

# 施氮量对新增耕地肥料利用及大豆产量的影响

武晓莉<sup>1</sup>, 贺龙云<sup>2</sup>, 姚晶晶<sup>2</sup>, 党宏忠<sup>1</sup>, 张友焱<sup>1</sup>, 周泽福<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091; 2. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083,)

**摘 要:**在晋西黄土区新增耕地设置施加  $N_0$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N_4$  和  $N_5$  六种不同氮水平氮肥的处理, 比较分析不同施氮量对氮肥利用率、氮磷钾吸收累积、大豆生长发育和产量的影响, 并通过回归拟合, 确定最佳施氮量, 结果表明: 不同氮水平下, 氮肥农学利用率、氮肥吸收利用率和氮肥偏生产力随施氮量的增加呈现下降的趋势, 而各氮水平条件下氮肥生理利用率差异不大; 施氮能够促进大豆植株各部位对氮、磷、钾的吸收利用, 各处理之间大豆植株氮素累积量、磷素累积量和钾素累积量差异显著, 且在  $N_2$  水平下最高, 但大豆植株氮、磷、钾累积量与施氮量相关性不显著;  $N_2$  水平下大豆植株在出枝期、开花期和鼓粒期的株高、冠幅均最高, 且大豆产量最高, 达  $188.83 \text{ g/m}^2$ , 比其他五种处理措施增产  $8.68\% \sim 141.32\%$ , 其增产效益最高, 为  $0.562 \text{ 元/m}^2$ ; 晋西黄土区新增耕地的最佳施氮量为  $168 \sim 178 \text{ kg/hm}^2$ , 对应理论产量为  $1800 \sim 1802 \text{ kg/hm}^2$ 。

**关键词:**黄土区; 新增耕地; 不同氮水平; 大豆产量; 肥料利用率

中图分类号: S152

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)02-0106-05

## The Effect of Different Nitrogen Levels on Soybean Yield and Fertilizer Use Efficiency in New Farmland

WU Xiaoli<sup>1</sup>, HE Longyun<sup>2</sup>, YAO Jingjing<sup>2</sup>, DANG Hongzhong<sup>1</sup>, ZHANG Youyan<sup>1</sup>, ZHOU Zefu<sup>1</sup>

(1. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:**  $N_0$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N_4$  and  $N_5$  six different levels of nitrogen were applied in the new farmland of loess hilly areas, the nitrogen use efficiency, absorption and utilization of nitrogen, phosphorus and potassium by soybean and the effects on soybean growth and yield were compared and analyzed, and the optimum amount of nitrogen was determined through regression analysis. The results showed that under different nitrogen levels, nitrogen agronomic efficiency, nitrogen uptake efficiency, and nitrogen partial factor productivity presented the downward trend with increase of nitrogen application level, but the difference of nitrogen physiological efficiency was not significant; applying nitrogen could promote the absorption and utilization of nitrogen, phosphorus and potassium by soybean, and all of the N accumulation, P accumulation and K accumulation of soybean plant were the highest under  $N_2$  level, and there was significant difference each other, but there was no significant correlation between different nitrogen and N accumulation, P accumulation and K accumulation of soybean plant; all of the height and crown of soybean plant in branch stage, flowering and filling periods were the highest under  $N_2$  level, at the same time, the yield of soybean under  $N_2$  level was the highest, which was  $188.83 \text{ g/m}^2$ , and increased by  $8.68\% \sim 141.32\%$  compared the other five nitrogen levels, and there was the highest yield benefit, which was  $0.562 \text{ yuan/m}^2$ ; the optimum amount of nitrogen of new farmland in loess area was  $168 \sim 178 \text{ kg/hm}^2$ , and corresponding output was  $1800 \sim 1802 \text{ kg/hm}^2$ .

