doi：10.11838/sfsc.1673-6257.20578

响应面法优化内蒙古黄芪施肥量

栗瑞红[1]，刘培京[2*]，吴　湾[3]，顾　扬[4]，于建财[4]，葛爱国[4]，李红霞[1]

（1. 呼和浩特市农畜产品质量安全中心，内蒙古　呼和浩特　010020；
2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所，北京　100081；3. 江西农业大学生物科学与工程学院，江西　南昌　330045；4. 内蒙古盛齐堂生态药植有限公司，内蒙古　呼和浩特　011500）

摘　要：揭示蒙黄芪对3种元素的需求规律，探索氮、磷、钾的最佳施肥量及其配比，为黄芪规范化施肥提供科学依据。在呼和浩特市和林格尔县城关镇马群沟村内蒙古盛齐堂生态药植有限公司药植基地，根据Box-Behnken中心组合设计原理，设计三因素三水平的响应面分析（RSA）试验，研究肥料配施对蒙黄芪产量和品质的影响。结果表明，磷元素对生长期的鲜重影响不显著，而氮肥用量影响显著。调整氮、磷、钾施肥量及配比能够显著提高蒙黄芪产量，当N、P_2O_5、K_2O施用量分别为151.65、174.6、201.3 kg/hm^{2}时，产量达到最大值（8420.33 kg/hm^2）。在和林格尔地区，当N、P_2O_5、K_2O的比例为1∶1.15∶1.33时，黄芪药材个体质量优异，产量高，经济效益好。

关键词：蒙黄芪；施肥量；响应面法；产量；品质

黄芪（*Astragalus membranaceus*）为豆科多年生草本植物，以根入药，具有利尿排毒、补气养颜等功效，也可调节血压，提高人体免疫系统功能，在保护心脏的心肌细胞等方面也有良好的功效，是药用价值很高的中药材[1-4]。主要分布于黑龙江、吉林和内蒙古等地，适宜生长在山坡向阳处。近年来人们对蒙黄芪过度地采挖致使野生资源几乎枯竭，部分药农尝试进行引种栽培蒙黄芪，以缓解其资源的不足[5]。内蒙古和林格尔地区种植黄芪有多年的历史，但目前多采取小规模分散种植，并且在种植过程中缺乏标准化的管理体系，如栽培生产过程中育种、水肥管理等仅靠经验进行，种植过程中氮、磷、钾施用不合理等问题也普遍存在，导致蒙黄芪产量和品质不能得到保证，极大地影响了药农种植的积极性[6]。

药材种植是中药质量控制的根本，而施肥是中药材种植中的关键环节，肥料的种类、性质、施肥方式以及肥料成分配比对中药材的产量与质量至关重要[7]。在基于肥料减施的目标下，探索蒙黄芪施肥规律显得尤为重要。

赵亚兰等[8]在甘肃省永登县研究了采用不同基肥对黄芪产量和质量的对比试验，认为在以饼肥为基肥，施肥量6000 kg/hm^{2}的条件下一次性施入，对黄芪产量效益最好。邱黛玉等[9]以甘肃省漳县种植的药用植物黄芪为材料，研究了不同施肥量对黄芪生长发育、药材产量及种子产量质量的影响，发现当N∶P_2O_5∶K_2O=1.25∶3∶1时，有利于提高黄芪药材产量。蓝俊吉等[10]对甘肃定西栽培的黄芪进行了模拟寻优试验，得到的N、P_2O_5、K_2O的配比为1∶0.68∶0.4。王渭玲等[11]对陕西旬邑县子午岭地区栽培的黄芪采用氮、磷、钾三因素二次D-饱和最优设计，通过田间试验建立了氮、磷、钾的施肥量N、P_2O_5、K_2O的最佳比例为1∶0.92 ~ 0.95∶1.16 ~ 1.62。秦梦等[12]在吉林农业大学药用植物标本园对黄芪展开配方施肥研究，结果显示尿素900 kg/hm^2、过磷酸钙360 kg/hm^2、硫酸钾240 kg/hm^{2}处理组合对黄芪产量和多糖含量均有一定的提高作用。李文倩等[13]对比了硝普钠、黄芪固氮菌T16、黄芪固氮菌T21、黄芪茎叶绿肥等对蒙黄芪产量及品质的影响，结果表明4种因素配合施用，均对蒙黄芪的生长及产量品质起到了积极作用。

本研究依据Box-Behnken中心组合设计，研究了N、P、K肥对蒙黄芪产量及品质的影响，建立

收稿日期：2020-09-28；**录用日期：**2020-11-01

基金项目：呼和浩特市科学技术局2019-社-5。

作者简介：栗瑞红（1974-），男，内蒙古呼和浩特人，高级农艺师，本科，主要从事农产品质量安全与农业技术推广研究。E-mail：ruihongli@qq.com。

