 400$); 11. The vascular bundle ($\times 400$); 12. The veinlet ($\times 400$).

麻上下表皮细胞均为长方形,且上表皮的细胞厚度($17.10 \mu\text{m}$)较下表皮的厚($15.18 \mu\text{m}$)。2种罗布麻上下表皮均无表皮毛,覆被不同厚度的角质层,上表皮的角质层均比下表皮的厚,大麻状罗布麻的上下表皮角质层厚度均厚于红麻的,二者上表皮的差异达到了极显著($P < 0.01$),下表皮的差异也达到

显著($P < 0.05$)。此外,2种罗布麻下表皮均分布有气孔器,气孔微下陷,具有较发达的孔下室;红麻除下表皮分布有气孔外,上表皮也有少量分布(图版 I: 3, 6)。

2.1.2 叶肉 2种罗布麻叶片均为异面叶(图版 I: 3, 6)。大麻状罗布麻的叶片厚度为 $173.98 \mu\text{m}$,红

麻的为 161.82 μm , 差异达到极显著 ($P < 0.01$); 二者栅栏组织排列几近规则, 细胞长柱形, 均两层, 其纵轴与叶表皮垂直, 细胞内含大量叶绿体; 海绵组织由各种不规则形状细胞组成, 内含少量叶绿体, 排列疏松, 胞间隙发达。红麻的栅栏组织比大麻状罗布麻的排列紧密, 而海绵组织比大麻状罗布麻的排列疏松, 前者有较高的栅/海比值, 为 1.16, 后者仅为 0.73。此外, 二者叶肉中可见一些内含物着色很深的细胞。

2.1.3 叶脉 2 种罗布麻叶脉为网状脉, 主脉较发达, 由主脉进行分支形成侧脉。中脉均在叶的下部凸起, 呈不规则半圆形, 大麻状罗布麻的主脉厚度为 489.61 μm , 红麻的仅为 369.29 μm , 差异达到了极显著 ($P < 0.01$) (图版 I : 2, 5); 二者中脉维管束均为不规则外韧维管束, 近圆形, 远轴面维管束较发达, 其木质部中的导管管腔大而明显, 韧皮部较木质部为薄 (图版 I : 8, 11); 在韧皮部的外侧厚角组织明显 (图版 I : 7, 10), 大麻状罗布麻厚角组织较为发

达, 主脉的上表皮下有 5~6 层, 下表皮上则有 7~8 层, 而红麻主脉的上表皮下的厚角组织为 2~3 层, 下表皮上的也仅有 3~4 层。

2.2 茎的结构

从茎的横切面观, 2 种罗布麻均由表皮、皮层、维管束、髓构成。二者比较见表 2。

2.2.1 表皮 2 种罗布麻茎的表皮均由一层排列紧密的表皮细胞构成, 细胞呈长方形, 表皮上皆无表皮毛, 但具极少量平坦的气孔, 具孔下室。表皮细胞外均覆被不同厚度的角质层, 大麻状罗布麻表皮细胞较红麻的厚, 为 4.08 μm , 差异极显著 ($P < 0.01$)。

2.2.2 皮层 皮层位于表皮内方, 由多层细胞组成, 在茎中所占比例较大 (图版 II : 2, 5)。与红麻相比, 大麻状罗布麻皮层细胞层数高达 9~12 层之多, 且薄壁细胞体积较大, 排列紧密, 胞间隙小, 其皮层厚度均值为 185.67 μm , 红麻的为 146.97 μm , 二者差异达到了极显著 ($P < 0.01$)。2 种罗布麻外皮层细胞含大量分泌细胞, 均无典型的内皮层。