**Keywords:** loess area; new farmland; different nitrogen levels; soybean yield; fertilizer use efficiency

晋西黄土丘陵区土地辽阔, 光热充足, 具有发展农业的巨大潜力。近些年, 在大规模土地开发整理过程中, 新增耕地土壤结构受到严重破坏, 大量贫瘠的

土壤出现在表层, 其养分含量极低, 不能支持农作物的正常生长, 急需培肥和改良以达到增加产量和补充耕地的目的。氮是植物体内蛋白质、叶绿素、核酸等

许多化合物的重要组成部分,对植物生长发育和产量形成有非常重要的作用,因此氮肥成为农业生产中增加产量的强有力的工具<sup>[1]</sup>。在实际生产过程中人们只注重产量效应,越来越多的氮肥被施入农田,但我国氮肥利用率平均仅 35%左右<sup>[2]</sup>,氮素的过剩不但会对农作物的生长发育、产量和品质带来不利影响,还会造成硝态氮积累<sup>[3]</sup>,并通过淋溶和径流等方式进入地下水和河流,造成富营养化<sup>[4]</sup>,甚至会影响微生物、动物、大气等整个生态系统的多样性<sup>[5]</sup>,因此科学合理施肥和提高氮肥利用率是提高农业经济效益和生态效益的重要措施,并引起了世界各地学者的广泛关注<sup>[6-8]</sup>,但氮素的缺失和过剩是相对的,必须根据农作物种类、土壤情况和气候条件等各种因素进行综合考虑,才能提高氮肥的经济效益<sup>[9]</sup>。目前,对于黄土区不同施氮量对氮肥利用率影响的报道较少,本试验在晋西黄土区新增耕地上施加不同水平的氮肥,分析了氮肥利用率的变化及施氮量对大豆植株磷、钾积累量、大豆生长发育情况及产量的影响,确定了晋西黄土区新增耕地的最佳施氮量,为当地土壤培肥和改良及大豆增产提供理论支持和科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在山西省中阳县车鸣峪林场进行,供试土壤

表 1 供试土壤基本理化性质

参数	密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	碱解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全钾/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )
供试土壤	1.41	0.20	4.04	0.58	5.84	14.75	77.90	2.09

收获时各氮水平处理下随机选取 3 箱进行干物质重和产量的计算,每个种植箱内的大豆单独脱粒并装袋,称重记录鲜干重,分别采集各种种植箱内大豆植株的根、茎和叶,同大豆籽粒一起先在烘箱中 105℃ 杀青 30 min,然后降低温度至 80℃,烘干,称籽粒重,计算含水量,根据含水量折算各处理的实际产量,根、茎和叶样品烘干后粉碎过筛。植物样品全氮采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消解法(GB/T5511—2008),流动注射分析仪测定;全磷采用 HClO<sub>4</sub>-HNO<sub>3</sub> 消解法(GB/T5009.87—2003),分光光度计 600 nm 波长处进行测定;全钾采用 HClO<sub>4</sub>-HNO<sub>3</sub> 消解法(GB/T5009.91—2003),火焰光度计进行测定。

于大豆收获期采集各处理土壤样品,风干,研磨,过筛。土壤样品全氮采用半微量开氏法测定<sup>[10]</sup>;全磷采用 HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 消解,钼锑抗比色法测定<sup>[10]</sup>;全钾采用 HF-HClO<sub>4</sub> 消解,火焰光度计测定<sup>[10]</sup>。

氮肥利用率公式<sup>[11]</sup>如下:

采自中阳县下枣林乡阳坡沟流域新增耕地表层土(0—20 cm),该地区属于典型的黄土丘陵沟壑区,土壤贫瘠,水土流失严重,农业以种植玉米、薯类、谷子和豆类为主,供试土壤的基本理化性质见表 1。

本试验采用种植箱进行盆栽试验,种植作物为大豆(*Glycine max* L. Merril.),种植箱高约 30 cm,长约 40 cm,宽约 30 cm,根据土壤密度将供试土壤进行装箱,每箱约装土 50 kg。试验所用肥料为尿素(含 N46%),过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)和氯化钾(含 K<sub>2</sub>O 50%)。

试验共设 6 个处理:(1) N<sub>0</sub>,不施氮肥;(2) N<sub>1</sub>,每箱施尿素 3 g;(3) N<sub>2</sub>,每箱施尿素 6 g;(4) N<sub>3</sub>,每箱施尿素 9 g;(5) N<sub>4</sub>,每箱施尿素 12 g;(6) N<sub>5</sub>,每箱施尿素 18 g。N<sub>2</sub> 施氮量根据测土配方施肥法确定,大豆目标产量按 3000 kg/hm<sup>2</sup>,每 100 kg 大豆经济产量需氮量按 7.19 kg,氮肥当季利用率按 30%进行计算,N<sub>1</sub>,N<sub>3</sub>,N<sub>4</sub> 和 N<sub>5</sub> 施氮量分别为 N<sub>2</sub> 的 50%,150%,200%和 300%。所有处理施磷肥均为 9 g/箱,施钾肥均为 3 g/箱,磷肥和钾肥施肥量采用当地习惯施肥量,所有肥料均作为基肥在播种前一次性施入,每个处理 4 个重复,每箱留苗 4 株,生育期统一管理。

