

不同氮肥处理对荞麦干物质积累、农艺性状及产量的影响

白文明 张伟丽 侯亚方 夏美娟 官香伟 王鹏科 高小丽 高金锋*

(旱区作物逆境生物学国家重点实验室/西北农林科技大学,陕西 杨凌 712100)

摘要 为探索陕甘宁黄土高原地区栽培荞麦高产最适施氮量,以甜荞品种——西农 9976 为试验材料,设置 4 个氮肥水平,2016 年施肥水平为:0 (N0)、45 (N45)、135 (N135)和 225 kg/hm² (N225);2017 年施肥水平为:0 (N0)、90 (N90)、180 (N180)和 270 kg/hm² (N270),比较不同施氮量下荞麦产量和主要农艺性状,分析叶绿素含量和各器官干物质积累的动态变化规律。试验结果表明,不同氮肥处理均能提高荞麦的株高、一级分枝数、二级分枝数、单株花簇数、千粒重和单株粒数,使其产量显著上升;荞麦主茎叶片的叶绿素含量 (SPAD) 随施氮量增加先上升后降低;荞麦各器官干物质积累量与施氮量呈正相关,但在苗期和初花期,荞麦各器官干物质积累量随施氮量增加呈抛物线。因此,生产上建议陕甘宁黄土高原地区荞麦生长过程中投入 180 kg/hm² 的氮肥,且注重施氮比例及时期,以此达到最佳的生产效益。

关键词 荞麦; 氮肥; 干物质积累; 产量; 农艺性状

中图分类号 S517

文章编号 1007-4333(2019)02-0038-10

文献标志码 A

Effects of different nitrogen treatments on the dry matter accumulation, agronomic traits and yield of buckwheat

BAI Wenming, ZHANG Weili, HOU Yafang, XIA Meijuan,
GONG Xiangwei, WANG Pengke, GAO Xiaoli, GAO Jinfeng*

(College of Agronomy/State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Areas,
Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract To investigate the optimum nitrogen application rate of buckwheat production for high yield in the Loess Plateau Region, a common buckwheat cultivar Xinong 9976 was used in a field experiment and the effects of different nitrogen fertilizer on the yield, agronomic traits, chlorophyll content and the accumulation of dry matter of buckwheat under four treatments were studied, i. e. no N fertilizer added 0 (N0), 45 (N45), 135 (N135) and 225 kg/hm² (N225) in 2016 and no N fertilizer added 0 (N0), 90 (N90), 180 (N180) and 270 kg/hm² (N270) in 2017. The results showed that four N fertilization treatments significantly increased the plant height, primary branch number, secondary branch number, number of flower clusters per plant, 1 000-grain weight and seeds number per plant, which led to a significant increase in yield. With the increase of Nitrogen rate, chlorophyll content first increased and then decreased. There was a positive correlation but a trend like a parabola in seedling stage and initial flowering stage between the accumulation of dry matter in various organs of buckwheat and the Nitrogen rate. Therefore, the optimum application amount of Nitrogen was 180 kg/hm², and more attention should be paid on different proportion and stage of Nitrogen application to ensure production benefit.

Keywords buckwheat; nitrogen fertilizer; dry matter accumulation; yield; agronomic traits

收稿日期: 2018-03-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(31671631);西北农林科技大学科研基本业务费(Z109021509);陕西省小杂粮产业技术体系(K3330216003)

第一作者: 白文明, 硕士研究生, E-mail: bwm233333@163.com

通讯作者: 高金锋, 副教授, 主要从事荞麦和糜子等小杂粮生理生态及品质的研究, E-mail: gaojf7604@126.com

荞麦(Buckwheat)又名乌麦、花麦或三角麦,属蓼科(Polygonaceae)荞麦属(*Fagopyrum* Gaertn)植物。荞麦营养丰富,氨基酸组成平衡,含有多种对人体有益的营养物质^[1],具有控制和治疗糖尿病,预防和治疗心血管疾病、高血压的功效^[2]。荞麦作为健康食品的产业潜力巨大^[3]。荞麦是陕甘宁黄土高原旱作地区的重要作物之一,在陕甘宁具有较强的生产优势。陕甘宁栽培着我国面积最大的红花甜荞,种植面积在10万hm²以上,出口日本、韩国、东南亚及西欧等国家和地区。因此,荞麦种植对陕甘宁地区农业种植结构调整、粮食安全、农民增收及农业增效具有不可替代的意义。

施氮是提高作物产量的主要途径之一。通过施氮可以改变作物对氮素的吸收、积累与分配^[4-8],从而影响作物干物质积累^[4]、叶面积指数^[9]、叶绿素含量^[8]、生育周期^[4,10]以及库源关系^[11],最终起到改善作物品质,提高产量的作用^[4-5,11-13]。关于荞麦施氮已有较多的研究。有研究表明,施氮改变荞麦干物质积累量及在各器官中的分配比例^[14]。一定范围内增加施氮量,荞麦植株氮吸收及籽粒含氮量显著增加^[15],生育期缩短,株高、有效分支数、茎粗和节间长度增加^[16]。郭肖等^[17]试验中施氮显著的增加了荞麦的产量;侯迷红等^[15]研究中,施氮量在60kg/hm²时,荞麦增产达84%。而Schulte等^[18]研究表明施氮对荞麦产量无明显提高,反而会加重荞麦的倒伏状况;刘迎春等^[19]指出一定范围内赤峰地区施用P和K肥能增加荞麦产量,而氮肥表现为减产。作物的需氮量不仅与作物的种类有关,还与品种和环境有关^[20-21]。荞麦作为陕甘宁地区主要栽培作物,长期被认为是一种耐瘠薄的作物,传统栽培中农民不重视荞麦施氮肥,加上黄土高原地区土壤较为贫瘠,严重制约荞麦的发展。目前还没有陕甘宁地区荞麦栽培适合施氮量的相关报道。因此,本研究通过对不同N肥施用量下荞麦的叶绿素含量、干物质动态积累过程及主要农艺性状和产量性状的调查,探索陕甘宁黄土高原旱作农区荞麦的最佳需氮量,旨在为陕甘宁黄土高原旱地荞麦高产栽培技术提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于2016和2017年在榆林(37°56'26" N, 109°21'46" E,海拔1229 m)农业试验示范中心进