表 2 两种罗布麻茎解剖结构比较

Table 2 Major anatomical features of stem for two species of *Apocynum*

种类 Species	茎直径 Diameter of stem (μm)	表皮角质层 厚度 (μm) Curticle thickness of epidermis	皮层厚度 Thickness of cortex (μm)	维管束厚度 Thickness of vascular (μm)	髓厚度 Medullary thickness	皮层厚度 /半径	维管束厚度 /半径	髓厚度 /直径
红麻 <i>A. venetum</i>	1255.34 ± 26.14A	3.07 ± 0.20 A	146.97 ± 2.00A	156.18 ± 2.87A	645.33 ± 16.04a	23.53 ± 0.70a	25.03 ± 0.87a	51.73 ± 2.06a
大麻状罗布麻 <i>A. cannabinum</i>	1482.66 ± 64.41B	4.08 ± 0.19 B	185.67 ± 3.29B	195.64 ± 3.17B	673.79 ± 23.05a	25.43 ± 1.09a	26.74 ± 0.97a	46.29 ± 2.70a

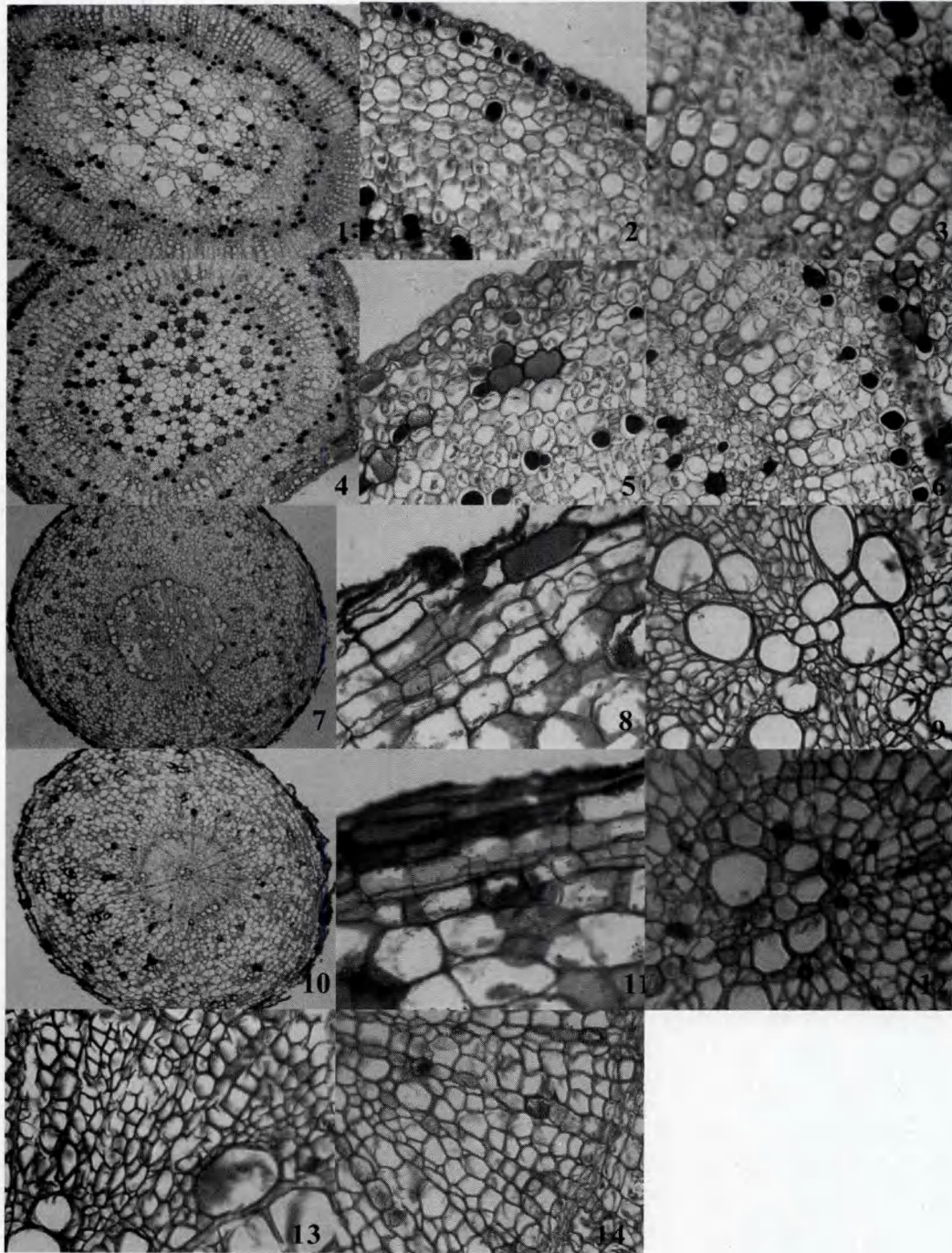
2.2.3 维管柱 2 种罗布麻皮层之内为维管柱, 维管柱环状, 外方为韧皮部, 初生韧皮部较厚, 具有大量纤维, 纤维成束分布, 在横切面上形成一条不连续的同心环带。次生韧皮部较窄, 由筛管、伴胞和薄壁组织细胞组成。次生木质部由导管、木射线、纤维和薄壁组织组成, 在茎中所占比例较高, 导管口径由外向内逐渐变小。2 种罗布麻导管均聚生, 排列于同一茎向线上, 木射线均呈单列。木质部内方均存在较宽的环内生韧皮部, 维管束属典型的双韧维管束结构 (图版 II : 3, 6)。大麻状罗布麻维管束厚度均值为 195.64 μm , 红麻的为 156.18 μm , 差异达到极显著 ($P < 0.01$)。2 种罗布麻在次生韧皮部中均含有大量分泌细胞。与红麻相比, 大麻状罗布麻环内生栓形成层细胞向外分裂产生木栓层细胞, 多 3~4 层构成, 这些细胞栓质化程度高为死细胞。红麻根的周皮层数为 4~5 层, 大麻状罗布麻的为 5~7 层。2