1.2 测定方法

根据大豆生长情况,分别在幼苗期、出枝期、开花期和鼓粒期随机选取各处理中 3 株大豆植株测定株高和冠幅。

氮肥贡献率=(施氮区产量-不施氮区产量)/施氮区产量×100%

氮肥农学利用率=(施氮区产量-不施氮区产量)/施氮量

氮肥吸收利用率=(施氮区地上部吸氮量-不施氮区地上部吸氮量)/施氮量×100%

氮肥生理利用率=(施氮区产量-不施氮区产量)/(施氮区地上部吸氮量-不施氮区地上部吸氮量)

氮肥偏生产力=施氮区产量/施氮量

增产效益<sup>[12]</sup>=(产量×大豆价格-施氮量×氮价格)-(不施氮区产量×大豆价格),大豆价格为 6 元/kg,尿素价格为 3 元/kg,折合纯氮价格约为 6.5 元/kg。

1.3 统计方法

采用 Microsoft Excel 2007 软件和 PASW Statistics 18.0 数据处理系统进行单因素方差分析和曲线估计回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同氮水平对肥料利用率和大豆产量的影响

2.1.1 不同氮水平下氮肥利用率的变化 表 2 显示,不同氮水平下,氮肥贡献率的变化有显著差异, $N_2$  水平氮肥贡献率最高,为 57.33%,与  $N_3$  差异不显著,但显著高于  $N_1$ ,  $N_4$  和  $N_5$ ,比  $N_1$ ,  $N_3$ ,  $N_4$  和  $N_5$  高 4.90%~550.00%, $N_5$  最低,其氮肥贡献率仅 8.82%。不同氮水平下,氮肥利用率的变化表现出一定规律,不同氮水平下,氮肥农学利用率、氮肥吸

收利用率和氮肥偏生产力随施氮量的增加都呈现逐渐下降的趋势,变幅分别为 0.67~7.60 g/g, 2.89%~42.92%和 5.70~15.99 g/g;通过回归分析对施氮量和氮肥吸收利用率建立回归模型,其模型表达式为: $Y=63.810-2.103x+0.016x^2$  ( $R^2=0.866$ ,  $F=38.796^*$ ,  $Y$  表示氮肥吸收利用率,  $x$  表示施氮量,  $*$  表示在  $p<0.05$  条件下显著);不同氮水平下,氮肥生理利用率差异不大,除  $N_5$  的氮肥生理利用率较低外,各施氮水平下氮肥生理利用率差异不显著。

表 2 不同氮水平下氮肥利用率的变化

处理	氮肥 贡献率/%	氮肥利用率			
		氮肥农学利用/ ( $g\cdot g^{-1}$ )	氮肥吸收 利用率/%	氮肥生理利用率/ ( $g\cdot g^{-1}$ )	氮肥偏生产力/ ( $g\cdot g^{-1}$ )
$N_0$	—	—	—	—	—
$N_1$	43.07±6.84b	7.77±2.09a	44.97±8.80a	17.12±1.81a	17.83±2.10a
$N_2$	57.33±8.97a	7.10±2.52a	42.08±10.67a	16.61±1.93a	12.13±2.53b
$N_3$	54.65±4.61ab	4.09±0.76b	21.96±2.17b	18.52±1.62a	7.44±0.76c
$N_4$	44.18±4.22b	2.01±0.36bc	10.93±1.78bc	18.54±3.11a	4.52±0.36d
$N_5$	8.82±6.97c	0.17±0.15c	2.05±0.48c	8.61±7.17b	1.84±0.15d