行,该试验地土壤为典型沙壤土、地势平整、排灌方便、前茬为苗圃,肥力均匀。土壤pH 8.76,含有机质23 g/kg、全氮15 g/kg、全磷28 g/kg、全钾41 g/kg、速效氮19.29 mg/kg、速效磷1.82 mg/kg和速效钾21.65 mg/kg。

1.2 试验材料与设 计

试验材料为甜荞品种——西农9976,由西北农林科技大学选育。肥料采用尿素(纯N质量分数≥46.4%),甘肃刘化(集团)有限责任公司。

试验采用大田小区种植,单因素随机区组设计,重复4次,小区面积2 m×5 m=10 m²,行距33 cm,株距5 cm。设对照、低氮、中氮和高氮4个处理,2016年施氮水平为:0(N0)、45(N45)、135(N135)和225 kg/hm²(N225);2017年施氮水平为:0(N0)、90(N90)、180(N180)和270 kg/hm²(N270);分别在播种前、初花期和盛花期分3次施入氮肥,每次施入量为总量的1/3。除施肥量不同外,其他田间管理一致。

2 结果与分 析

2.1 氮素对荞麦主要农艺性状的影响

表1可以看出,施氮对荞麦主要农艺性状影响显著。株高在各处理间表现为中氮>高氮>低氮>对照处理,2016年除N0与N45处理间不显著,其他处理间均表现为显著;2017年N180和N270处理显著高于N0和N90处理。因此,增施氮肥显著增加荞麦的株高。随施氮量的增加,荞麦一级分枝、二级分枝和单株花簇数随施氮量的增加表现出先增加后减少的趋势,2016年随施氮量增加而增加,2017年增加施氮量后N270处理下降。一级分枝数在2016年除N225显著高于N0外,其他处理间均不显著,2017年表现为N180和N270显著高于N0和N90;荞麦二级分枝数2年均表现为中氮和高氮处理显著高于对照与低氮处理,中氮和高氮处理间差异显著;单株花簇数2016年各处理间差异均显著,2017年N180显著高于N0和N90,N270显著高于N0,说明施氮显著增加荞麦单株花簇数。主茎节数2016为N135和N225高于N0和N45;2017年表现为随施氮量增而减少的趋势,N0显著高于N270。两年趋势几乎相反,但用株高与主茎节数的比值计算平均节间长度,则两年趋势一致,都为中氮处理>高氮处理>低氮处理>对照。

表1 不同施氮量对荞麦主要农艺性状的影响

Table 1 Effect of different nitrogen application rate on agronomic traits of buckwheat

年份 Year	处理 Treatment	株高/cm Plant height	节数 Sections number	一级分枝数 Main stem branches number	二级分枝数 Secondary branches number	单株花簇数 Flower clusters number	节间长/cm Internode length
2016	N0	97.4±2.85 c	13.2±0.64 b	3.7±0.58 b	0±0 c	25.8±3.37 d	7.4
	N45	103.2±3.35 c	13.4±0.51 b	4.5±0.15 ab	0±0 c	35.8±4.38 c	7.7
	N135	124.6±7.21 a	15.3±0.35 a	4.8±0.86 ab	4.4±0.51 b	49.4±3.80 b	8.1
	N225	115.0±4.62 b	14.7±0.65 a	5.7±0.35 a	6.1±0.60 a	58.7±1.53 a	7.8
2017	N0	82.4±4.00 b	14.7±0.30 a	4.5±0.25 bc	1.0±0.84 c	24.6±0.74 c	5.6
	N90	82.3±3.70 b	14.1±0.45 ab	4.3±0.31 c	1.3±1.10 c	26.4±6.66 bc	5.8
	N180	99.0±2.20 a	13.1±0.98 ab	5.7±0.67 a	6.6±0.97 a	40.9±2.53 a	7.6
	N270	95.3±3.58 a	12.9±0.80 b	5.4±0.30 ab	3.7±1.13 b	36.1±2.55 ab	7.4

注:同一年份同列数字后不同字母表示在5%水平上差异显著,下同。

Note: Values followed by different letters within columns for same year are significantly different at 5% probability level. The same as below.

2.2 施氮水平对荞麦产量及产量性状的影响

从表2可知,施氮可显著提高荞麦的产量。2016年N45、N135和N225处理分别比对照增产9.53%、20.00%和24.50%;2017年N90、N180和N270分别比对照增产27.78%、38.11%和40.00%,除中氮和高氮产量差异不显著,其他处理间荞麦产量差异均显著。2016荞麦的单株粒数随施氮量增加而增加,表现为N225>N135>N45>N0,除N0

与N45处理间不显著,其他处理间都有显著差异;2017年单株粒数N180>N270>N90>N0,N180与N0和N90处理间差异显著,N270与N0处理间差异显著。2年千粒重施氮处理均显著高于对照,不同的是2016年各施氮处理间无显著差异,而2017年N180处理的千粒重显著高于对照,但低于N90和N270处理,这可能与2017年N180单株粒数较其他处理高有关。

表2 不同施氮量对荞麦产量及产量性状的影响

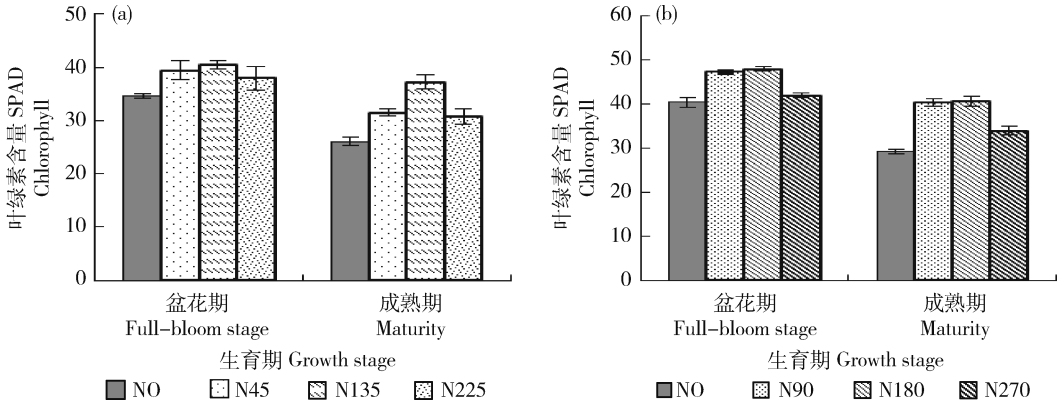
Table 2 Effect of different nitrogen rates on the yield of buckwheat and agronomic traits

