

DOI: 10.5846/stxb201606241239

马全林, 王耀琳, 孙涛, 李银科, 靳虎甲, 宋德伟, 朱国庆. 盐碱地人工栽培枸杞营养元素分配、累积及输出特征. 生态学报, 2017, 37(18): 6111-6119.

Ma Q L, Wang Y L, Sun T, Li Y K, Jin H J, Song D W, Zhu G Q. Allocation, accumulation, and output characteristics of nutrient elements of *Lycium barbarum* grown on secondary saline land. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(18): 6111-6119.

盐碱地人工栽培枸杞营养元素分配、累积及输出特征

马全林^{1,2,3,*}, 王耀琳¹, 孙涛^{1,2,3}, 李银科^{1,2,3}, 靳虎甲¹, 宋德伟^{1,2,3}, 朱国庆¹

1 甘肃省治沙研究所, 兰州 730070

2 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室培育基地, 兰州 730070

3 甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 民勤 733300

摘要:枸杞 (*Lycium barbarum*) 是我国干旱地区重要的传统药用植物, 也是近年来干旱区盐碱地改良利用中优先选择的经济型灌木, 具有改良盐碱地和增加农户经济收入的双重作用。为掌握不同营养元素 (碳、氮、磷、硫、钾和灰分) 在枸杞植株不同构件 (花、果、叶、枝条、主杆和根系)、不同空间层次 (地上 0—50、50—100、100—150 cm 和 150—200 cm; 地下 0—100 cm) 的分布特征, 在地处干旱地区的甘肃景电灌区, 选择盐碱地人工栽培的 4 年生、7 年生和 11 年生枸杞林, 研究了人工栽培枸杞营养元素的分配、累积和输出特征。结果表明, 成龄枸杞不同构件营养元素含量显著不同, 其中花富含碳、氮、磷和钾, 果实富含碳、钾和硫, 叶富含碳、硫和灰分, 主杆和枝条富含碳, 根系富含碳和氮。碳是构成枸杞各构件的最主要元素, 在主杆的含量最高, 达到 44.25%; 在叶片的含量最低, 但也达到 29.8%, 占到主杆的 67.3%。单株枸杞不同构件和空间层次营养元素的累积量也显著不同。其中, 成龄单株枸杞不同构件营养元素的累积总量表现为根系 \approx 主杆 $>$ 枝条 $>$ 叶 $>$ 果实 $>$ 花, 碳是主要累积物质, 其累积量所占生物量干重的比例均超过 30%; 而氮、磷、钾和硫累积量所占生物量干重的比例均在 3% 以下。成龄单株枸杞不同空间层次营养元素的累积总量在 150—200 cm 层最少; 50—100 cm 层最大, 是栽培管理的关键层次。成龄枸杞林落叶、果实采收与枝条修剪每年造成大量营养元素输出。植物必须三大营养元素氮、磷和钾在枸杞林的输出量全年累积达到 190.4 kg/hm², 其中果实产生的输出量达到 91.1 kg/hm², 占到全年累积输出量的 47.7%; 枝条修剪产生的输出量达到 23.2 kg/hm², 占到全年累积输出量的 12.2%。上述结果说明枸杞不同构件对不同营养元素的吸收不同, 而且每年因果实采收与修剪造成大量营养元素流失。因此, 合理施肥对保持枸杞林健康生长以及维持高产量十分关键, 而修剪枝的粉碎还田也十分必要。

关键词: 景泰; 枸杞林; 构件; 物质分配; 营养元素

Allocation, accumulation, and output characteristics of nutrient elements of *Lycium barbarum* grown on secondary saline land

MA Quanlin^{1,2,3,*}, WANG Yaolin¹, SUN Tao^{1,2,3}, LI Yinke^{1,2,3}, JIN Hujia¹, SONG Dewei^{1,2,3}, ZHU Guoqing¹

1 Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730070, China

2 State Key Laboratory of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Lanzhou 730070, China

3 Minqin National Studies Station for Desert Steppe Ecosystem, Minqin 733300, China

Abstract: *Lycium barbarum* (Wolfberry) is an important traditional medicinal plant that grows in arid areas of China. In recent years, it has been widely cultivated on saline lands not only for its significant economic benefits (due to the use of its fruit in medicine and health products), but also for improvements in the saline soil of arid regions. In order to trace the distribution characteristics of the main nutrient elements (C, N, P, S, K, and ash) in different modules (flowers, fruits,

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31660232, 31270754, 31560236); 甘肃省基础研究创新群体项目 (145RJJA335); GEF 项目 (GEF/53-4280); 中国博士后科学基金项目 (2012T50162); 国家科技惠民计划项目

收稿日期: 2016-06-24; 网络出版日期: 2017-04-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mql925@126.com

