

施用沼液对景电灌区枸杞生长及品质的影响

周倩倩^{1,2}, 王有科¹, 李捷¹, 贺春燕¹, 赵栋¹, 陈娜¹, 李小刚¹
(1 甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070; 2 甘肃林业职业技术学院 林业工程系, 甘肃 天水 741020)

摘要: 以4年生枸杞宁杞一号为供试材料,采用随机区组试验设计,研究了不同沼液用量(0、6、8、10、12和14 kg·株⁻¹)对枸杞生长、品质和产量的影响.结果表明,增施沼液可以加快枸杞的新梢生长,提高叶面积和叶绿素含量,促进多糖、类胡萝卜素、黄酮和甜菜碱的积累,同时增加枸杞果实百粒质量及产量.不同沼液用量对各指标的影响存在显著差异:新梢生长呈先上升后下降趋势,叶质量与叶面积指标在施用10 kg·株⁻¹(基肥和追肥各5 kg·株⁻¹)沼液时出现峰值,叶绿素含量随沼液施用量的增加明显上升,施用量高于12 kg·株⁻¹(基肥和追肥各6 kg·株⁻¹)时叶绿素含量基本稳定;多糖和甜菜碱含量分别在施用10和12 kg·株⁻¹时达到最大,类胡萝卜素含量随施用量增加而增加,而黄酮含量增幅不明显;单株干果产量随施用量的增加有所增加,在达到10 kg·株⁻¹后,产量基本保持稳定.综合来看,在现有施肥基础上配施10 kg·株⁻¹沼液对枸杞生长、品质及产量有显著促进作用.

关键词: 枸杞;沼液;药用品质;高产;景电灌区
中图分类号: S147.34; Q949.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2013)01-0012-06

Effects of Applying Biogas Liquid Manure on the Growth and Quality of *Lycium barbarum* in Jingtai Electric-Irrigation Region

ZHOU Qianqian^{1,2}, WANG Youke¹, LI Jie¹, HE Chunyan¹, ZHAO Dong¹, CHEN Na¹, LI Xiaogang¹
(1 College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;
2 Department of Forestry Engineering, Gansu Forestry Technological College, Tianshui 741020, China)

Abstract: By using a four-year old Ningqi NO. 1 as the tested material, different amounts of biogas liquid manure (0, 6, 8, 10, 12, 14 kg per plant) were applied to study their effects on the growth, quality and yield with a random block experimental design. The results showed that the application of biogas liquid manure not only increased the aboveground biomass, leaf area index and chlorophyll content, but also enhanced the 100-seed mass, yield, polysaccharide, carotenoid, flavonoid and betaine content in the fruits. There were significant variations in different treatments. Spring shoot growth rates increased first and decreased afterwards. Leaf area and biomass peaked under the treatment of 10 kg per plant. With the increase of the application of biogas liquid manure, chlorophyll content presented an obviously rose and tended to be stable when the application of biogas liquid manure was higher than 12 kg per plant. Polysaccharides and betaine content reached maximum value under 10 and 12 kg per plant respectively. Carotenoid content and dried fruit mass increased while flavonoid content did not increase with application of biogas liquid manure, and the dried fruit mass of application of biogas liquid manure 10 kg per plant tended to be stable. The combination of the existing fertilization with the application of biogas liquid manure 10 kg per plant had significant effects on the growth, quality and grain yield.

Key words: *Lycium barbarum*; biogas liquid manure; medicinal qualities; high yield; Jingtai electric-irrigation area