通讯作者：刘培京，E-mail：liupeijing@caas.cn。

了肥效模型，提供了能够有效增产的最佳施肥量，确定了以和林格尔县为代表的内蒙古中部地区环境条件下蒙黄芪的施肥模式，对提高产区药农收入，促进蒙黄芪产业发展具有重要意义。

1　材料与方法

1.1　试验地点

内蒙古盛齐堂生态药植有限公司第一基地，位于呼和浩特市和林格尔县城关镇马群沟村，小区设置按随机区组分布随机排列，每小区面积 300 m^2，3 个重复，每小区周边设置 1 m 的保护行。土壤类型为栗褐土，养分含量为全氮 0.45 g/kg，有效磷 17 mg/kg，速效钾 126 mg/kg。

1.2　试验设计

本试验以 N、P 和 K 3 个因素为自变量，以产量为响应值，因素与水平设置见表 1。供试肥料为尿素（N 46%）、磷酸二铵（N 18%，P_2O_5 46%）、硫酸钾（K_2O 51%）。

表 1　试验因素水平编码设计　（kg/hm^2）

编码水平 X	N	P	K
−1	120	60	135
0	150	75	165
+1	180	90	195

注：P、K 用量分别以 P_2O_5、K_20 计算。

1.3　Box–Behnken 设计

根据 Box–Behnken 中心组合设计原理，设计三因素三水平的响应面分析（RSA）试验，中心点设置 3 次重复。每个试验地块用苗量 49.73 kg，种苗 9080 株。按照试验地块面积和肥料品种计算肥料施用量，磷肥和钾肥做基肥，氮肥三分之一做基肥，三分之二做追肥。

小区试验用肥量见表 2。

表 2　小区试验肥料用量　（kg/hm^2）

试验号	地块编号	N	P	K	尿素			磷酸二铵	硫酸钾
					总量	基肥	追肥	基肥	基肥
1	B4	120	60	165	160.5	53.55	106.95	99.75	247.5
2	B14	120	90	165	141.0	46.95	94.05	149.7	247.5
3	B7	180	60	165	260.25	86.7	173.55	99.75	247.5
4	B1	180	90	165	240.75	80.25	160.5	149.7	247.5
5	B2	150	60	135	210.45	70.2	140.25	99.75	202.5
6	B10	150	60	195	210.45	70.2	140.25	99.75	292.5
7	B13	150	90	135	190.95	63.6	127.2	149.7	202.5
8	B12	150	90	195	190.95	63.6	127.2	149.7	292.5
9	B5	120	75	135	150.75	50.25	100.5	124.8	202.5
10	B15	180	75	135	250.5	83.55	167.1	124.8	202.5
11	B11	120	75	195	150.75	50.25	100.5	124.8	292.5
12	B9	180	75	195	250.5	83.55	167.1	124.8	292.5
13	B3	150	75	165	200.7	66.9	133.8	124.8	247.5
14	B6	150	75	165	200.7	66.9	133.8	124.8	247.5
15	B8	150	75	165	200.7	66.9	133.8	124.8	247.5

1.4　田间管理

每小区按每公顷施入 15 t 腐熟牛粪为基肥，再按试验方案施入磷肥、钾肥和三分之一氮肥做基肥，机耕深翻，挖出播种行。

种苗购自内蒙古赤峰市，试验于 2016 年 5 月 13 日进行移栽，黄芪种植密度为行距 0.4 m，株距 0.2 m，于盛花期（7 月 23 日）追肥一次，10 月 12 日收获。整个生育期间水分管理按常规条件进行。

2016 年 8 月 29 日抽样调查一次，取生长

期植株10株，测定整株、地上部和地下部分鲜重。

收获后，取鲜根以游标卡尺测量根的最大直径，分别统计鲜货重量、条货（一等品，直径大于1 cm）重量、统货（二等品，直径小于1 cm）重量及比率等。

1.5　数据处理及分析

以SPSS 15.0软件进行数据统计、方差分析、新复极差检验。

2　结果与分析

2.1　不同施肥量对蒙黄芪生长期的影响

不同施肥量对蒙黄芪生长期的影响结果见表3。各小区蒙黄芪生长期整株鲜重的均值在77.98 ~ 114.18 g之间，地下部分鲜重均值在26.42 ~ 52.18 g之间。3个中心点小区B3、B6、B8整株鲜重的均值在110.28 ~ 114.18 g之间，地下部分鲜重均值在48.63 ~ 52.18之间。在生长期，蒙黄芪地下部分占整株重的比值在32% ~ 45%之间，地上部分鲜重大于地下部分鲜重，表明蒙黄芪壮根是在生长期的后期。

