

doi:10.11937/bfyy.20201303

## 叶面施肥对枸杞生长及产量的影响

朱 和<sup>1</sup>, 田军仓<sup>1,2,3</sup>, 丁新军<sup>1</sup>, 杨 凡<sup>1</sup>

(1. 宁夏大学 土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏节水灌溉与水资源调控工程技术研究中心, 宁夏 银川 750021; 3. 旱区现代农业水资源高效利用教育部工程研究中心, 宁夏 银川 750021)

**摘 要:**以“宁杞五号”红枸杞为试材,采用2因素3水平双向随机区组设计方法,进行喷施尿素、磷酸二氢钾不同浓度混合水溶液田间试验,分析不同浓度组合的叶面肥对枸杞树的生长及产量的影响,以期对枸杞叶面配方施肥及高效生产提供参考依据。结果表明:1)配施尿素和磷酸二氢钾的混合溶液对“宁杞五号”红枸杞的生长指标和产量提高的促进作用比单施尿素或者磷酸二氢钾的效果要好。2)尿素的浓度为 $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,磷酸二氢钾浓度为 $1\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 混合配施的效果最好,其对枸杞树新梢径粗、新梢长、冠幅以及产量的影响最大。3)通过交互作用分析,尿素用量为 $2.527\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,磷酸二氢钾用量为 $1.593\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,即二者比例为1:0.630时,新梢径粗生长量达到理论最大值,最高增量为 $1.744\text{ mm}$ ;尿素用量为 $2.593\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,磷酸二氢钾用量为 $1.612\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,即二者比例为1:0.622时,新梢生长量达到理论最大值,最高增量为 $48.479\text{ cm}$ ;尿素用量为 $2.641\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,磷酸二氢钾用量为 $1.665\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,即二者比例为1:0.630时,冠幅增量达到理论最大值,最高增量为 $23.955\text{ cm}$ ;尿素用量为 $2.825\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,磷酸二氢钾用量为 $1.451\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,即二者比例为1:0.514时,枸杞产量达到理论最大值,最高产量为 $12.830\text{ kg}$ 。尿素和磷酸二氢钾的配施能够显著促进枸杞树木的生长和产量,在一定浓度的肥料用量范围内,枸杞新梢径粗、新梢长、冠幅、产量4项指标的生物累积量随浓度的逐渐增大,呈先增大后减小的趋势。

**关键词:**叶面施肥;“宁杞五号”;苗木生长;产量

中图分类号:S 663 文献标识码:A 文章编号:1001-0009(2021)06-0104-07

枸杞属茄科(Solanaceae)枸杞属(*Lycium*)植物<sup>[1]</sup>,其广泛分布在我国宁夏、内蒙古、新疆、青海、西藏等地,具备生态、经济、社会三位一体的显

第一作者简介:朱和(1993-),男,硕士研究生,研究方向为精准节水灌溉与信息系统新技术。E-mail:1731099413@qq.com.

责任作者:田军仓(1958-),男,博士,教授,博士生导师,现主要从事节水灌溉理论与技术、水资源高效利用和水资源系统工程等研究工作。E-mail:slxtjc@163.com.

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划重大科技资助项目(2018BBF02022);宁夏回族自治区“西部人才高地行动计划”资助项目;宁夏高等学校一流学科建设资助项目(NXYLXK2017A03);教育部“长江学者和创新团队发展计划”创新团队基金资助项目(IRT1067)。

收稿日期:2020-04-01

著效益<sup>[2]</sup>。枸杞是需肥量比较大的经济林木,整个生育过程需要大量的营养元素(氮、磷、钾等),枸杞施肥主要以根施为主,但对于枸杞结果量大,成熟、采摘周期短等特点,根施往往见效比较慢,与根施相比,叶面肥具有不固结土壤<sup>[3]</sup>、养分吸收快、肥效好、针对性强<sup>[4]</sup>等特点。其次,叶面肥还具有养分利用率高、肥料用量少、环境污染小、施用方法简单等一系列优点<sup>[5]</sup>。

近年来,叶面肥以及适合喷洒在植物叶面的植物生长调节剂已经广泛应用于田间管理当中,其主要表现在促进作物生长、增强作物的抗逆性和抗病虫害的能力、提高叶片功能进而提高作物光合、产量、品质等方面<sup>[6]</sup>。叶面肥用于油茶、小麦、西南红山茶等作物及苗木已有一定的报道。