沼液是人畜粪便、农作物秸秆等各种有机物经厌氧发酵后的液体残余物,含有丰富的腐殖质,养分全面,对提高农产品的产量、品质有积极作用^[1-2],且养分容易被果树吸收利用^[3-4].连续使用能改善土壤结构,增加土壤中的有机质,确保果树生长所需的良好微生态环境,提高土壤的保水、保肥、抗旱能力.此外,施用沼液还可以增加土壤脲酶、转化酶的活性^[3,5],其在作物栽培中的应用已引起许多学者的关注.研究表明,沼液和化肥混合施用能有效提高草莓产量,改善草莓品质^[6];在施用氮磷钾化肥基础上,每营养钵增施沼液 500 mL 不但能改善蔬菜营养品质,使莴笋和生菜硝酸盐含量分别降低 53.5% 和 45.5%,而且可使 2 种蔬菜分别增产 51.0% 和 56.7%^[7].但沼液与化肥配施对枸杞 *Lycium barbarum* L. 产量及品质影响方面的研究很少,导致生产中沼肥应用还存在一定的盲目性.本研究拟通过沼液不同用量对枸杞生长、产量和品质的影响分析,探索沼液对枸杞生产的效应,寻求枸杞高产高效的沼液施肥模式.

1 材料与方法

1.1 试验时间及地点

田间试验于 2011 年 3—10 月,在甘肃省景泰县景电灌区玉杰农贸公司枸杞种植园进行,室内试验在甘肃农业大学林学院森林培育实验室进行.试验地土层深厚,表层以沙质轻壤为主,表层土壤(0~40 cm)有机质、全氮、全磷和全钾的质量分数分别为 14.62、0.88、0.25 和 25.33 g·kg⁻¹,速效氮、速效磷和速效钾质量分数分别为 53.50、24.53 和 196.02 mg·kg⁻¹,pH 8.03.

1.2 试验材料

试验材料为 4 年生枸杞品种宁杞一号,株行距 1 m×3 m,树势中庸.供试肥料:尿素 [$w(N) \geq 46.4\%$]、磷酸二铵 [$w_{\text{总}}(\text{养分}) \geq 64\%$, $m(N):m(P_2O_5) = 18:46$] 和矿物硫酸钾 [$w(K_2O) \geq 20\%$];沼液取自使用了 2 年的沼气池水压间的中层液体,发酵主要原料为猪粪,沼液为褐色清液且无明显粪臭味,pH 7.84,速效氮、速效磷和速效钾质量浓度分别为 212.13、25.50 和 284.01 mg·L⁻¹.

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 在试验区选取 4 年生密度均匀、

长势一致的枸杞田 1 334 m² 作为试验用地,平均划分为 18 个区域,各区块用宽 0.5 m 的土垄隔开.采用随机区组试验设计,共设 6 个试验组:以不施沼液为对照(CK),处理 I~V 的沼液用量分别为 6、8、10、12 和 14 kg·株⁻¹,每组 3 次重复,每重复选 7 株.沼液全年施 2 次:第 1 次施 50%,随基肥(腐熟羊粪 5 kg·株⁻¹,全年试验设计尿素用量的 10% 和磷、钾肥用量的 50%)采用环状沟施法,于 2011 年 3 月 25 日一次性施入;第 2 次也施 50%,于 6 月中旬随剩余 50% 磷、钾肥穴施.全年化肥用量及施入方法参考井辉隶等^[8]和贺春燕等^[9]的研究结果,尿素 580 g·株⁻¹,颗粒磷肥 400 g·株⁻¹,硫酸钾 200 g·株⁻¹,采用穴施法,于 4、5、6、7 月中旬分别施入尿素全年设计用量的 30%、20%、20% 和 20%,田间管理同常规.

1.3.2 测定方法 新梢生长量用游标卡尺和测尺测量.叶绿素采用乙醇浸提法.在每个施肥处理小区,选树冠各方向胸高处发育良好的健康分枝 2/3 处完全展开的叶子共 50 片,按照公式计算叶面积:叶片面积 = (整张复印纸面积/整张复印纸质量) × 叶形部分纸质量;随后把叶片在 105 ℃ 下杀青,在 65 ℃ 下烘干 24 h,称取干质量;比叶质量 = 叶片干质量/叶片面积,比叶面积 = 叶片面积/叶片干质量,取均值.采摘不同时期枸杞果实,测定枸杞果实百粒干质量及全年单株干果产量.选用夏果盛期的果实进行相关品质指标的测定,多糖采用蒽酮-硫酸法^[10],类胡萝卜素采用石油醚-丙酮萃取法,黄酮采用紫外光谱分析法,甜菜碱采用分光光度法^[11],土壤和肥料的相关指标采用常规分析方法^[12].