leaves, branches, stems, and roots) and vertical tree layers (aboveground: 0—50 cm, 50—100 cm, 100—150 cm, and 150—200 cm; belowground: 0—100 cm) of *L. barbarum*, 4-, 7-, and 11-year-old *L. barbarum* plants in their fruiting periods were selected at the Jintai electrical-irrigation area in Gansu Province. The results showed that the contents of C, N, P, K, S, and ash in different modules of adult plants were significantly different. Flowers were rich in C, N, P, and K; fruits in C, K, and S; leaves in C, S, and ash; stems and branches in C; and roots in C and N. C was the most important constituent in all modules of the plant. Its content in the stems reached 44.25%, which was highest among the modules, whereas that in the leaves was the lowest (29.8%) and only accounted for 67.3% of the stems. The accumulative amount of nutrient elements in different modules and vertical tree layers were also significantly different. The order of the total accumulative amount of nutrient elements in different modules was as follows: root \approx stem > branch > leaf > fruit > flower. C, as the major accumulative matter, accounted for more than 30% of dry biomass of the different modules, whereas N, P, K, and S each accounted for less than 3%. Aboveground, the total nutrient elements in the 0—50 cm, 50—100 cm, 100—150 cm, and 150—200 cm layers accounted for 26.9%, 42.3%, 24.5%, and 6.2%, respectively. This indicates that nutrient elements accumulate mainly in the 50—100 cm layer, which is a key layer for management. In addition, defoliation, fruit harvesting, and pruning annually result in the export of large amounts of nutrient elements, and the annual cumulative output of the three essential elements N, P, and K reached 190.4 kg/hm², of which the output of fruits was 91.1 kg/hm², accounting for 47.7%, and that of pruned branches was 23.2 kg/hm², accounting for 12.2%. The results showed that the different modules of the plant absorb different amounts of nutrient elements, and fruit harvesting and pruning caused significant losses of nutrient elements. In conclusion, rational fertilization is vital for maintaining the growth and high yield of *L. barbarum* plantations, and it is also essential to return shredded pruned branches to saline lands.

Key Words: Jintai; *Lycium barbarum* plantation; module; matter allocation; nutrient element

营养元素是构成植物的物质基础,其分配是决定作物产量的关键^[1-2]。对植物全株或构件部分进行营养成分分析可以了解植物体内的各种元素的积累与转化的动态,从而研究植物对各种元素的吸收利用能力以及环境因素对植物生长的影响等^[3-5]。植物营养元素分配与累积特征是植物与环境因素共同作用的结果,它既反映了植物种群对环境条件的适应能力,又反映了环境条件对植物的影响程度^[6-7]。因此,在构件水平与空间层次上进行植物营养元素研究对于揭示植物生长与环境之间的关系具有重要意义。

枸杞(*Lycium barbarum* L.)为多年生落叶灌木,其果实具有补肾养肝、润肺明目等功效,是一种产品附加值很高的灌木型经济树种^[8]。同时,枸杞对盐渍化土壤具有较强的适应能力和改良作用,在我国新疆、宁夏、甘肃和青海等省份的干旱荒漠地区广泛栽培,成为农民致富的主要经济来源^[8-9]。根据文献记载,枸杞于1930s被引种到英国,目前在英国、美国、澳大利亚等国家均有种植,但是均未进行大面积人工栽培^[9]。枸杞作为传统药用植物,国内外相关研究大量集中在其药用价值、功能性成分和保健作用等^[9-13];同时,国内学者围绕枸杞人工栽培和开发利用,开展了枸杞扦插育苗、种植、施肥管理、病虫害防治以及深加工和产品开发等方面的大量研究^[8,14-15],但对枸杞营养元素的分配、累积和输出特征的研究少见报道。

甘肃省景电灌区气候干旱,蒸发强烈,引黄灌溉引起的土地盐碱化十分加重,使得大面积耕地因无法种植小麦、玉米等农作物而弃耕^[16]。但是,中度和轻度盐碱地通过排水改良,适宜耐盐植物枸杞的栽培^[8]。截止2013年,景电灌区枸杞种植面积接近4000 hm²,在灌区70%以上的乡镇均有种植,已成为当地的主导经济林产业^[17]。为此,本文以甘肃景电灌区人工栽培枸杞为研究对象,研究了单株枸杞构件的营养元素含量及其在不同构件和空间层次的累积特征,并量化了枸杞林栽培管理中的营养元素输出量,为盐碱地枸杞栽培、修剪和施肥管理提供依据。

1 研究区概况

研究区位于腾格里沙漠南缘,地处甘肃省景泰县城以北8 km处,是国家投资建设的“两西”重大基础性

开发工程(景电引黄提灌工程)建设后开发起来的一个新型灌区,地理坐标为 103°51′—104°13′E、37°13′—37°20′N。研究区为由西南向东北倾斜的微型盆地,海拔 1565 m。研究区气候干旱少雨,年均降水量 185 mm,但年均蒸发量高达 3040 mm;年均气温 8.5℃,极端最高气温 39℃,极端最低气温-27.3℃,且雨热同期;风大沙多,年均风速为 3.5 m/s,年大风日数为 27.9 d,最大风速 25 m/s,年均沙尘暴日数为 21.9 d,最长达 47 d。地表水资源贫乏,农业与生活用水调用黄河水资源;地下水资源矿化度高、水质差。土壤类型主要为灰钙土和荒漠灰钙土,低地分布盐渍化土壤。天然植物种主要有白刺(*Nitraria tangutorum*)、红砂(*Reaumuria songarica*)、盐爪爪(*Kalidium foliatum*)和针茅(*Stipa Spp.*)等。

2 研究方法

2.1 样地选择与取样方法

在甘肃景电灌区,设置 4 年生、7 年生和 11 年结果盛期枸杞林样地 3 处,每处样地设置大小为 20 m × 20 m 的大样方 3 个,样方间距 50 m。选择枸杞生长旺季(8 月),测定样方内每株枸杞的高度(cm)、冠幅(cm²)和地径(mm);在每个大样方内沿对角线设置 1 m×1 m 的小样方 5 个,调查草本植物的组成与数量,分析人工枸杞林群落的结构与数量特征。设置盐碱地对照样地,在盐碱地和枸杞林每个大样方,分别挖取土壤剖面 1 个,剖面深度 1 m,每 10 cm 为一层,测定土壤容重(g/cm³)和水分(%),取样带回实验室风干处理,测定土壤粒度(%),孔隙度(%),有机质(g/kg)、全氮(g/kg)、全钾(g/kg)、全盐(g/kg)和 pH 等理化性质。如表 1 所示,枸杞林地盐分与 pH 很高,但是与未利用盐碱地相比,枸杞林地土壤粘性明显下降,有机质、全氮显著提高,盐碱性显著降低。