何应会等<sup>[7]</sup>研究了不同氮、磷、钾配比叶面肥对油茶幼苗生长及养分吸收的影响,为研制油茶优质苗木专用叶面肥提供了参考依据。吕凤荣等<sup>[8]</sup>的研究结果表明,喷施磷酸二氢钾和杀菌剂对小麦千粒质量和品质有不同程度的影响。文野等<sup>[9]</sup>选用尿素和磷酸二氢钾对窄叶西南红山茶苗木进行叶面喷肥的试验,分析不同叶面施肥组合对苗木生长的影响,研究表明,不同肥料浓度配比对窄叶西南红山茶苗木生长的影响不同,因此可根据用苗要求,采用配方施肥。

但是叶面肥用于枸杞,根据不同用苗需求配方施肥鲜有研究。该研究通过叶面肥田间试验,测量枸杞生长指标和产量,找出适宜宁夏银川地

区枸杞生长及产量最大化时的叶面肥配方浓度,以期对枸杞提质增效提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于宁夏银川市贺兰县百瑞源枸杞贺兰山种植基地进行,地处东经 106°05',北纬 38°39',海拔 1 102 m,日照充足,非常有利于枸杞树的生长,2019 年全年降雨量 133 mm,土壤类型为沙壤土,土壤理化性质见表 1。田间持水率为 18.68% (占干土质量百分数),土壤干容重为 1.47 g·cm<sup>-3</sup>。

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 Physicochemical properties of tested soils

土层深度 Soil depth /cm	pH	全盐量 Total salt /(g·kg <sup>-1</sup> )	有机质 Organic matter /(g·kg <sup>-1</sup> )	碱解氮 Alkaline nitrogen /(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available phosphorus /(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available potassium /(mg·kg <sup>-1</sup> )
0~20	8.08	0.46	28.22	35.12	17.12	192.33
20~40	8.03	0.37	23.38	33.68	14.50	149.33

### 1.2 试验材料

供试枸杞品种为“宁杞五号”红枸杞,树龄 6 年,由宁夏百瑞源枸杞有限公司贺兰山种植基地提供,该品种鲜果呈红色,果表光亮。

纯尿素 CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> (含量≥99.0%)、纯磷酸二氢钾 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (含量≥99.0%),溶剂为纯水。其中,尿素是一种应用较广泛的肥料<sup>[10]</sup>,磷酸二氢钾是一种磷钾元素复合肥<sup>[11]</sup>,均购于当地农资店。

### 1.3 试验方法

试验采用 2 因素 3 水平双向随机区组<sup>[12]</sup>设计,选取尿素 CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 和磷酸二氢钾 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 2 个因素,分别设计高、中、低 3 个浓度水平,浓度的选取参考 2 种叶面肥在果树上常用的喷施浓度<sup>[13]</sup>,试验因素水平见表 2。试验设置 8 个处理,分别为 T1、T2 只喷施磷酸二氢钾,T3、T6 只喷施尿素,T4、T5、T7、T8 CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 和 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 混合喷施,以只喷施纯水为对照(CK),见表 3。试验于 5 月新梢生长期开始实施,每间隔 10 d 喷施叶面肥 1 次,采用可调节手持气压式喷雾器对所选枸杞树进行喷雾,不同处理的叶面肥

表 2 试验因素与水平

Table 2 Test factor and level g·L<sup>-1</sup>

水平 Levels	因素 Factors	
	A 尿素	B 磷酸二氢钾
1	0	0
2	3	1
3	5	3

表 3 尿素、磷酸二氢钾配施浓度

Table 3 Combined application of CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> and

KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> g·L<sup>-1</sup>

处理 Treatments	A 尿素 CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	B 磷酸二氢钾 KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	水平组合 Horizontal combination
CK	1(0)	1(0)	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>
T1	1(0)	2(1)	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>
T2	1(0)	3(3)	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>
T3	2(3)	1(0)	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>
T4	2(3)	2(1)	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>
T5	2(3)	3(3)	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>
T6	3(5)	1(0)	A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>
T7	3(5)	2(1)	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub>
T8	3(5)	3(3)	A <sub>3</sub> B <sub>3</sub>

注:括号内数字为因素水溶液浓度,括号外数字为因素浓度水平编码。

Note: The number in parentheses is factor concentration of aqueous solution, and the number outside parentheses is factor concentration level coding.