1.3.3 统计分析 试验数据采用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析,Duncan's 多重比较进行差异显著性检验,并用 Excel 2003 进行数据的相关统计分析并制图.

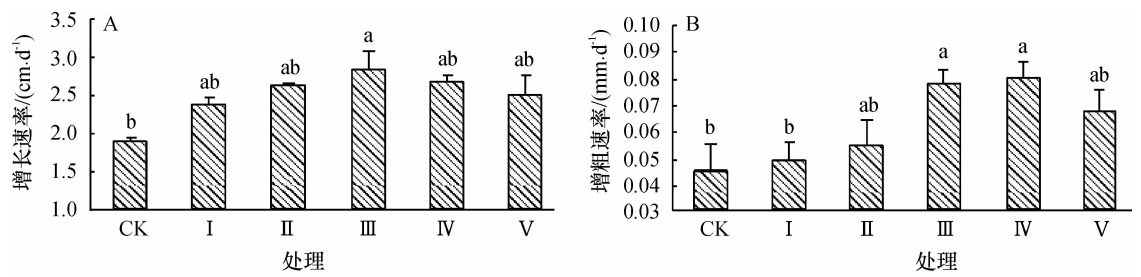
2 结果与分析

2.1 不同沼液用量对枸杞生长的影响

2.1.1 新梢生长速率 从图 1 可以看出,施用沼液处理的新梢生长速率均高于 CK.随着沼液用量的增加,新梢生长速率呈先增加后降低趋势.其中处理 III 与 CK 相比,增长生长速率增幅高达 50.80%,差异

达到显著水平($P < 0.05$). 对于茎粗生长速率,不同沼液用量处理中除处理 I 外,其余均与 CK 有较明显差异,其中以处理 IV 和 III 差异显著,分别比 CK 增粗

生长速率增加 79.73% 和 69.65%. 综合来看,处理 III、IV 对枸杞新梢茎长和茎粗的生长更为有利,用量过高反而会限制枸杞新梢的生长.



同一柱形图中,凡是柱子上方标有一个相同英文小写字母者表示 0.05 水平差异不显著 (Duncan's 法).

图 1 不同沼液用量处理对枸杞新梢生长速率的影响

Fig. 1 Effects of applying biogas liquid manure on growth rates of spring shoot of *Lycium barbarum*

2.1.2 叶质量与叶面积 如表 1 所示,不同沼液用量处理下枸杞叶干质量除处理 V 外均显著高于 CK,其中以处理 III 叶干质量最高,与 CK 相比增幅达 33.33%,且与处理 II 和 IV 差异不显著,表明处理 II、III 和 IV 能显著促进枸杞叶片干质量增加,有利于促进光合生产力的提高. 叶面积是衡量叶片光合能力的指标,在一定范围内,叶面积越大,越有利于拦截更多的阳光,制造有机物^[13]. 由表 1 可以看出,沼液处理 I ~ IV 的叶面积均大于 CK,而处理 V 小于 CK,其中处理 III 的叶面积为最高,比 CK 高出 46.03%,且差异显著,其余处理与 CK 差异不显著,表明处理 III 能显著促进叶片面积增加,提高叶片光合能力. 比叶面积表征了单位干质量的叶片面

积,受光照、温度、营养状况和叶龄等因素的影响. 比叶面积越大,单位干质量的叶片面积越大,叶片越薄,单位叶面积上的碳投资越少,用于构建防护结构的碳也越少^[13];同时较大的叶片面积有利于捕获更多的光能,提高植物具有更快的生长速度的可能性^[14]. 不同沼液处理枸杞叶片比叶面积以处理 III 最高,为 $19.808 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,说明其能够在相同的碳投资下固定更多的光能,为枸杞的生长繁育提供更多的物质积累,这与叶干质量和叶面积均达到各处理中最高水平一致;比叶质量与比叶面积互为倒数,二者反映了相同的规律. 综合来看处理 III 更有利于增加枸杞光合作用中有机物的积累,提高枸杞的生长潜力.

