

氮肥对工业大麻产量和土壤表观氮素平衡的影响*

杨 阳, 何飞飞, 邓 纲, 杜光辉, 刘飞虎**

(云南大学农学院, 云南昆明 650504)

摘要:【目的】研究工业大麻生产中精准施氮的方法。【方法】以云麻 5 号为试验材料, 设置 4 个氮肥水平 (0、50、100 和 150 kg/hm²), 2 个氮肥基追比例 (2/3 基肥 1/3 为追肥、1/2 基肥 1/2 追肥), 研究氮肥对大麻农艺性状、氮素积累量和土壤表观氮素平衡的影响。【结果】低施氮量 (50 kg/hm²) 对大麻农艺性状改善作用明显, 除株高外, 继续增加氮肥用量对大麻农艺性状改善作用不显著; 低氮肥用量和高追施量 (50 kg/hm²、1/2 基肥 1/2 追肥) 可实现土壤表观氮素平衡, 但高氮肥用量和高追施量 (150 kg/hm²、1/2 基肥 1/2 追肥) 大麻茎叶的氮素积累量最大, 说明大麻对氮素存在奢侈消耗的现象。【结论】综合考虑工业大麻产量和表观氮素平衡, 本试验条件下施氮量为 50 kg/hm², 1/2 基肥 1/2 追肥是合理的施氮方式。

关键词: 工业大麻; 氮肥运筹; 产量; 氮素积累; 表观氮素平衡

中图分类号: S 563.306

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X (2019) 05-0833-05

Effect of Nitrogen Fertilization on the Yield and Apparent Soil Nitrogen Balance of Hemp (*Cannabis sativa* L.)

YANG Yang, HE Feifei, DENG Gang, DU Guanghui, LIU Feihu

(School of Agriculture, Yunnan University, Kunming 650504, China)

Abstract: [Purpose] To understand precision nitrogen application in fiber industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) production. [Method] Taking ‘Yun ma No.5’ as experimental material, we set up four levels of nitrogen fertilizer (0, 50, 100 and 150 kg/hm²), and two levels proportions of base fertilizer and topdressing (2/3 base fertilizer and 1/3 topdressing, 1/2 base fertilizer and 1/2 topdressing). The impact of nitrogen application on the agronomic traits, nitrogen accumulation, apparent soil nitrogen balance of hemp was analyzed. [Results] Low rate of nitrogen fertilizer (50 kg/hm²) could obviously improve the agronomic traits of hemp, however, except plant height, with the increase of nitrogen fertilizer rate, the impact was not obvious. Low rates of nitrogen fertilizer (50 kg/hm²) and high topdressing nitrogen (1/2 base fertilizer and 1/2 topdressing) could help the apparent soil nitrogen balance of hemp. But, the nitrogen accumulation of hemp was superior, when the rates of nitrogen fertilizer and topdressing were 150 kg/hm², 1/2 base fertilizer and 1/2 topdressing, which meant luxury consumption of nitrogen fertilizer existed in hemp. [Conclusion] In this experiment, 50 kg/hm² nitrogen fertilizer, and the ratio of topdressing was 1/2 base fertilizer and 1/2 topdressing was the best nitrogen fertilizer application practice by considering hemp fiber yield and nitrogen balance.

收稿日期: 2018-10-08

修回日期: 2019-08-11

网络首发时间: 2019-09-30 11:54:21

*基金项目: 国家自然科学基金项目 (31371678); 现代农业产业技术体系建设专项资金资助 (CARS-16-E15)。

作者简介: 杨阳 (1987—), 男, 云南普洱人, 硕士, 实验师, 主要从事工业大麻栽培技术和逆境生物学特性研究。E-mail: yjy@ynu.edu.cn

**通信作者 Corresponding author: 刘飞虎 (1958—), 男, 湖南株洲人, 博士, 教授, 主要从事麻类遗传育种和栽培研究。E-mail: dmzpynu@126.com

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.s.20190929.1657.010.html>



Keywords: industrial hemp (*Cannabis sativa* L.); nitrogen fertilization application regime; yield; nitrogen accumulation; apparent soil nitrogen balance

