

任胜茂,邓榆川,韩文斌,等. 施氮对蚕豆根系形态及光合产物积累分配的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(4):72-77.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.04.016

# 施氮对蚕豆根系形态及光合产物积累分配的影响

任胜茂<sup>1</sup>, 邓榆川<sup>2</sup>, 韩文斌<sup>1</sup>, 蒲全明<sup>1</sup>, 文凤君<sup>1</sup>

(1. 四川省南充市农业科学院, 四川南充 637000; 2. 四川省草原工作总站, 四川成都 610016)

**摘要:**从光合产物积累分配的角度, 阐明不同施氮处理下蚕豆苗期根系形态建成的机理。设置了 1 个对照和 5 个不同氮素处理, 以成胡 15 和地方品种小米籽为试验材料, 对植株形态、叶片光合、根系形态及各器官生物量的积累进行测定和分析。结果表明, 蚕豆株高随着施氮量的增加呈先增后降的变化趋势, 在  $N_{150}$  处理下最大, 说明适宜的氮肥施用能促进蚕豆茎秆的生长; 分析蚕豆光合特性发现, 在  $N_{150}$  处理下蚕豆叶片光合参数均显著高于其他施氮处理, 材料间均表现为成胡 15 显著高于小米籽。相关分析表明, 叶片光合速率与胞间  $CO_2$  浓度、气孔导度、蒸腾速率和叶面积均呈极显著正相关 ( $r=0.889, 0.892, 0.932, 0.890, P<0.01$ ), 说明适宜的氮肥施用能提高蚕豆叶片的光合能力, 而成胡 15 在不同施氮处理下均表现出较强的光合特性, 适应性强, 更适宜推广种植; 分析蚕豆各器官生物量发现, 蚕豆各器官生物量随着氮肥施用量的增加均呈先增后降的变化趋势, 而根冠比却不断降低, 说明施氮促进了蚕豆地上部的干物质积累, 使植株的根冠比降低, 而适宜的氮肥施用使植株的光合产物分配更合理, 各器官生长也更协调; 分析施氮对蚕豆根系生长的影响发现, 在  $N_{150}$  处理下蚕豆根系形态参数均显著高于其他施氮处理, 说明适宜的氮素能促进根系的生长, 而过高的氮素将抑制根系的生长, 使分配到根系的碳素主要用于氮素的吸收的转运, 从而导致植株根系生长受阻; 对两蚕豆材料的产量分析发现, 在  $N_{150}$  处理下 2 个蚕豆材料的单株产量和其他产量性状均显著高于其他施氮处理, 不同材料间表现为成胡 15 更优。施氮对蚕豆的生长发育有显著的影响, 适宜的氮肥施用能提高蚕豆的光合能力, 增加光合产物的积累并协调生物量在各器官中的分配, 同时也促进了根系的生长, 提高了根系的养分吸收能力, 为蚕豆的高产稳产提供了必要的物质基础。

**关键词:** 氮肥; 蚕豆; 生物量; 光合特性; 根系形态

**中图分类号:** S643.606 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)04-0072-06

氮素是作物体内蛋白质、核酸、叶绿素和激素等的重要组成部分, 是限制作物生长和产量形成的重要因素<sup>[1]</sup>。而豆科作物能够与根瘤菌形成根瘤固定大气氮从而减少化学氮肥投入, 被认为是现代农业可持续发展的重要方向, 因此, 豆科作物的氮素利用成为众所关注的问题<sup>[2]</sup>。蚕豆作为一种粮、菜、肥兼用型豆科作物, 是我国需求量第二大的豆科作物, 在西南地区有较大的种植面积<sup>[3]</sup>, 研究表明, 蚕豆通过共生固氮作用所固定的氮素约占植株一生对氮素需求的 50% ~ 60%<sup>[4]</sup>, 所以仅依靠蚕豆自身的固氮作用所固定的氮素不能满足蚕豆整个生育期对氮素营养的需求, 还必须施用外源氮肥<sup>[5-6]</sup>。而在我国蚕豆西南种植区一直都没有施用氮肥的习惯, 致使许多优质蚕豆品种未能充分发挥其高产潜能, 所以找到合理的氮肥施用方式和施用量对蚕豆科学试验和高产实践具有重要的理论价值和实际意义。前人研究表明, 适宜的外源氮素能提高蚕豆叶片光合能力, 增加光合产物的积累, 促进茎秆的生长<sup>[7]</sup>。在对大豆和花生的研究中也发现适量的氮肥施用能提高根瘤的固氮能力, 促进植株的生长, 有利于生物

产量的形成<sup>[2,5,8-10]</sup>。根系作为植物养分吸收的重要器官, 其生长发育及形态特征与植株生物量的积累和产量的形成关系密切<sup>[2,11]</sup>。研究表明, 外源氮素对植株根系的生长、形态及在土壤中的分布影响是最为明显的<sup>[12]</sup>, 低浓度氮能促进植株根系生长, 高浓度则会抑制根系生长<sup>[13]</sup>。在土壤养分摄取过程中根系形态起着决定性的作用, 根系形态的变化实际是植株对土壤中养分胁迫的一种应激响应机制<sup>[14-15]</sup>。在研究根系的向肥性时发现, 根系通过增加根表面积和根长使根系向养分富集区域聚集以提高其对养分的吸收量<sup>[15]</sup>。在根系竞争环境中, 植株通过增加光合产物向根系的分配比例, 促进根系生长, 增加根系与土壤的接触面积, 同时提高单位根系的吸收功能以提高根系的竞争力<sup>[16]</sup>。前人对作物根系生长的研究都是基于不同栽培模式, 且集中于种间竞争和施肥调节方面。对不同施肥处理下, 通过光合、生物量的积累与分配阐明作物根系形态建成差异形成的原因却鲜有报道。本研究通过分析 2 个蚕豆材料的叶片光合特征、光合产物的积累分配特性和根系形态特征的差异情况, 阐明蚕豆苗期根系形态建成的生理基础, 为蚕豆高产栽培和新品种选育推广提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点和材料