年份 Year	处理 Treatment	单株粒数 Grains number per plant	千粒重/g 1 000-grains weight	产量/ (kg/hm ²) Yield	增产率/% Yield rate
2016	N0	72.4±7.95 c	36.5±0.71 b	1 333.3±75.06 c	
	N45	88.7±17.82 c	38.4±0.72 a	1 460.0±26.46 b	9.53
	N135	144.6±12.99 b	38.3±0.11 a	1 600.0±65.57 a	20.00
	N225	155.3±23.04 a	38.5±0.38 a	1 660.0±50.00 a	24.50
2017	N0	66.0±9.24 c	35.4±0.02 c	900.0±26.46 c	
	N90	83.7±9.18 bc	36.5±0.03 a	1 150.0±10.00 b	27.78
	N180	130.2±18.48 a	36.0±0.01 b	1 243.3±41.60 a	38.11
	N270	108.9±4.85 ab	36.5±0.02 a	1 260.0±20.00 a	40.00

2.3 荞麦叶片 SPAD 值对氮素的响应

由图 1 可知,荞麦叶片 SPAD 值随施氮量的增加先增加后减少。SPAD 值在盛花期 2 年结果一致,表现为中氮处理>低氮处理>高氮处理>对照,低氮和中氮处理差异不显著,其他处理间均有显著差异;成

熟期荞麦叶片 SPAD 值整体低于盛花期,2016 年表现为 N135 处理显著高于其他处理,N45 与 N225 处理间显著高于 N0 处理,N45 与 N225 处理差异不显著;2017 年表现为各施氮处理显著高于对照,N90 和 N180 处理显著高于 N270,N90 与 N180 处理间差异不显著。



(a)N0,不施氮;N45,施氮量 45 kg/hm²;N135,施氮量 135 kg/hm²;N225,施氮量 225 kg/hm²。下同。
 N0, No nitrogen application; N45, Nitrogen application rate, 45 kg/hm²; N135, Nitrogen application rate; 135 kg/hm²; N225, Nitrogen application rate; 225 kg/hm². The same below.
 (b)N0,不施氮;N90,施氮量 90 kg/hm²;N180,施氮量 180 kg/hm²;N270,施氮量 270 kg/hm²。下同。
 N0, No nitrogen application; N90, Nitrogen application rate; 90 kg/hm²; N135, Nitrogen application rate; 135 kg/hm²; N225, Nitrogen application rate; 225 kg/hm². The same below.

图 1 2016 年 (a) 和 2017 年 (b) 不同施氮处理下荞麦主茎第 8 叶 SPAD 值

Fig. 1 SPAD value of the 8th leaf of main stem of buckwheat with different nitrogen treatments in 2016 (a) and 2017 (b)

2.4 不同施氮对荞麦干物质积累变化的影响

2.4.1 施氮量对荞麦根干物质积累的影响

由图 2 可知,荞麦根的干物质从苗期到初花期快速积累,初花期到收获前匀速增加,收获前达到最大。荞麦根的干物质总积累量与施氮量成正相关,2016 年 N45、N135 和 N225 处理分别比对照增加 93.1%、108.4% 和 115.8%。2017 年 N90、N180 和 N270 处理分别比对照增加了 59.8%、89. % 和 98.4%。2016 年各处理苗期荞麦根的干物质积累为 N45>N0>N135>N225,初花期为 N45>N135>N0>N225,盛花期为 N45>N135>N225>N0;2017 年苗期为 N90>N180>N270>N0,初花期为 N180>N270>N90>N0。盛花期为 N270>N180>N90>N0。成熟期和收获前两年趋势一致,均表现为 N270>N180>N90>N0,表明施氮量增加促进了

荞麦根系的生长。

2.4.2 施氮量对荞麦茎干物质积累的影响

由图 3 可知,荞麦茎的干物质积累从苗期到成熟期匀速增加,在成熟期达到最高,收获前小幅下降。各施氮处理荞麦茎的最大干物质积累量显著高于对照,2016 年 N45、N135 和 N225 分别比 N0 提高 31.9%、50.3% 和 79.7%,2017 年 N90、N180 和 N270 分别比 N0 提高 40.6%、92.6% 和 81.0%。2016 年荞麦各处理茎干物质积累量苗期为 N45>N0>N135>N225,初花期为 N135>N225>N45>N0,盛花期到成熟期都为 N225>N135>N45>N0,2017 年荞麦各处理茎干物质积累量苗期为 N180>N90>N0>N270,初花期到成熟期为 N180>N270>N90>N0,收获前为 N270>N180>N90>N0。