表 1 人工枸杞林地土壤理化性质(平均值±标准误)

Table 1 Soil physicochemical properties of the artificial *L. barbarum* plantation

样地 Plots	土壤理化性质 Soil physicochemical properties								
	含水率 Water content/%	粘粒含量 Clay content/%	容重 Bulk density/ (g/cm ³)	孔隙度 Porosity/%	有机质 Organic matter/ (g/kg)	全氮 TN/ (g/kg)	全钾 TK/ (g/kg)	全盐 Total salt/ (g/kg)	pH
枸杞林 <i>L. barbarum</i> plantation	31.6±1.9a	9.7±1.0b	1.32±0.12a	50.4±1.1a	15.95±0.9a	1.14±0.14a	25.76±2.2a	10.58±3.1b	8.2±0.05b
盐碱地 Saline land	29.4±2.6b	12.9±0.6a	1.28±0.14b	50.7±0.5a	10.90±1.3b	0.76±0.07b	22.85±1.7b	42.76±4.2a	8.5±0.14a

同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)

基于枸杞林群落调查结果,在每个样地内选择枸杞标准植株 3 株,测定其株高、冠幅、根深、地径和生物量。地上层,以 50 cm 为层级,划分为 0—50、50—100、100—150 cm 和 150—200 cm 层取样;每一层构件(花、果、叶、枝条和主杆)分别测定生物量鲜重,同一样地植株取混合样品带回实验室,测定不同构件的含水率与营养元素含量。地下层,按照株行距大小,采用全挖法挖取根系生物量,取样深度为 1 m,并分中细根(直径<5 mm)、粗根(直径 5—10 mm)、极粗根(直径>10 mm)分别测定生物量鲜重^[18],同一样地植株取混合样品带回实验室,测定不同根系的含水率与营养元素含量。

单位面积枸杞林营养元素输出量包括了叶、果实和修剪枝。其中,叶营养元素输出量由标准单株叶生物量和营养元素含量计算获得。考虑枸杞果实成熟期长,果实营养元素输出量由 3 个样地的亩产量和营养元素含量计算获得。基于枸杞林群落调查结果,在每个样地内另选枸杞标准植株 3 株,在春季、夏季对修剪枝进行称重,同一样地植株取混合样品带回实验室,烘干称重后计算修剪枝营养元素输出量。

2.2 样品分析测定方法

植物样品分析测定委托甘肃省农业大学资源与环境学院分析测试实验室测定。全碳(TC)采用 K₂Cr₂O₇-H₂SO₄容量法,全氮(TN)采用凯氏定氮法,全磷(TP)采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-钒钼黄比色法,全钾(TK)采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-火焰光度法,全硫(TS)采用硫酸钡比浊法,灰分(Ash)采用干灰化法^[19]。

2.3 数据处理

数据分析处理和图形绘制使用 Microsoft 公司的表格处理软件 Excel 2007 完成。单因素方差分析 (one-way ANOVA) 使用 SPSS 16.0 数据处理系统, 多重比较用 LSD 法检验 ($\alpha=0.05$)。

3 结果与分析

3.1 枸杞植株构件的营养元素含量

枸杞不同构件的碳、磷、氮、钾、硫和灰分元素含量显著不同, 反映了其不同构件对不同营养元素的吸收不同 (图 1)。其中, 全碳含量以主杆最高, 达到 44.25%, 其次是枝条, 也达到 41.33%, 均与根系、叶、花和果实间差异显著; 叶最低, 仅有 29.8%, 占到主杆的 67.3%。全氮含量以花最高, 达到 2.76%, 是主杆、枝条、根系、叶和果实的 6.7、6.9、2.1、2.0 倍和 1.8 倍; 木质化最高的主杆与枝条最低, 仅达到 0.41% 和 0.40%。全磷含量以花最高, 达到 0.18%, 是主杆、枝条、根系、叶和果实的 32.5、22.7、16.4、16.0 倍和 13.2 倍; 主杆最低, 仅达到 0.06%。全钾含量也以花最高, 达到 1.61%, 是主杆、枝条、根系、叶和果实的 6.6、4.7、3.0、2.1 倍和 1.1 倍; 主杆最低, 仅为 0.24%。全硫含量以果实与叶最高, 均达到 0.19%; 枝条最低, 仅为 0.12%。灰分含量, 以叶最高, 达到 24.24%, 是主杆、枝条、根系、果实和花的 7.6、10.0、2.3、4.2 倍和 3.6 倍; 以枝条最低, 仅为 2.43% (图 1)。因此, 枸杞花中富含碳、氮、磷和钾, 果实中富含碳、钾和硫, 叶富含硫和灰分, 主杆和枝条富含碳, 根系富含碳和氮。

3.2 枸杞植株构件营养元素的累积分配特征

不同营养元素在枸杞构件中的累积量也显著不同。其中, 单株枸杞主杆、根系和枝条碳累积量分别达到 377.8、334.5 g 和 270.5 g, 合计占到全株的 78.1%。单株根系和叶氮累积量分别达到 11.7 g 和 6.5 g, 合计占到全株的 65.9%。磷在根系中累积量最大, 单株达到 0.95 g, 与其他构件差异显著。单株根系、叶和果实钾累积量分别达到 4.8、3.7 g 和 3.1 g, 合计占到全株的 72.8%, 均与枝条、主杆和花中累积量差异显著。硫在根系中累积量最大, 单株达到 1.2 g; 在主杆、枝条和叶中均有较大累积量。灰分以叶中累积量最大, 单株达到 115.1 g, 占到全株的 40.3%; 其次是根系, 占到全株的 31.4%, 均与其他构件差异显著 (图 2)。枸杞单株主要营养元素累积量根系 \approx 主杆 > 枝条 > 叶 > 果实 > 花, 其中碳是枸杞植株的主要累积物质, 所占生物量干重的比例均超过 30%; 而氮、磷、钾和硫累积量所占生物量干重的比例均在 3% 以下。