韧皮部中含有大量分泌细胞。

2.2.4 髓 髓位于茎的中央, 由大型薄壁细胞组成 (图版 II : 1, 4)。2 种罗布麻髓在茎中所占比例较大, 红麻所占比例为 51.73%, 大麻状罗布麻则为 46.29%, 差异不显著 ($P > 0.05$)。二者髓中均含有大量分泌细胞。

2.3 根的结构

所观察 2 种罗布麻根较嫩, 横切面观, 二者均已具有明显的次生结构。在根的横切面上, 从外到内依次由周皮、皮层及维管柱三部分组成。周皮均由三部分组成 (图版 II : 8, 11): 一层木栓形成层细胞, 其细胞呈长方形, 原生质体浓厚; 木栓形成层细胞向内分裂产生栓内层细胞少, 仅为 1~2 层小细胞; 木种罗布麻皮层结构在根中所占比例较大 (图版 II : 7, 10), 红麻占 63.42%, 大麻状罗布麻麻占 56.61%, 差异显著 ($P < 0.05$), 且皮层薄壁组织中含有大量



图版 II 1-3. 大麻状罗布麻茎 1. 示茎横切整体($\times 100$); 2. 示茎皮层($\times 400$); 3. 示茎双韧维管束($\times 400$); 4-6. 红麻茎 4. 示茎横切整体($\times 100$); 5. 示茎皮层($\times 400$); 6. 示茎双韧维管束($\times 400$); 7-9, 13. 大麻状罗布麻根 7. 示根横切整体($\times 40$); 8. 示周皮($\times 400$); 9. 示维管组织($\times 400$); 13. 示木射线($\times 400$); 10-12, 14. 红麻根 10. 示根横切整体($\times 40$); 11. 示周皮($\times 400$); 12. 示维管组织($\times 400$); 14. 示木射线($\times 400$).

