

氮磷钾对桔梗生长及次生代谢产物的影响

王静¹, 王渭玲¹, 徐福利², 曹鲜艳¹, 黄淑华¹, 张晓虎³, 何军³

(1. 西北农林科技大学生命科学学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学 中国科学院、水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

3. 商洛学院生物医药工程系 中国中医科学院商洛中药材 GAP 科研工程中心, 陕西 商洛 726000)

摘要:通过田间试验,采用氮、磷、钾三因素二次 D-饱和和最优设计研究了氮、磷、钾肥及其配比施肥对桔梗(*Platycodon grandiflorum*)生长及次生代谢产物的影响。试验结果表明,施肥能显著提高桔梗药材产量,氮、磷、钾元素对桔梗药材产量影响依次为氮>钾>磷。氮、磷、钾元素对桔梗总皂苷含量影响依次为氮>钾>磷,对桔梗植株多糖含量影响依次为磷>氮>钾;氮、磷对黄酮积累表现出一定负效应。依据桔梗药材产量及总皂苷含量提出桔梗合理施肥方案为 N 150 kg · hm⁻²、P₂O₅ 79.41 kg · hm⁻²、K₂O 225 kg · hm⁻²。

关键词:桔梗;氮、磷、钾施肥;生长;次生代谢产物

中图分类号:S666.2

文献标识码:A

文章编号:1001-0629(2012)04-0586-06

* 1

桔梗(*Platycodon grandiflorum*)是桔梗科桔梗属植物,别名铃铛花、包袱花、道拉基等,是我国传统大宗中药材之一,具有宣肺、利咽、祛痰、排脓等功效^[1]。现代药理学研究表明,桔梗还有免疫调节、抗炎、保肝等作用^[2],并且是一种药、食及观赏兼用的经济植物。桔梗越来越多的药用价值与经济价值被发现,使其用量大增,导致野生资源不能满足市场的需求。因此,大面积栽培的桔梗逐步代替野生桔梗药材而入药^[3]。桔梗植株对肥料较为敏感,因此,施肥是桔梗栽培中的重要环节之一,并直接影响桔梗产量和品质。药用植物的栽培需要兼顾产量和有效成分含量,而有关桔梗高产优质施肥技术还未见系统的研究报道。栽培中不能根据桔梗生长规律和土壤养分含量确定肥料最佳用量、最佳比例和最佳施用期,这不仅影响桔梗产量和品质,还造成肥料浪费并对土壤及地表水有一定的污染。为此,本研究采用三因素二次 D-饱和和最优设计田间试验,研究氮、磷、钾对桔梗生长及次生代谢产物的影响,在综合考虑桔梗产量和品质的基础上,确定氮磷钾最佳施肥用量,以期桔梗优质高产栽培技术提供合理施肥依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况 试验于 2010—2011 年在陕西商洛香菊药源基地进行。基地地势平坦,海拔 580

m,属于半湿润温暖气候区,四季分明、光照充足、降水充沛。年降水量 722.9~899.0 mm,平均日照 2 346.8 h,平均气温 15.8 °C,无霜期 248 d,是桔梗适宜生长地之一。供试土壤类型经测定为壤质粘土,有机质采用重铬酸钾容量法,全氮采用凯氏定氮蒸馏法,碱解氮采用碱解扩散法,土壤全磷采用酸溶-钼锑抗比色法,有效磷采用 0.5 mol · L⁻¹ NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法,土壤全钾采用 NaOH 熔融火焰光度法,速效钾采用 1 mol · L⁻¹ NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定^[4]。土壤肥力测定结果见表 1。

表 1 供试土壤基本肥力性状

Table 1 The basic fertilizer feature of soil

性状 Parameter	土壤深度 Soil depth/cm	
	0~20	20~40
有机质 Organic matter/g · kg ⁻¹	21.90	13.90
全氮 Total nitrogen/g · kg ⁻¹	0.68	0.47
碱解氮 Available nitrogen/mg · kg ⁻¹	86.60	60.40
全磷 P ₂ O ₅ Total phosphorus/g · kg ⁻¹	0.75	0.63
有效磷 Available phosphorus/mg · kg ⁻¹	71.60	50.00
全钾 K ₂ O Total potassium/g · kg ⁻¹	13.80	14.10
速效钾 Available potassium/mg · kg ⁻¹	134.10	111.80