表3　不同施肥量对蒙黄芪生长期的影响

地块编号	N	P	K	整株鲜重（g）	地下部分鲜重（g）
	（kg/hm^2）				
B15	180	75	135	92.57	38.57
B5	120	75	135	77.98	26.42
B2	150	60	135	85.97	33.24
B9	180	75	195	97.34	40.52
B14	120	90	165	85.67	32.25
B3	150	75	165	114.18	52.18
B12	150	90	195	102.53	44.08
B11	120	75	195	95.65	39.57
B10	150	60	195	96.89	41.72
B1	180	90	165	112.14	51.02
B4	120	60	165	96.42	35.42
B13	150	90	135	101.21	49.21
B7	180	60	165	105.14	37.28
B6	150	75	165	110.28	48.63
B8	150	75	165	110.32	49.32

2.2　不同施肥量对生长期蒙黄芪整株生物量的影响

利用Design Expert软件对表3中的响应值进行多元二次回归拟合分析，建立了以蒙黄芪生物量（Y1）为预测值，与N、P以及K施肥量的多元二次线性回归方程：

$$Y1=-654.145+44.781N+23.083P+81.957K+2.219NP-0.806NK-1.200PK-2.189N^2-2.993P^2-2.988K^2$$

对模型回归方程各项进行方差分析，结果见表4，模型显著（P=0.0373），失拟项中P>0.05，影响不显著，表明所选模型适合，可以用该模型来拟合试验；一次项N元素影响显著，而交互项N^2显著，K^2影响极显著。在所取的各因素水平范围内，各因素对生物量的影响结果排序为N>K>P。

表4　不同施肥量对蒙黄芪生长期生物量的影响方差分析

来源	平方和	自由度	均方和	F	P	显著性
模型	1425.66	9	158.41	5.52	0.0373	*
N	331.15	1	331.15	11.53	0.0193	*
P	36.68	1	36.68	1.28	0.3097	
K	150.34	1	150.34	5.24	0.0708	
NP	78.77	1	78.77	2.74	0.1586	
NK	41.60	1	41.60	1.45	0.2826	
PK	23.04	1	23.04	0.80	0.4114	
N^2	283.20	1	283.20	9.86	0.0257	*
P^2	33.07	1	33.07	1.15	0.3322	
K^2	527.31	1	527.31	18.36	0.0078	**
残差	143.57	5	28.71			
失拟项	133.53	3	44.51	8.87	0.1030	ns
纯误差	10.04	2	5.02			
总差	1569.23	14				

注：* 表示差异显著（P<0.05），** 表示差异极显著（P<0.01），ns表示不显著。下同。

为研究影响因素间的曲面效应，利用软件Design Expert对表3数据进行多元二次回归拟合，得到二次回归方程的响应曲面（图1）。图1是由响应值和各试验因子构成间的立体曲面图，显示了N、P和K中任意一个变量取零水平时，其余两个变量对蒙黄芪生长期生物量的影响。