3.3 枸杞植株营养元素空间累积分布特征

营养元素在枸杞植株不同空间层次的累积量也显著不同。单株枸杞地上部分各营养元素均以 50—100 cm 层次的累积量最大, 占到地上部分的 42.3%; 0—50 cm 和 100—150 cm 次之, 分别占到地上部分的 26.9% 和 24.5%; 150—200 cm 层次最少, 仅占到地上部分和 50—100 cm 的 6.3% 和 14.7% (图 3)。其中, 50—100 cm 层次碳累积量是 0—50、100—150 cm 和 150—200 cm 层次的 1.5、1.8 倍和 7.5 倍, 与根系大小接近; 氮累积量是 0—50、100—150 cm 和 150—200 cm 层次的 1.9、1.3 倍和 4.2 倍, 与 100—150 cm 层次差异不显著, 且只占根系的 50%; 磷累积量是 0—50、100—150 cm 和 150—200 cm 层次的 1.9、1.4 倍和 5.0 倍, 与根系差异不显著; 钾累积量是 0—50、100—150 cm 和 150—200 cm 层次的 2.1、1.2 倍和 3.7 倍, 与根系差异不显著; 硫累积量是 0—50、100—150 cm 和 150—200 cm 层次的 1.7、1.6 倍和 5.8 倍, 与根系累积量差异不显著; 灰分累积量是 0—50、100—150 cm 和 150—200 cm 层次 1.6、1.4 倍和 5.0 倍, 与 100—150 cm 层次和根系累积量差异不显著。

3.4 枸杞栽培的营养元素输出

枸杞作为落叶灌木, 叶是其营养元素输出的主要途径之一。其中, 枸杞叶年碳输出量最大, 是氮、磷、硫和钾输出量的 21.7、264.8、160.7 倍和 38.2 倍, 而灰分元素占碳输出量 81.3%, 但与碳输出量差异显著。叶年氮、磷和钾元素输出量合计达到 79.5 kg/hm² (表 2)。同时, 作为干旱地区重要的经济林果, 果实也是枸杞营养元素输出的主要途径之一。果实年碳输出量也最大, 是氮、磷、硫、钾和灰分输出量的 26.3、289.0、210.6、27.1 倍和 5.8 倍。果实年氮、磷、钾输出量合计达到 91.1 kg/hm², 其中氮与钾输出量相当 (表 2)。枝条修剪是枸杞另

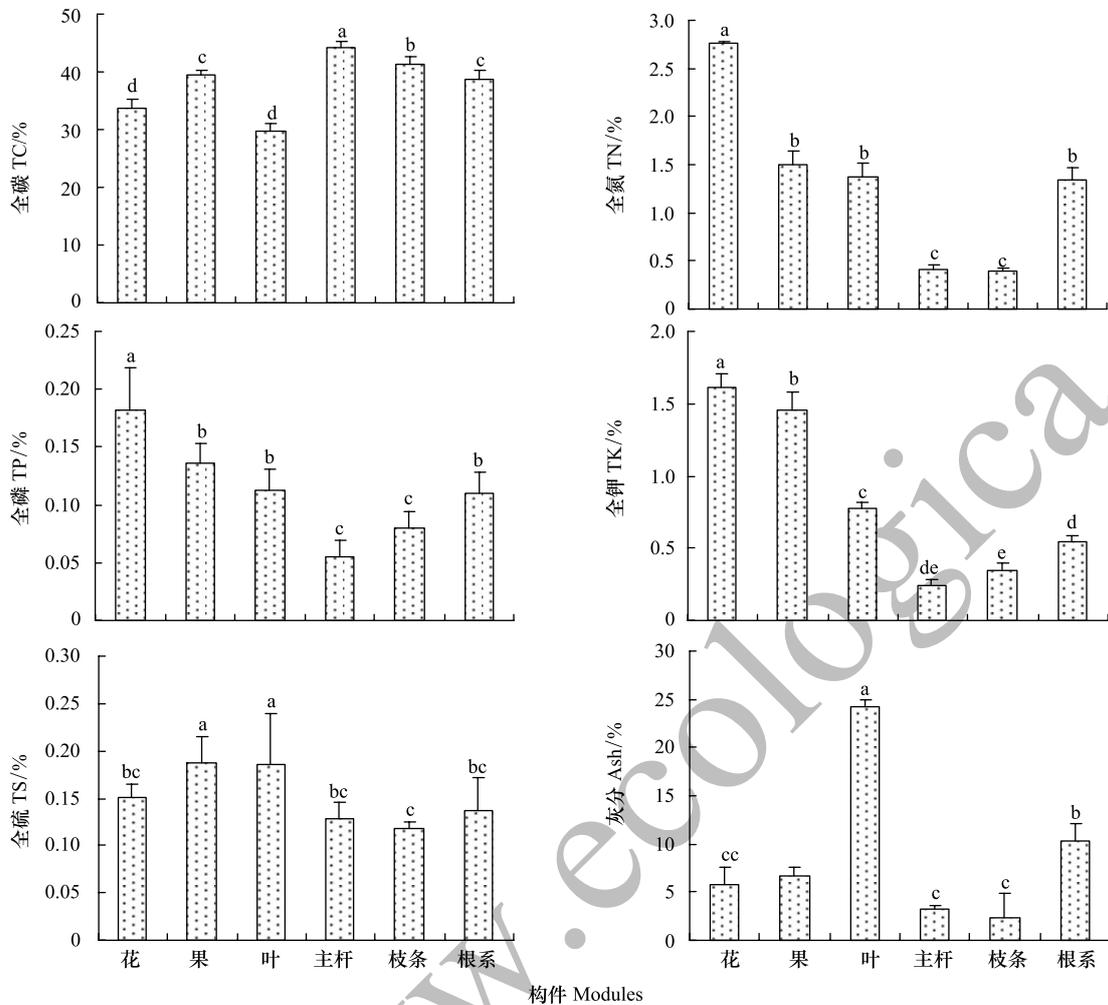


图1 单株枸杞不同构件的营养元素含量

Fig.1 Percentage content of the main nutrient elements in the different modules of single *L. barbaru* plant