均选择晴天 16:30 后均匀喷施<sup>[14]</sup>在枸杞叶面,以湿润但不滴水为宜,喷施溶液量约为  $0.33 \text{ L} \cdot \text{棵}^{-1}$ ,田间的灌水施肥制度为灌水定额  $319.5 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,每隔 10 d 灌水 1 次,随水施肥滴灌,施肥量为尿素  $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、磷酸一铵  $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、硫酸钾  $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,其它田间管理措施同大田管理保持一致,试验持续到枸杞夏果期末(8月10日左右)结束。

#### 1.4 项目测定

选取“宁杞五号”枸杞植株 9 行,每行 15 株,行距 3 m,株距 1 m,共 27 个小区 135 株。分上、中、下 3 个重复,每个处理选取长势良好且生长状况较为一致的 3 株枸杞作为观测株,观测量枝条整个生育期内不作任何修剪,于 5 月 20 日起开始测量各项指标。

用钢卷尺测量枸杞的枝条长、冠幅,用游标卡尺测量枝条径粗,其中枝条长和枝条径粗每隔 15 d 测量 1 次,冠幅每隔 1 个月测量 1 次,夏果期每周采摘 1 次枸杞,最后统计每个处理的枸杞鲜果总产量。以下产量数据均为一个小区的产量,即 5 株枸杞的总产量。

#### 1.5 数据分析

试验数据均为 3 次重复的平均数据,采用 Excel 和 DPS 软件处理数据,采用 Origin 2017 软件绘图。

### 2 结果与分析

#### 2.1 生物累积量反应曲面

在观测的基础上,分别对“宁杞五号”红枸杞在试验周期喷施叶面肥之后的新梢径粗、新梢长、冠幅的增量以及产量与喷施的尿素、磷酸二氢钾浓度进行回归分析,得到反应曲面方程<sup>[15]</sup>。由表 4 可知,4 项指标生物累积量与尿素和磷酸二氢钾浓度之间具有显著的相关关系( $P < 0.05$ ),其中新梢径粗与尿素和磷酸二氢钾之间呈极显著的相关关系( $P = 0.003$ )。反应曲面方程为二元二次方程,说明各指标与尿素和磷酸二氢钾浓度之间的关系符合二次反应曲面,表明该试验用二次回归模型拟合的效果比较好,因此该反应曲面方程可以用来分析肥料效应规律及预测各指标的生物累积量。

表 4 “宁杞五号”红枸杞生物累积量肥料效应方程

Table 4 Fertilizer effect equation of ‘Ningqi Na 5’ red wolfberry bioaccumulation

指标 Index	反应曲面方程 Reaction surface equation	$R^2$	F	P
新梢径粗 Diameter	$Y = 1.116 + 0.256CO + 0.381KH - 0.048CO^2 - 0.113KH^2 - 0.007988COKH$	0.989	58.606	0.003
新梢长 Branch length	$Y = 31.441 + 7.469CO + 9.125KH - 1.365CO^2 - 2.637KH^2 - 0.240469COKH$	0.941	9.490	0.046
冠幅 Crown width	$Y = 18.896 + 2.084CO + 2.769KH - 0.349CO^2 - 0.717KH^2 - 0.144737COKH$	0.940	9.450	0.047
产量 Yield	$Y = 9.746 + 1.663CO + 1.013KH - 0.268CO^2 - 0.247KH^2 - 0.104387COKH$	0.970	19.423	0.017

注:Y 为各生物累积量指标,CO 为尿素浓度,KH 为磷酸二氢钾浓度,COKH 为 2 种肥料的交互作用,下同。显著水平( $P < 0.05$ ),极显著水平( $P < 0.01$ )。

Note:Y is the bioaccumulation index,CO is the concentration of urea,KH is the concentration of potassium dihydrogen phosphate,and COKH is the interaction of the two fertilizers,the same below. Significant level( $P < 0.05$ ),extremely significant level ( $P < 0.01$ ).