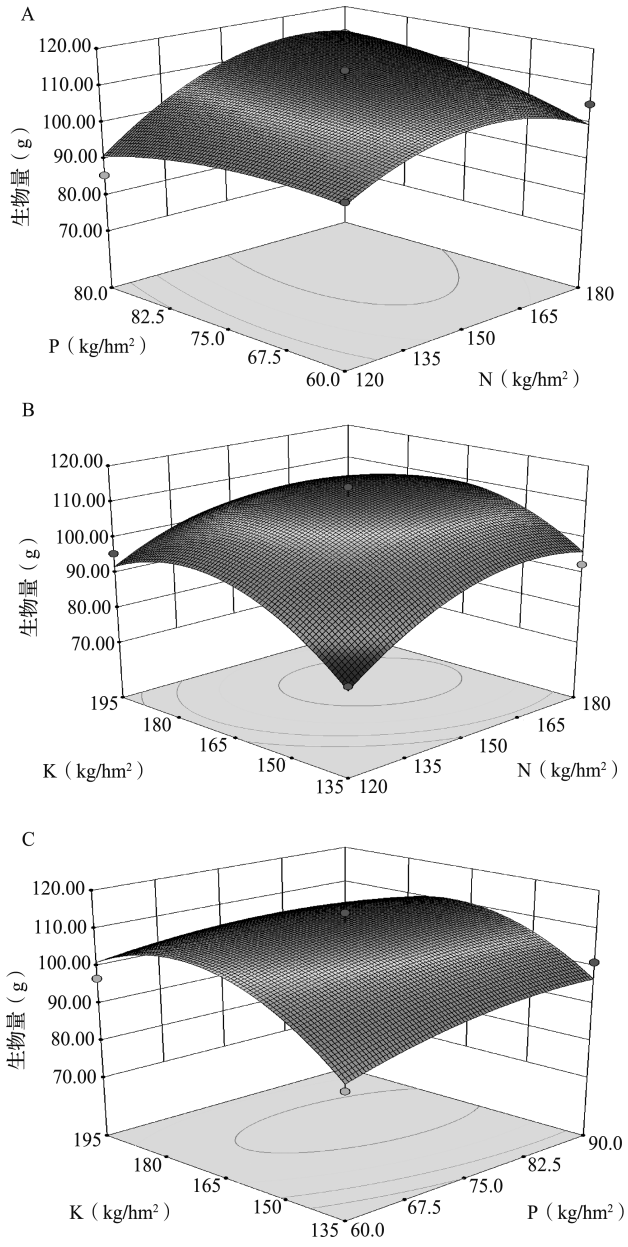

图 1　N、P 和 K 肥施用量对黄芪生物量的互作分析

注：A 为 N 和 P 对生物量的三维图；B 为 N 和 K 对生物量的三维图；C 为 P 和 K 对生物量的三维图。

由图 1 可知，黄芪生物量（Y1）随 N、P 和 N、K 施肥量的增加逐渐升高而后缓慢降低。N、P 和 N、K 处于较低水平时，交互促进作用明显，N 对黄芪生物量的影响更大。P、K 的交互作用中，P 对黄芪生物量的影响波动不大。

2.3　不同施肥量对蒙黄芪生长期根系生物量的影响

利用 Design Expert 软件对表 3 中的响应值进行多元二次回归拟合分析，建立了以蒙黄芪根系生物量（Y2）为预测值，与 N、P 以及 K 施肥量的多元二次线性回归方程：

$Y2=-448.847+34.709N+34.092P+39.57K+2.121NP-0.384NK-1.709PK-1.965N^2-3.289P^2-1.197K^2$

对模型回归方程各项进行方差分析，结果见表 5，模型较显著（P=0.0118），失拟项中 P>0.05，影响不显著，表明所选模型适合，可以用该模型来拟合试验；一次项 N 和 P 影响显著，而交互项 NP、K^2 影响显著，N^2 影响极显著。在所取的各因素水平范围内，各因素对根系生物量的影响结果排序为 N>P>K。

表 5　不同施肥量对蒙黄芪生长期根系生物量的影响方差分析

来源	平方和	自由度	均方和	F	P	显著性
模型	671.93	9	74.66	9.42	0.0118	*
N	102.39	1	102.39	12.92	0.0156	*
P	104.40	1	104.40	13.18	0.0151	*
K	22.58	1	22.58	2.85	0.1522	
NP	72.00	1	72.00	9.09	0.0296	*
NK	9.46	1	9.46	1.19	0.3245	
PK	46.72	1	46.72	5.90	0.0595	
N^2	228.09	1	228.09	28.79	0.0030	**
P^2	39.96	1	39.96	5.04	0.0747	
K^2	84.70	1	84.70	10.69	0.0222	*
残差	39.61	5	7.92			
失拟项	33.24	3	11.08	3.48	0.2314	ns
纯误差	6.38	2	3.19			
总差	711.54	14				

以生长期黄芪根部重量为观测值，依据二次回归方程绘制响应曲面（图 2）。由图 2 可知，黄芪根系生物量（Y2）随 N、P 和 N、K 施肥量的增加逐渐升高而后缓慢降低。N、P 和 N、K 处于较低水平时，交互促进作用明显，N 对黄芪根系生物量的影响更大。P、K 的交互作用中，P 的影响波动不大。