不同字母表示差异显著 $P < 0.05$

一种主要的物种输出途径,其中碳输出量是氮、磷、硫、钾和灰分输出量的 102.7、520.5、349.3、120.5 倍和 17.0 倍,而氮、磷、钾输出量合计达到 23.3 kg/hm^2 (表 2)。

表 2 枸杞林主要营养元素的年输出量

Table 2 Annual output of the main nutrient elements of *L. barbaru* plantations

类别 Types	全碳 TC/(kg/hm^2)	全氮 TN/(kg/hm^2)	全磷 TP/(kg/hm^2)	全钾 TK/(kg/hm^2)	全硫 TS/(kg/hm^2)	灰分 Ash/(kg/hm^2)
果实 Fruits	$1162.5 \pm 195.4a$	$44.2 \pm 7.4a$	$4.0 \pm 0.7a$	$42.9 \pm 7.2a$	$5.5 \pm 0.9ab$	$198.7 \pm 33.4b$
修剪枝 Pruning branches	$1164.9 \pm 130.5a$	$11.3 \pm 1.3b$	$2.2 \pm 0.3a$	$9.7 \pm 1.1c$	$3.3 \pm 0.4b$	$68.6 \pm 7.7c$
叶 Leaves	$999.7 \pm 45.0a$	$46.1 \pm 2.1a$	$3.8 \pm 0.2a$	$26.2 \pm 1.2b$	$6.2 \pm 0.3a$	$813.3 \pm 36.6a$
合计 Total	3327.1 ± 159.2	101.6 ± 4.2	10.0 ± 0.6	78.8 ± 3.8	15.1 ± 0.8	1080.7 ± 40.6

同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)

叶、果实和修剪枝条相比,碳均为主要输出元素,且差异不显著,而磷输出差异也不显著;叶与果实氮输出量相当,且显著高于修剪枝条;钾输出量以果实最高,叶次之,均显著高于修剪枝条;硫输出以叶最高,显著高于修剪枝条,但是与果实差异不显著;灰分以叶最高,显著高于果实和修剪枝条。植物三大必须营养元素氮、磷和钾的年输出量累积达到 190.4 kg/hm^2 ,其中果实产生的输出量达到 91.1 kg/hm^2 ,占到全年累积输出量的