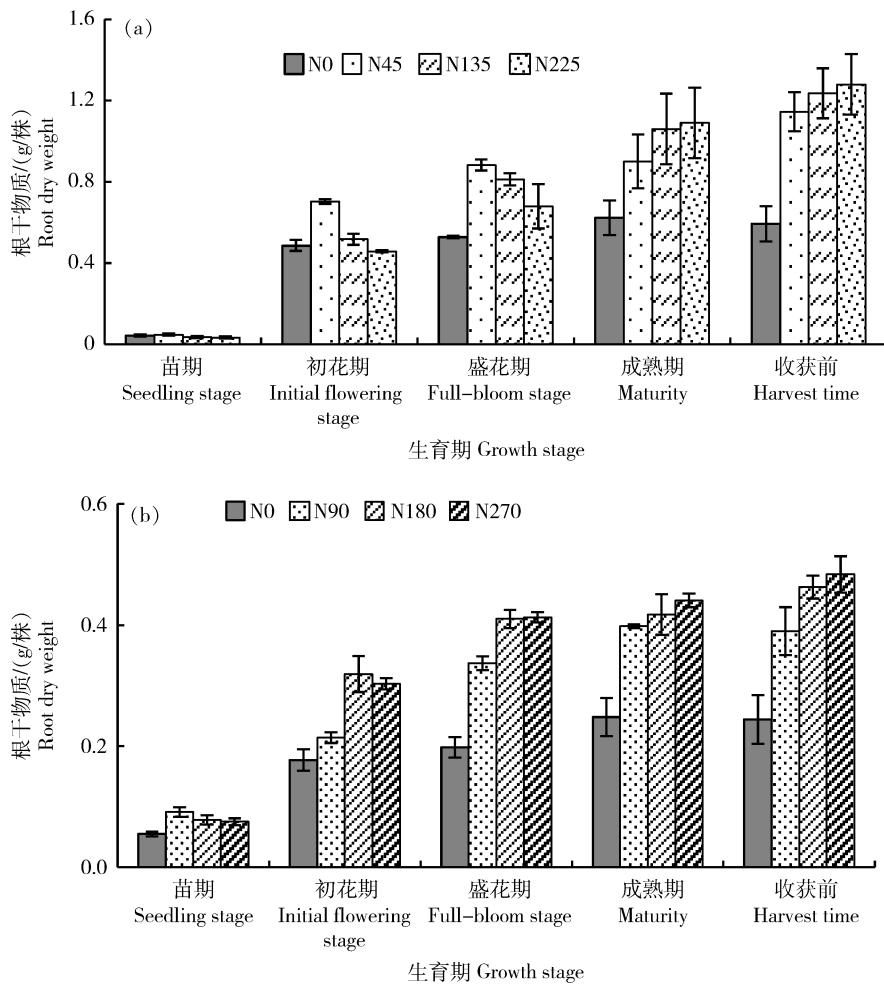


图2 2016年(a)和2017年(b)不同氮肥处理下荞麦根干物质积累

Fig. 2 Buckwheat root dry matter accumulation under different nitrogen treatments in 2016 (a) and 2017 (b)

2.4.3 施氮量对荞麦叶干物质积累的影响

由图4可知,各施氮处理荞麦叶的干物质积累曲线与对照不同,各施氮处理均在苗期到盛花期增加,盛花期至收获前下降,在盛花期达到最高;对照在苗期到成熟期增加,成熟期后开始下降,在成熟期达到最大值。荞麦叶的最大干物质积累量与施氮量成正相关,2016年N45、N135和N225分别比N0提高36.1%、67.7%和101.4%;2017年N90、N180和N270分别比N0提高122.2%、164.3%、224.7%。2016年苗期N45>N135>N225>N0,初花期到收获前都为N225>N135>N45>N0;2017年苗期为N90>N180>N270>

N0,初花期为N180>N270>N90>N0,盛花期为N270>N180>N90>N0,成熟期为N180>N270>N90>N0,收获前为N270>N180>N90>N0。

2.4.4 施氮量对荞麦籽粒干物质积累的影响

由图5可知,荞麦籽粒的干物质积累从盛花期开始,在盛花期到成熟期快速积累,这个阶段籽粒的干物质积累占总量的80%~95%,收获前达到最大值。荞麦籽粒的最大干物质积累量与施氮量成正相关。2016年盛花期和两年的成熟期和收获前都表现为N225>N135>N45>N0。而2017年盛花期荞麦种子干物质积累为N180显著高于其他处理,由于此时荞麦籽粒刚刚开始灌浆,N180处理的籽粒数量较多。

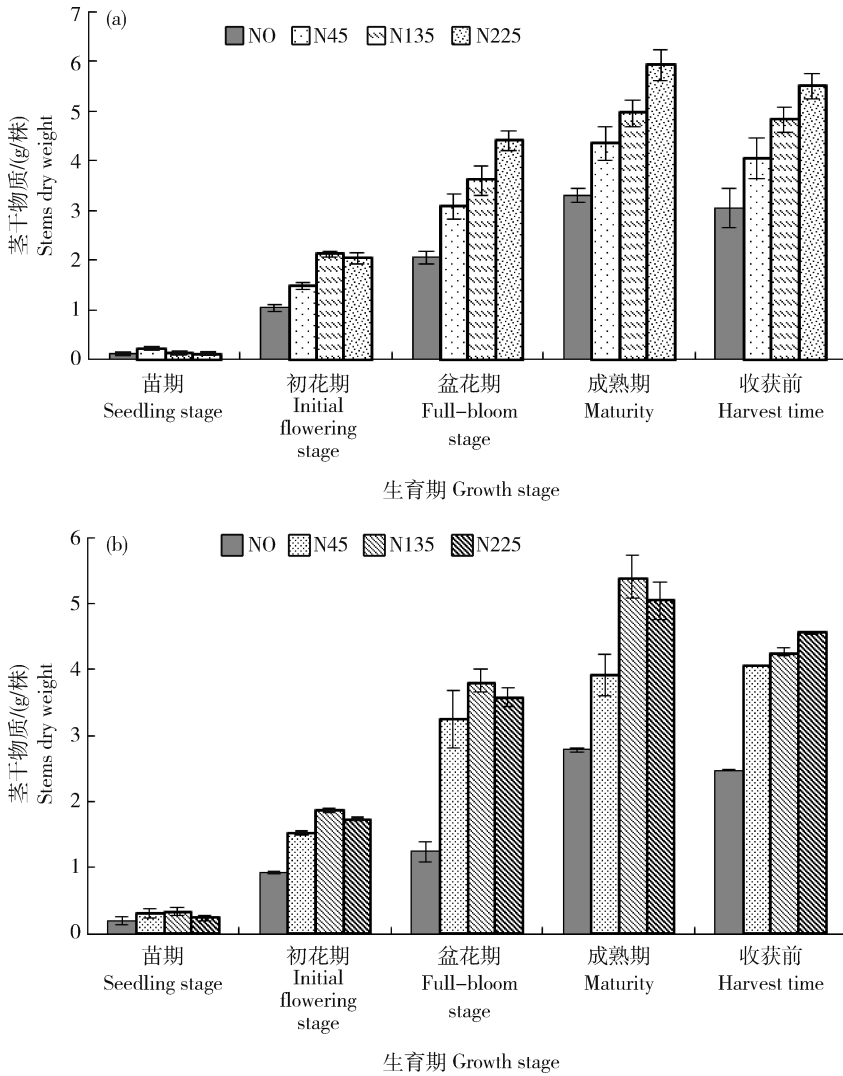


图 3 2016(a)和 2017 年(b)不同氮肥处理下荞麦茎干物质积累

Fig. 3 Buckwheat stems dry matter accumulation under different nitrogen treatments in 2016(a) and 2017 (b)