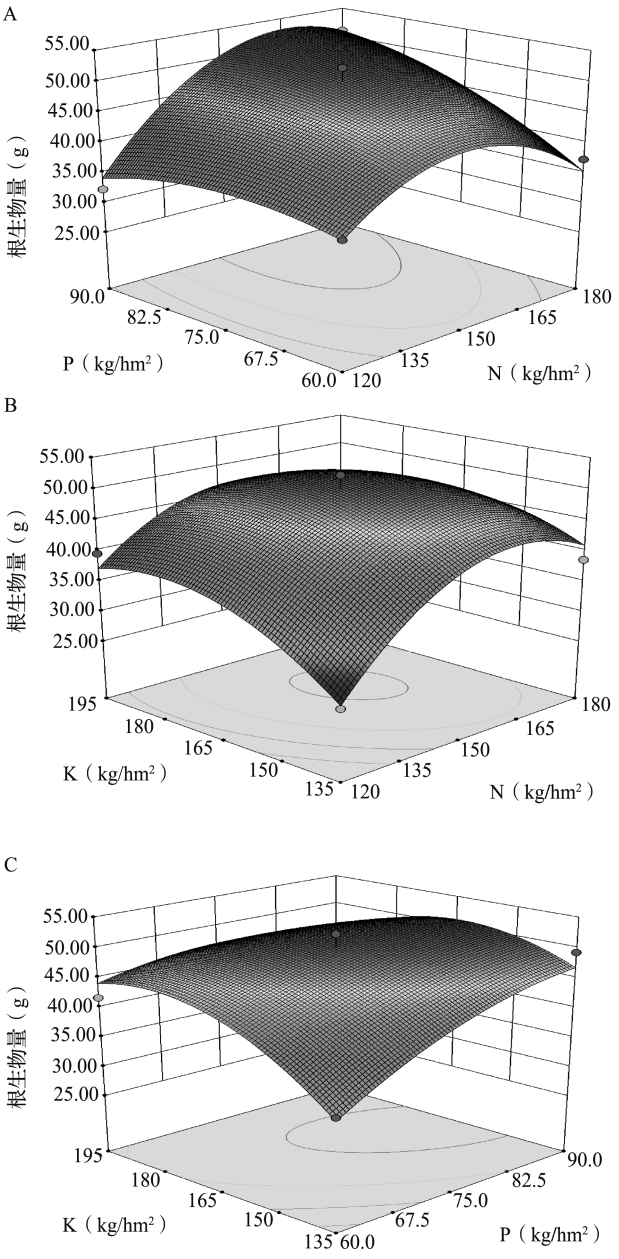

图 2　N、P 和 K 肥施用量对黄芪根系生物量的互作分析

注：A 为 N 和 P 对根系生物量的三维图；B 为 N 和 K 对根系生物量的三维图；C 为 P 和 K 对根系生物量的三维图。

2.4　不同施肥量对黄芪产量的影响效应

10 月底收获后，分小区统计产量，并统计条货（优等品）比例，结果见表 6。

利用 Design Expert 软件对表 3 中的响应值进行多元二次回归拟合分析，建立了以蒙黄芪产量为预测值，与 N、P 以及 K 施肥量的多元二次线性回归方程：

$$Y=-2261.714+116.375N+402.538P+162.300K-1.875NP+0.734\ NK+4.713PK-5.692N^2-43.106P^2-8.655K^2$$

表 6　不同施肥量对蒙黄芪产量和品质的影响

地块编号	N	P	K	产量	优等品率
	（kg/hm²）			（kg）	（%）
B2	150	60	135	177.30	37.8
B9	180	75	195	204.70	39.1
B10	150	40	165	164.85	40.3
B3	150	75	195	277.65	41.9
B4	120	60	165	170.80	39.1
B6	150	75	165	224.15	41.6
B13	150	90	135	165.15	39.1
B1	180	90	165	194.25	38.8
B14	120	90	165	189.85	37.0
B7	180	60	165	190.20	38.4
B15	180	75	135	182.80	39.7
B12	150	90	195	190.40	39.0
B11	120	75	195	200.85	40.9
B5	120	75	136	197.00	40.7
B8	150	75	165	204.65	39.6

对模型回归方程各项进行方差分析，结果见表 7，模型显著（P=0.0009），失拟项中 P>0.05，影响不显著，表明所选模型适合，可以用该模型来拟合试验；一次项影响均不显著，但交互项中 PK、N^2 显著，P^2 和 K^2 影响极显著。

表 7　不同施肥量对蒙黄芪产量的影响方差分析

来源	平方和	自由度	均方和	F	P	显著性
模型	12519.84	9	1391.09	28.33	0.0009	**
N	48.76	1	48.76	0.99	0.3648	
P	166.53	1	166.53	3.39	0.1249	
K	251.44	1	251.44	5.12	0.0731	
NP	56.25	1	56.25	1.15	0.3334	
NK	34.52	1	34.52	0.70	0.4400	
PK	355.32	1	355.32	7.24	0.0433	*
N^2	1914.15	1	1914.15	38.98	0.0015	*
P^2	6860.86	1	6860.86	139.71	<0.0001	**
K^2	4425.08	1	4425.08	90.11	0.0002	**
残差	245.53	5	49.11			
失拟项	155.03	3	51.68	1.14	0.4983	ns
纯误差	90.50	2	45.25			
总差	12765.38	14				

以收获时黄芪产量为观测值，依据二次回归方程绘制响应曲面（图 3）。由图 3 可知，黄芪产量随 N、P 和 K 施肥量的增加逐渐升高再缓慢降低。N、P 和 N、K 处于较低水平时，交互促进作用明显，P 对黄芪产量的影响更大。