大麻 (*Cannabis sativa* L.) 别名火麻、线麻、汉麻等, 素有“国纺源头, 万年衣祖”之称, 自古就是一种很重要的经济作物^[1]。国际上将四氢大麻酚 (tetrahydrocannabinol, THC) 含量低于 0.3% 的品种称为工业大麻 (hemp), 在中国云南率先培育和推广种植工业大麻, 主要是作为一种纤维和粮食作物加以开发利用^[2]。目前, 工业大麻市场前景向好, 种植面积不断扩大, 其进一步提高产量、节约农资成本的研究非常必要。氮素是大麻生长发育的必需元素之一, 整个生长期, 氮素代谢十分旺盛, 氮素的生理作用直接关系到碳水化合物化合物的合成和植株的生长发育, 影响着纤维的产量^[3-4]。前人就氮肥用量、氮肥施用方式、氮肥种类对大麻氮吸收规律和纤维产量的影响进行了研究, 但得出的结论各异, 已报道的大麻适宜的施氮量为 65~200 kg/hm² 不等, 其中基肥用量占 50%~80% 不等, 大麻生长前期氮素吸收量占总吸氮量的 80% 以上, 肥料为农家肥、化肥等^[5-8]。前人的研究结果对大麻的生产实践具有重要意义, 但生产中需要更精准的氮肥施用技术, 以进一步提高产量节约农资成本, 而合理的氮肥运筹是解决问题的关键点之一^[9-11]。研究氮肥用量和基追比例对工业大麻氮素吸收利用的影响, 以明确合理的施氮方式, 为工业大麻精准施氮提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验区基本情况

试验于 2016 年 5—9 月在云南省昆明市沙朗镇桃园村进行 (N 25°23', E 102°42', 海拔 1 991 m), 年均气温 14.5 ℃, 最热月 (7 月) 平均气温 19.7 ℃, 年温差 12~13 ℃, 年降水量约 900 mm, 相对湿度 74%, 5—10 月为雨季, 降水量约占全年的 85%, 全年无霜期约 240 d, 年平均日照时间 2 400 h, 属亚热带季风山地 (高原) 气候。土壤类型为山原红壤, 试验地块 0~20 cm 耕层土壤的养分状况: 有机质 36.4 g/kg, 全氮 2.09 g/kg, 全磷 0.78 g/kg, 全钾 2.96 g/kg, 无机氮 31.5 mg/kg, 有效磷 20.6 mg/kg, 速效钾 112.1 mg/kg, pH 6.57。

1.2 试验设计

以工业大麻品种云麻 5 号为材料, 采用二因

素四水平裂区设计。主区设置 2 个氮肥基追比例 (A), 分别为 2/3 基肥 1/3 追肥 (A1) 和 1/2 基肥 1/2 追肥 (A2); 副区为氮肥用量 (N), 设 4 个水平: 0 kg/hm² (N0)、50 kg/hm² (N1)、100 kg/hm² (N2)、150 kg/hm² (N3)。小区面积 10 m², 小区间距离为 0.5 m, 每个处理重复 3 次, 试验区四周设保护行。

试验地前茬为玉米, 2016 年 5 月 10 日整地, 2016 年 5 月 24 日人工开行条播, 行距为 30 cm, 种植密度 50 株/m²。氮肥种类为尿素, 分次施入, 基肥于播种开沟时施入, 追肥于株高 50 cm 时施入。磷钾肥种类分别为过磷酸钙和氯化钾, 用量各小区相同, 分别为 60 kg/hm² 和 80 kg/hm², 作基肥一次性施入播种沟内。田间管理按当地常规方法进行, 2016 年 9 月 13 日收获。

1.3 指标测定与分析方法

1.3.1 大麻农艺性状的测定

于工业大麻纤维成熟时, 首先统计每个试验小区有效株数 (株高小于 1 m、倒伏及病害植株视为无效株), 然后随机选取 30 株, 分别测定株高、茎粗 (茎中部)、鲜皮厚 (茎中部)、鲜茎重, 最后将剩余植株砍倒、去枝叶, 所有鲜茎用剥皮机剥皮后晒干称重, 测量干皮重。