3 讨论

适量施氮能提高作物产量, 过多或过少施用氮肥会导致氮肥利用率和增产效果降低^[22], 本试验中各氮肥处理对荞麦产量均有显著提高, 当施氮量为 135~180 kg/hm² 达到高产, 继续增加氮肥产量增加不显著。前人研究认为内蒙古自治区通辽市^[15]、日本^[23]和宁夏回族自治区固原^[24]荞麦高产推荐施氮量分别为 30~60、40 和 120 kg/hm²。本研究得出究荞麦高产施氮量为 135~180 kg/hm², 高于内蒙古自治区与日本地区, 与同为黄土高原的宁夏回族自治区接近, 表明黄土高原地区荞麦种植需要较多的氮肥。本试验中各施氮处理显著增加荞麦千粒重、株高、分枝数和花簇数, 与 Inamullah 等^[25]和陈

磊庆等^[26]的研究结果一致。陈磊庆等^[26]研究得出不同施氮量下, 各处理千粒重同对照相比均有不同程度的增加, 但各处理间差异均不显著, 本试验中 2017 年 N180 处理荞麦的千粒重高于 N0 但低于 N90 和 N270 处理。这可能是 2017 年 N180 处理的单株粒数较其他处理高的原因。施氮提高植株生产的营养物质和籽粒数量, 同时每一颗籽粒分配的营养物质减少。在大豆主要农艺性状间的相关性分析, 分枝数与百粒重呈极显著负相关^[27]。单个花序的种子数量和单株种子数量与种子产量呈正相关, 与千粒重相反, 过多的结实分散植株对籽粒营养的供应^[28]。本试验中 2 年主茎节数随施氮量的规律不同, 但平均节间长度都表现为中氮处理高于其他处理。肥水适宜的条件加快节间生长速度。张卫中

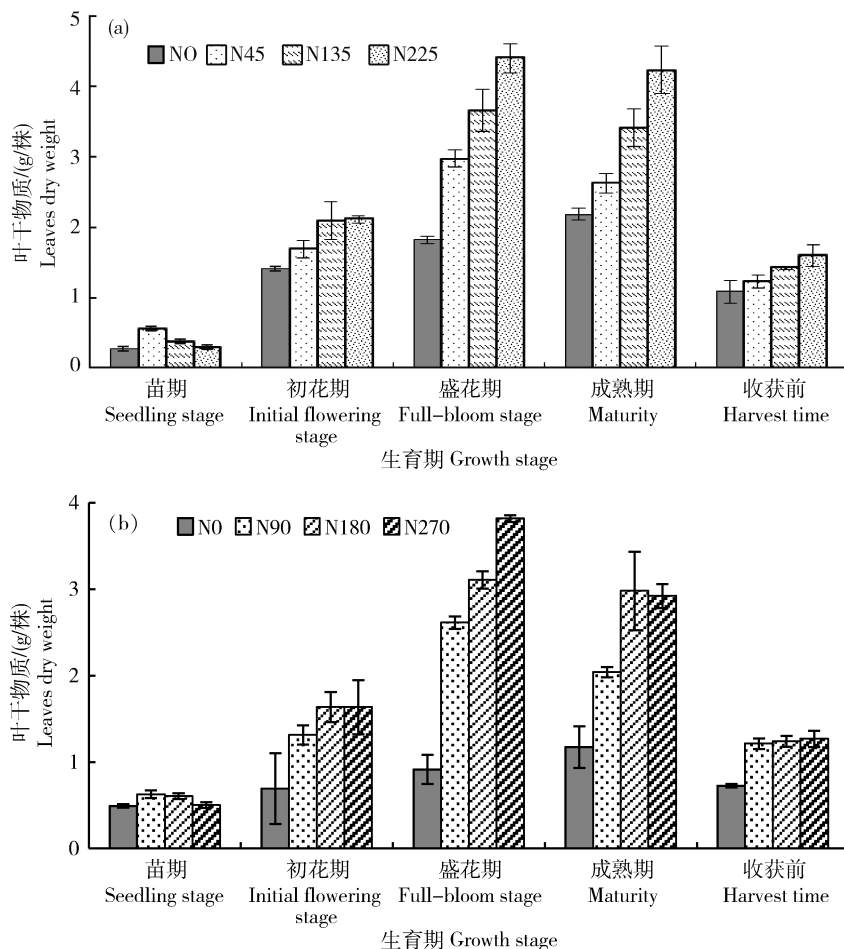


图4 2016年(a)和2017年(b)不同氮肥处理下荞麦叶干物质积累

Fig. 4 Dry matter accumulation of buckwheat leaves under different nitrogen treatments in 2016 (a) and 2017 (b)

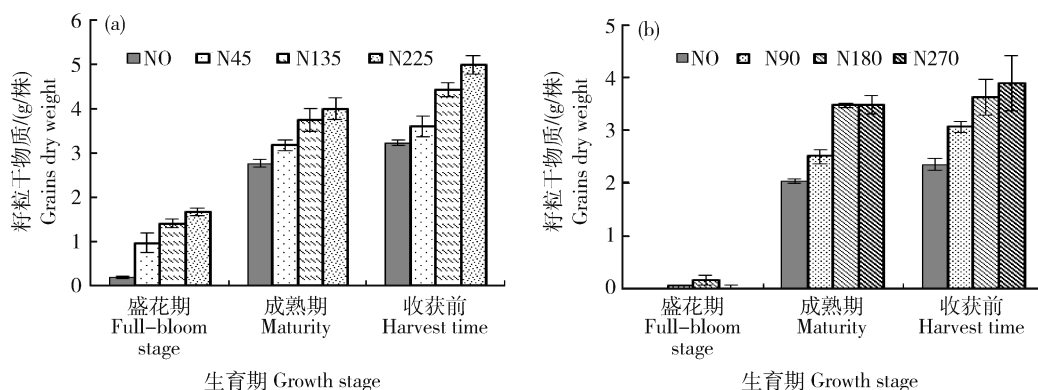


图5 2016年(a)和2017年(b)不同氮肥处理下荞麦籽粒干物质积累

Fig. 5 Dry matter accumulation of buckwheat grains under different nitrogen treatments in 2016 (a) and 2017 (b)