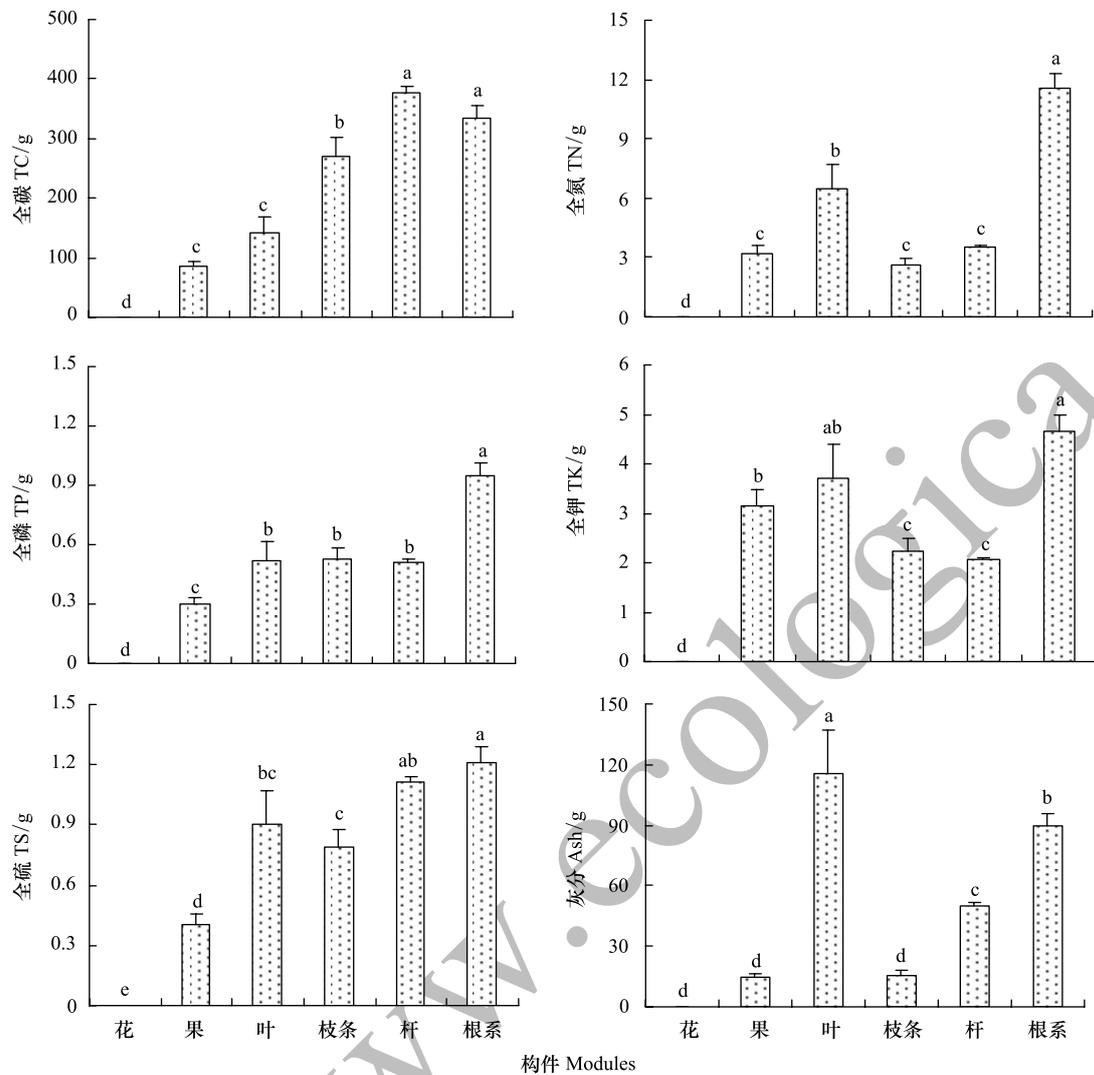


图2 单株枸杞不同构件营养元素的累积量

Fig.2 Cumulative amount of the main nutrient elements in the different modules of single *L. barbaru* plant

不同字母表示差异显著 $P < 0.05$

47.7%；枝条修剪产生的输出量达到 23.2 kg/hm^2 ，占到全年累积输出量的 12.2%。显然，枸杞林生态系统每年均有大量营养元素输出系统之外，因此人工补充施肥对于保持枸杞林生长以及维持高产量显得十分重要，开发利用枸杞修剪枝条也显得十分必要。

4 讨论

盐碱地枸杞林栽培已成为一种干旱区盐碱地综合利用的高效发展模式，可实现盐碱地改良、农民增收和减排增汇，在干旱地区盐渍化区域大面积推广应用^[20-21]。但是，盐碱地枸杞的经济效益也是建立在频繁灌溉、大量施肥以及精细修剪管理等高投入的基础之上，因此枸杞生长所需的营养元素的保障是枸杞林高产的基础^[8,13,22]。植物不同构件和器官对营养元素的吸收和分配不同^[22-25]。碳是构成植物的主要元素，郑帷婕等^[25]发现陆生灌木植物的叶碳含量介于 35.51%—59.42%，枝条碳含量介于 43.71%—44.99%，主杆碳含量介于 31.18%—63.12%，根系碳含量介于 38.58—58.46%，但是平均值差异不显著。本研究中灌木枸杞构件的平均碳含量主杆(44.25%)>枝条(41.33%)>果实(39.41%)>根系(38.78%)>花(33.70%)>叶(29.80%)，而且叶和枝条的碳含量明显低于上述陆生植物的碳含量范围。Sofa 等研究发现幼树果园中固定的 CO_2 大部分