收稿日期:2011-09-09 接受日期:2011-10-19
基金项目:“十一五”国家支撑计划项目(2007BAD79B01);商洛市 2009 年科学技术研究发展计划项目“中国秦岭五大商药需肥规律与土壤肥力研究专项”(SKJ2009-09)
作者简介:王静(1986-),女,甘肃天水人,在读硕士生,从事药用植物生理生态的研究。E-mail: xnwj865@163.com
通信作者:王渭玲 E-mail: ylwll@163.com

1.2 材料与方 田间试验采用三因素二次饱和 D-最优设计方案^[5], 设 10 个处理 3 次重复, 共 30 个小区, 随机区组排列, 小区面积 $4\text{ m} \times 6\text{ m} = 24\text{ m}^2$ 。试验设计编码值及施肥量见表 2。

试验用肥料为尿素(含 N 46%)、过磷酸钙($\text{P}_2\text{O}_5 \geq 12\%$)、硫酸钾($\text{K}_2\text{O} \geq 51\%$), 磷肥、钾肥作基肥整地时一次性施入, 氮肥 1/3 作基肥施入, 剩余 2/3 于定苗后作为追肥施入。

供试材料为商山桔梗。田间试验于 2010 年 4 月 15 日直播, 按照行距 25 cm, 沟深 1~2 cm, 每小区 16 行条播, 出苗前浇一次透水, 并用麦草覆盖地表以保持土壤松软湿润; 5 月 1 日出苗, 桔梗生长期间不定期除草; 6 月 1 日定苗; 10 月 25 日收获。其他田间管理措施与张鸿雁等^[6]提出的桔梗优质栽培技术一致。试验期间降水充足, 年平均降水量为 859.5 mm, 有利于桔梗生长。

表 2 氮、磷、钾三因素二次饱和 D-最优设计方案

Table 2 The D-saturation optimal design with three factors of nitrogen, phosphorus and potassium

处理 Treatments	水平编码值 Level code			施肥量 Rate of fertilizer application/kg · hm ⁻²		
	X ₁	X ₂	X ₃	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	-1.000 0	-1.000 0	-1.000 0	0.00	0.00	0.00
2	1.000 0	-1.000 0	-1.000 0	150.00	0	0.00
3	-1.000 0	1.000 0	-1.000 0	0.00	225.00	0.00
4	-1.000 0	-1.000 0	1.000 0	0.00	0.00	225.00
5	-1.000 0	0.192 5	0.192 5	0.00	134.10	134.10
6	0.192 5	-1.000 0	0.192 5	89.40	0.00	134.10
7	0.192 5	0.192 5	-1.000 0	89.40	134.10	0.00
8	-0.291 2	1.000 0	1.000 0	53.16	225.00	225.00
9	1.000 0	-0.291 2	1.000 0	150.0	79.41	225.00
10	1.000 0	1.000 0	-0.291 2	150.00	225.00	79.41

1.3 测定项目和方法

1.3.1 生长指标测定 分别于出苗期(6月27日), 根系膨大期(9月27日)和枯萎期(10月25日)采样。按照“五点采样法”, 每次每小区采样 5 株, 将植株连根挖出, 所取样品分成根、茎叶两部分, 用直尺测量植株高度和根长度, 游标卡尺测量根粗(主根最粗部位直径)和茎粗(茎第 2 节间最大直径), 同时测定根和地上部分鲜生物量, 再在烘箱内 105 °C 杀青 30 min, 80 °C 烘干, 称干质量, 计算生物产量和根冠比, 其中生物产量=根干质量+地上部分干质量, 根冠比=根干质量/地上部分干质量。