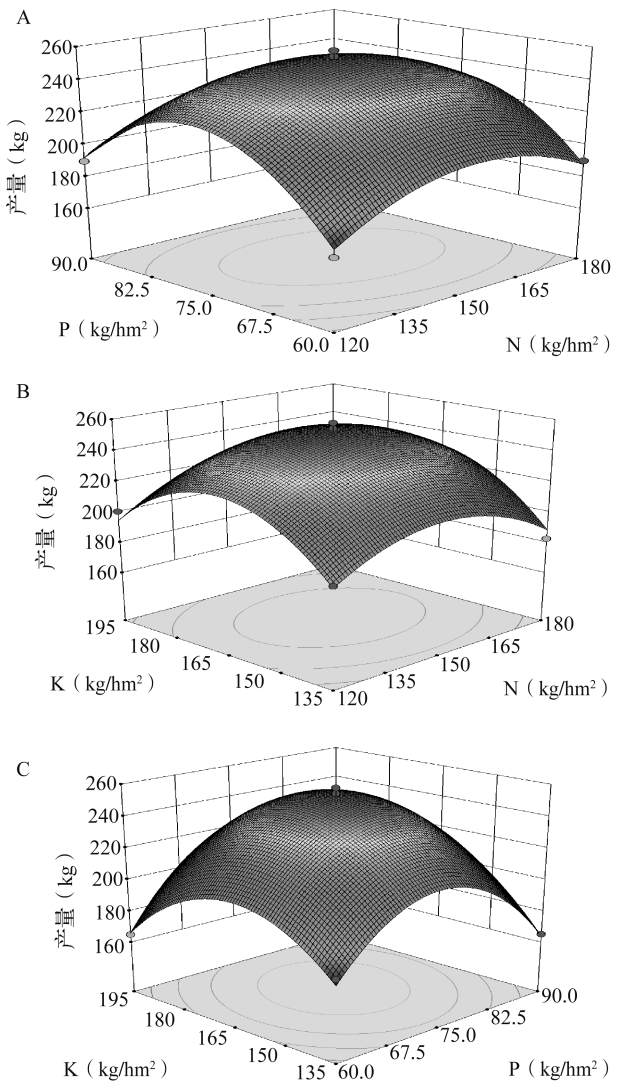

图 3　N、P 和 K 肥施用量对黄芪产量的互作分析

注：A 为 N 和 P 对产量的三维图；B 为 N 和 K 对产量的三维图；C 为 P 和 K 对产量的三维图。

2.5　不同施肥量对黄芪优等品率的影响

依据表 7 所得黄芪优等品率数据，对模型回归方程各项进行方差分析，结果见表 8。结果显示模型不显著（P>0.05），表明不同施肥量对黄芪的优等品率无显著影响。

2.6　最佳施肥量预测

试验所得最优施肥方案为：当 N、P_2O_5、K_2O 施用量分别为 151.65、174.6、201.3 kg/hm^2 时，小区产量应达 252.61 kg（鲜重），折合成每公顷产量为 8420.33 kg（鲜重），优等品率为 41.02%（表 9）。

表 8　不同施肥量对蒙黄芪优等品率的影响方差分析

来源	平方和	自由度	均方和	F	P	显著性
模型	19.64	9	2.18	1.75	0.2791	ns
N	0.34	1	0.34	0.27	0.6256	
P	0.37	1	0.37	0.30	0.6090	
K	0.56	1	0.56	0.45	0.5335	
NP	1.47	1	1.47	1.18	0.3272	
NK	0.14	1	0.14	0.12	0.7481	
PK	1.89	1	1.89	1.51	0.2734	
N^2	2.60	1	2.60	2.08	0.2087	
P^2	13.05	1	13.05	10.46	0.0231	
K^2	0.04	1	0.04	0.03	0.8663	
残差	6.24	5	1.25			
失拟项	3.12	3	1.04	0.67	0.6466	ns
纯误差	3.12	2	1.56			
总差	25.87	14				

表 9　产量预测值

响应变量	预测值	标准误	95% 置信区间最低值	95% 置信区间最高值
产量（kg）	252.61	7.008	231.836	273.389
优等品率（%）	41.02	1.117	37.707	44.330

3　讨论

我国药用植物仍采用传统栽培方案，缺乏系统性的理论指导，结果导致中药材的产量下降，有效成分含量降低，药效流失，直接影响中药材的市场经济效益[14]。在依据土壤肥力测定的基础上，结合配方施肥技术，可以减少农民在施肥上的盲目性和不合理的偏施、滥施现象，还可以节约肥料，降低生产成本，增加作物产量，改善产品品质，提高肥料的利用率和土地产出率，增加农民收入[12]。