根据各指标反应曲面方程,以“宁杞五号”红枸杞的新梢径粗、新梢长、冠幅和产量为因变量,以对应的 CO 和 KH 浓度为自变量,做生物累积量反应曲面图。从图 1 可以看出,红枸杞的新梢径粗、新梢长、冠幅和产量 4 项指标的反应曲面均为单峰曲面<sup>[16]</sup>,新梢径粗、新梢长、冠幅、产量均存在 1 个生物累积量峰值,经分析分别为 1.744 mm、48.479 cm、23.955 cm、12.830 kg。根据曲面特性,峰值以前,新梢径粗、新梢长、冠幅、产量 4 项指标分别随 CO 和 KH 浓度的增加而增加,峰值以后,这 4 项指标分别随肥料浓度的

增加而减小。根据植物生长规律,4 个反应曲面的顶点分别对应新梢长、新梢径粗、冠幅和产量 4 项指标生长的最佳生物累积量,此时枸杞树木的生长量和枸杞的产量达到最大。对应的 CO 和 KH 的用量浓度配比即为满足枸杞树木生长的最佳肥料配比。从图 1 还可以看出,图像越接近反应曲面的顶点,曲面在单位浓度内的变化速率越来越小,到顶点处变化速率为 0,说明 CO 和 KH 的浓度越接近图像顶点对应浓度时,相对应生物累积量的变化速率越来越小,投入边际成本增加,CO 和 KH 的边际产量降低。