表 1 不同沼液用量对枸杞叶质量与叶面积的影响¹⁾

Tab.1 Effects of applying biogas liquid manure on leaf area and biomass of *Lycium barbarum*

处理	沼液用量/(kg·株 ⁻¹)	叶干质量/g	比叶质量/(g·cm ⁻²)	叶面积/cm ²	比叶面积/(cm ² ·g ⁻¹)
CK	0	0.466±0.022c	0.056±0.002a	6.830±5.759bc	16.336±0.748b
I	6	0.492±0.043b	0.058±0.004a	7.290±5.977b	17.660±1.307ab
II	8	0.510±0.039ab	0.055±0.002a	7.670±5.345b	18.161±0.659a
III	10	0.572±0.043a	0.052±0.004a	9.980±2.446a	19.808±1.455a
IV	12	0.544±0.018ab	0.059±0.004a	7.540±2.550b	17.181±1.112ab
V	14	0.450±0.014bc	0.060±0.002a	6.410±1.664c	16.836±0.613b

1) 表中数据为平均值±标准误;同列数据后,凡是标有一个相同英文小写字母者表示 0.05 水平差异不显著 (Duncan's 法).

2.1.3 叶绿素含量 叶绿素含量是反映光合强度的重要生理指标^[15]. 由表 2 可知,叶绿素含量随着沼液施用量的增加而上升,且增幅明显,但当施用量高于处理 IV 用量时增量基本稳定. 各处理的叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总含量规律性一致,均明显高于 CK,同时处理 IV、V 高于处理 I、II、III;叶绿素 a/b

值能反映叶片光合活性的强弱^[16],各处理中叶绿素 a/b 值均不同程度高于 CK,但与 CK 差异不显著,表明施用沼液只能在一定程度上提高枸杞叶片的光合活性. 综合来看,施用沼液可以提高枸杞叶片的叶绿素含量和叶片光合活性,延缓枸杞叶片衰老,促进有机物质的积累.

表 2 不同沼液用量对枸杞叶绿素含量的影响¹⁾

Tab.2 Effects of applying biogas liquid manure on chlorophyll content in leaves of *Lycium barbarum*

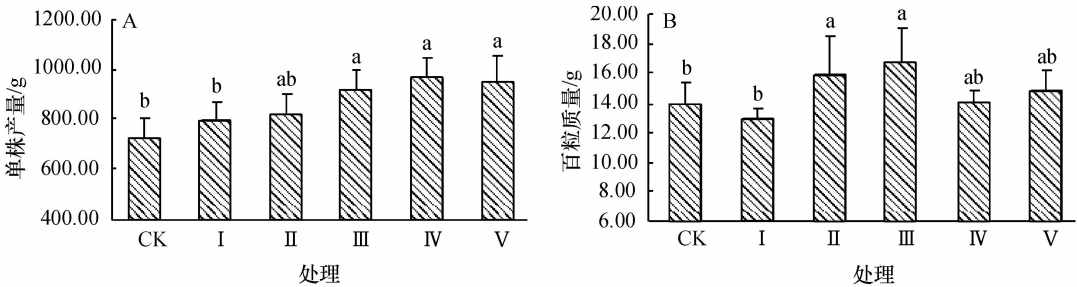
处理	沼液用量/ (kg·株 ⁻¹)	w(叶绿素 a)/ (mg·g ⁻¹)	w(叶绿素 b)/ (mg·g ⁻¹)	w(叶绿素 a)/ w(叶绿素 b)	w _总 (叶绿素)/ (mg·g ⁻¹)
CK	0	2.423 ± 0.021c	0.744 ± 0.049d	3.256 ± 0.021a	3.144 ± 0.070c
I	6	3.460 ± 0.014c	0.952 ± 0.014c	3.634 ± 0.014a	4.416 ± 0.007bc
II	8	3.828 ± 0.014bc	1.180 ± 0.007b	3.244 ± 0.007a	5.008 ± 0.014b
III	10	4.096 ± 0.007b	1.208 ± 0.007b	3.391 ± 0.009a	5.304 ± 0.007b
IV	12	5.216 ± 0.014a	1.516 ± 0.021a	3.441 ± 0.015a	6.732 ± 0.028a
V	14	5.204 ± 0.007a	1.572 ± 0.042a	3.311 ± 0.007a	6.772 ± 0.049a