1.3.2 麻株及土壤中氮素含量的测定

于大麻纤维成熟时, 每个试验小区选取 20 株大麻的地上部, 分离茎叶, 105 ℃ 杀青 30 min 后 80 ℃ 烘至恒重, 粉碎后过筛, 用凯氏法测定茎叶氮素含量。由于大麻是深根作物, 根系发达, 根系深度达 300 cm^[12], 因此, 在播种前和收获时用土钻采集 0~30 cm、>30~60 cm、>60~90 cm 鲜土, 混合均匀后用 2 mol/L KCL 浸提后过滤。采用靛酚蓝比色法测铵态氮, 紫外分光光度法测硝态氮。根据测定植株和土壤中氮素的含量计算表观氮素平衡。计算公式^[13]为:

表观氮素平衡 = 移栽前 0~90 cm 土壤起始无机氮 + 施用化肥氮素 - 工业大麻地上部带走氮素 - 收获后 0~90 cm 土壤残留无机氮。

1.3.3 数据分析

采用 Excel 2010 进行数据整理, 用 SPSS 19.0 进行方差分析, 用 LSD 法检验处理间 $P <$

0.05 水平的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 氮肥用量对大麻农艺性状的影响

由表 1 可知: 氮肥用量显著影响大麻的农艺性状, 氮肥分施比例及其与氮肥用量互作对农艺性状影响不显著; 干皮产量、株高、茎粗、鲜韧

皮厚和鲜茎重随氮肥用量增加而增加, N1、N2、N3 显著高于 N0 (N1 的鲜茎重除外), 但除株高外 N1、N2、N3 间均差异不显著; 有效株数随氮肥用量先增加后减少, N2 最大, 显著高于 N0 与 N3, 但与 N1 差异不显著。各处理间比较, 除有效株数外其他指标的最大值均为 A2N3, 而有效株数的最大值为 A1N2。

表 1 氮肥用量对大麻农艺性状的影响
Tab. 1 Effect of different nitrogen rates on the agronomic traits of hemp

处理 treatment	干皮产量/(t·hm ⁻²) yield of desiccated phloem	株高/cm plant height	茎粗/mm stem diameter	鲜韧皮厚/mm fresh bast thickness	有效株数×10 ⁴ /hm ⁻² effective plants	鲜茎重/g stem weight
A1	4.12 a	293.25 a	12.20 a	0.69 a	33.00 a	94.70 a
A2	4.34 a	300.03 a	12.35 a	0.72 a	32.50 a	102.28 a
N0	3.62 b	266.05 c	10.61 b	0.64 b	31.42 b	85.91 b
N1	4.35 a	291.04 b	12.54 a	0.70 a	33.91 a	98.45 ab
N2	4.45 a	309.82 a	12.93 a	0.73 a	34.44 a	100.02 a
N3	4.48 a	319.73 a	13.14 a	0.74 a	31.31 b	109.73 a
方差分析 ANOVA						
A	NS	NS	NS	NS	NS	NS
N	*	**	**	**	**	*
A×N	NS	NS	NS	NS	NS	NS

注: 同列数据后不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平上差异显著; NS, 不显著; “*”、“**”分别表示在 0.05、0.01 水平上显著; 下同。
Note: Values followed by different letters in the same columns mean significant difference among treatments for the same year ($P < 0.05$); NS, not significant; “*” and “**” represent significant at the 0.05 and 0.01 probability levels; the same as below.

2.2 氮肥用量对大麻氮素积累与分配的影响

由表 2 可知: 氮肥基追比例和氮肥用量显著影响麻叶、麻秆的氮素积累量, 但对氮素在茎叶器官中的分配影响不显著, 氮肥基追比例与氮肥用量互作对上述指标的影响均不显著; A2 较 A1 能显著的提高麻秆和麻叶的氮素积累量; 麻

秆、麻叶的氮素积累量随氮肥用量增加而增加, N0 显著低于 N1、N2、N3 处理; N3 较其他处理能显著提高麻叶的氮素积累量, 但 N1 与 N2 之间差异不显著; N2、N3 较 N1 能显著提高麻秆氮素的积累量, 但 N2 与 N3 之间差异不显著。各处理间比较, 麻秆、麻叶氮素积累量的最大值均为 A2N3。