1.3.2 桔梗次生代谢产物含量测定 采用李喜凤等^[7]的超声法提取总皂苷, 香草醛-硫酸比色法测定总皂苷含量; 采用李艳等^[8]的方法提取并测定桔梗总黄酮的含量(桔梗皂苷 D 对照品和黄酮对照品购于天津一方科技有限公司, 含量 $\geq 98\%$)。采用苯酚-硫酸比色法^[9]测定桔梗多糖含量。

1.3.3 药材产量 2010 年 10 月 25 日收获, 每小区收获 4 m², 采挖后, 将根部分离, 洗净, 除去须根, 趁

鲜剥去外皮^[1], 烘干测干质量并折算至公顷产量。

1.4 统计方法 试验数据用 DPS v7.05 统计软件进行方差分析, 各处理效果用 LSR-Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对桔梗植株高度、根长度的影响 随着桔梗植株生长, 各施肥处理桔梗植株高度都在增加, 处理间的差异随着生育期推移逐渐增大(表 3)。处理 2、9、10 在各个生育期植株较高, 处理 3、4 作用不明显, 这表明氮是桔梗植株营养生长主要元素。生长旺盛的根系膨大期氮、磷配合>磷、钾配合>氮、钾配合, 这是因为磷在开花期对植株的新陈代谢活动, 尤其是光合作用起着重要促进作用。根是桔梗有效成分累积的器官, 根部生长形态也是评价桔梗药用价值的重要指标。随着生育期的推移, 各施肥处理间的差异逐渐增大。单施氮肥(处理 2)根长度低于对照组, 而磷肥和钾肥却对根长度起到一定的促进作用, 尤其是磷钾配施(处理 5)。

表 3 不同生长时期各处理植株高度和根长度的变化

Table 3 Variation of plant height and root length with growth period under different treatments

处理 Treatments	出苗期 Seedling stage		根系膨大期 Expanding stage of root		枯萎期 Wilting stage	
	植株高度 plant height/cm	根长度 Root length/cm	植株高度 Plant height/cm	根长度 Root length/cm	植株高度 Plant height/cm	根长度 Root length/cm
1	27.33±0.88d	11.00±0.58d	41.83±0.44f	18.33±0.57ef	47.67±0.88e	21.07±0.87d
2	34.67±0.72b	10.67±0.33d	54.27±0.67b	17.63±0.20f	61.57±0.78bc	19.30±0.49d
3	30.67±0.83c	11.33±0.33bcd	49.06±0.35de	18.53±0.18ef	55.50±0.75d	21.13±0.40bc
4	31.00±0.58c	12.00±0.29abc	48.13±0.32e	18.50±0.15ef	55.17±1.25d	22.63±0.35bc
5	31.67±0.85c	12.50±0.26a	52.27±0.46c	20.20±0.58bc	55.50±0.75d	23.43±0.98ab
6	32.00±0.48c	11.17±0.24cd	50.00±0.36d	19.03±0.26de	59.57±0.99c	21.10±0.45c
7	31.00±0.68c	11.17±0.27cd	53.40±0.30bc	19.60±0.2cd	56.90±0.46d	23.17±0.52ab
8	32.33±0.33c	12.17±0.21ab	53.13±0.38bc	21.17±0.30a	57.20±0.80d	24.37±0.37a
9	37.00±0.58a	11.33±0.16bcd	56.03±0.29a	20.73±0.27ab	65.17±0.23a	24.83±0.27a
10	35.00±1.00ab	11.33±0.17bcd	55.47±0.18a	20.43±0.20abc	62.97±0.40ab	24.10±0.58ab

注: 同列不同小写字母表示平均值在 0.05 水平上差异显著。表 4、表 5 同。

Note: Values followed by different lower case letters in a column are significant different among treatments at the 0.05 level. The same below in Table 4 and 5.