注:表中数据为均值±标准差,字母表示  $p<0.05$  条件下的显著性,下同。

2.1.2 不同氮水平对磷肥和钾肥利用的影响 不同施氮水平对大豆植株吸收氮素、磷素和钾素有显著影响,如表 3 所示,在  $N_2$  水平下,大豆植株氮素累积量最高,虽与  $N_3$  水平差异不显著,但显著高于  $N_0$ ,  $N_1$ ,  $N_4$  和  $N_5$ ,比五种施氮水平高 18.13%~266.27%; $N_2$  水平下,大豆植株磷素累积量最高,显著高于  $N_0$ ,  $N_1$ ,  $N_3$ ,  $N_4$  和  $N_5$ ,且比五种施氮水平高 19.51%~262.96%; $N_2$  水平下,大豆钾素累积量也是最高,显著高于  $N_0$ ,  $N_1$ ,  $N_3$ ,  $N_4$  和  $N_5$ ,且比五种施氮水平高 27.93%~285.37%。说明在晋西黄土区新增耕地施加  $N_2$  水平的氮量能够促进大豆植株对氮素、磷素和钾素的吸收,在提高氮肥利用率的同时提高磷肥和钾肥的利用。

表 3 不同氮水平对磷肥和钾肥利用率的影响

处理	g/m <sup>2</sup>		
	氮素累积量	磷素累积量	钾素累积量
$N_0$	2.49±0.79c	0.27±0.09d	0.82±0.26d
$N_1$	6.07±0.67b	0.41±0.04d	1.94±0.20c
$N_2$	9.12±1.66a	0.98±0.17a	3.16±0.54a
$N_3$	7.72±0.51a	0.82±0.05b	2.47±0.18b
$N_4$	5.94±0.58b	0.61±0.07c	1.54±0.19c
$N_5$	3.50±0.28c	0.27±0.03d	0.95±0.13d

对施氮量与大豆植株氮素累积量、磷素累积量和钾素累积量进行相关性分析,结果如表 4,大豆植株氮素累积量、磷素累积量和钾素累积量与施氮量之间相关性均不显著,大豆植株氮素累积量、磷素累积量和钾素累积量三者之间呈正相关,其相关性均达到极

显著水平,相关系数都在 0.93 以上。

表 4 施氮量与大豆植株氮、磷、钾累积量相关性分析

参数	氮素累积量	磷素累积量	钾素累积量
磷素累积量	0.948**	—	—
钾素累积量	0.979**	0.934**	—
施氮量	-0.024	-0.023	-0.148

2.1.3 不同氮水平对大豆株高和冠幅的影响 不同氮水平对大豆植株株高和冠幅有显著影响,如表 5 所示,在大豆生长幼苗期, $N_3$  水平大豆的株高和冠幅最高,其次是  $N_2$  措施, $N_3$  水平的株高比其他五种氮水平高 11.00%~92.77%,其冠幅比其他五种氮水平高 7.02%~173.83%,但在大豆生长出枝期、开花期和鼓粒期, $N_2$  水平大豆的株高和冠幅则最高,出枝期、开花期和鼓粒期株高分别比其他五种氮水平高 3.30%~66.67%,3.57%~34.07%,9.45%~34.95%,各生长期冠幅分别比其他五种氮水平高 22.46%~191.53%,17.95%~152.71%,31.99%~115.82%。这可能是因为在幼苗期,大豆根系还未形成根瘤菌,需要一定的氮素促进幼苗的生长,但施氮量过多会使土壤溶液渗透压增加,氮素转化过程中的产物对植物有一定的毒害作用<sup>[13]</sup>,不利于植物生长;大豆出枝期会形成稳定的根系,且形成根瘤菌,根瘤菌能够固定土壤中的氮素,此时不需要补充太多氮素,相反,土壤中氮素过多时反而会抑制根瘤菌的着生和发育,使得氮素不能被有效吸收,从而降低氮肥利用率。

表 5 不同氮水平对大豆生长的影响

处理	株高/cm				冠幅/cm			
	幼苗期	出枝期	开花期	鼓粒期	幼苗期	出枝期	开花期	鼓粒期
N <sub>0</sub>	7.33±1.15d	12.60±0.69b	21.63±2.72b	38.33±4.37bc	27.67±6.35c	64.83±8.13d	237.10±25.81c	535.33±121.59c
N <sub>1</sub>	9.60±0.87cd	19.00±0.00a	26.17±2.02ab	39.67±5.51bc	33.87±10.03bc	148.00±20.80ab	434.33±124.60b	860.00±138.92b
N <sub>2</sub>	12.73±0.64a	21.00±2.00a	29.00±2.65a	46.33±1.53a	70.80±21.66a	189.00±21.00a	599.17±69.02a	1155.33±153.16a
N <sub>3</sub>	14.13±1.10a	20.33±2.52a	28.00±2.65a	42.33±2.52ab	75.77±8.94a	154.33±15.04ab	508.00±37.04ab	875.33±208.48b
N <sub>4</sub>	12.17±2.06ab	18.00±4.58a	25.00±1.00ab	40.00±2.00bc	50.00±2.98b	118.00±56.17bc	294.67±28.38c	736.67±41.74bc
N <sub>5</sub>	9.93±1.75bc	17.00±1.73a	24.17±3.69ab	34.33±2.52c	46.60±9.56bc	90.00±11.13cd	281.33±12.06c	628.33±27.65bc