表 2 不同氮肥用量对大麻地上部氮素积累与分配的影响
Tab. 2 Effect of different nitrogen rate on nitrogen accumulation and allocation of hemp

处理 treatment	麻秆 hemp stalk		麻叶 hemp leaf		氮素积累量/(kg·hm ⁻²) nitrogen accumulation
	氮素含量/(kg·hm ⁻²) nitrogen accumulation	比例/% proportion	氮素含量/(kg·hm ⁻²) nitrogen accumulation	比例/% proportion	
A1	41.85 b	24.24 a	130.58 b	75.77 a	173.26 b
A2	46.64 a	24.29 a	143.43 a	75.71 a	187.82 a
N0	32.30 c	24.19 a	101.23 c	75.81 a	133.53 c
N1	41.83 b	23.22 a	138.35 b	76.78 a	175.69 b
N2	48.67 a	25.20 a	142.34 b	74.80 a	192.68 b
N3	54.17 a	24.49 a	166.10 a	75.51 a	220.27 a
方差分析 ANOVA					
A	*	NS	*	NS	—
N	**	NS	**	NS	—
A×N	NS	NS	NS	NS	—

2.3 氮肥运筹对大麻收获后土壤无机氮含量和表观氮素平衡的影响

由表 3 可知：氮肥基追比例显著影响土壤表观氮素盈亏，氮肥用量显著影响土壤残留无机氮和土壤表观氮素盈亏，氮肥基追比例与氮肥用量交互显著影响土壤表观氮素盈亏；A2 较 A1 能显著降低土壤表观氮素盈余值；土壤残留无机氮和

土壤表观氮素盈亏值随氮肥用量增加而增加；N3 较 N0、N1 显著提高土壤残留无机氮，但 N3 与 N2 之间差异不显著；N3 较其他处理能显著提高土壤表观氮素盈余值，但 N0 与 N1 之间差异不显著。各处理组合间，A2N1 处理的土壤残留无机氮最接近不施肥的处理，其土壤表观氮素盈亏值也最接近 0。

表 3 不同氮肥用量对土壤表观氮素平衡的影响
Tab. 3 Effect of different nitrogen rate on apparent soil nitrogen balance of hemp kg/hm²

处理 treatment	氮素输入 nitrogen input		氮素输出 nitrogen output		土壤表观氮素盈亏 apparent budget of soil nitrogen
	施氮量 nitrogen fertilizer	土壤起始无机氮 soil initial nitrogen	植株吸氮量 nitrogen uptake by hemp	土壤残留无机氮 soil residual nitrogen	
A1	75	325.4	173.26	211.1 a	15.75 a
A2	75	325.4	187.82	214.1 a	-3.76 b
N0	0	325.4	133.53	202.8 b	-10.89 c
N1	50	325.4	175.69	203.0 b	-3.24 c
N2	100	325.4	192.68	217.2 ab	15.55 b
N3	150	325.4	220.27	223.9 a	31.22 a
方差分析 ANOVA					
A	—	—	—	NS	**
N	—	—	—	**	**
A×N	—	—	—	NS	*

3 讨论

前人研究认为：氮肥的施用量在 65 kg/hm² 以上能显著提高大麻纤维产量^[3, 5, 8, 14]。本研究中，大幅提高氮肥用量并不能明显提高干皮产量，N1 相较于 N0 干皮产量提高 20.2%，N2 相较于 N1 干皮产量提高 2.3%，而 N3 相较于 N2 干皮产量仅提高了 0.7%，除株高外大麻其他农艺性状均存在相同情况，表明适当增加氮肥用量对大麻农艺性状具有明显的改善作用，过量则效果不明显。本试验条件下，纤维用大麻农艺性状适宜氮肥施用量为 N1，与前人研究结果不尽一致。分析认为，不同品种之间氮肥习性不同^[15-17]，加之试验地气候温润适宜大麻生长，以及土壤基础肥力的差异均会对氮肥用量产生不同程度的影响，这是研究结果产生差异的重要原因。