1)表中数据为平均值±标准误;同列数据后,凡是标有一个相同英文小写字母者表示 0.05 水平差异不显著(Duncan's 法)。

2.2 不同沼液用量对枸杞产量及百粒质量的影响

由图 2A 可以看出,不同沼液用量对枸杞单株产量的影响整体表现为增长趋势,然而在处理 III 后增幅基本稳定. 与 CK 相比,各处理单株产量增幅在 5.21% ~ 34.07%,其中处理 III、IV 和 V 产量显著高于 CK 和处理 I. 表明施用沼液促进果实生长,调节了光合产物及其他营养物质向果实中运转,对提高果实的产量作用明显,但当沼液用量达到一定水平后,营养分配趋于稳定. 干果百粒质量是评价枸杞果实品质的重要指标,如图2B所示,干果百粒质量随

沼液用量增加变化趋势不明显,除处理 I 百粒质量略低于 CK 外,其余各处理均比 CK 高,其中处理 III、II 最高,分别比 CK 高出 20.56% 和 14.54%,差异达显著水平,其次是处理 V、IV,分别比 CK 高 6.66% 和 1.11%,但差异不显著. 增施沼液可提高枸杞产量及百粒质量,可能是由于沼液中的活性物质促进了作物吸收营养,促进干物质的积累和光合产量的增加. 整体上产量与百粒质量之间存在一定的负相关关系,这可能与枸杞果实数量生长和质量生长之间的营养分配竞争有关.



同一柱形图中,凡是柱子上方标有一个相同英文小写字母者表示 0.05 水平差异不显著(Duncan's 法)。

图 2 不同沼液用量处理对枸杞单株产量及百粒质量的影响

Fig.2 Effects of applying biogas liquid manure on the yield and the dry fruit of 100-seed mass of *Lycium barbarum*

2.3 不同沼液用量对枸杞药用品质的影响

枸杞的药用品质是决定果实品质的最主要因素,药用品质是通过枸杞果实中各营养成分的含量及其比例来体现的.

2.3.1 多糖含量 多糖是枸杞中最主要的有效成分和生物活性物质. 由表 3 可见,枸杞多糖含量表现为处理 III、IV 最高,分别比 CK 高 195.43% 和 123.29%,其次是处理 I、II,除处理 V 外其余各处理多糖含量均显著高于 CK,这可能是由于沼液中丰富的养分及大量的微生物提高了枸杞果实内与多糖积累相关的酶活性,然而氮素含量过高亦会对枸杞多糖含量产生抑制作用^[17].

表 3 不同沼液用量处理对枸杞药用品质的影响¹⁾

Tab.3 Effects of applying biogas liquid manure on medicinal quality of *Lycium barbarum*

处理	沼液用量/ (kg·株 ⁻¹)	w/(mg·g ⁻¹)			
		多糖	类胡萝卜素	黄酮	甜菜碱
CK	0	33.773 ± 14.517c	1.046 ± 0.139c	1.544 ± 0.036a	1.371 ± 0.932c
I	6	67.562 ± 18.486ab	1.594 ± 0.125bc	1.591 ± 0.034a	1.897 ± 0.052c
II	8	57.814 ± 5.983b	1.545 ± 0.083bc	1.671 ± 0.038a	2.186 ± 0.884c
III	10	99.756 ± 15.073a	1.611 ± 0.071bc	1.716 ± 0.044a	2.157 ± 0.474c
IV	12	75.417 ± 6.494ab	1.985 ± 0.042b	1.661 ± 0.032a	8.944 ± 0.598a
V	14	16.051 ± 6.121b	2.566 ± 0.076a	1.633 ± 0.053a	6.595 ± 0.216b