2.2 不同施肥处理对桔梗根粗、茎粗的影响

与处理 1 相比, 各施肥处理桔梗根粗都在增加。单施氮、磷、钾肥都起到一定的壮根作用, 但各处理间差异不明显(表 4)。在植株生长后期, 单施氮、单施磷、单施钾对桔梗根粗影响依次为氮 > 钾 > 磷; 氮、钾配合 > 氮、磷配合 > 磷、钾配合。单施钾肥(处理 4) 的茎粗小于对照组, 处理 2、7、10 组茎粗在

各个生长时期相对较高。

2.3 不同施肥处理对桔梗根干质量和生物量的影响

与处理 1 相比, 施肥处理各生育期桔梗根部干物质质量积累均有增加。在枯萎期桔梗根干质量达到最大, 其中处理 9 对桔梗根干质量影响最为显著, 与对照组相比增加了 78.82%(图 1)。氮、磷、钾单施在不同生育时期对桔梗根干质量影响依次为

表 4 不同生长时期各处理根粗和茎粗的变化

Table 4 Variation of root and stem diameters with growth period under different treatments

处理 Treatment code	出苗期 Emergence period		根系膨大期 Root swell period		枯萎期 Withering period	
	根粗 Root diameter/ mm	茎粗 Stem diameter/ mm	根粗 Root diameter/ mm	茎粗 Stem diameter/ mm	根粗 Root diameter/ mm	茎粗 Stem diameter/ mm
1	8.76±0.10f	3.13±0.05de	13.84±0.28e	4.52±0.12cd	16.68±0.11e	4.95±0.34de
2	10.53±0.23c	3.52±0.03ab	16.28±0.77bc	6.00±0.50a	20.86±0.72ab	7.41±0.59a
3	10.61±0.21bc	3.28±0.11c	14.40±0.28de	4.58±0.09cd	17.25±0.26cde	5.20±0.19de
4	9.37±0.11de	3.01±0.03e	15.72±0.22cd	4.26±0.03d	18.96±1.32bcde	4.60±0.12e
5	10.98±0.12ab	3.15±0.02d	17.07±0.25b	4.37±0.24d	19.09±1.26bcd	5.58±0.32cde
6	10.92±0.09abc	3.29±0.03c	19.70±0.85a	5.50±0.38ab	22.11±0.57a	6.40±0.34abc
7	11.14±0.25a	3.60±0.02a	17.10±0.56b	5.24±0.23bc	19.54±0.09bc	6.47±0.64abc
8	9.76±0.06d	3.40±0.02bc	14.69±0.15de	4.79±0.10bcd	16.91±1.08de	5.81±0.09cd
9	9.19±0.09ef	3.31±0.03c	14.36±0.28e	4.61±0.06cd	17.84±0.90cde	5.97±0.24bcd
10	10.49±0.07c	3.40±0.02bc	14.46±0.17de	5.99±0.25a	16.85±0.24de	7.13±0.64ab