2.1.4 不同氮水平对大豆产量的影响 不同氮水平下大豆产量差异显著,其带来的经济效益也有显著差异。如表 6 所示,N<sub>2</sub> 水平下大豆产量最高,达 188.83 g/m<sup>2</sup>,其次是 N<sub>3</sub>,N<sub>2</sub> 与 N<sub>3</sub> 之间差异不显著,相比 N<sub>0</sub>,二者增产率分别为 141.32%和 122.04%;N<sub>2</sub> 大豆产量显著高于其他五种氮水平,且比这五种氮水平高 8.68%~141.32%;N<sub>2</sub> 所带来的直接增产效益也最高,达 0.562 元/m<sup>2</sup>;N<sub>5</sub> 水平下大豆增产效率为 (-0.256)元/m<sup>2</sup>,处于经济亏损状态,所产大豆的经济效益不足以弥补肥料等所消耗的费用。说明 N<sub>2</sub> 水平下大豆产量最高,增产率最大,是适合研究区域的施氮水平。

表 6 不同氮水平对大豆产量和增产效益的影响

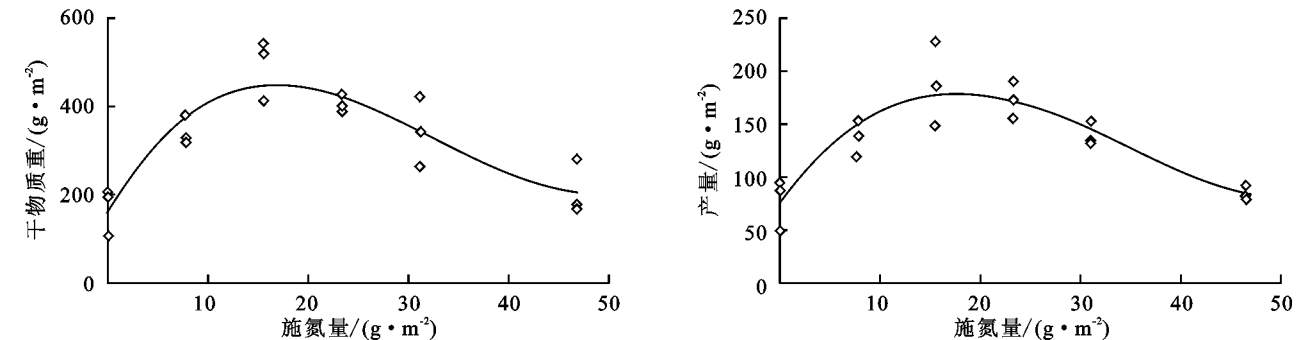
处理	产量/ (g·m <sup>-2</sup> )	增产率/%	增产效益/ (元·m <sup>-2</sup> )
N <sub>0</sub>	78.25±24.47c	—	—
N <sub>1</sub>	138.75±16.30b	77.21±20.83b	0.312±0.098bc
N <sub>2</sub>	188.83±39.27a	141.32±50.18a	0.562±0.235a
N <sub>3</sub>	173.75±17.63ab	122.04±22.53ab	0.421±0.106ab
N <sub>4</sub>	140.75±11.10b	79.87±14.18b	0.173±0.067c
N <sub>5</sub>	86.17±6.86c	10.12±8.76c	(-0.256)±0.041d

2.2 确定最佳施氮量

由图 1 可以看出,施氮量与大豆植株干物质重、

施氮量与产量之间存在密切联系,随施氮量的增加,大豆植株干物质重和产量都呈现先升高后下降的趋势,大豆干物质重约在 T<sub>2</sub> 水平时到达峰值,同时,大豆产量也在 T<sub>2</sub> 水平附近到达峰值。