1) 表中数据为平均值±标准误;同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示 0.05 水平差异不显著(Duncan's 法)。

2.3.2 类胡萝卜素含量 类胡萝卜素是决定枸杞果实外观和药用品质的重要指标。由表3可见,随着单株沼液用量的增加,枸杞果实类胡萝卜素含量呈逐渐上升趋势,各处理类胡萝卜素含量均高于CK,其中处理V和IV的类胡萝卜素质量分数分别达2.566和1.985 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,与CK差异显著,表明施用沼液可以有效提高枸杞类胡萝卜素含量,在一定范围内枸杞类胡萝卜素含量随沼液用量增加而增加,然而其阈值有待于进一步研究。

2.3.3 黄酮含量 不同沼液用量对枸杞果实黄酮含量的影响表现为随沼液用量的增加先增加后降低的趋势,但增幅不明显,其中黄酮质量分数最高的处理Ⅲ为1.716 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,仅比CK高出11.11%,各处理黄酮含量均不同程度高于CK,但差异不显著(表3)。黄酮是植物的一种次生代谢产物,其合成要以光合作用的产物为基础,合成的前体物质是简单酚类^[18],各处理黄酮含量均高于CK,可能是由于施用沼液能够增强枸杞的光合作用,提高干物质含量,从而提高黄酮合成的前体物质的含量,有利于黄酮的合成。

2.3.4 甜菜碱含量 由表3可见,不同沼液用量处理下,枸杞中甜菜碱含量与CK相比均存在一定差异,然而在处理I~Ⅲ沼液用量范围内,对枸杞甜菜碱含量的增加效果并不显著,当沼液用量高于处理Ⅲ时,枸杞果实甜菜碱质量分数迅速增至8.944和6.595 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,分别为CK的6.53和4.82倍,表明当沼液施用量达到一定水平后,甜菜碱含量才出现增长趋势。

3 讨论与结论

施肥是补充作物营养,调节作物生长的重要手段之一^[19]。本试验结果表明,施用沼液有助于改善枸杞的生长状况,在生长期中茎长和茎粗生长速率均高于CK,随着沼液用量的增加,新梢生长速率呈先增加后降低趋势,其中处理Ⅲ对枸杞生长的促进作用最明显,这与文献[20-21]的研究结果一致。试验施用沼液的速效钾质量浓度较高,达284 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,能够有效补充枸杞生长所需的钾素。有研究表明,高水平的K营养和生长素能够促进植物生长,沼液中含有丰富的氮、磷、钾等大量元素以及一定量的激素和生长素类物质^[22],可使枸杞氮、磷、钾养分需求达到平衡,并且沼液中的矿质养分可以直接被叶片吸收和运转,及时供应植株所需养分,同时其所含生长素和激素为植株生长提供了有效的调节物质^[23-24]。

光合作用的主要器官是叶片,叶面积大小关系着叶片光合能力的强弱,影响干物质的生产能力,进而影响产量;叶干质量和比叶面积是反映枸杞叶片干物质累积程度和利用价值的重要指标,植物光合作用与产量呈显著或极显著的正相关关系^[25]。本试

验中施用沼液后,叶面积、叶干质量、比叶面积多不同程度地高于CK,其中处理Ⅲ综合性状最好,而再增加沼液用量(处理IV、V),各指标反而下降,这与李彦超等^[21]用沼液在狼尾草上的试验结果相一致。叶绿素含量是反映光合强度的重要生理指标,其中叶绿素a、b分别有利于吸收长光波和短光波,叶绿素a/b值的变化,能反映叶片光合活性的强弱^[26]。有研究证实,环境因子的改变可以引起叶绿素含量的变化,进而引起光合功能的改变^[16]。本研究结果表明,施用沼液可以提高枸杞叶片的叶绿素含量,且叶绿素含量随沼液用量增加而增加,说明增施沼液具有良好的增源效应,但其施用量与光合活性的关系效应需进一步研究。