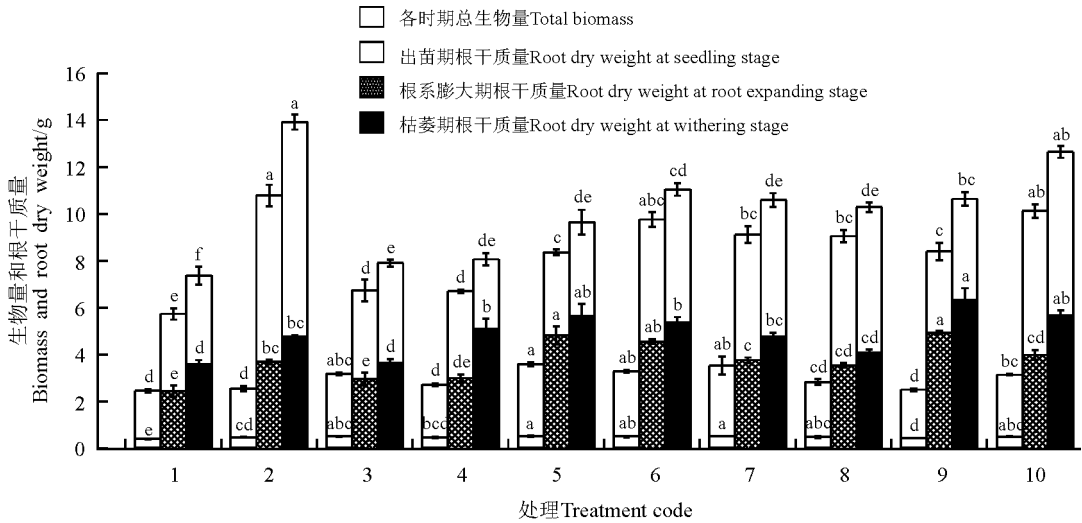


图1 不同生长时期各处理对根质量及生物量影响

Fig. 1 The root and biomass of all treatments at the different stages

注:不同小写字母表示同一时期各处理平均值在0.05水平上差异显著。处理号同表1。

Note: Letters represent the significance level of comparison at 0.05 level. Treatment code are same with Table 1.

单施钾>单施氮>单施磷;而在氮、磷、钾两两配施的处理组中,磷、钾配合>氮、钾配合>氮、磷配合。各施肥处理能明显增加桔梗植株生物产量,其中单施氮肥(处理2)效果最佳,枯萎期植株生物产量比对照组增加90.46%,其次为单施钾肥、单施磷肥。

苗期桔梗根冠比偏低,根系膨大期及枯萎期逐渐增大(图1),这说明桔梗苗期主要以地上部分生长为主,根系膨大期及枯萎期则以根生长为主。单施氮肥在枯萎期根冠比最小,处理9在枯萎期根冠

比最大(图1),表明合理氮磷钾配施能优化桔梗植株地下干物质分配,增加桔梗的根产量。

2.4 不同施肥处理对桔梗药材产量影响 与处理1相比,各施肥处理能明显提高桔梗药材产量(表5)。氮、磷、钾三者配施(处理8、9、10)产量增幅最大,增产51.10%~84.30%。氮、磷、钾单施处理组中,单施氮肥增产作用最为明显,增产42.74%;单施钾肥增产20.28%,而单施磷肥增产效果不明显;在氮、磷、钾两两配施处理中,氮、钾配施增产效

表5 不同施肥处理桔梗总皂苷、多糖、总黄酮含量及药材产量

Table 5 The platycodin, polysaccharide, flavone content and medical biomass of different fertilizer combination

处理 Treatment	药材产量 Medical biomass/kg·hm ⁻²	总皂苷含量 Platycodin/%	多糖含量 Polysaccharide/%	总黄酮含量 Flavone/%
1	2 622.90±52.05f	4.114±0.072f	9.24±0.01i	0.411±0.002g
2	3 743.94±78.45d	5.776±0.040b	15.91±0.02f	0.385±0.000i
3	2 714.03±92.27f	4.735±0.080e	18.70±0.02d	0.393±0.001h
4	3 154.88±76.98e	5.094±0.068d	13.82±0.01h	0.456±0.001e
5	3 733.52±67.96d	5.329±0.078c	18.35±0.02e	0.508±0.001c
6	4 483.59±57.07b	5.517±0.080c	14.50±0.01g	0.434±0.001f
7	4 423.19±52.14b	5.483±0.079c	19.42±0.02c	0.477±0.001d
8	3 963.10±47.44c	5.041±0.088d	20.26±0.02b	0.524±0.001a
9	4 834.10±75.69a	5.847±0.025b	18.58±0.00de	0.515±0.001b
10	4 157.14±57.29c	6.361±0.020a	20.53±0.02a	0.514±0.002b

果最为显著,增产 70.94%,这表明氮、钾是决定桔梗产量的主要元素。

2.5 不同施肥处理对桔梗次生代谢产物影响

各施肥处理桔梗总皂苷和多糖含量显著高于处理 1($P < 0.05$)(表 5)。与处理 1 比较,桔梗总皂苷含量增加 15.09%~54.62%,桔梗多糖含量增加 56.93%~122.19%。单施氮肥增加桔梗总皂苷效果最为显著,其次为单施钾、单施磷;氮磷钾两者配施对桔梗总皂苷影响为氮、钾配合 > 氮、磷配合 > 磷、钾配合。合理氮磷钾配施能显著提高桔梗总皂苷含量。氮、磷、钾对桔梗植株多糖含量影响为单施磷 > 单施氮 > 单施钾。单施氮肥(处理 2)和单施磷肥(处理 3)对桔梗总黄酮积累表现出一定负效应,其余处理均不同程度增加了桔梗总黄酮含量,且各处理间差异显著。处理 8 增加桔梗总黄酮含量效果最为显著,与对照组比较增加 27.49%。