有研究认为：当氮素供应过多时，往往导致作物氮素的奢侈吸收，体内过量的氮用于叶绿素、氨基酸等的合成，减少构成细胞壁所需原料，如纤维素、果胶等的形成，使作物容易发生倒伏^[18-19]。在本研究中，A2 相较于 A1 麻秆和麻

叶的氮素积累量分别提高了 11.2% 和 9.8%，N1 相较于 N0 麻秆和麻叶的氮素积累量分别提高了 29.5% 和 36.6%，N2 相较于 N1 麻秆和麻叶的氮素积累量分别提高了 16.4% 和 2.9%，N3 相较于 N2 麻秆和麻叶的氮素积累量分别提高了 11.3% 和 16.7%，其中麻叶氮素积累量最多，约为茎秆氮素积累量的 3 倍，进一步增加氮肥用量和追肥量能显著提高茎叶氮素积累量，但干皮产量却不能显著提高。另外，N2 仍能对株高产生显著作用，但与之相对应的茎粗、鲜茎重、韧皮厚则没有明显提高，增施氮肥有利于大麻茎秆伸长，但茎秆柔弱，本试验中就出现 N3 时大麻有效株数明显低于 N1 的情况。这说明工业大麻对氮素存在奢侈消耗的现象，且对纤维产量的形成不利。究其原因，一方面大麻为高秆作物，茎秆柔弱，在大风、下雨等气候条件下易倒伏，致使有效株数降低^[20-22]；另一方面，大麻以韧皮部为产品器官，雄株进入盛花期即进行收获^[23-24]，与小麦、玉米等大田作物以种子为产品器官不同^[25-26]，茎叶积累的氮素向外转运的量有限。

表观氮素盈余量高，盈余的氮素存在向深层淋洗的可能，氮肥不能被充分利用^[13]。本研究

中, 增加氮肥用量明显提高土壤的氮残留量, N1 相较于 N0 土壤残留无机氮提高 0.1%, 而 N2 相较于 N1 土壤残留无机氮提高 7.0%, 而 N3 相较于 N2 土壤残留无机氮提高 3.1%, 表明高施氮量的土壤残留无机氮提高。根据估算的表观盈亏值, N1 和 A2 相较于 N0、N2、N3 和 A1 能使土壤—大麻植株系统氮素趋于平衡, 表明一定氮肥量下增加追肥比例能使氮肥得到更充分的利用。本试验条件下氮肥施用量为 N1, 基追比例为 A2, 氮肥利用较充分。

综上所述, 为了提高大麻纤维产量, 同时保证氮肥能被充分的利用, 一定的氮肥量下增加追肥量是可行的办法, 本试验条件下氮肥用量为 50 kg/hm², 基追比例为 1/2 基肥 1/2 追肥, 是大麻较为合理的施氮方式。

[参考文献]