通过曲线估计回归分析,分别对施氮量与大豆植株干物质重、施氮量与产量进行拟合,经线性模型、二次多项式模型、三次多项式模型、指数曲线模型和复合模型拟合后进行 F 检验,发现只有二次多项式模型和三次多项式模型在  $p<0.05$  条件下显著,且在  $p<0.01$  条件下极显著,拟合模型的二次多项式模型和三次多项式模型见表 7。比较分析发现,在合理施肥范围内,施氮量与干物质重拟合模型中三次多项式模型比二次多项式模型的拟合度更好,其  $R^2$  为 0.810,施氮量与产量拟合模型的三次多项式模型也较二次多项式模型的拟合度好,其  $R^2$  为 0.816,因此,本试验最佳施氮量的确定采用三次多项式模型。可以看出,当施氮量为 16.76 g/m<sup>2</sup> 时,大豆植株干物质重最大,为 449.71 g/m<sup>2</sup>,此时产量为 179.97 g/m<sup>2</sup>;当施氮量为 17.80 g/m<sup>2</sup> 时,大豆产量最高,为 180.24 g/m<sup>2</sup>。因此,晋西黄土区新增耕地种植大豆的最佳施氮量为 16.76~17.80 g/m<sup>2</sup>,理论产量为 179.97~180.24 g/m<sup>2</sup>,折合为最佳施氮量 168~178 kg/hm<sup>2</sup>,理论产量 1 800~1 802 kg/hm<sup>2</sup>。



注:每种施氮水平处理下随机选取 3 箱大豆植株进行干物质重和产量的计算,图中每个点为每个种植箱内折算后的干物质重和产量。

图 1 不同氮水平对大豆干物质重、产量和氮素累积量的影响

表 7 施氮量与植株干物质重、产量和植株氮素累积量回归模型

参数	回归模型	R <sup>2</sup>	F(p<0.01)	最佳施氮量/(g·m <sup>-2</sup> )
植株干物质重	Y=201.920+20.029x-0.436x <sup>2</sup>	0.697	17.245**	—
与施氮量	Y=160.889+38.968x-1.565x <sup>2</sup> +0.016x <sup>3</sup>	0.810	19.930**	16.76
产量与施氮量	Y=86.898+7.726x-0.169x <sup>2</sup>	0.742	21.573**	—
	Y=74.448+13.473x-0.512x <sup>2</sup> +0.005x <sup>3</sup>	0.816	20.633**	17.80

注:Y 分别表示大豆植株干物质重和产量,x 表示施氮量。

### 3 讨论

大豆是高蛋白作物,需氮量非常高,虽然能够通过根瘤菌固氮,但大豆发芽期和幼苗期还未形成根瘤,且根瘤菌的固氮系统在鼓粒鼓粒期开始衰亡<sup>[14]</sup>,其吸收同化的氮量往往不能满足大豆籽粒的生长需求,极易造成减产<sup>[15]</sup>;虽然施氮肥会抑制根瘤菌的形成,但氮素能够缓解叶片和根系的衰老,从而促进干物质积累和籽粒产量的增加<sup>[16]</sup>,因此,大豆的种植过程中需要补充足够的氮素以促进高产;但氮肥过量会使叶片的光合能力下降,从而影响籽粒的碳氮代谢,造成减产和肥料利用率降低<sup>[17]</sup>,因此,合理施氮是保证大豆正常生长和提高产量的重要措施。本研究表明,施氮能够促进大豆株高和冠幅的生长、提高大豆产量,在  $N_2$  水平下大豆产量为  $188.83 \text{ g/m}^2$ ,均比其他氮水平高,不施氮肥的大豆产量为  $78.25 \text{ g/m}^2$ , $N_5$  水平下大豆产量为  $86.17 \text{ g/m}^2$ ,说明不施、少施或过量施肥均会造成大豆减产, $N_2$  水平较适宜于晋西黄土区新增耕地中大豆的种植。

国际通用的氮肥利用率包括氮肥吸收利用率、氮肥生理利用率、氮肥农学利用率和氮肥偏生产力四个指标,氮肥的吸收利用率、农学利用率和偏生产力随施氮量的增加而降低<sup>[18]</sup>,但氮肥生理利用率较稳定,本研究表明,除  $N_5$  外,各施氮水平下氮肥的生理利用率差异不显著,且氮肥吸收利用率、农学利用率和偏生产力都随施氮量的增加呈现下降的趋势,与之结论一致。而  $N_5$  水平下氮肥生理利用率低可能是因为施氮量过多,导致氮素向籽粒转运的效率严重降低<sup>[19]</sup>,植株吸收的氮素都积累在茎秆和叶片等部位,导致产量和氮肥生理利用率降低。