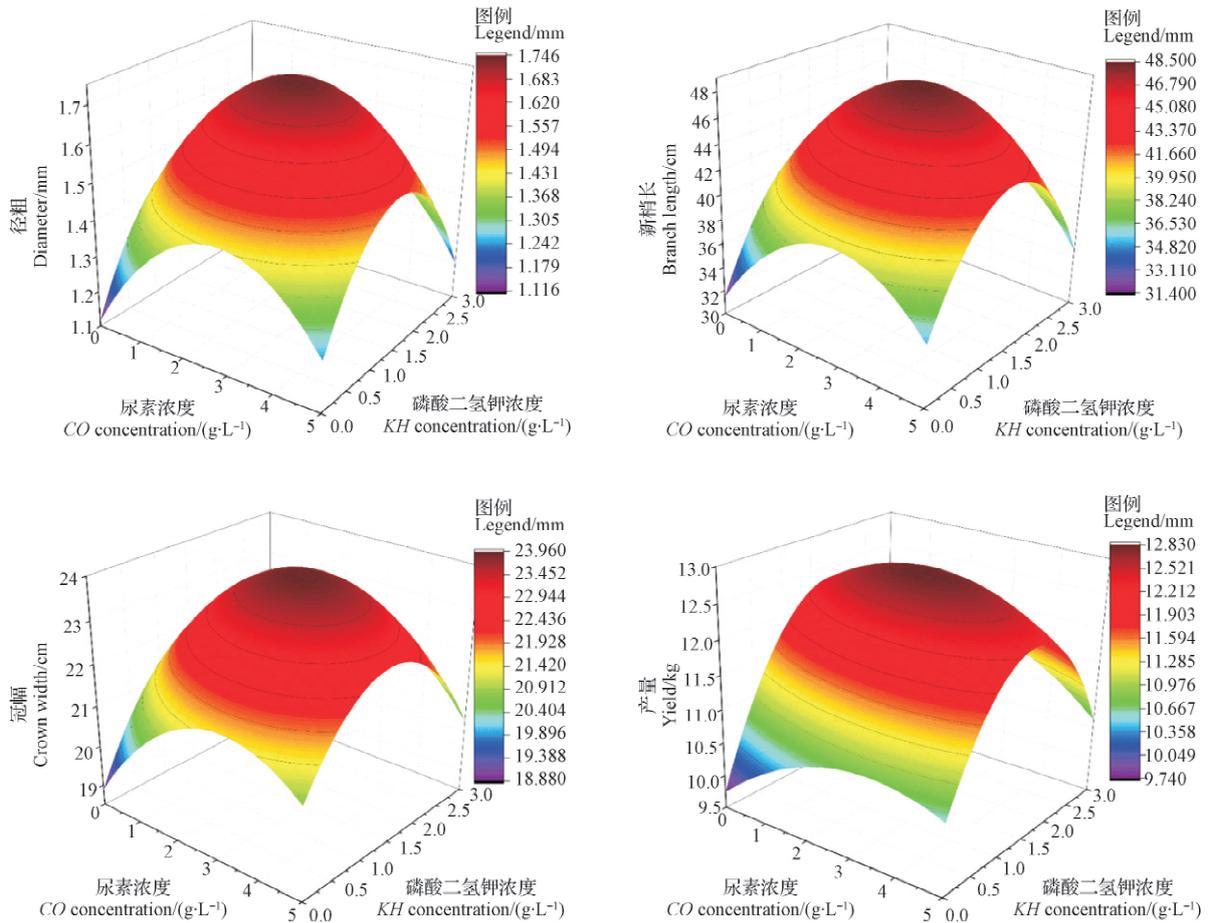


图 1 “宁杞五号”红枸杞的新梢径粗、新梢长、冠幅和产量的反应曲面

Fig 1 Response curve of ‘Ningqi No. 5’ red wolfberry with diameter, branch length, crown width and yield

### 2.2 “宁杞五号”红枸杞 4 个指标生物累积量对单因素喷肥的响应

将表 4 的二元二次回归方程进行降维处理,即去掉其中 1 个肥料因素的影响,每个方程只设计 1 种肥料因子  $CO$  或  $KH$ ,便可得到各因素与新梢长、新梢径粗、冠幅和产量的一元二次方程。由表 5 可知,单施  $CO$  时,新梢径粗、新梢长、冠幅和产量最高分别为 1.457 mm、41.658 cm、22.007 cm、12.326 kg,分别比对照提高了 31.26%、28.06%、17.68%、24.45%。单施  $KH$  时,新梢径粗、新梢长、冠幅和产量最高分别为 1.437 mm、39.335 cm、21.569 cm、10.785 kg,分别比对照提高了 29.46%、20.92%、15.34%、8.90%。由此可知,单施  $CO$  和  $KH$  对促进“宁杞五号”红枸杞的生长和产量均有一定的效果。

另外,各指标在单因素效应下的方程为一元二次方程,曲线随  $CO$  和  $KH$  浓度的增加呈现钟形<sup>[16]</sup>,即单峰曲线(先增加后减小),同样有一个最大值,表明“宁杞五号”红枸杞在单施  $CO$  和  $KH$  时存在一个理论最佳施肥量。由方程可以得到,当单施  $CO$  时,新梢径粗、新梢长、冠幅、产量的最佳施肥浓度为 2.667、2.736、2.985、3.103  $g \cdot L^{-1}$ ,此时各指标生物累积量达到最大。当单施  $KH$  时,新梢径粗、新梢长、冠幅、产量的最佳施肥浓度为 1.686、1.730、1.931、2.051  $g \cdot L^{-1}$ ,此时各指标生物累积量达到最大。

### 2.3 双因素试验效应

$CO$  与  $KH$  2 因素 3 水平两两结合,分别代入到表 4 的生物累积量反应曲面方程中,便得到了 9 个模拟试验结果。从表 6 可以看出,4 项指标

表5 “宁杞五号”红枸杞在单因素效应下的最高生物累积量  
Table 5 The highest bioaccumulation of ‘Ningqi Na 5’ red wolfberry under single factor effect

肥料种类 Type of fertilizer	单因素效应方程 Single factor effect equation	生长指标 Growth index	单因素最高生物累积量 Single factor maximum bioaccumulation	单施最佳施肥浓度 Best single fertilization concentration /(g·L <sup>-1</sup> )
CO	$Y=1.116+0.256CO-0.048CO^2$	新梢径粗	1.457 mm	2.667
	$Y=31.441+7.469CO-1.365CO^2$	新梢长	41.658 cm	2.736
	$Y=18.896+2.084CO-0.349CO^2$	冠幅	22.007 cm	2.985
	$Y=9.746+1.663CO-0.268CO^2$	产量	12.326 kg	3.103
KH	$Y=1.116+0.381KH-0.113KH^2$	新梢径粗	1.437 mm	1.686
	$Y=31.441+9.125KH-2.637KH^2$	新梢长	39.335 cm	1.730
	$Y=18.896+2.769KH-0.717KH^2$	冠幅	21.569 cm	1.931
	$Y=9.746+1.013KH-0.247KH^2$	产量	10.785 kg	2.051