Plate II 1-3. Stem of *A. cannabinum* 1. The whole stem($\times 100$); 2. The cortex($\times 400$); 3. The bicollateral bundle($\times 400$); 4-6. Stem of *A. venetum* 4. The whole stem structure($\times 100$); 5. The cortex($\times 400$); 6. The bicollateral bundle($\times 400$); 7-9, 13. Root of *A. cannabinum* 7. The whole root structure($\times 40$); 8. The periderm($\times 400$); 9. The vascular tissue($\times 400$); 13. The xylem rays($\times 400$); 10-12, 14. Root of *A. venetum* 10. The whole root structure($\times 40$); 11. The periderm($\times 400$); 12. The vascular tissue($\times 400$); 14. The xylem rays($\times 400$).

分泌细胞。2种罗布麻木质部较发达(图版 II: 9, 12), 后生木质部的导管直径较原生木质部大, 导管

的管孔链为不规则形, 管孔团明显; 韧皮部组成分子少, 且具多列薄壁细胞组成的射线(图版 II: 13, 14)。

表 3 两种罗布麻根解剖结构比较

Table 3 Major anatomical features of root for two species of *Apocynum*

种类 Species	根直径 Diameter of root(μm)	皮层厚度 Thickness of cortex(μm)	维管柱厚度 Thickness of vascular cylinder	皮层厚度/半径(%) Ratio of cortex thickness to radius	维管柱厚度/直径(%) Ratio of vascular cylinder thickness to diameter
红麻 <i>A. venetum</i>	2212.65 \pm 53.90A	698.23 \pm 17.82a	730.17 \pm 14.02A	63.42 \pm 2.13a	33.14 \pm 0.88A
大麻状罗布麻 <i>A. cannabinum</i>	2628.64 \pm 19.67B	744.11 \pm 16.82a	1062.60 \pm 9.99B	56.61 \pm 1.17b	40.45 \pm 0.50B

2 种罗布麻根中均无髓分化。二者比较见表 3。

3 分析与讨论

生长环境不仅影响植株的外部形态,同时也影响其内部结构(吴钊等,2008)。耐旱植物的叶片表皮具有较厚的角质层,这些角质层由不透水脂类物质组成,有较强的折光性,能够防止植物体内水分快速蒸腾及强光对其引起的灼伤(李扬汉,1995);另外,坚硬的角质层还具有机械支撑作用,在植株水分亏缺时,叶片不会立即萎蔫(李正理,1981);叶片中栅栏组织较厚,且细胞小而排列紧密,这有利于提高植物利用光能的效率(燕玲等,2000);植物叶片的气孔通常分布在下表皮,多数陷于表皮之下,形成下陷气孔,这样可以有效地减少水分的蒸发(贺学礼,2004);叶片中机械组织较为发达,叶脉主要起运输水分和养分的作用,发达的叶脉有利于植物适应干旱环境(崔秀萍等,2006)。本文所研究的 2 种罗布麻叶片均覆被不同厚度的角质层,气孔器略微下陷,且具有发达的孔下室,叶肉组织中栅栏组织均 2 层,且富含大量叶绿体,叶脉发达,机械组织多,木质部导管数量均多,管腔较大,这些特征表明此 2 种罗布麻均具有减少水分蒸腾、抵御病虫害、防止强光对叶片灼伤、光能利用率较高的能力,同时在输导水分、养分及抵抗风力和机械伤害方面也具有较强的能力,这是叶片对旱生环境的一种适应。另外,与红麻相比,大麻状罗布麻叶片表皮细胞角质层厚且叶脉及机械组织相对发达,这说明大麻状罗布麻有较强的抵御干旱、风沙环境的能力。

耐旱植物的茎能够通过形成较厚的皮层组织来贮存水分,从而抵御干旱(李正理等,1981);Reimold(1974)指出,在木栓层形成以前,厚的皮层可能与保护维管组织免受干旱有关;Zamski(1977)也指出在具有双韧维管束结构的茎中,当外生韧皮部受伤或死亡时,内生韧皮部起着重要作用,其对植物抗拒水分过度散失具有一定的生态学意义(唐为萍等,