结合不同施肥处理对桔梗药材产量和次生代谢产物的影响,综合认定处理 9(N 150 kg·hm⁻²、P₂O₅ 79.41 kg·hm⁻²、K₂O 225 kg·hm⁻²)为最佳施肥配比,有利于桔梗植株达到高产优质。

3 讨论

施肥是提高栽培药用植物产量和品质的重要措施,合理施肥既能促进作物生长发育,提高药材产量,又能改善药材品质。本研究表明,氮、磷、钾合理配施明显促进了桔梗植株生长,并对桔梗药材产量和次生代谢产物产生一定影响。其中,氮肥对桔梗营养生长的影响最大,同时,氮肥虽然可以促进桔梗地上部分器官生长,却降低了光合产物向根系转移的比例,从而降低桔梗根冠比^[10]。因此,桔梗施肥中不能过多施用氮肥,否则会造成地上部分徒长而影响根系生长,这些都与王玲等^[11]关于桔梗配方施肥研究的结论相一致。而钾是糖酵解过程中的重要活化剂,协调光合产物合成、运输和转化,可提高桔梗根冠比^[12]。所以,合理的氮磷钾配方施肥能够保证根部营养物质的持续有效积累,同时防止地上部分徒长。

本试验条件下,不同营养元素对桔梗药材产量影响为氮 > 钾 > 磷,这与祝丽香等^[13]认为在根播桔梗生长第 1 年中,植株对氮需求量最大,吸收能力也最强,其后为钾,磷吸收量最少的研究结论一致。而王玲等^[11]研究却发现磷肥对一年生桔梗产量的影

响比较显著,钾肥的影响不大,与本研究结果相反,这可能与本研究供试土壤有效磷含量偏高有关。

对于桔梗总皂苷含量,氮的影响最为显著,其次为钾、磷。这可能是由于桔梗皂苷属于三萜类化合物(次生代谢产物),而三萜类化合物合成是以碳水化合物作为底物,所以桔梗总皂苷含量与其碳代谢有密切的关系,根据 C/N 平衡假说,植物体内碳水化合物含量升高,可使植物含氮量相对下降,引起非结构碳水化合物过剩,从而促进萜类物质合成^[14]。同时,本研究发现,氮钾配施能显著提高桔梗总皂苷含量,这与张艳玲等^[15]关于氮钾配施对桔梗品质影响的研究结果相一致。各营养元素对桔梗植株多糖含量影响为磷 > 氮 > 钾,而氮、磷对桔梗总黄酮积累表现出一定负效应,其中氮肥对药用植物黄酮类次生代谢产物的抑制作用在羽叶决明(*Cassia nictitoms*)施肥研究^[16]中也有发现。此外,桔梗产量与总黄酮含量呈负相关。因此,以黄酮类次生代谢物作为主要有效成分的药用植物,要提高有效成分含量,其合理施肥配方是关键。

氮、磷、钾是药用植物生长发育及其产量、品质形成的主要的 3 种营养元素,不同药用植物对其需要量及其比例不同。不同肥力水平的土壤,肥料最佳施用量差别很大,因此,对药用植物精准施肥的研究不仅要注重产量,还要考虑如何提高次生代谢产物量。

4 结论

根据上述分析,本研究认为施肥能显著提高桔梗药材产量,氮、磷、钾元素对桔梗药材产量影响依次为氮 > 钾 > 磷;依据桔梗药材产量及总皂苷含量提出桔梗合理施肥方案为 N 150 kg·hm⁻²、P₂O₅ 79.41 kg·hm⁻²、K₂O 225 kg·hm⁻²。

致谢:诚挚感谢黑龙江佳木斯大学王良信教授和中国农业科学院土壤肥料研究所褚天泽研究员对本文的悉心修改!