新梢径粗、新梢长、冠幅、产量均呈现先增大后减小的规律,在单施 CO(T3、T6)及单施 KH(T1、T2)的情况下,单施 CO 的效果比单施 KH 的效果好。从施肥情况来看,T4 处理的效果最好,新梢径粗、新梢长、冠幅、产量 4 项指标比对照处理分别提高了 51.97%、50.53%、25.03%、31.09%。

从整体规律来看,不管是单施还是配施,适量浓度范围内的肥料会促进“宁杞五号”红枸杞的生长和产量,随着肥料浓度的增加,“宁杞五号”红枸杞的新梢径粗、新梢长、冠幅和产量均表现为先增大后减小的趋势,但随着浓度的不断增大,这种促进作用逐渐减弱。单施 CO 比单施 KH 的效果要好,CO 和 KH 配施的效果比单施 CO 或 KH 的效果好。对照模拟结果和田间试验,计算模拟的

精度,发现 4 项指标模拟结果与田间试验结果最大误差不超过 5.48%,说明模拟结果比较好,对应的肥料效应方程拟合程度较高。

#### 2.4 2 种肥料交互效应下的最佳用量、配比和生物累积量

通过因素的交互效应分析,可以得到因素的最佳浓度及在该浓度下的最佳生物累积量。由 CO 和 KH 所对应的点即为最佳施肥点,最佳施肥点所对应的反应曲面的顶点,就是配合施肥的最高理论产值,即在该肥量条件下所能达到的最大生物累积量值。由表 7 可知,当 CO 浓度为 2.527 g·L<sup>-1</sup>,KH 浓度为 1.593 g·L<sup>-1</sup>,即二者比例为 1:0.630 时,新梢径粗生长量达到理论最大值,最高生长量为 1.744 mm;当 CO 浓度为 2.593 g·L<sup>-1</sup>,KH 浓度为 1.612 g·L<sup>-1</sup>,即二者比例为 1:0.622 时,新梢长生长量达到理论最大值,最高生长量为 48.479 cm;当 CO 浓度为 2.641 g·L<sup>-1</sup>,KH 浓度为 1.665 g·L<sup>-1</sup>,即二者比例为 1:0.630 时,冠幅增量达到理论最大值,最高生长量为 23.955 cm;当 CO 浓度为 2.825 g·L<sup>-1</sup>,KH 浓度为 1.451 g·L<sup>-1</sup>,即二者比例为 1:0.514 时,产量达到理论最大值,最高产量为 12.830 kg·(5 株)<sup>-1</sup>(8 544.750 kg·hm<sup>-2</sup>);4 项指标分别与单施 CO 和 KH 的对比来看,混合施肥理论最大增长量均比施单一肥料的理论增长量大。以上结果表明,混合施肥和单施尿素或者磷酸二氢钾均对“宁杞五号”红枸杞的生长和产量有一定的促进作用,其中混合施肥的效果比单施尿素和磷酸二氢钾的效果好。

表6 “宁杞五号”红枸杞的生长量、产量的  
双因素模拟试验结果

Table 6 Two factor simulation results of the growth and yield of ‘Ningqi Na 5’ red wolfberry

处理 Treatments	新梢径粗 Diameter /mm	新梢长 Branch length /cm	冠幅 Crown width /cm	产量 Yield /kg
CK	1.116	31.441	18.896	9.746
T1	1.384	37.929	20.948	10.512
T2	1.242	35.083	20.750	10.562
T3	1.451	41.560	22.007	12.323
T4	1.696	47.328	23.625	12.776
T5	1.506	43.036	22.558	12.200
T6	1.192	34.652	20.591	11.361
T7	1.424	39.944	21.919	11.605
T8	1.202	34.688	20.274	10.611

表 7 “宁杞五号”红枸杞最佳生物累积量所对应的肥料浓度及配比

Table 7 Fertilizer concentration and ratio corresponding to the best bioaccumulation amount of ‘Ningqi No. 5’ red wolfberry