合理施肥是黄芪栽培的一项关键性技术，直接影响黄芪药材产量和质量。前人对 N、P、K 施肥的研究大多集中在大宗作物上，针对黄芪等药材作物的研究不多[15]；且针对黄芪施肥的相关研究主要集中在陕西[16-17]、山西[18]、甘肃[19]等地，而对内蒙和林格尔地区黄芪施肥模型的研究则较少，而不同栽培地区土壤养分条件的不同，也使各地施肥习惯呈现出差异。

Zhou 等[20]对一年生的黄芪幼苗生长需肥规律进行了研究，结果表明N、P对幼苗生长的影响较大。Park 等[21]研究了N、P、K对一年生的黄芪幼苗根系灰分含量、提取物和干根产量的影响，结果表明当氮肥施用量大于500 kg/hm^{2}时，根系酸不溶灰分含量增加，而乙醇和乙醚提取物减少，磷含量对根系灰分和提取物含量无影响；当氮肥施用量小于500 kg/hm^{2}时，干根产量随施氮量的增加而增加，但施磷、施钾对于根产量的影响不明显，给出的建议为N、P_2O_5、K_2O施用量分别为500、700 ~ 1400、700 kg/hm^2。Anetai 等[22]给出的黄芪幼苗的P_2O_5施用量为500 ~ 1500 kg/hm^2，并指出P元素是提高一年生黄芪生长速度的重要因素，而氮肥或钾肥处理对植株的生长影响不大。以往的栽培经验表明，一年生黄芪并不适合作为药材使用，本研究对播种后第二年生长的黄芪需肥量研究结果表明，N元素对黄芪生物量的影响最大，K元素次之，而P元素对生物量的影响最小，与王振等[17]的研究结果一致。

邱黛玉等[9]建议的施肥方案中，P的施用量最大，而蓝俊吉等[10]建议方案中N元素施用量则较大。本研究结果中，P的施用量最低，与张丽萍等[18]、王渭玲等[23]研究的黄芪需肥规律一致。这可能是因为试验地点和年份的不同、土壤成分及降水量和光照时数等气候条件等多种因素的综合影响，导致试验结果不同。此外，黄芪作为能够进行根瘤固氮的作物，不同产地的根瘤菌固氮活性对植物生长的影响还有待进一步研究。

4　结论

本研究对道地黄芪药材产区内蒙古和林格尔地区栽培的黄芪进行了施肥量最优模型试验，结果表明在黄芪生长期，N元素对黄芪生物量的影响最大，各因素对生物量的影响结果排序为N>K>P。而在收获期，黄芪产量随N、P和K施肥量的增加而逐渐升高再缓慢降低。当N、P_2O_5、K_2O施用量为151.65、174.6、201.3 kg/hm^{2}时，黄芪产量有最大值，折合成每公顷产量为8420.33 kg。而不同施肥量对黄芪的优等品率无显著影响，表明黄芪优等品率可能与种质因素有关。

参考文献：

[1] 陈璇，东方 . 黄芪抗肿瘤机制研究进展及临床应用[J]. 黑龙江医药，2014（1）：95-98.

[2] Fu J，Wang Z，Huang L，et al. Review of the botanical characteristics，phytochemistry，and pharmacology of *Astragalus membranaceus*（Huangqi）[J]. Phytotherapy Research，2014，28（9）：1275-1283.

[3] Toda S，Shirataki Y. Inhibitory effects of isoflavones in roots of *Astragalus membranaceus* BUNGE（Astragali Radix）on lipid peroxidation by reactive oxygen species[J]. Phytotherapy Research，2015，12（1）：59-61.

[4] Xia G，Han X，Qi J，et al. The effects of astragalus polysaccharide on zebrafish cell apoptosis and senescence[J]. American Journal of Molecular Biology，2012，2：103-109.

[5] 余坤子，刘靖，洪浩，等 . 黄芪种植产地与生态环境及饮片规格的调查研究[J]. 中国中药杂志，2010（9）：1112-1115.

[6] 王立平，侯福强，刘瑞方，等 . 北京地区黄芪栽培技术研究[J]. 中国农学通报，2003，19（2）：57-58.

[7] 郭文芳，李旻辉，伊乐泰，等 . 蒙古黄芪种植技术研究进展[J]. 农学学报，2019，9（3）：36-43.

[8] 赵亚兰，代立兰，王崙德，等 . 不同基肥及其施肥量对黄芪产量和质量的影响[J]. 中药材，2018（12）：2741-2747.

[9] 邱黛玉，彭宁刚，陈小娜 . 不同施肥量对黄芪生长发育、药材产量及种子产量和质量影响的研究[J]. 中国农学通报，2016，32（10）：95-101.