试验于 2016 年 10 月在四川省南充市农业科学院濠溪试验基地 (106°02'E, 30°52'N, 海拔 297 m) 进行室外盆栽试验。试验土壤为基地后山荒地的重地壤, 经自然风干, 过直径为

收稿日期: 2017-11-06

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项 (编号: CARS-22-Z-12); 四川省南充市研发资金 (编号: 16YFZJ0074)。

作者简介: 任胜茂 (1963—), 男, 四川南充人, 研究员, 主要从事蚕豆高产优质高效栽培技术研究。E-mail: 1802475325@qq.com。

通信作者: 文凤君, 研究员, 主要从事蚕豆高产优质高效栽培技术研究。Tel: (0817) 2800422; E-mail: fjwen66@126.com。

1 cm 的铁网筛,充分混匀,测定有机质含量为 27.42 g/kg,全氮含量为 1.66 g/kg,全磷含量为 0.71 g/kg,全钾含量为 36.58 g/kg,速效氮含量为 181.23 mg/kg,速效磷含量为 53.41 mg/kg,速效钾含量为 184.35 mg/kg。供试材料为成胡 15(四川省农业科学院作物研究所选育)和小米籽(四川省阆中市地方品种)。

1.2 试验设计

采用双因素随机区组设计,2 个因素分别为不同施氮处理和不同蚕豆材料,试验设置 1 个对照和 5 个施氮(尿素,含氮 46%)处理,即  $N_0$ 、 $N_{75}$ 、 $N_{150}$ 、 $N_{225}$ 、 $N_{300}$ 、 $N_{375}$ ,分别表示施氮量 0、75、150、225、300、375 mg/kg,同时每个处理加入磷肥(过磷酸钙,含  $P_2O_5$  44%)100 mg/kg。磷氮肥均以底肥一次性拌入土壤中。试验用 PVC 塑料盆直径为 0.5 m,高 0.4 m,每盆栽用土 18 kg。将催过芽的蚕豆在 2016 年 11 月 5 日按规格播入盆中,即每盆播 5 穴,每穴播 3 粒蚕豆种子,于 11 月 15 日定苗 2 株,每个处理 12 盆,重复 3 次。

1.3 指标的测定方法

1.3.1 光合特性 在蚕豆初花期按处理选取长势均匀的植株 5 株,用于测定植株叶片光合特征参数。

光合特征参数的测定方法:在晴朗无风的 11:00—12:30 利用光合系统测定仪 LI-6000(LI-COR,美国)测定植株正 3 节的完全展开叶(无病虫害的完整叶片)的光合速率、气孔导度、蒸腾速率、胞间  $CO_2$  浓度等光合特征参数,叶面积用打孔法测定。

1.3.2 植株形态 测定方法:株高用刻度尺测量从地上部分开始至主茎顶端生长点的实际长度。

1.3.3 干物质质量 选取长势均匀的植株 10 株,将取样盆栽里的所有植株连土倒出,待测定完株高和叶面积后将茎(与柄一起)、叶分别装入纸袋中,于烘箱 105℃杀青 30 min,75℃烘干至恒质量,称取干质量;根系用流水缓缓冲洗干净,冲洗时在根系下面放置 100 目筛以防止脱落的根系被水冲走,用于根系形态分析;待分析完后装入纸袋中,于烘箱 105℃杀青 30 min,75℃烘干至恒质量,称取干质量。

1.3.4 根系生长分析 采用 EPSON perfection V700 进行根系扫描,并利用 winRHIZO Pro 软件进行分析。

1.4 数据统计分析

用 Microsoft Excel 2007 软件整理数据,用 Origin 9.0 绘图,用 SPSS 17.0 软件分析数据,采用 Duncan's 新复极差(SSR)法进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同施氮水平对蚕豆株高的影响

由图 1 可知,随着施氮水平的提高,蚕豆的株高呈二次抛物线变化趋势。施氮量从 0 mg/kg 增加到 150 mg/kg 时,蚕豆株高增加;当施氮量增加到 375 mg/kg 时,株高反而降低,其中成胡 15 和小米籽在  $N_{150}$  处理下的株高比对照增加了 18.38% 和 16.08%,差异显著( $P<0.05$ ),不同蚕豆材料在其他氮水平处理下均表现为成胡 15 显著高于地方品种小米籽。方差分析表明,蚕豆材料与施氮水平交互极显著( $P<0.01$ )。