等^[29]研究认为施肥提高荞麦节间长度;唐超等^[16]研究也表明施肥对甜荞麦节间长度有显著影响,且N、P和K肥单因子作用时,节间长度最大观测值都出现在中等肥力水平,随着N、P和K水平的提高,节间长度均为先增加后减少。而主茎节数两年规律不

一致可能是因为荞麦是无限生长植物,植株具有可塑性。随施氮量的增加,荞麦分枝数增加,使得分枝与主茎的生长产生竞争关系。关于氮肥对荞麦主茎节数和节间长度的影响及节数、节间长度和株高的关系还需要进一步研究。

N元素是叶绿素的重要组成元素。施氮能提高作物叶片叶绿素含量^[30-31],延缓叶绿素含量降低,延缓叶片衰老^[8];过量氮肥反而使叶大而薄,容易干枯,寿命反而缩短^[32]。本试验中低氮和中氮处理显著提高荞麦叶片的SPAD值,而高氮处理下的荞麦叶片SPAD值较低氮和中氮处理显著降低,这与董瑞等^[33]在小麦中的研究结果一致。麦类作物的产量主要来自于灌浆期的冠层叶,特别是旗叶^[34]。荞麦花序是无限花序,高氮条件下荞麦的分枝多,新的分枝和叶片生长迅速,导致高氮处理荞麦主茎叶片早衰,营养物质转移到新的叶片。因此主茎叶片SPAD与荞麦整体叶片叶绿素含量偏差较大,关于氮肥对荞麦叶绿素含量的影响需进一步研究。

施氮显著提高了荞麦干物质的积累量,以2017年为例N90、N180和N270处理的总干物质积累量分别比对照提高50.54%、65.12%和81.65%。侯迷红等^[14]关于不同氮肥对荞麦干物质积累量的研究表明,随施氮量的增加,荞麦干物质积累量先增加后减少。本试验中高氮对荞麦各器官最大干物质积累量未表现出明显抑制作用,而在荞麦生长前期,特别是苗期和初花期,荞麦各器官的干物质积累均有随施氮量的增加先增加后减少的趋势,表现出高氮抑制荞麦的干物质积累速率。彭玉等^[35]研究认为,缓/控释氮肥相较于尿素全部底施和传统的尿素常规运筹,氮肥偏生产力和农学利用率显著提高。朱宝贵^[36]认为氮肥分两次深追相较于氮肥一次深追,玉米氮肥利用率显著提高。严奉君等^[37]研究表明小麦秸秆覆盖与基肥:蘖肥:穗肥以3:3:4的质量比配合的水稻的产量最高,为最优组合。本试验中荞麦籽粒的干物质积累从盛花期开始,主要集中在盛花期到成熟期的20d左右,占总量的80%~95%。荞麦干物质积累有2个高峰期,一是在出苗40d前后,一是在出苗60d以后^[38],即盛花期分枝生长旺盛的时期和成熟期籽粒灌浆高峰期。因此底肥一次施用不利于荞麦对氮的吸收和利用,应注重荞麦生长高峰期氮素的提供。

氮肥显著提高荞麦单株粒数、千粒重及荞麦产量,施氮量在135~180 kg/hm²时达到高产。荞麦一级分枝数、二级分枝数、花簇数及叶片SPAD值均随施氮量呈先增加后降低的趋势。施氮量荞麦干物质积累速率在各个时期的影响不同,最快积累速率所需氮肥量随荞麦的生长而增加。

参考文献 References

- [1] 向达兵,彭镰心,赵钢,邹亮,赵江林,万静,陈艳. 荞麦栽培研究进展[J]. 作物杂志, 2013(3):1-6
Xiang D B, Peng L X, Zhao G, Zou L, Zhao J L, Wan J, Chen Y. Research progress on cultivation in buckwheat[J]. *Crops*, 2013(3):1-6 (in Chinese)
- [2] 张以忠,陈庆富. 荞麦研究的现状与展望[J]. 种子, 2004, 23(3):39-42
Zhang Y Z, Chen Q F. Status and prospect of research on buckwheat[J]. *Seed*, 2004, 23(3):39-42 (in Chinese)
- [3] 宋金翠. 荞麦产业具有良好的发展前景[J]. 食品科学, 2004, 25(10):415-419
Song J C. The good prospects for buckwheat[J]. *Food Science*, 2004, 25(10):415-419 (in Chinese)
- [4] 李强,马晓君,程秋博,豆攀,余东海,罗延宏,袁继超,孔凡磊. 氮肥对不同耐低氮性玉米品种干物质及氮素积累与分配的影响[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版, 2015, 41(5):527-536
Li Q, Ma X J, Cheng Q B, Dou P, Yu D H, Luo Y H, Yuan J C, Kong F L. Effects of nitrogen fertilizer on the accumulation and allocation of dry matter and nitrogen for maize cultivars with different low nitrogen tolerance[J]. *Journal of Zhejiang University : Agriculture & Life Sciences*, 2015, 41(5):527-536 (in Chinese)
- [5] 蒋鹏,熊洪,朱永川,张林,周兴兵,刘茂,郭晓艺,徐富贤. 施氮量和氮肥运筹模式对糯稻养分吸收积累和氮肥利用率的影响[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2016, 42(4):349-353
Jiang P, Xiong H, Zhu Y C, Zhang L, Zhou X B, Liu M, Guo X Y, Xu F X. Effect of nitrogen rates and nitrogen application patterns on nutrient accumulation and nitrogen use efficiency of glutinous rice[J]. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences*, 2016, 42(4):349-353 (in Chinese)
- [6] 高飞,李威,逢妍,陶晓亮,姜佰文. 不同氮肥处理对春玉米氮吸收分配及产量的影响[J]. 作物杂志, 2015,(4):97-101
Gao F, Li W, Pang Y, Tao X L, Jiang B W. Effects of different nitrogen fertilizers on nitrogen absorption, distribution and yield of spring maize[J]. *Crops*, 2015,(4):97-101 (in Chinese)
- [7] 宋桂云,王云,徐寿军,侯迷红. 氮肥对西辽河平原灌区不同穗型水稻氮素吸收与分配的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(9):1715-1721
Song G Y, Wang Y, Xu S J, Hou M H. Influence of N fertilizer on N accumulation and distribution of different panicle rice in irrigated region of Xiliaohe Plain[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2014, 28(9):1715-1721 (in Chinese)
- [8] 马东辉,赵长星,王月福,吴钢,林琪. 施氮量和花后土壤含水量对小麦旗叶光合特性和产量的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(10):4896-4901
Ma D H, Zhao C X, Wang Y F, Wu G, Lin Q. Effects of