[10] 蓝俊吉，刘效瑞 . 甘肃定西黄芪高效栽培施肥试验[J]. 甘肃林业科技，2007（3）：24-28.

[11] 王渭玲，王振，徐福利 . 氮、磷、钾对膜荚黄芪生长发育及有效成分的影响[J]. 中国中药杂志，2008，33（15）：1802-1806.

[12] 秦梦，田伟，张益铭，等 . 不同施肥配比对黄芪产量和多糖含量的影响[J]. 安徽农业大学学报，2015，42（1）：148-151.

[13] 李文倩，张莹，王梦茹，等 . 不同施肥配比对蒙古黄芪产量及品质的影响[J]. 草地学报，2020，28（1）：1221-229.

[14] 赵永志，尹光红，张海萍 . 药用植物黄芪氮磷钾配比试验简报[J]. 中国农学通报，2002，18（4）：113-113.

[15] 彭玉婷，李莹莹，边小禹，等 . 施肥对膜荚黄芪生长及黄芪甲苷含量的影响[J]. 西北农林科技大学学报（自然科学版），2018（1）：140-146，154.

[16] 高星，林云，王渭玲，等 . 蒙古黄芪对N、P、K的肥效响应[J]. 西北农业学报，2017，26（12）：1845-1852.

[17] 王振，王渭玲，徐福利 . 膜荚黄芪氮磷钾优化施肥模式研究[J]. 植物营养与肥料学报，2008，14（3）：552-557.

[18] 张丽萍，孙明舒，杨春清，等 . 黄芪不同生长期物质的积累及氮、磷、钾的吸收动态的研究[J]. 现代中药研究与实践，2005（6）：23-25.

[19] 徐敬珲，宋振华，刘效瑞，等 . 旱作区氮磷钾配施对黄芪的影响[J]. 甘肃农业科技，2012（5）：13-14.

[20] Zhou J，Kulkarni M G，Huang L Q，et al. Effects of temperature，light，nutrients and smoke-water on seed germination and seedling growth of *Astragalus membranaceus*，*Panax notoginseng* and

Magnolia officinalis–Highly traded Chinese medicinal plants [J]. South African Journal of Botany, 2012, 79: 62–70.

[21] Park N K, Choi D U. Effects of N, P_2O_5, and K_2O application on the yield and quality of *Astragalus membranaceus* bunge root [J]. Agris, 1990, 21(4): 450–454.

[22] Anetai M, Katsura E, Minamiyama Y, et al. Effects of manurial elements on growth of *Astragalus membranaceus* bunge, yield and glycoside contents of Astragali Radix [J]. Natural Medicines, 1995, 49(3): 49284–49287.

[23] 王渭玲，梁宗锁，谭勇 . 膜荚黄芪干物质累积及氮、磷、钾吸收规律的研究 [J]. 中国中药杂志，2007，32(9)：789–793.

Optimization of fertilization amounts on growth and yield of *Astragalus membranaceus* using response surface methodology

LI Rui-hong[1], LIU Pei-jing[2*], WU Wan[3], GU Yang[4], YU Jian-cai[4], GE Ai-guo[4], LI Hong-xia[1] (1. Hohhot Agricultural and Animal Products Quality Safety Center, Hohhot Inner Mongolia 010020; 2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; 3. College of Bioscience and Bioengineering, Jiangxi Agriculture University, Nanchang Jiangxi 330045; 4. Inner Mongolia Shengqitang Ecological Medicinal Plant Co. Ltd., Hohhot Inner Mongolia 011500)

Abstract: Reval the law of demand of *Astragalus membranaceus* for the three elements, explore the optimal fertilization amount and ratio of nitrogen, phosphours and potassium, and provide a scientific basis for standardized fertilization of *Astragalus membranaceus*. In the medical plating base of Shengqitang ecological medicine plant Co. Ltd., Maqungou village, Chengguan toun, Horinger county, Hohhot city, according to the Box-Behnken center combination design principle, a three-factor three-level response surface analysis (RSA) experiment was designed to study the effect of fertilizer combination on the yield and quality of *Astragalus membranaceus*. The results showed that P element had no significant effect on the fresh weight during the growing period, while N fertilizer dosage had a significant effect. The yield could increase by adjusting proportioning and dosage of fertilizers, when N, P_2O_5 and K_2O was 151.65, 174.6, 201.3 kg/hm^2, respectively, the maximum yield was 8420.33 kg/hm^2. In Horinger county, when the ratio of N, P_2O_5 and K_2O was 1 ∶ 1.15 ∶ 1.33, the individual quality of *Astragalus membranaceus* was excellent, the yield was high and the economic benefits were good.

Key words: *Astragalus membranaceus*; fertilization amount; consecutive monoculture problem; yield; quality