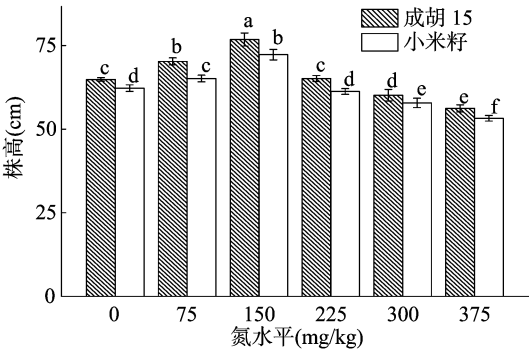


图1 不同施氮水平对蚕豆株高的影响

2.2 不同施氮水平对蚕豆光合特性的影响

由表 1 可知,随着施氮水平的提高,蚕豆叶片的光合速率、胞间  $CO_2$  浓度、气孔导度、蒸腾速率和叶面积均呈先增后降的变化趋势,在施氮量为 150 mg/kg 时,达到最大;同一施氮水平下,均表现为成胡 15 显著高于小米籽( $P<0.05$ ),蚕豆材料和施氮水平交互极显著( $P<0.01$ )。与 CK 相比,150 mg/kg 氮处理成胡 15 和小米籽的叶片光合速率分别增加了 52.28%、34.08%,叶面积分别增加了 21.12%、30.27%,差异均显著( $P<0.05$ ),说明适宜的氮水平对成胡 15 的促进作用要高于地方品种小米籽,为蚕豆高产提供了必要的物质基础。相关分析(表 2)表明,光合速率与胞间  $CO_2$  浓度、气孔导度、蒸腾速率和叶面积呈极显著的正相关,相关

表 1 不同施氮水平对蚕豆光合特性的影响

品种	氮处理 (mg/kg)	净光合速率 [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	胞间 $CO_2$ 浓度 ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	气孔导度 [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	蒸腾速率 [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ]	叶面积 ( $\text{cm}^2$ )
成胡 15	0	5.474 ± 0.075e	161.751 ± 3.934bc	0.078 ± 0.002c	17.107 ± 0.921cd	13.783 ± 0.739bc
	75	7.681 ± 0.186b	172.250 ± 6.011ab	0.083 ± 0.002b	20.700 ± 1.051b	14.831 ± 0.415b
	150	8.336 ± 0.080a	183.667 ± 3.569a	0.092 ± 0.003a	23.376 ± 0.138a	16.694 ± 0.767a
	225	5.269 ± 0.067f	158.700 ± 3.690bc	0.076 ± 0.003cd	17.316 ± 0.151cd	13.612 ± 0.666bc
	300	4.015 ± 0.096i	141.800 ± 17.604d	0.042 ± 0.004f	14.967 ± 0.547f	11.741 ± 0.899de
	375	3.165 ± 0.127k	135.070 ± 4.236de	0.021 ± 0.002h	12.633 ± 1.384g	10.121 ± 0.342fg
小米籽	0	5.241 ± 0.085h	154.534 ± 1.870c	0.063 ± 0.002e	15.740 ± 0.901ef	11.012 ± 0.700ef
	75	6.502 ± 0.017d	164.667 ± 4.137bc	0.072 ± 0.002d	17.980 ± 0.856c	12.921 ± 0.890cd
	150	7.027 ± 0.089c	178.751 ± 3.500a	0.085 ± 0.003b	21.467 ± 1.066b	14.345 ± 0.892b
	225	4.492 ± 0.070g	155.832 ± 3.355c	0.062 ± 0.002e	14.620 ± 1.010f	11.314 ± 1.015ef
	300	3.875 ± 0.036i	132.667 ± 7.522de	0.035 ± 0.001g	12.223 ± 0.201g	9.342 ± 0.157g
	375	3.366 ± 0.052j	122.333 ± 3.518e	0.025 ± 0.003h	10.171 ± 1.767h	7.952 ± 0.662h

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。表 4 同。

系数为, $r=0.889,0.892,0.932,0.890(P<0.01)$ 。这说明氮肥施用量在一定范围内能增加蚕豆叶片的光合能力,但过量后会产生抑制作用,可能是由于高氮会导致蚕豆叶片空间分布不合理,叶片之间的相互遮阴导致透光率降低,加之叶片早衰,引起叶片光合性能的降低<sup>[17]</sup>。

表 2 蚕豆叶片光合指标的相关性分析

指标	相关系数			
	气孔导度	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度	蒸腾速率	叶面积
光合速率	0.889 **	0.892 **	0.932 **	0.890 **