大豆植株各部位氮、磷、钾累积量与施氮量之间相关性不显著,这与王旭刚等<sup>[20]</sup>的结论一致。但大豆植株各部位氮、磷、钾累积量之间呈极显著正相关,说明大豆植株对氮、磷、钾的吸收量会随彼此含量的增加而增加,彼此有促进吸收的作用,这是因为施氮能够促进植物生长,植物生长发育过程中需要吸收氮、磷、钾等养分,彼此相互促进,但植物对氮、磷、钾的吸收利用和累积不会因施氮量的持续增加而无限增加,因此,在大豆种植过程中,要提供足够的氮肥以保证植株对氮素吸收利用以及对吸收磷素和钾素的促进,但植株对氮、磷、钾的吸收累积与施氮量无关。

本研究基于盆栽试验,由于种植箱尺寸有限,因此对最佳施氮量的确定限制于平方米的尺度,且盆栽试验过程中施肥、灌溉等农业管理措施较易控制,其理论施肥量较田间施肥量略高,在实际生产过程中应

采用追肥和合理灌溉等措施进行施肥,以确保产量。目前,对晋西黄土区新增耕地最佳施氮量确定的大田试验正在进行中。

### 4 结论

在晋西黄土区新增耕地施加不同氮水平肥料后,氮肥的农学利用率、吸收利用率和偏生产力呈现出随施氮量增加而降低的趋势,但氮肥生理利用率差异不大;不同氮水平下,大豆植株各部位氮素累积量、磷素累积量和钾素累积量都存在显著性差异,且在  $N_2$  水平下最高,氮、磷、钾累积量之间呈极显著正相关关系,但均与施氮量相关性不显著;伴随较高的肥料累积吸收量, $N_2$  水平下,大豆在出枝期、开花期和鼓粒期的株高和冠幅最高,但与  $N_3$  水平差异不显著; $N_2$  水平下大豆产量居首,其增产效益达  $0.562 \text{ 元/m}^2$ ;通过对施氮量与大豆植株干物质重和产量进行回归拟合,确定晋西黄土区新增耕地的最佳施氮量为  $168 \sim 178 \text{ kg/hm}^2$ ,理论产量为  $1800 \sim 1802 \text{ kg/hm}^2$ 。

#### 参考文献:

- [1] Gallais A, Hirel B. An approach to the genetics of nitrogen use efficiency in maize[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2004,55(396):295-306.
- [2] 马春梅,唐远征,龚振平,等. 不同施氮量对大豆吸收化肥氮效率的影响[J]. *大豆科学*, 2005,24(1):34-37.
- [3] 党廷辉,郭胜利,郝明德. 黄土旱塬长期施肥下硝态氮深层累积的定量研究[J]. *水土保持研究*, 2003,10(1):58-60,75.
- [4] 姚军,唐春霞,何丙辉. 紫色土坡耕地不同施肥水平下氮随径流流失特征研究[J]. *水土保持研究*, 2010,17(2):54-57.
- [5] Hirel B, Le Gouis J, Ney B, et al. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2007,58(9):2369-2387.
- [6] Presterl T, Seitz G, Landbeck M, et al. Improving Nitrogen-Use Efficiency in European Maize: Estimation of Quantitative Genetic Parameters [J]. *Crop Science*, 2003,43,(4):1259-1265.
- [7] Guarda G, Padovan S, Delogu G. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels[J]. *European Journal of Agronomy*, 2004, 21(2):181-192.
- [8] 张宏,周建斌,刘瑞,等. 不同栽培模式及施氮对半旱地冬小麦/夏玉米氮素累积、分配及氮肥利用率的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011,17(1):1-8.