生长指标 Growth index	最佳 CO 浓度 Optimal CO concentration /(g · L <sup>-1</sup> )	最佳 KH 浓度 Optimal KH concentration /(g · L <sup>-1</sup> )	最佳肥料配比 Optimum fertilizer ratio	最高生物量增量 Maximum biomass increase
新梢径粗 Diameter	2.527	1.593	1 : 0.630	1.744 mm
新梢长 Branch length	2.593	1.612	1 : 0.622	48.479 cm
冠幅 Crown width	2.641	1.665	1 : 0.630	23.955 cm
产量 Yield	2.825	1.451	1 : 0.514	12.830 kg

### 3 讨论与结论

对方程进行单因素和双因素的效应分析,结果表明,尿素浓度为 2.527 g · L<sup>-1</sup>,磷酸二氢钾浓度为 1.593 g · L<sup>-1</sup>,即二者比例为 1 : 0.630 时,新梢径粗生长量达到理论最大值,为 1.744 mm;尿素浓度为 2.593 g · L<sup>-1</sup>,磷酸二氢钾浓度为 1.612 g · L<sup>-1</sup>,即二者比例为 1 : 0.622 时,新梢长生长量达到理论最大值,为 48.479 cm;尿素浓度为 2.641 g · L<sup>-1</sup>,磷酸二氢钾浓度为 1.665 g · L<sup>-1</sup>,即二者比例为 1 : 0.630 时,冠幅增量达到理论最大值,为 23.955 cm;尿素浓度为 2.825 g · L<sup>-1</sup>,磷酸二氢钾浓度为 1.451 g · L<sup>-1</sup>,即二者比例为 1 : 0.514 时,枸杞产量达到理论最大值,最高产量为 12.830 kg · (5 株)<sup>-1</sup>(8 544.750 kg · hm<sup>-2</sup>)。一定范围内的肥料用量能够促进“宁杞五号”红枸杞树木的生长和枸杞果的产量,由于 4 项指标尿素和磷酸二氢钾的浓度配比均不一样,种植时可根据不同用苗需求,是需要增加枸杞产量还是要枸杞树木快速生长、增加观赏价值,从而选用不同浓度配比的肥料,来达到不同用苗的效果。

从“宁杞五号”红枸杞的生物累积量反应曲面可以看出,枸杞新梢径粗、新梢长、冠幅、产量均呈现出钟形(单峰)曲面模式,即 4 项指标均存在峰值,分别为 1.744 mm、48.479 cm、23.955 cm、12.830 kg。在达到峰值前,各指标增量随着尿素和磷酸二氢钾浓度的增大而增大,在峰值之后,各指标增量随着尿素和磷酸二氢钾的浓度增大而减小。

该试验结果表明,尿素和磷酸二氢钾 2 种肥料的配施效果较单施尿素或者磷酸二氢钾的效果要好,其中,尿素的浓度为 3 g · L<sup>-1</sup>,磷酸二氢钾