注: \*、\*\* 表示显著( $P<0.05$ )、极显著( $P<0.01$ )相关。表 3、表 5 同。

2.3 不同施氮水平对蚕豆干物质积累的影响

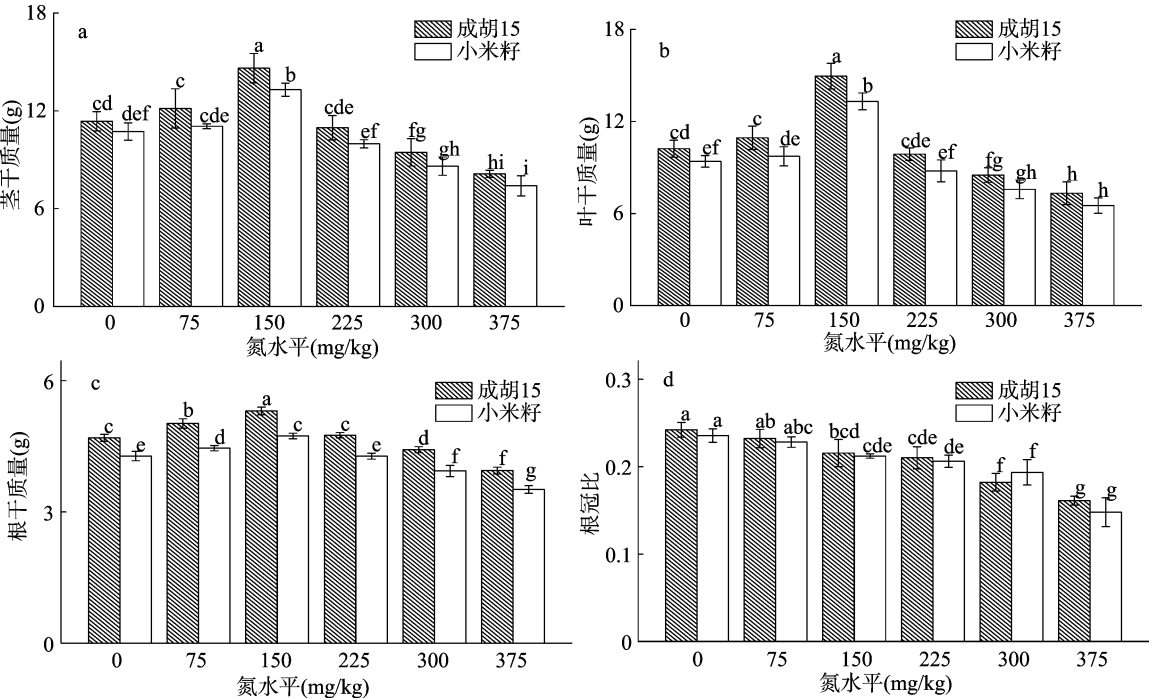
2.3.1 茎质量 由图 2-a 可知,随着肥力水平的提高,蚕豆的茎干质量呈先增加后降低的变化趋势,施氮量在 150 mg/kg 时,达到最大,与其他各施氮处理均差异显著( $P<0.05$ );与  $N_0$  相比,成胡 15 和小米籽茎干质量分别增加了 28.64% 和 23.85%,在同一施氮处理下不同蚕豆材料均表现为成胡 15 > 小米籽,但除  $N_{150}$  外差异不显著。说明适宜的氮肥能够促进茎秆的生长,维持较优的形态结构,而高水平的氮对大豆茎秆生长具有抑制作用。

2.3.2 叶质量 由图 2-b 可知,随着肥力水平的提高,蚕豆的叶干质量呈先增加后降低的变化趋势,施氮量在 150 mg/kg 时,达到最大,与其他各施氮处理均差异显著( $P<$

0.05);与  $N_0$  相比,成胡 15 和小米籽叶干质量分别增加了 46.25% 和 41.59%,在同一施氮处理下不同蚕豆材料均表现为成胡 15 > 小米籽,除  $N_{225}$ 、 $N_{300}$ 、 $N_{375}$  处理外差异显著( $P<0.05$ )。较高的干物质积累为最终的产量形成提供必需的物质基础。总体来看,为维持蚕豆较好的生物产量, $N_{150}$  是蚕豆植株生长的最佳处理。

2.3.3 根质量 由图 2-c 可知,随着肥力水平的提高,蚕豆的根干质量呈先增加后降低的变化趋势,施氮量在 150 mg/kg 时,达到最大,与其他各施氮处理均差异显著( $P<0.05$ );与  $N_0$  相比,成胡 15 和小米籽根干质量分别增加了 13.11% 和 10.76%,在同一施氮处理下不同蚕豆材料均表现为成胡 15 > 小米籽,差异显著( $P<0.05$ )。方差分析表明,蚕豆材料与施氮水平互作极显著( $P<0.01$ )。

2.3.4 根冠比 根冠比是影响作物养分吸收效率的重要因子,在逆境胁迫下,根冠比的降低是作物对逆境胁迫的一种主动适应性反应机制<sup>[18]</sup>。由图 2-d 可知,随着肥力水平的提高,蚕豆的根冠比逐渐降低。施氮量从 0 mg/kg 增加到 225 mg/kg 时,同一蚕豆材料相邻氮素处理间根冠比无显著差异,当施氮量增加到 375 mg/kg 时则差异显著,说明低氮胁迫促进了大豆根系的生长,而高氮则促进了地上部的生长。因此,为维持蚕豆地上部和根系生长的平衡,应供给适量的氮素营养,以保证大豆各营养器官的生长平衡,为最终蚕豆高产打下基础。



柱上不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。图 3 同  
图 2 不同施氮水平对蚕豆干物质积累的影响

2.4 不同施氮水平对蚕豆根系的影响

2.4.1 根长 由图 3-a 可知,随着肥力水平的提高,蚕豆的根长呈先增加后降低的变化趋势,施氮量在 150 mg/kg 时,达到最大,与其他各施氮处理均差异显著( $P<0.05$ );与  $N_0$  相比,成胡 15 和小米籽根长分别增加了 21.26% 和 18.66%,在同一施氮处理下不同蚕豆材料根长均表现为成胡 15 > 小米

籽,除  $N_{375}$  处理外差异显著( $P<0.05$ )。

2.4.2 根直径 由图 3-b 可知,随着肥力水平的提高,蚕豆的根平均直径呈先增加后降低的变化趋势,施氮量在 150 mg/kg 时,达到最大,与其他各施氮处理均差异显著( $P<0.05$ );与  $N_0$  相比,成胡 15 和小米籽根平均直径分别增加了 11.24% 和 9.58%,在同一施氮处理下不同蚕豆材料根平均