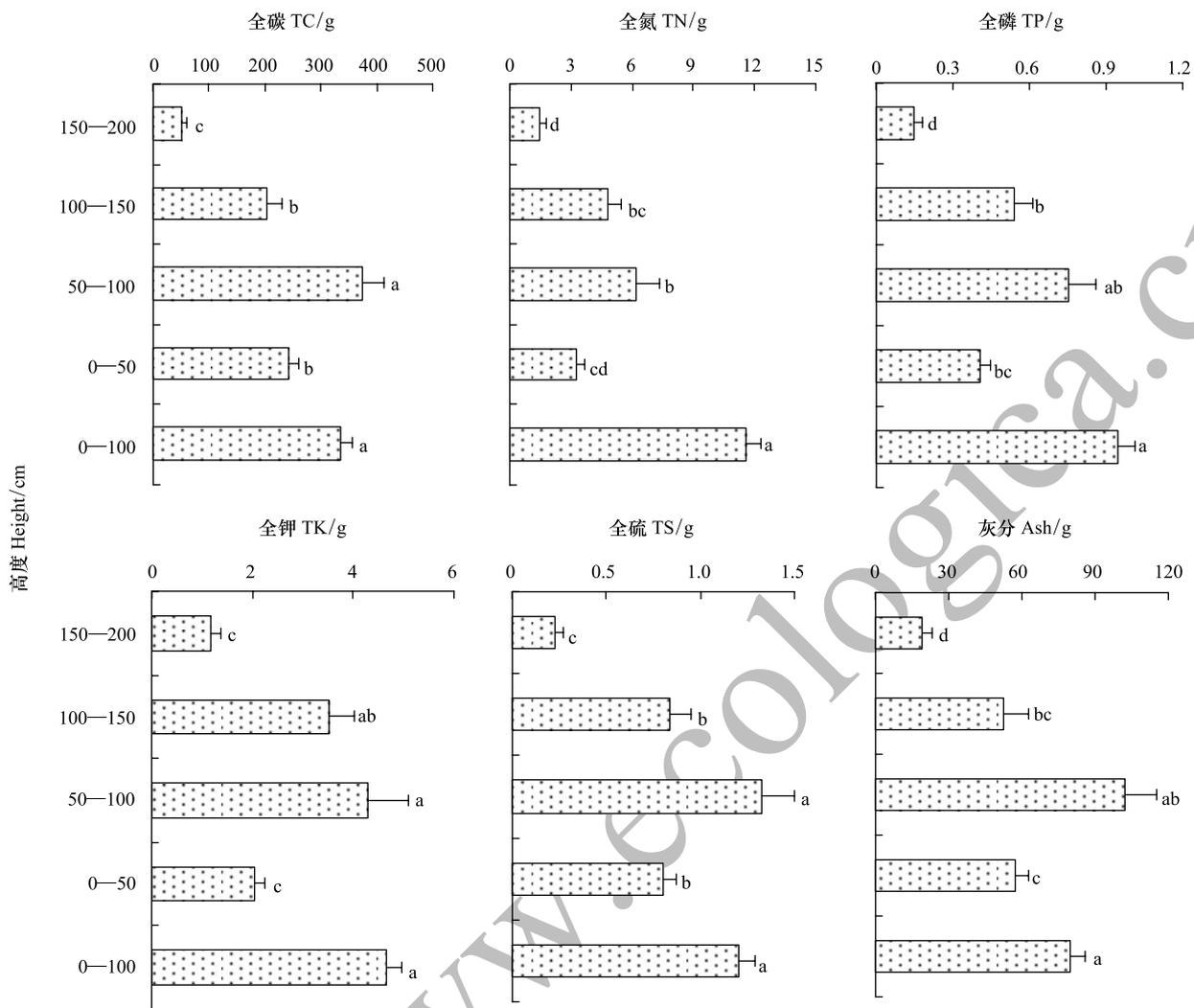


图3 单株枸杞营养元素的空间分布

Fig.3 Spatial cumulative distribution of the main nutrient elements of single *L. barbaru* plant不同字母表示差异显著 $P < 0.05$

分配到枝、干和根系等器官中,而在成龄果园中固定的 CO_2 主要分配在叶、修剪的枝条和果实中^[23]。刘兴良等研究发现川西云杉人工林随枝条年龄的增加,枝条中氮、磷、钾的含量随之降低^[26]。因此,不同生长阶段测定的碳含量会有所不同,物种差异、林龄以及栽培管理措施等的差异估计是引起碳含量不同的原因。

枸杞对不同营养元素的吸收与分配明显不同,其不同构件的氮、磷、钾和硫等常量元素的含量显著低于碳含量。但是,氮、磷、钾是植物生长必需的三大元素,在花与果中的含量相对最高,说明氮、磷、钾对枸杞经济产量的影响重要,建议在枸杞花期与结实期栽培中加强对氮、磷、钾供应。该研究结论与前期研究结果相互印证,贺春燕等研究发现氮、磷、钾三元配施可提高枸杞果实的产量和品质^[27];蔡国军等研究发现氮、磷、钾可以显著提高枸杞多糖、总糖、类胡萝卜素 3 种化学成分^[28]。从营养元素的累积量来看,本研究发现各营养元素累积分配量以 50—100 cm 层最高,其次是 100—150 cm 和 0—50 cm 层,150—200 cm 层最低,认为 50—100 cm 层是枸杞栽培管理的关键层。这与枸杞植株构型和结实特性密切相关^[8]。

枸杞林作为经济林生态系统,结实期长,产果量大,每年造成氮、磷和钾元素流失量累积达到 91.1 kg/hm^2 。在景电灌区,成龄期枸杞的年干果产量达到 3000 kg/hm^2 以上^[22];在榆林地区,盛果期枸杞的鲜果产量达到 15000 kg/hm^2 ,而干果产量也达到 3000 kg/hm^2 ^[29]。枸杞修剪与枸杞产量有重要的相关性,是维持和

提高枸杞林产量最常用的技术措施,修剪量的大小严重影响枸杞的产量^[30]。在景电灌区,年枝条修剪量达到 2800 kg/hm²,每年造成氮、磷和钾元素流失量累积达到 23.3 kg/hm²。与对照盐碱地相比,本研究发现枸杞林栽培显著提高了土壤有机质、全氮含量,降低了土壤盐分(表 1)。但是,景电灌区不同林龄枸杞林间土壤养分差异并不显著^[31],而且成龄期枸杞林土壤缺氮、缺磷^[32]。牟宗江等研究认为,人工枸杞林对土壤盐渍化具有改良作用,但是会加重土壤贫瘠程度,一定程度上会降低土壤质量^[21]。显然,枸杞林土壤缺肥或土壤质量的下降与枸杞落叶、果实采收和修剪引起的碳、氮、磷、钾、硫以及矿质元素的大量流失有关。因此,在栽培管理中需要通过控制合理栽植密度,充分利用光能提高枸杞碳合成能力;增施氮肥、钾肥和复合肥等,以保证枸杞林的营养元素充足,从而保持枸杞林的健康生长与持续丰产。

5 结论

营养元素的吸收与分配是提高作物产量的关键。盐碱地人工栽培枸杞植株不同构件的营养元素含量和累积量显著不同,其中碳是构成枸杞植株的主要营养元素,但是植物生长必需三大元素氮、磷、钾在花与果中的含量相对最高,对枸杞经济产量的影响重要。在枸杞植株不同空间层次,不同营养元素均以 50—100 cm 层的累积量最大,是栽培管理的重要冠层。研究结果说明枸杞不同构件对不同元素的吸收不同,而且枸杞作为落叶经济型灌木,叶、果实与修剪栽培每年造成大量的营养元素流失。因此,合理施肥对保持枸杞林健康生长以及维持高产量十分关键,而修剪枝的粉碎还田也十分必要。

参考文献 (References):