2005)。作为高等植物的地下器官,根为植物生长提供了所需的水份和无机盐(赵金花等,2010),Fahn 等(1964)研究认为,耐旱植物根的皮肤层与中柱的比率较大,髓较窄。本研究 2 种罗布麻茎的皮层厚且细胞排列紧密,具有典型的双韧维管束结构,且输导组织发达,木质部导管管腔较大,另外,2 种罗布麻的根也具有较厚的皮层组织,在根中所占比例高达 50%以上,根中木质部极为发达,未见髓的分化,这些结构都表明它们均具有较强的缓冲外界高温或极端低温的能力,能有效防止植物体内水分快速蒸发,具有较强的贮存、输送及吸收水分和养分的能力,这些结构是二者对旱生环境适应性的一种表现。另外,与红麻相比,大麻状罗布麻茎表皮细胞角质层、皮层及根的皮层厚度均厚于红麻的,这说明大麻状罗布麻具有较强的储存水分,降低水分过度蒸腾的能力。

4 结论

(1)种罗布麻具有适应干旱环境的能力。本研究的 2 种罗布麻,生长环境年降水量低,蒸发量高,且土壤养分较低,生活在这种环境条件下,二者的根、茎、叶已形成特有的旱生形态结构,这些结构特征表明 2 种罗布麻具有适应干旱环境的能力,同时这种旱生能力是需要这些结构来支撑的,这也体现了植物结构与功能具有统一性。(2)大麻状罗布麻在宁夏地区引种栽培具有可行性。从 2 种罗布麻根、茎、叶的解剖结构来看,大麻状罗布麻的根的周皮层数(5~7 层)比红麻的(4~5 层)多;茎的表皮角质层厚度(4.08 μm)极显著大于红麻的(3.07 μm),皮层厚度(185.67 μm)也极显著大于红麻的(146.97 μm);叶片及表皮角质层比红麻厚,差异均显著,主脉厚度为 489.611 μm (红麻仅为 369.29 μm),差异极显著。这些特征表明,大麻状罗布麻适应干旱环境的能力强于红麻,在宁夏地区引种栽培是可行的。(3)2 种罗布麻的根、茎、叶中含有大量

细胞后含物,皮层细胞、韧皮部及髓中分布有乳汁管和分泌道,曾有报道指出旱生植物根、茎、叶中所含的树脂或单宁等胶体物质能够起到阻碍体内水分流动的作用(李正理,1981),本研究的这些细胞物质是否与植株的抗旱性有关,有待进一步研究。

参考文献:

- 中国植物志编辑委员会. 1977. 中国植物志(第 63 卷)[M]. 北京:科学出版社:157-165
- 李扬汉. 1995. 植物学(第二版)[M]. 上海:上海科学技术出版社:139-155
- 李正理. 1996. 植物组织切片学[M]. 北京:北京大学出版社:1-28
- 贺学礼. 2004. 植物学(第 1 版)[M]. 北京:高等教育出版社:165-166
- Cui XP(崔秀萍), Liu GH(刘果厚), Zhang RL(张瑞麟). 2006. Comparison of leaf anatomical structure between *Salix gordejewii* growing under contrasting habitats of Otingdag Sandland and *Salix microtachya* var. *bordensis* growing on the lowlands of dunes(浑善达克沙地不同生境下黄柳叶片解剖结构的比较)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **26**(6):1 842-1 847
- Fahn A. 1964. Some Anatomical Adaptations of Desert Plants [M]. *Phytomorphology*:93-102
- Li ZL(李正理). 1981. Study on morphological structure of xerophyte(旱生植物的形态和结构)[J]. *Bull Biol*(生物学通报), (4):9-12
- Li ZL(李正理), Li RA(李荣敖). 1981. Anatomical observation of assimilating branches of nine xerophytes in Gansu(我国甘肃九种旱生植物同化枝的解剖观察)[J]. *J Int Plant Biol*(植物学报), **23**(3):181-185
- Jie YC(揭雨成), Leng J(冷鹏), Xu Y(许英). 2001. The progress of studies on ecological characteristics and industrialization of kender(罗布麻生态特征与产业化研究进展)[J]. *Plant Fiber Prod*(中国麻业), **23**(3):34-37
- Reimold JR, Queen HW. 1974. Ecology of Halophytes[M]. New York: Academic Press:307-342
- Qian XS(钱学射), Zhu FJ(朱凤娟), Zhang WM(张卫明), et al. 2005. Research advances on pharmacological actions of *Apocynum venetum* roots(罗布麻红麻根的药理作用研究进展)[J]. *Chin Wild Plant Res*(中国野生植物资源), **24**(5):1-3
- Tang WP(唐为萍), Chen SS(陈树思). 2005. Study on anatomical structure of leaf of *Aquilaria agallocha*(沉香叶解剖结构的研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **25**(3):229-232
- Wu T(吴钊), Feng F(丰锋), Ye CH(叶春海). 2008. Studies on the anatomical structures of the leaf and flowers of jackfruit(*Artocarpus heterophyllus*)(菠萝蜜叶和花的解剖结构研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **28**(6):746-749
- Yan L(燕玲), Li H(李红), He X(贺晓), et al. 2000. Ecological anatomy of nine priority species in A La Shan arwa(阿拉善地区 9 种珍稀濒危植物营养器官生态解剖观察)[J]. *J Inner Mongolia Inst Agric Animal Husbandry Nat Sci Ed*(内蒙古农业大学学报·自然科学版), **21**(3):65-71
- Zamski E, Tsivison Y. 1977. Translocation in plants possessing supernumerary phloem; I. 14C-assimilates and auxin in the internal phloem of tobacco(*Nicotiana glauca*)[J]. *J Exp Bot*, **28**(102):117-126
- Zhang SW(张绍武), Hu RL(胡瑞林), Qian XS(钱学射). 2000. On the geographical division of *Apocynum* in China(我国罗布麻分布区的地理区划)[J]. *Chin Wild Plant Res*(中国野生植物资源), **19**(4):20-22
- Zhao JH(赵金花), Li QF(李青丰). 2010. Drought resistance analysis based on anatomical structures of three wild *Allium* in Inner Mongolia arid grassland(内蒙古荒漠草原三种野生葱属植物解剖结构的抗旱性分析)[J]. *J Inner Mongolia Univ Nat Sci Ed*(内蒙古大学学报·自然科学版), **41**(2):201-205
- Zhou B(周波). 2005. Studies on anatomical structures of *Apocynum venetum*(罗布麻解剖结构的研究)[J]. *J Guizhou Univ Tech Nat Sci Ed*(贵州工业大学学报·自然科学版), **34**(6):97-99
- 椒幼苗生长抑制的缓解效应)[J]. *J Gansu Agric Univ*(甘肃农业大学学报), **44**(4):67-72
- Zhang JT(张纪涛), HU XH(胡晓辉), LI C(李翠). 2010. Effect of exogenous spermidine(Spd) on index of physiology and biochemistry of tomato seedlings under salt stress(外源亚精胺(Spd)对盐胁迫下番茄幼苗生理生化指标的影响)[J]. *J Changjiang Vegetables*(长江蔬菜·学术版), (16):25-28
- Zhang QD(张其德). 2000. Effects of salt stress on plants and photosynthesis(盐胁迫对植物及其光合作用的影响)[J]. *Plant J*(植物杂志), (1):28-29
- Zhu JY(朱俊义), Yang GY(杨光宇), Zhao FJ(赵凤鹏)等. 2003. Study on salt-resistant structure of *Glycine soja*(野生大豆抗盐性解剖结构研究)[J]. *J Northeast Normal Univ*(东北师大学报), **35**(4):105-108
- Zou LW, Fu JF, Pu CS, et al. 2003. Application of Plant Tolerance-Induced Agent on the Green Food Production. The Proceedings of 19th National Plant Protection Information and Agricultural Medicine and Instruments[B13][M]. Beijing: Chinese Agricultural Publishers:121-123

(上接第 667 页 Continue from page 667)