直径均表现为成胡 15 > 小米籽, 差异显著 ( $P < 0.05$ )。

2.4.3 根表面积 由图 3 - c 可知, 随着肥力水平的提高, 蚕豆的根表面积呈先增加后降低的变化趋势, 施氮量在 150 mg/kg 时, 达到最大, 与其他各施氮处理均差异显著 ( $P < 0.05$ ); 与  $N_0$  相比, 成胡 15 和小米籽根表面积分别增加了 16.33% 和 13.68%, 在同一施氮处理下不同蚕豆材料均表现为成胡 15 > 小米籽, 差异显著 ( $P < 0.05$ )。

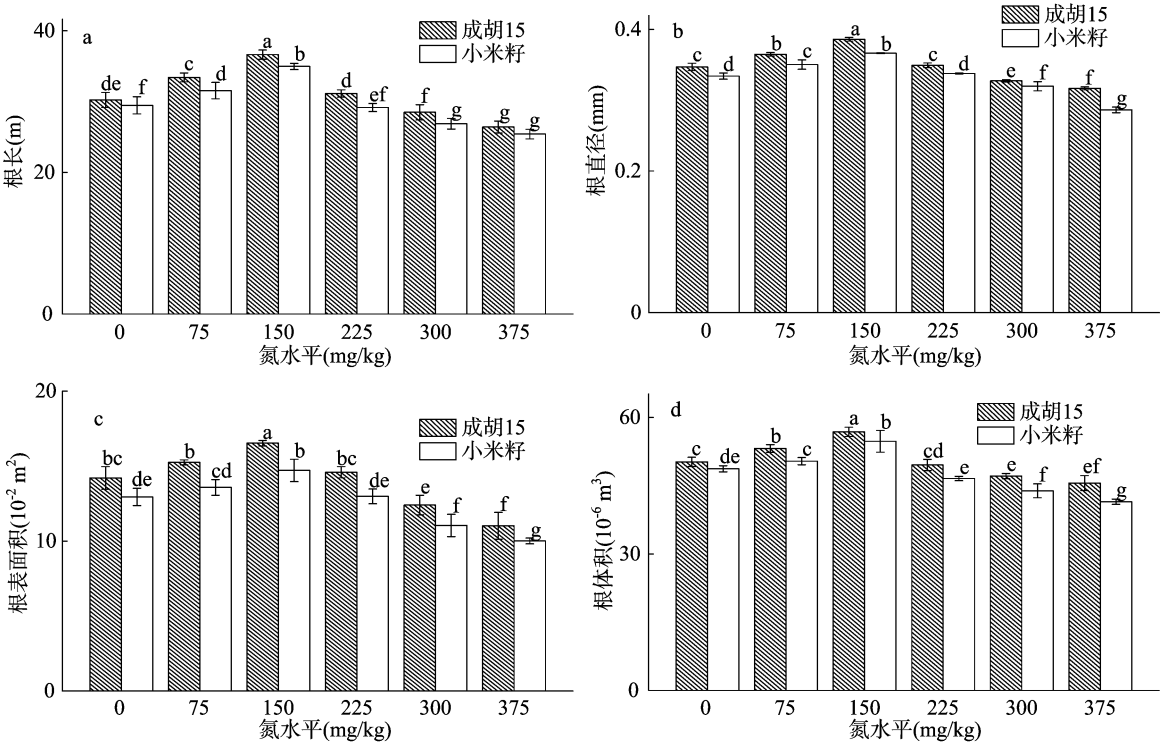


图3 不同施氮水平对蚕豆根系形态的影响

2.5 蚕豆植株形态、光合速率和根系生长参数的相关性分析  
对不同施氮水平下蚕豆植株形态、光合速率、干物质、根系参数进行相关性分析, 结果 (表 3) 表明, 蚕豆叶片光合速率与株高叶面积呈极显著正相关 ( $r = 0.944, 0.890, P < 0.01$ ), 说明光合速率对蚕豆形态影响较大, 而适宜的氮肥施用能够促进蚕豆叶片光合速率的提高, 为较优的植株形态提供物质基础; 蚕豆叶片光合速率与茎干质量、叶干质量、根干质量呈极显著正相关 ( $r = 0.910, 0.890, 0.883, P < 0.01$ ), 与

2.4.4 根体积 由图 3 - d 可知, 随着肥力水平的提高, 蚕豆的根体积呈先增加后降低的变化趋势, 施氮量在 150 mg/kg 时, 达到最大, 与其他各施氮处理均差异显著 ( $P < 0.05$ ); 与  $N_0$  相比, 成胡 15 和小米籽根体积分别增加了 13.12% 和 12.39%, 在同一施氮处理下不同蚕豆材料均表现为成胡 15 > 小米籽, 差异显著 ( $P < 0.05$ )。

根冠比呈极显著负相关 ( $r = -0.766, P < 0.01$ ), 说明叶片光合速率对蚕豆干物质的分配起着重要的调控作用; 根长、根平均直径、根体积和根面积与光合速率均呈极显著正相关 ( $r = 0.946, 0.911, 0.915, 0.890, P < 0.01$ ), 与根干质量也呈极显著正相关 ( $r = 0.907, 0.944, 0.914, 0.963, P < 0.01$ )。说明蚕豆植株根系对氮肥的浓度很敏感, 通过调节叶片光合作用的强弱和光合产物的分配来调节植株根系的生长。