- nitrogen fertilizer rate and post anthesis soil water content on photosynthetic characteristics in flag leaves and yield of wheat [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10):4896-4901 (in Chinese)
- [9] 宫香伟, 韩浩坤, 张大众, 李境, 王孟, 薛志和, 高小丽, 杨璞, 冯佰利. 氮肥对糜子籽粒灌浆期农田小气候及产量的调控效应[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(12):10-19
Gong X W, Han H K, Zhang D Z, Li J, Wang M, Xue Z H, Gao X L, Yang P, Feng B L. Effects of nitrogen fertilizers on the field microclimate and yield of broomcorn millet at grain filling stage[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(12):10-19 (in Chinese)
- [10] 曹雄, 黄敏佳, 梁晓红, 张瑞栋, 刘静, 李占林. 覆膜与氮肥对高粱生育时期、水分消耗及产量的影响[J]. 农学学报, 2016, 6(7):6-12
Cao X, Huang M J, Liang X H, Zhang R D, Liu J, Li Z L. Effects of film mulching and nitrogen application on growth period, water consumption and yield of sorghum[J]. *Journal of Agriculture*, 2016, 6(7):6-12 (in Chinese)
- [11] 易镇邪, 王璞, 张红芳, 申丽霞, 刘明, 戴明宏. 氮肥类型与施用量对华北平原夏玉米源库关系的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3):294-300
Yi Z X, Wang P, Zhang H F, Shen L X, Liu M, Dai M H. Effects of type and application rate of nitrogen fertilizer on source-sink relationship in summer maize in North China Plain[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(3):294-300 (in Chinese)
- [12] 金正勋, 秋太权, 孙艳丽, 赵久明, 金学泳. 氮肥对稻米蛋白及蒸煮食味品质特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(1):31-35
Jin Z X, Qiu T Q, Sun Y L, Zhao J M, Jin X Y. Effects of nitrogen fertilizer on chalkness ratio and cooking and eating quality properties of rice grain [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(1):31-35 (in Chinese)
- [13] 刘凤楼, 宋美丽, 冯毅, 孙道杰, 李学军, 李进仓, 张睿, 王辉. 施肥量与氮肥基追比对西农 979 产量和品质的效应[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(3):482-487
Liu F L, Song M L, Feng Y, Sun D J, Li X J, Li J C, Zhang R, Wang H. Effects of fertilizer rates and nitrogen ratios of base and topdressing on grain yield and quality of wheat cultivar Xinong 979[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2010, 30(3):482-487 (in Chinese)
- [14] 侯迷红, 范富, 纪凤辉, 宋桂云, 苏雅乐, 孙德智. 氮肥用量对库伦旗荞麦干物质积累与分配的影响[J]. 内蒙古民族大学学报:自然科学版, 2017, 32(1):65-69
Hou M H, Fan F, Ji F H, Song G Y, Sun Y L, Sun D Z. Effects of nitrogen fertilizer rate on dry matter accumulation and distribution of buckwheat in Hure County, China[J]. *Journal of Inner Mongolia University for Nationalities: Natural Sciences*, 2017, 32(1):65-69 (in Chinese)
- [15] 侯迷红, 范富, 宋桂云, 苏雅乐, 纪凤辉. 氮肥用量对甜荞麦产量和氮素利用率的影响[J]. 作物杂志, 2013, (1):102-105
Hou M H, Fan F, Song G Y, Su Y L, Ji F H. Effects of nitrogen application rate on yield and fertilizer-nitrogen utilization efficiency in *F. esculentum Moench*[J]. *Crops*, 2013, (1):102-105 (in Chinese)
- [16] 唐超, 雷雨田, 路耿新, 王欣欣. 氮磷钾配施对荞麦生育进程及农艺性状的影响[J]. 北方农业学报, 2016, 44(4):20-26
Tang C, Lei Y T, Lu G X, Wang X X. Effects for the different proportion of nitrogen, phosphorus and potassium on the growth process and agronomic traits of buckwheat[J]. *Journal of Northern Agriculture*, 2016, 44(4):20-26 (in Chinese)
- [17] 郭肖, 宋毓雪, 孔德章, 杨龙云, 黄凯丰. 不同肥料处理对甜荞产量及品质的影响[J]. 河南农业大学学报, 2015, 49(1):35-38
Guo X, Song Y X, Kong D Z, Yang L Y, Huang K F. Effect of different fertilizer treatment on the yield and quality of common buckwheat [J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2015, 49(1):35-38 (in Chinese)
- [18] Schulte afu'm Erley E G, Kaul H P, Kruse M, Aufhammer W. Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization [J]. *European Journal of Agronomy*, 2005, 22(1):95-100
- [19] 刘迎春, 乌朝鲁门, 李永娟, 丁素荣, 李峰. 荞麦氮、磷、钾肥的效应研究[J]. 作物杂志, 2014, (6):95-98
Liu Y C, Wuchaolumen, Li Y J, Ding S R, Li F. Research on effects of N, P, K Fertilizer in common buckwheat [J]. *Crops*, 2014, (6):95-98 (in Chinese)
- [20] 张美微, 谢旭东, 王晨阳, 马耕, 卢红芳, 周国勤, 谢迎新, 马冬云. 不同生态条件下品种和施氮量对冬小麦产量及氮肥利用效率的影响[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(10):1362-1368
Zhang M W, Xie X D, Wang C Y, Ma G, Lu H F, Zhou G Q, Xie Y X, Ma D Y. Effect of cultivar and nitrogen fertilizer application on grain yield and nitrogen use efficiency of wheat at different planting environments[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2016, 36(10):1362-1368 (in Chinese)
- [21] 吴良泉, 武良, 崔振岭, 陈新平, 张福锁. 中国水稻区域氮磷钾肥推荐用量及肥料配方研究[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(9):1-13
Wu L Q, Wu L, Cui Z L, Chen X P, Zhang F S. Studies on recommended nitrogen, phosphorus and potassium application rates and special fertilizer formulae for different rice production regions in China [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2016, 21(9):1-13 (in Chinese)
- [22] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 崔振岭, 马文奇, 陈新平, 江荣风. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5):148-157
Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F, Cui Z L, Ma W Q, Chen X P, Jiang R F. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5):148-157 (in Chinese)
- [23] Sugimoto H. Effects of nitrogen application on the growth