- [1] Puri S, Swamy S L. Growth and biomass production in *Azadirachta indica* seedlings in response to nutrients (N and P) and moisture stress. *Agroforestry Systems*, 2001, 51(1): 57-68.
- [2] 杨成, 刘丛强, 宋照亮, 刘占民. 贵州喀斯特山区植物营养元素含量特征. *生态环境*, 2007, 16(2): 503-508.
- [3] Abrahamson W C, Caswell H. On the comparative allocations of biomass, energy, and nutrients in plants. *Ecology*, 1982, 63(4): 982-991.
- [4] 莫江明, 张德强, 黄忠良, 余清发, 孔国辉. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林植物营养元素含量分配格局研究. *热带亚热带植物学报*, 2000, 8(3): 198-206.
- [5] 邓蕾, 王鸿喆, 上官周平, 刘广全. 水蚀风蚀交错区柠条锦鸡儿叶片比叶面积和营养元素变化动态. *生态学报*, 2010, 30(18): 4889-4897.
- [6] 刘广全, 土小宁, 赵士洞, 孙升辉, Cravenhorst G. 秦岭松栎林带生物量及其营养元素分布特征. *林业科学*, 2001, 37(1): 28-36.
- [7] Hagen-Thorn A, Stjernquist I. Micronutrient levels in some temperate European tree species; a comparative field study. *Trees*, 2005, 19(5): 572-579.
- [8] 白寿宁. 宁夏枸杞研究. 银川: 宁夏人民出版社, 1999.
- [9] Amagase H, Farnsworth N R. A review of botanical characteristics, phytochemistry, clinical relevance in efficacy and safety of *Lycium barbarum* fruit (Goji). *Food Research International*, 2011, 44(7): 1702-1717.
- [10] Amagase H, Nance D M. *Lycium barbarum* increases caloric expenditure and decreases waist circumference in healthy overweight men and women: pilot study. *Journal of the American College of Nutrition*, 2011, 30(5): 304-309.
- [11] Kim J S. Comparison of antioxidant properties of water and ethanol extracts obtained from dried boxthorn (*Lycium chinensis*) Fruit. *Food and Nutrition Sciences*, 2012, 3(9): 1307-1320.
- [12] Zhao J H, Li H X, Xi W P, An W, Niu L L, Cao Y L, Wang H F, Wang Y J, Yin Y. Changes in sugars and organic acids in wolfberry (*Lycium barbarum* L.) fruit during development and maturation. *Food Chemistry*, 2015, 173: 718-724.
- [13] 周萍, 郭荣, 张自萍. 枸杞果实发育过程中营养成分的变化规律及其影响因素研究进展. *农业科学研究*, 2007, 28(3): 59-62.
- [14] 安巍, 章惠霞, 何军, 李晓莺, 樊云芳. 枸杞育种研究进展. *北方园艺*, 2009, (5): 125-128.
- [15] 任月萍, 胡忠庆. 宁夏枸杞主要病虫害化学防治研究进展. *宁夏农学院学报*, 2004, 25(3): 88-91.
- [16] 王小军, 张举海. 甘肃省景泰县盐渍化耕地调查研究. *甘肃科技*, 2012, 28(23): 147-148, 162-162.
- [17] Wang Y L, Zhao C Y, Ma Q L, Li Y K, Jing H J, Sun T, Milne E, Easter M, Paustian K, Yong H W A, McDonagh J. Carbon benefits of wolfberry plantation on secondary saline land in Jingtai oasis, Gansu—a case study on application of the CBP model. *Journal of Environmental Management*, 2015, 157: 303-310.

- [18] 王成, 金永焕, 刘继生, 金玉善, 金春德, 李英洙. 延边地区天然赤松林单木根系生物量的研究. 北京林业大学学报, 1999, 21(1): 44-49.
- [19] 吴冬秀. 陆地生态系统生物观测规范. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [20] 杨瑞峰, 胡文超, 李志刚. 宁夏枸杞固碳潜力的初步研究. 农业科学研究, 2012, 33(1): 49-52.
- [21] 牟宗江, 何学敏, 孙景鑫, 吕光辉. 种植枸杞对干旱区荒漠缓冲带土壤质量的影响. 新疆农业科学, 2011, 48(11): 2109-2115.
- [22] 孙涛, 王耀琳, 马全林, 李银科, 靳虎甲, 张莹花, 郭春秀, 朱国庆, 王桢. 景电灌区次生盐碱地枸杞林经济效益分析. 草业科学, 2013, 30(9): 1454-1461.
- [23] Sofo A, Nuzzo V, Palese A M, Xiloyannis C, Celano G, Zukowskyj P, Dichio B. Net CO₂ storage in Mediterranean olive and peach orchards. *Scientia Horticulturae*, 2005, 107(1): 17-24.
- [24] 何池全. 毛茛苔草湿地植物营养元素分布及其相关性. 生态学杂志, 2002, 21(1): 10-13.
- [25] 郑帷婕, 包维楷, 辜彬, 何晓, 冷俐. 陆生高等植物碳含量及其特点. 生态学杂志, 2007, 26(3): 307-313.
- [26] 刘兴良, 宿以明, 刘世荣, 马钦彦. 四川西部川西云杉人工林非同化器官营养元素含量与分布. 生态学报, 2003, 23(12): 2573-2578.
- [27] 贺春燕, 王有科, 齐广平, 李捷, 张广忠. 氮磷钾配施对景电灌区枸杞生长及产量的影响. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(2): 100-104.
- [28] 蔡国军, 张广忠, 张宝琳, 王三英, 仲玲玲, 武蕾, 胡秉芬, 魏强. 氮、磷、钾对枸杞果实糖类、胡萝卜素含量的影响. 西南农业学报, 2013, 26(1): 209-212.
- [29] 申世永, 张顶辉. 榆林市枸杞栽植状况的调查. 防护林科技, 2014, (11): 74-75.
- [30] 唐慧锋, 谢施诒, 赵世华, 杜相革, 胡忠庆, 王少东, 张友廷. 不同修剪量对枸杞产量的影响. 北方果树, 2003, (5): 9-10.
- [31] 李银科, 马全林, 王耀琳, 孙涛, 靳虎甲, 宋德伟, 朱国庆, 杜娟. 景电灌区次生盐渍化土地枸杞林的土壤特征研究. 草业学报, 2015, 24(5): 66-74.
- [32] 贺春燕, 张广忠, 李岁成. 甘肃中部引黄灌区枸杞施肥管理与土壤养分状况调查分析. 甘肃林业科技, 2011, 36(2): 6-10.