表 3 蚕豆叶片光合指标的相关性分析

指标	相关系数										
	净光合速率	叶面积	株高	根干质量	茎干质量	叶干质量	根冠比	根长	根直径	根体积	根表面积
净光合速率		0.890 **	0.944 **	0.883 **	0.910 **	0.890 **	-0.766 **	0.946 **	0.911 **	0.915 **	0.890 **
叶面积	0.890 **		0.914 **	0.947 **	0.891 **	0.888 **	-0.719 **	0.909 **	0.931 **	0.914 **	0.916 **
株高	0.944 **	0.914 **		0.928 **	0.971 **	0.963 **	-0.867 **	0.963 **	0.956 **	0.970 **	0.933 **
根干质量	0.883 **	0.947 **	0.928 **		0.911 **	0.882 **	-0.704 **	0.907 **	0.944 **	0.914 **	0.963 **
根冠比	-0.766 **	-0.719 *	-0.867 **	-0.704 **	-0.905 **	-0.920 **		-0.821 **	-0.771 **	-0.818 **	-0.773 *
根体积	0.915 **	0.914 **	0.970 **	0.914 **	0.950 **	0.921 **	-0.818 **	0.951 **	0.938 **		0.905 **
根表面积	0.890 **	0.916 **	0.933 **	0.963 **	0.933 **	0.895 **	-0.773 *	0.903 **	0.935 **	0.905 **	

2.6 不同施氮水平对蚕豆产量的影响

由表 4 可知, 随着施氮水平的提高, 蚕豆有效分枝、单株荚数、单株粒数、百粒质量和单株籽粒质量均呈先增后降的变化趋势, 以  $N_{150}$  处理达到最大, 单株籽粒质量在不同施氮处理

下表现为  $N_{150} > N_{75} > N_0 > N_{255} > N_{300} > N_{375}$ ; 同一施氮水平下, 材料间均表现为成胡 15 显著高于小米籽 ( $P < 0.05$ ), 蚕豆材料和施氮水平互作极显著 ( $P < 0.01$ )。与 CK 相比,  $N_{150}$  处理成胡 15 和小米籽的单株籽粒质量分别增加了 15.64%、

13.82%,相关分析(表5)表明,单株籽粒质量与有效分枝、单株荚数、单株粒数、百粒质量呈极显著的正相关,相关系数为 $r=0.853、0.915、0.907、0.953(P<0.01)$ 。因此,为维持蚕豆

高产,必需施用适量的氮肥,但不能过量施用,否则会抑制蚕豆产量的增加,而成胡 15 较地方品种具有较高的产量优势,更适宜推广应用。

表 4 不同施氮水平对蚕豆产量性状的影响

品种	氮处理 (mg/kg)	有效分枝 (个)	单株荚数 (个)	单株粒数 (粒)	百粒质量 (g)	单株籽粒质量 (g)
成胡 15	0	2.978 ± 0.522c	7.107 ± 0.921cd	14.012 ± 0.700bc	101.751 ± 3.934c	36.519 ± 0.922c
	75	3.083 ± 0.437b	9.700 ± 1.051b	17.921 ± 0.892b	117.25 ± 6.011b	39.152 ± 1.437b
	150	3.209 ± 0.645a	11.376 ± 1.384a	20.345 ± 1.689a	133.667 ± 3.569a	42.231 ± 1.645a
	225	2.660 ± 0.434cd	7.316 ± 0.151cd	14.314 ± 1.015bc	108.7 ± 3.690c	33.660 ± 0.834d
	300	1.470 ± 0.369f	5.967 ± 0.547f	12.342 ± 0.157de	91.8 ± 3.604d	28.470 ± 1.369ef
	375	1.021 ± 0.641h	4.633 ± 0.138g	9.952 ± 0.662fg	85.07 ± 4.236de	25.021 ± 1.641f
小米籽	0	1.921 ± 0.534e	6.740 ± 0.901ef	12.783 ± 0.939ef	85.534 ± 3.870de	33.921 ± 1.534e
	75	2.407 ± 0.211d	8.980 ± 0.856c	14.831 ± 0.615cd	98.667 ± 4.137c	35.407 ± 1.211c
	150	2.609 ± 0.369b	10.467 ± 1.066b	17.694 ± 0.967b	112.751 ± 6.500b	38.609 ± 0.869b
	225	1.506 ± 0.469e	6.620 ± 1.010f	12.612 ± 0.866ef	90.832 ± 3.355de	25.506 ± 1.469f
	300	1.104 ± 0.104g	5.223 ± 0.201g	10.741 ± 1.099g	79.667 ± 3.522e	21.104 ± 0.804g
	375	0.702 ± 0.236h	4.171 ± 0.767h	7.9121 ± 0.542h	63.333 ± 3.518f	20.702 ± 0.636g