- 种花荚期质膜透性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 127-129.
- [10] 徐淑琴, 宋军, 吴砚. 大豆需水规律及喷灌模式探讨[J]. 节水灌溉, 2003(3): 23-25.
- [11] 王培武, 李治远, 磯田昭弘, 等. 新疆大豆生产及生态的研究 I 开花期缺水 and 遮光处理对大豆干物质生产及株型的影响[J]. 作物学报, 1995, 21(2): 396-403.
- [12] 毛洪霞. 不同水分处理对滴灌大豆干物质积累及生理参数的影响[J]. 大豆科学, 2009, 28(2): 247-250.
- [13] Jiang D, Xie Z J, Cao W X, et al. Effects of Post-anthesis drought and water-logging on photosynthetic characteristics, assimilates transportation in winter wheat [J]. Acta Agronomica Sinica, 2004, 30 (2): 175-182.
- [14] 薛丽华, 胡锐, 赛力汗, 等. 滴灌量对冬小麦耗水特性和干物质积累分配的影响[J]. 麦类作物学报, 2013, 33 (1): 78-83.
- [15] 高山, 王冀川, 徐雅丽, 等. 不同土壤水分对滴灌春小麦生长干物质积累与分配的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(9): 5151-5153, 5240.
- [16] 陈晓远, 罗远培. 土壤水分变动对冬小麦生长动态的影响[J]. 中国农业科学, 2001, 34(4): 403-409.
- [17] Wang T, Zhang X, Li C. Growth, abscisic acid content, and carbon isotope composition in wheat cultivars grown under different soil moisture[J]. Biologia Plantarum, 2007, 51(1): 181-184.
- [18] 邓洁, 陈静, 贺康宁. 灌水量和灌水时期对冬小麦耗水特性和生理特性的影响[J]. 水土保持研究, 2009, 16 (2): 191-194.
- [19] 吴巍, 陈雨海, 李全起, 等. 垄沟耕作条件下滴灌冬小麦田间土壤水分的动态变化[J]. 土壤学报, 2006, 43(6): 1011-1017.
- [20] 李劲松. 高产春大豆根系生长规律[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2007.
- [21] Zhang Xiyong, Chen Suying, Sun Hongyong, et al. Dry matter, harvest index, grain yield and water use efficiency as affected by water supply in winter wheat [J]. Irrigation Science, 2008, 27(1): 1-10.
- [22] 孙克刚, 王英, 李贵宝, 等. 夏大豆干物质积累和分配数学模拟研究[J]. 大豆科学, 1996, 15(3): 274-277.
- [23] 王红军, 吴奇峰, 谢映周. 大豆籽粒干物质积累规律及与产量关系的研究[J]. 新疆农业科学, 2006, 43(4): 268-270.
- [24] 赵恩龙, 葛慧玲, 龚振平, 等. 灌溉水平对春大豆株高及产量的影响[J]. 作物杂志, 2014(1): 125-128.
- [25] 孙贵荒, 刘晓丽, 董丽杰, 等. 高产大豆干物质积累与产量关系的研究[J]. 大豆科学, 2002, 21(3): 199-202.

~~~~~

(上接第 110 页)

- [9] 谢德体. 土壤肥科学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 王秀斌, 徐新朋, 孙刚, 等. 氮肥用量对双季稻产量和氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19 (6): 1279-1286.
- [12] 阎炬, 施卫明. 不同施氮量对太湖地区大棚蔬菜产量、氮肥利用率及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 151-157.
- [13] 刘立新. 试谈化肥烧种、烧苗等毒害作用及对策[J]. 土壤肥料, 1996(3): 42-43.
- [14] 陈昌斌, 戴小密, 俞冠翹, 等. 组成型 nifA 对大豆根瘤菌(*Rhizobium fredii*) HN01 lux 结瘤固氮效率的促进作用[J]. 科学通报, 1999, 44(5): 529-533.
- [15] Salado-Navarro L R, Hinson K, Sinclair T R. Nitrogen Partitioning and dry matter allocation in soybeans with different seed Protein concentration[J]. Crop Science, 1985, 25(3): 451-455.
- [16] 倪丽, 章建新, 金加伟, 等. 氮肥施用对高产大豆根系、干物质积累及产量的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2004, 27(2): 36-39.
- [17] Osaki M, Iyoda M, Tadano T. On to genetic changes in the contents of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase, phosphoenolpyruvate carboxylase, and chlorophyll in individual leaves of maize[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1995, 41(2): 285-293.
- [18] 吕鹏, 张吉旺, 刘伟, 等. 施氮量对超高产夏玉米产量及氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 852-860.
- [19] 赵营, 同延安, 赵护兵. 不同供氮水平对夏玉米养分累积、转运及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 622-627.
- [20] 王旭刚, 郝明德, 李建民, 等. 氮磷配施对旱地小麦产量和吸肥特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(2): 138-142.