浓度为 1 g · L<sup>-1</sup>(T4)混合配施的效果最好。因此应该用尿素和磷酸二氢钾 2 种肥料配施。

### 参考文献

- [1] 蒋兰,杨毅,江荣高.枸杞的药理作用及其加工现状[J].食品工业科技,2018,39(14):330-334.
- [2] 曹有龙,何军.枸杞栽培学[M].银川:阳光出版社,2013.
- [3] 王作江.叶面肥的功能特点及施用方法[J].养殖技术顾问,2013(5):227.
- [4] 薛竟一,王瑞雪,魏蓉,等.叶面喷施亚硒酸钠对葡萄果实品质及叶片衰老的影响[J].中国土壤与肥料,2018(6):161-165.
- [5] 李燕婷,李秀英,肖艳,等.叶面肥的营养机理及应用研究进展[J].中国农业科学,2009,42(1):162-172.
- [6] 李小明,龙惊惊,周悦,等.叶面肥的应用及研究进展[J].安徽农业科学,2017,45(3):127-130.
- [7] 何应会,曹继钊,唐健,等.叶面肥对油茶幼苗生长及养分吸收的影响[J].南方农业学报,2012,43(12):1997-2000.
- [8] 吕凤荣,李向东,季书勤,等.喷洒磷酸二氢钾和杀菌剂对强筋小麦郑麦 366 千粒重和品质的影响[J].河南农业科学,2011,40(9):11-13.
- [9] 文野,李丹,李甜江,等.叶面施肥对窄叶西南红山茶苗木生长的影响[J].西南林业大学学报,2016,36(2):62-66.
- [10] 王志伟.经济林三树种根外施肥的研究[D].长沙:中南林业科技大学,2013.
- [11] 吕晓飞,王宏富,邢静熠,等.叶面喷施尿素、磷酸二氢钾和 6-BA 对谷子光合特性及产量构成的影响[J].西北农业学报,2017,26(1):38-47.
- [12] 王致和.田间试验中的双向随机区组设计[J].云南农业,2002(10):30-31.
- [13] 李长林,王伟.作物叶面肥的常用浓度[J].吉林农业,2007(8):25.
- [14] 黄爱花,黄开健,彭楷,等.叶面喷施硒肥对甜玉米籽粒富硒、重金属含量及产量的影响[J].南方农业学报,2019,50(1):40-44.
- [15] 李甜江.木本植物中国沙棘克隆生长对外源激素的响应[D].昆明:西南林学院,2008.
- [16] 张跃敏,李根前,李莲芳,等.云南松实生苗生长对 N、P 配施的响应[J].东北林业大学学报,2009,37(8):5-8.

## Effects of Foliar Fertilization on the Growth and Yield of *Lycium barbarum* Tree

ZHU He<sup>1</sup>, TIAN Juncang<sup>1,2,3</sup>, DING Xinjun<sup>1</sup>, YANG Fan<sup>1</sup>

(School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 2. Engineering Technology Research Center of Water-Saving and Water Resource Regulation in Ningxia, Yinchuan, Ningxia 750021; 3. Engineering Research Center for Efficient Utilization of Modern Agricultural Water Resources in Arid Regions, Ministry of Education, Yinchuan, Ningxia 750021)

**Abstract:** In order to analyze the effects of different combinations of foliar fertilizers on the growth and yield of wolfberry trees, 'Ningqi No. 5' red wolfberry was used as the test material, and a two-factor three-level two-way random block design method was used to spray urea and phosphoric acid. Field trials of mixed aqueous solutions of different concentrations of urea and potassium dihydrogen phosphate. This study can provide a reference for the leaf fertilization and efficient production of wolfberry. The results showed that, 1) The mixed solution of urea and potassium dihydrogen phosphate had better effects on the growth index and yield increase of 'Ningqi No. 5' red wolfberry than the effect of urea or potassium dihydrogen phosphate alone. 2) The concentration of urea was  $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , and the concentration of potassium dihydrogen phosphate was  $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ . The best effect was the mixed application, which had the most significant effects on the new diameter, the new length, the crown width and the yield of the wolfberry tree. 3) Through the interaction analysis, the amount of urea was  $2.527 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , and the amount of potassium dihydrogen phosphate was  $1.591 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , when the ratio of the two was  $1 : 0.630$ , the crude growth of the new diameter reached the theoretical maximum, and the highest increase was  $1.744 \text{ mm}$ ; the dosage of urea was  $2.591 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  and the dosage of potassium dihydrogen phosphate was  $1.612 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , when the ratio of the two was  $1 : 0.622$ , the new slightly longer growth amount reached the theoretical maximum, and the highest increase was  $48.479 \text{ cm}$ ; urea the dosage was  $2.641 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , and the amount of potassium dihydrogen phosphate was  $1.665 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , when the ratio of the two was  $1 : 0.630$ , the crown width increment reached the theoretical maximum, and the highest increment was  $23.955 \text{ cm}$ ; the urea dosage was  $2.825 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , the amount of potassium dihydrogen phosphate was  $1.451 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , when the ratio of the two was  $1 : 0.514$ , the yield of wolfberry reached the theoretical maximum, and the highest yield was  $12.830 \text{ kg}$ . The combined application of urea and potassium dihydrogen phosphate can significantly promote the growth and yield of wolfberry trees. Within a certain concentration of fertilizer use, the biological increase of the four indexes of wolfberry new diameter was larger, the new length was longer, the crown width, and the yield increase. The gradual increase in concentration showed a trend of increasing first and then decreasing.

**Keywords:** foliar application; 'Ningqi No. 5'; seedling growth; yield