表 5 不同施氮水平对蚕豆产量性状的相关性分析

指标	相关系数			
	有效分枝	单株荚数	单株粒数	百粒质量
单株籽粒质量	0.853 **	0.915 **	0.907 **	0.953 **

3 讨论与结论

3.1 不同施氮水平对蚕豆苗期形态和光合的影响

光合作用是植物体内重要的代谢过程,它常作为评价植株生长状况、产量形成和抗逆性强弱的重要指标<sup>[19]</sup>,而土壤中氮肥施用量对作物的光合能力有显著影响<sup>[20-21]</sup>。研究表明,土壤缺氮将导致作物光合面积减少,叶绿素含量降低,植株早衰,最终造成减产;而氮肥过量同样不能提高产量,虽能提高前期的叶绿素含量,但后期会导致叶片生物酶活性降低,光合能力减弱,不能为产量的形成提供必要的物质基础<sup>[22]</sup>。杨明达等的研究表明,适宜的氮肥施用能显著提高间作蚕豆的光合能力,延缓作物的衰老,而过量的氮肥会抑制作物的生长<sup>[23]</sup>。魏海燕等对水稻的氮肥处理研究中发现,氮高效型水稻叶片具有较高的叶绿素含量、叶片含氮量和净光合速率,能够维持较长的光合功能期<sup>[21]</sup>。基于前人的研究,对不同施氮处理下蚕豆叶片光合参数、叶面积和植株形态进行测定,进一步研究发现,蚕豆叶片的光合参数均随氮肥的施用量增加呈先增加后降低的变化,在 N<sub>150</sub> 处理下达到最大,相关分析表明蚕豆叶片光合速率与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、气孔导度、蒸腾速率和叶面积呈极显著的正相关。虽然施氮水平对 2 个蚕豆材料的光合速率有显著影响,但在同一处理下均表现为成胡 15 显著高于小米籽,且变化幅度也要优于小米籽,表现出较强的光合特性,更适合推广种植。

3.2 不同施氮水平对蚕豆苗期光合产物积累分配和产量的影响

作物干物质积累主要来源于光合作用,也是作物产量形成的基础<sup>[4,24-26]</sup>。本试验条件下,适量施氮有利于蚕豆生物量的积累,即蚕豆的生物量随着施氮量的增加呈先增加后减

少的趋势。这与贾曼曼等报道的结果<sup>[5-6]</sup>相一致,即随着施氮水平的增加,干质量及全氮积累均会增加,但达到最高峰后又会随氮水平增加而减少。对大豆的氮肥处理研究中发现,适宜的施氮能提高大豆的叶面积,增加大豆全生育期的干物质积累,并能协调植株各部分干物质的分配,对大豆有增产的作用;施氮过量,会抑制大豆根瘤的生长,促使干物质在植株茎、叶中大量积累,降低了干物质向荚和根的分配率,造成减产<sup>[1,27]</sup>。从本研究结果发现,随着施氮量的增加,蚕豆植株根冠比呈现逐渐降低的趋势,这是由于适宜的氮肥施用能够缓解根系对光合产物的需求量,增加了光合产物向茎秆和叶片的分配比例;当氮肥施用量过高时,蚕豆根系生长受到抑制,地下干物质较地上干物质积累受到外源氮素的影响更大,而过多的氮还会使叶片氮代谢旺盛,造成光合产物输出减少,光合产物对光合器官产生反馈抑制,会使根冠比显著降低<sup>[28]</sup>。对蚕豆的产量分析发现,单株产量也随施氮水平的提高呈先增加后降低的变化,与有效分枝、单株荚数、单株粒数、百粒质量呈极显著的正相关,与前人的研究<sup>[5]</sup>相一致。在不同施氮水平下,成胡 15 的产量、干物质的积累和在氮素胁迫下的应激机制均要优于地方品种小米籽。因此,对蚕豆这种依靠根瘤共生固氮的豆科作物,要科学研究氮肥施用量,以确定不同蚕豆品种生长和结瘤固氮最适宜的氮肥用量,保证蚕豆具有较高的固氮效率,维持蚕豆较高的经济产量。

3.3 不同施氮水平对蚕豆苗期根系生长的影响

植株根系形态的改变是植株适应外界环境的一种应激机制,而土壤中氮肥的使用会显著影响植株根系的形态变化<sup>[12]</sup>。研究表明,适宜的施氮量对根系的生长发育有促进作用,但过量氮肥又会抑制根系生长,表现为根长、根表面积和根体积均会发生变化<sup>[6]</sup>。本试验结果表明,蚕豆根直径、根长、根体积、根表面积均随着施氮水平的提高呈先增加后降低的变化,在 N<sub>150</sub> 处理下最大,相关性分析表明,与光合速率均呈极显著正相关,用碳氮平衡和碳水化合物定向分配来解释作物受养分胁迫时植株形态和生理变化的观点来解释,说明土壤中外源氮素浓度通过影响植株光合产物的分配来调节根

系的形态改变,适宜氮肥施用条件下,分配到根系中的碳素化合物主要用于矿质元素的吸收和根系的生长,而在高浓度氮素的土壤环境中,植株光合能力减弱,分配到根系中的碳素化合物主要用于矿质元素的吸收,使根系生长受到抑制<sup>[1]</sup>。相关分析表明,植株根冠比与根系形态参数均呈极显著负相关关系,说明植物地上部及根系的相对生长速率受植物体内氮素营养状况有关信号的调节,在一定范围内,增加氮素供应可以促进地上部和根系的生长,但往往对地上部生长的促进作用大于根系,导致随施氮量的增加根冠比降低,但此时根系变得纤细根表面积增加<sup>[29]</sup>。因此,适宜的氮肥施用量扩大蚕豆根系的空间生态位,增加了蚕豆吸收养分的有效空间。

施氮对蚕豆的生长发育有显著的影响,适宜的氮肥施用能提高蚕豆的光合能力,增加光合产物的积累并协调生物量在各器官中的分配,为蚕豆的高产稳产提供了必要的物质基础;而过高的氮肥施用会抑制蚕豆的生长,其中对根系的影响更为明显,在高氮土壤环境中,会使生物量在茎秆和叶片中大量累积,而减少了根系的分配率,从而导致植株的根冠比降低,而分配到根系中的碳水化合物主要用于氮素的吸收各转运,用于植株的生长的碳水化合物很少。氮肥对根系的影响主要表现在根系形态参数的改变,其中根系形态主要包括根长、根直径、根体积和根表面积,高氮土壤环境中,蚕豆根系生长受到抑制,其形态参数均降低,养分吸收能力也减弱。但不同材料对土壤外源氮素的响应程度不同。在氮肥处理下,成胡 15 的光合能力较强,积累的碳素同化物较多,各器官的生物量积累也适宜,为蚕豆高产创造了条件。