- [1] 刘英. 从布衣到至尊: 中华麻的历史演变[J]. 青年作家, 2009(7): 79.
- [2] 刘飞虎, 杨明, 杜光辉, 等. 工业大麻的基础与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [3] 刘青海. 大麻对氮、磷、钾需用规律的研究[J]. 山东农业科学, 1986(1): 27. DOI: 10.14083/j.issn.1001-4942.1986.01.009.
- [4] 刘青海. 大麻对氮、磷、钾营养元素吸收特性的研究[J]. 中国麻作, 1983(4): 36.
- [5] 刘青海. 大麻施用氮磷钾化肥的肥效及其配比的研究[J]. 土壤肥料, 1986(5): 37.
- [6] 胡万群, 吕咏梅, 杨龙, 等. ‘皖大麻 1 号’的特征特性及高产栽培技术[J]. 中国麻业科学, 2009, 31(5): 325. DOI: 10.3969/j.issn.1671-3532.2009.05.012.
- [7] 杨明, 郭鸿彦, 文国松, 等. 大麻新品种云麻 1 号的选育及其栽培技术[J]. 中国麻业, 2003, 25(1): 1. DOI: 10.3969/j.issn.1671-3532.2003.01.001.
- [8] 宋宪友, 张利国, 房郁妍, 等. 氮、磷、钾施用对大麻原茎产量影响的研究初报[J]. 中国麻业科学, 2012, 34(3): 115. DOI: 10.3969/j.issn.1671-3532.2012.03.004.
- [9] 廖娜, 侯振安, 李琦, 等. 不同施氮水平下生物碳提高棉花产量及氮肥利用率的作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(3): 782. DOI: 10.11674/zwyf.2015.0326.
- [10] 武文明, 陈洪俭, 王世济, 等. 氮肥运筹对苗期受渍夏玉米干物质和氮素积累与转运的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(8): 1246. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2015.01246.
- [11] 吕咏梅. 大麻品种主要性状对单株产量影响的分析[J]. 中国麻作, 1982(3): 38.
- [12] 苗果园, 尹钧, 张云亭, 等. 中国北方主要作物根系生长的研究[J]. 作物学报, 1998, 24(1): 1. DOI: 10.3321/j.issn:0496-3490.1998.01.001.
- [13] 周顺利, 张福锁, 王兴仁. 土壤硝态氮时空变异与土壤氮素表观盈亏研究 I. 冬小麦[J]. 生态学报, 2001, 21(11): 1782. DOI: 10.3321/j.issn.1000-0933.2001.11.006.
- [14] STEFANO A, ALESSANDRO Z, FEDERICA P, et al. Influence of agronomic factors on yield and quality of hemp (*Cannabis sativa* L.) fiber and implication for an innovative production system[J]. Field Crops Research, 2008, 107(2): 161. DOI: 10.1016/j.fcr.2008.02.002.
- [15] 金玲. 大麻品种比较鉴定试验[J]. 黑龙江农业科学, 2009(4): 42. DOI: 10.3969/j.issn.1002-2767.2009.04.015.
- [16] 季英超, 姜凤琴, 赵玉萍. 纤维用大麻品种的优选[J]. 纺织学报, 2010, 31(12): 19. DOI: 10.13475/j.fzxb.2010.12.016.
- [17] 唐志敏, 胡学礼, 孙涛, 等. 不同大麻品种(系)在西双版纳州种植的适应性观察[J]. 南方农业学报, 2012, 43(2): 160. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1191.2012.02.160.
- [18] 黄见良. 水稻氮素营养特性、氮肥利用率与实时实地氮肥管理的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2003.
- [19] 李银水, 鲁剑巍, 廖星, 等. 氮肥用量对油菜产量及氮素利用效率的影响[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(4): 379.
- [20] 孙安国. 大麻根茎叶的生长发育观察研究[J]. 中国麻业, 1984, 6(1): 41.
- [21] 张利国, 张效霏, 房郁妍, 等. 大麻纤维产量构成因素的相关分析初报[J]. 黑龙江农业科学, 2014(1): 31.
- [22] 刘青海, 毕君, 陈茂学. 大麻纤维产量与品质构成因素的相关性及适宜栽培密度的研究[J]. 中国麻作, 1991(1): 24.
- [23] 郑楠, 宋宪友, 房郁妍, 等. 不同收获时期对大麻全麻率的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2013(8): 21. DOI: 10.3969/j.issn.1002-2767.2013.08.006.
- [24] MEDIAVILLA V, LEUPIN M, KELLER A. Influence of the growth stage of industrial hemp on the yield formation in relation to certain fiber quality traits[J]. Industrial Crops and Products, 2001, 13(1): 49. DOI: 10.1016/S0926-6690(00)00052-2.
- [25] 王蒙, 赵兰坡, 王立春, 等. 不同氮肥运筹对东北春玉米氮素吸收和土壤氮素平衡的影响[J]. 玉米科学, 2012, 20(6): 128. DOI: 10.3969/j.issn.1005-0906.2012.06.026.
- [26] 姜丽娜, 岳影, 李金娜, 等. 施氮量对小麦花后氮素分配及氮素利用的影响[J]. 作物杂志, 2018(2): 80. DOI: 10.16035/j.issn.1001-7283.2018.02.014.

责任编辑: 何馨成