枸杞为药食同源的植物,环境是药用植物生长发育和产品质量形成的物质能量基础,研究环境与药用植物生产的关系,是调整药用植物生产,控制生药质量的理论基础^[27]。张自萍等^[28]研究认为枸杞多糖形成与果实成熟时土壤中磷的关系密切,本研究中枸杞多糖含量表现为随沼液用量的增加而先增加后减少的趋势,处理Ⅲ达到最高,比CK高6.59%,这可能是因为沼液有比较丰富的磷素(25.51 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$),能够及时补充枸杞所需。同时可能由于沼液中大量的微生物提高了枸杞叶片和果实内与多糖积累相关的酶活性,从而影响了枸杞叶片光合产物的转化、运输和分配,最终导致枸杞果实多糖含量的变化,然而沼液用量过高亦会对枸杞品质产生限制作用。枸杞果实类胡萝卜素含量在较低用量(处理I、II)有些反复外,整体表现为随沼液用量增加而增加,这可能是由于少量沼液处理对枸杞类胡萝卜素含量影响效应并不显著,当沼液用量增加到一定程度(处理IV)时,沼液对枸杞类胡萝卜素的增加效应趋势明显,表现为处理V对枸杞类胡萝卜素增加效应最好,比CK高出145.26%,而其增加阈值在本研究中并未得到。同时有关沼液对类胡萝卜素含量及影响其积累的确切生理机制尚不清楚,有待于进一步研究。黄酮类物质是枸杞重要的抗氧化成分之一,是枸杞重要的药用品质指标。施用沼液可以增加枸杞黄酮含量,但效果不显著。施用沼液可增加枸杞果实甜菜碱含量,其中以处理IV增加效应最明显,比CK高552.62%,这可能与施用沼液的速效氮含量(212.34 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)有关^[29],由于甜菜碱积累的生理机制较为复杂,还需进一步研究。

施用沼液中含有丰富的氮、磷、钾及其他中、微量营养元素,可使枸杞氮、磷、钾养分需求达到平衡,故能提高枸杞的产量。结果表明,施用沼液加快了枸杞茎长、茎粗的生长,促进了叶质量和叶面积的发育,提高了叶绿素含量和百粒质量及各药用品质指

标,表现出明显的增产效应,单株产量与CK相比均有所提高。其中处理Ⅳ、Ⅴ和Ⅲ的产量高出CK 34.07%、33.12%和27.34%,且达到显著水平。综合来看处理Ⅳ对枸杞的增产效应最大,这可能是处理Ⅳ的沼液用量下沼液中的活性物质与化肥达到最佳的养分平衡状态,从而促进了作物对营养的吸收,提高了叶片的光合速率,进而促进光合产量的增加。

本研究结果表明,施用沼液可有效提高枸杞的生长、光合速率、产量及品质,但不同沼液用量对各指标的增加效应参差不齐,综合看来表现为株施沼液 $10 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ (基肥和生育期追肥各 $5 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$) 效果最好。通过本研究可以为枸杞的合理施肥提供参考,但本试验对沼液提高品质的作用机理并未涉及,特别是有必要弄清枸杞果实中各种活性成分与土壤肥力因子间的相互关系。此外沼液的使用是否可以减少化肥用量也有待于进一步深入探索,这对西北地区干旱半干旱地区的盐渍化土地利用与改良具有重要的理论和实践意义。

参考文献:

- [1] SANCHEZ C A, DOERGE T A. Using nutrient uptake patterns to develop efficient nitrogen management strategies for vegetables[J]. Hort-Techn, 1999, 16(4): 601-606.
- [2] 刘小刚, 李丙智, 张林森, 等. 追施沼液对红富士苹果品质及叶片生理效应的影响[J]. 西北农业学报, 2007, 16(3): 105-108.
- [3] 王桂芳, 李丙智, 张林森, 等. 苹果园沼液配施钾肥对土壤酶活性及果实品质的影响[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(5): 88-91.
- [4] 申丽霞, 王璞, 张软斌. 施氮对不同种植密度下夏玉米产量及子粒灌浆的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 314-319.
- [5] 杨发明. 玉米喷施沼液增产效果试验[J]. 中国沼气, 2005, 23(3): 43.
- [6] GUPTA R K, SHARMA V R, SHARMA K N. Increase the yield of paddy and wheat with the application of biogas slurry[J]. Progressive Farming, 2002, 39(1): 22-24.
- [7] 徐卫红, 王正银, 权月梅, 等. 沼液对莴笋和生菜硝酸盐含量及营养品质的影响[J]. 农村生态环境, 2003, 19(2): 34-37.
- [8] 井辉隶, 陈清平, 谢施韦. 枸杞不同施肥次数、不同施肥量试验[J]. 宁夏农林科技, 2004, 46(6): 21-22.
- [9] 贺春燕, 王有科, 齐广平, 等. 氮磷钾配施对景电灌区枸杞生长及产量的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(2): 100-104.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 18672—2002 中华人民共和国国家标准: 枸杞(枸杞子)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 1-8.
- [11] 中华人民共和国药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 121.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-109.
- [13] SCHULZE E D, KELLIHER F M, KRNER C, et al. Relationship among maximum stomatal conductance, ecosystem surface conductance, carbon assimilation rate, and plant nitrogen nutrition: A global ecology scaling exercise[J]. Annu Rev Ecol Syst, 1994, 25(4): 629-660.
- [14] WRIGHT I J, WEAROBY M. Cross-species relationship between seedling relative growth rate, nitrogen productivity and root vs leaf function in 28 Australian woody species[J]. Functional Ecology, 2000, 14(1): 97-107.
- [15] 朱新广, 张其德. NaCl 对光合作用影响的研究进展[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 332-338.
- [16] 刘振亚, 刘贞琦. 作物光合作用的遗传及其在育种中的应用研究进展[M] // 刘后利. 作物育种研究与进展: 第1集. 北京: 农业出版社, 1993: 168-183.
- [17] 许兴, 郑国琦, 杨娟, 等. 宁夏不同地域枸杞多糖和总糖含量与土壤环境因子关系研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(7): 1340-1344.
- [18] 冯美, 张宁, 宋长冰. 枸杞不同成熟期果实品质研究[J]. 农业科学研究, 2005, 26(1): 30-33.
- [19] 徐军. 氨基酸叶面肥肥效初探[J]. 上海蔬菜, 2004, 37(3): 58-59.
- [20] 吕淑敏, 曲小菲, 王林华, 等. 不同沼液用量对夏玉米源库代谢关键酶及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(2): 338-343.
- [21] 李彦超, 廖新伟, 吴银宝. 施用沼液对杂交狼尾草产量和土壤养分含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1527-1531.
- [22] 陈波浪, 盛建东, 蒋平安, 等. 钾营养对水培棉花生长发育的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 267-271.
- [23] 李长槐, 曹媛媛, 韩爱华. 生长素对中华红叶杨扦插成活率及生长发育的影响[J]. 中国林业, 2009, 39(15): 51.
- [24] 苑瑞华. 沼气的生态农业技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [25] 卫新菊, 贾志宽. 施肥对苜蓿现蕾期叶面积及比叶重的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(5): 10-13.
- [26] 惠红霞, 许兴, 李前荣. 外源甜菜碱对盐胁迫下枸杞光合功能的改善[J]. 西北植物学报, 2003, 23(12): 2137-2422.
- [27] 董琳, 马小元, 何志梅. 不同地域和采收期宁夏枸杞多糖含量比较[J]. 宁夏医学杂志, 2010, 32(4): 323-324.
- [28] 张自萍, 史晓文, 曹丽华, 等. 枸杞品质及其与土壤肥力关系的研究[J]. 中草药, 2008, 39(8): 1238-1242.
- [29] 周萍, 郭荣, 张自萍, 等. 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[J]. 农业科学研究, 2007, 28(3): 59-62.