#### 参考文献:

- [1] 才 艳,郑殿峰,冯乃杰,等. 氮肥施用量对大豆生长动态及干物质积累的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2007,19(2):13-16.
- [2] 李玉英,孙建好,李春杰,等. 施氮对蚕豆/玉米间作系统蚕豆农艺性状及结瘤特性的影响[J]. 中国农业科学,2009,42(10):3467-3474.
- [3] 秀洪学,陈建斌,汤东生,等. 氮肥对蚕豆结瘤和植株生长的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(1):82-83.
- [4] 刘 婷,刘卫国,任梦露,等. 遮阴程度对不同耐阴性大豆品种光合及抗倒程度的影响[J]. 中国农业科学,2016,49(8):1466-1475.
- [5] 贾曼曼,肖靖秀,汤 利,等. 不同施氮量对小麦蚕豆间作物产量及其光合特征的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2017,32(2):350-357.
- [6] 王树起,韩晓增,乔云发,等. 施氮对大豆根系形态和氮素吸收积累的影响[J]. 中国生态农业学报,2009,17(6):1069-1073.
- [7] 李玉英,胡汉升,程 序,等. 种间互作和施氮对蚕豆/玉米间作生态系统地上部和地下部生长的影响[J]. 生态学报,2011,31(6):1617-1630.
- [8] 毛忠顺,董玉梅,秀洪学,等. 氮肥和种植密度对蚕豆结瘤和生长的影响[J]. 作物杂志,2012(3):89-93.
- [9] 沈润平,王中孚,郭进耀,等. 氮磷钾营养对春大豆产量品质效应的影响[J]. 江西农业大学学报,1998,20(1):53-57.
- [10] 孙彦浩,陈殿绪,张礼凤. 花生施氮肥效果与根瘤菌固 N 的关系[J]. 中国油料作物学报,1998,20(3):70-73.
- [11] 李玉英,宋玉伟,程 序,等. 施氮对灌漠土春玉米干物质积累和氮素吸收利用动态的影响[J]. 中国农业大学学报,2009,14(1):61-65.
- [12] Marschner H, Kirkby E A, Cakmak I. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients[J]. Journal of Experimental Botany, 1996, 47: 1255-1263.
- [13] 黄轹宇,张海军,邢燕霞,等. NaCl 胁迫对黄瓜种子萌发的影响及 DNA 甲基化的 MSAP 分析[J]. 中国农业科学,2013,46(8):1646-1656.
- [14] 罗 玲,于晓波,万 燕,等. 套作大豆苗期倒伏与茎秆内源赤霉素代谢的关系[J]. 中国农业科学,2015,48(13):2528-2537.
- [15] Haigler C H, Ivanova-Datcheva M, Hogan P S, et al. Carbon partitioning to cellulose synthesis[J]. Plant Molecular Biology, 2001, 47(1/2):29-51.
- [16] Craine J M. Competition for nutrients and optimal root allocation[J]. Plant and Soil, 2006, 285(1/2):171-185.
- [17] 吕丽华,赵 明,赵久然,等. 不同施氮量下夏玉米冠层结构及光合特性的变化[J]. 中国农业科学,2008,41(9):2624-2632.
- [18] 沈 宏,施卫明,王校常,等. 不同作物对低磷胁迫的适应机理研究[J]. 植物营养与肥料学报,2001,7(2):172-177,210.
- [19] 惠红霞,许 兴,李前荣. 外源甜菜碱对盐胁迫枸杞生长及膜脂过氧化的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004,32(7):77-80,84.
- [20] 王 帅,韩晓日,战秀梅,等. 氮肥水平对玉米灌浆期穗位叶光合功能的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(2):280-289.
- [21] 魏海燕,张洪程,马 群,等. 不同氮肥利用效率水稻基因型剑叶光合特性[J]. 作物学报,2009,35(12):2243-2251.
- [22] 王 帅,杨劲峰,韩晓日,等. 不同施肥处理对旱作春玉米光合特性的影响[J]. 中国土壤与肥料,2008(6):23-27.
- [23] 杨明达,马守臣,杨慎骄,等. 氮肥后移对抽穗后水分胁迫下冬小麦光合特性及产量的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(11):3315-3321.
- [24] 佟晓楠,佟晓东,李兴涛,等. 低钾胁迫对不同耐性大豆品种干物质积累、转移与分配的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(12):56-59.
- [25] 高光杰,刘丽华,周婵婵,等. 有机栽培条件下梗稻产量形成及干物质积累特性[J]. 江苏农业科学,2017,45(6):48-51.
- [26] 郭丽果,尹宝重,郑佩佩,等. 播前耕作方式对河北平原区节水冬小麦光合特性和籽粒产量的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(1):69-72.
- [27] 甘银波,陈 静. 大豆不同生长阶段施用氮肥对生长、结瘤及产量的影响[J]. 大豆科学,1997(2):34-39.
- [28] 康国章,王永华,郭天财,等. 氮素施用对超高产小麦生育后期光合特性及产量的影响[J]. 作物学报,2003,29(1):82-86.
- [29] 史正军,樊小林. 作物对氮素养分高效吸收的根系形态学研究进展[J]. 广西农业生物科学,2003,22(3):225-229.