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中国药典 一部[K]. 北京:中国医药科技出版社,2010:259.
- [2] 宋杨,齐云. 桔梗的药理研究进展[J]. 中国药房,2006,17(2):140-141.

- [3] 郭丽,张村,李丽,等. 中药桔梗的研究进展[J]. 中国中药杂志,2007,32(3):181-186.
- [4] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999.
- [5] 白厚义,肖俊璋. 试验研究及统计分析[M]. 西安:世界图书出版社,1998:274.
- [6] 张鸿雁,胡晓黎,李会军,等. 桔梗适宜气候及优质高产栽培技术[J]. 陕西农业科学,2011(2):255-257.
- [7] 李喜凤,薛秋萍,董诚明. 桔梗中总皂苷的含量测定[J]. 中医药学刊,2006,24(12):2232-2234.
- [8] 李艳,兰卫,孙萍,等. 新疆党参总黄酮和多糖的含量测定[J]. 中草药,2004,35(2):214-215.
- [9] 李妍,魏建和,许旭东,等. 苯酚-硫酸法定量测定桔梗多糖的研究[J]. 时针国医国药,2009,20(1):5-7.
- [10] Graciano C, Goya J F, Jorge L, *et al.* Fertilization with phosphorus increases soil nitrogen absorption in young plants of *Eucalyptus grandis*[J]. *Forest Ecology and Management*,2006,236(12):202-210.
- [11] 王玲,付志文,董其亭,等. 桔梗配方施肥方法研究[J]. 中国中药杂志,2008,33(6):697-698.
- [12] 焦晋川,陈琳. 钾肥对多年生黑麦草抗旱性的影响[J]. 草业科学,2008,25(8):139-143.
- [13] 祝丽香,王建华,耿慧云,等. 桔梗的干物质累积及氮、磷、钾养分吸收特点[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(1):197-202.
- [14] 周佳民,尹小红,陈超君,等. 施氮水平对广金钱草产量和活性成分含量的影响[J]. 中国中药杂志,2010,35(12):1533-1536.
- [15] 张艳玲,杨本凤,孙万慧,等. 氮钾配施对桔梗品质的影响[J]. 安徽农业科学,2011,39(6):3253-3254.
- [16] 王俊宏,李艳春,陈志彤,等. 氮素对羽叶决明缩合单宁及相关酶活性的影响[J]. 草业科学,2010,27(2):99-103.

Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on the growth and secondary metabolites of *Platycodon grandiflorum*

WANG Jing¹, WANG Wei-ling¹, XU Fu-li²,

CAO Xian-yan¹, HUANG Shu-hua¹, ZHANG Xiao-hu³

(1. College of Life Science, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. Institute of Soil & Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and

Ministry of Water Resource, Yangling 712100, China;

3. Department of Biomedical Engineering, Shangluo College, Chinese Academy of Traditional Chinese Medicine,

Shangluo GAP Research Engineering Center for Traditional Chinese Medicine, Shangluo 726000, China)

Abstract: Based on the D-saturation optimal design with three factors of nitrogen, phosphorus and potassium, a field experiment was conducted to investigate the effects of fertilization with different nitrogen, phosphorus and potassium ratios on the growth and effective ingredients of *Platycodon grandiflorum*. This study showed that the fertilization greatly increased the medicinal yield of *P. grandiflorum*. The contribution of nitrogen, phosphorus and potassium to the medicinal yield was nitrogen > potassium > phosphorus. The effect of nitrogen, phosphorus and potassium application on the content of platycodin was also following the pattern as nitrogen > potassium > phosphorus. The effect of nitrogen, phosphorus and potassium application on the polysaccharide content was phosphorus > nitrogen > potassium. Nevertheless, both nitrogen and phosphorus had a negative effect on the accumulation of total flavone in *P. grandiflorum*. In terms of the medicinal yield and the content of platycodin, the optimal fertilization combination was 150 kg · hm⁻² N, 79.41 kg · hm⁻² P₂O₅ together with 225 kg · hm⁻² K₂O.

Key words: *Platycodon grandiflorum*; nitrogen; phosphorus; potassium; growth; secondary metabolites