- and yield of summer buckwheat cultivated in Western Japan with special reference to dry matter production and nitrogen absorption (agronomy) [J]. *Japanese Journal of Crop Science*, 2004, 73(2):181-188
- [24] 赵永峰, 穆兰海, 常克勤, 杜燕萍, 陈勇, 马存宝. 不同栽培密度与 N、P、K 配比精确施肥对荞麦产量的影响[J]. 内蒙古农业科技, 2010, 38(4):61-62
Zhao Y F, Mu L H, Chang K Q, Du Y P, Chen Y, Ma C B. Effect of different planting density and precision fertilization on buckwheat yield[J]. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2010, 38(4):61-62 (in Chinese)
- [25] Inamullah, Saqib G, Ayub M, Khan A A, Anwar S, Khan SA. Response of common buckwheat to nitrogen and phosphorus fertilization[J]. *Sarhad Journal of Agriculture*, 2012, 28(2):171-178
- [26] 陈磊庆. 氮磷配施对阴山北麓旱作荞麦产量和品质的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2012
Chen L Q. Effects of nitrogen combined with phosphate on quality and yield of drying farming buckwheat in the north of Yin Shan mountain [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2012 (in Chinese)
- [27] 刘念析, 李穆, 李秀平, 杨伟光, 年海. 大豆主要农艺性状间的相关性分析[J]. 大豆科学, 2013, 32(4):570-572
Liu N X, Li M, Li X P, Yang W G, Nian H. Correlation analysis of major agronomic traits in soybean [J] *Soybean Science*, 2013, 32(4):570-572 (in Chinese)
- [28] Babůrková M, Jůza J, Moudry J, Pejcha J. The effect of genotype and agronomical practices on the structure of yield factors of buckwheat[J]. *Rostlinna Vyroba - UZPI (Czech Republic)*, 2000, 46(5):225-230
- [29] 张卫中, 姚满生, 阎建宾. 不同肥料配比对荞麦生长发育及产量影响的对比研究[J]. 杂粮作物, 2008, 28(1):52-54
Zhang W Z, Yao M S, Yan J B. The Contrast study of the effects on different fertilizer allocated proportion to the growth development and the yield of buckwheat[J]. *Rainfed Crops*, 2008, 28(1):52-54 (in Chinese)
- [30] 马宗斌, 房卫平, 谢德意, 李伶俐, 朱伟. 氮肥和 DPC 用量对棉花叶片叶绿素含量和 SPAD 值的影响[J]. 棉花学报, 2009, 21(3):224-229
Ma Z B, Fang W P, Xie D Y, Li L L, Zhu W. Effects of nitrogen application rates and DPC sparing doses on content of chlorophyll and SPAD value in leaf of cotton (*Gossypium hirsutum L*) [J]. *Cotton Science*, 2009, 21(3):224-229 (in Chinese)
- [31] 赵士诚, 何萍, 仇少君, 徐新朋, 串丽敏, 邢素丽. 相对 SPAD 值用于不同品种夏玉米氮肥管理的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(5):1091-1098
Zhao S C, He P, Chou S J, Xu X P, Chuan L M, Xing S L. Application of relative SPAD values for nitrogen fertilizer management of different cultivars of summer maize[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(5):1091-1098 (in Chinese)
- [32] 朱昆仑, 靳立斌, 董树, 赵斌, 刘鹏, 张吉旺. 综合农艺管理对夏玉米叶片衰老特性的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 45(15):2949-2959
Zhu K L, Jin L B, Dong S, Zhao B, Liu p, Zhang J W. Effects of integrated agronomic practices on leaf senescence physiological characteristics of summer maize[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 45(15):2949-2959 (in Chinese)
- [33] 董瑞, 吕厚波, 张保军, 张正茂, 陈魏涛, 刘芳亮. 叶面喷施氮肥对小麦 SPAD 值及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(1):99-104
Dong R, Lv H B, Zhang B J, Zhang Z M, Chen W T, Liu F L. Effect of foliar application of nitrogen fertilizer on SPAD and yield of wheat[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2015, 35(1):99-104 (in Chinese)
- [34] 关彩虹, 段留生, 翟志席, 何钟佩, 李召虎. 土壤水分、系统化控对小麦灌浆期旗叶碳同化物运转的影响[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(3):27-32
Guan C H, Duan L S. Effect of soil water and chemical regulation on exportation and partitioning of ¹⁴C-Assimilates of wheat flag leaf during filling stage[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2002, 8(3):27-32 (in Chinese)
- [35] 彭玉, 孙永健, 蒋明金, 徐徽, 秦俭, 杨志远, 马均. 不同水分条件下缓/控释氮肥对水稻干物质质量和氮素吸收、运转及分配的影响[J]. 作物学报, 2014, 40(5):859-870
Peng Y, Sun Y J, Jiang M J, Xu H, Qin J, Yang Z Y, Ma J. Effects of water management and slow/controlled release nitrogen fertilizer on biomass and nitrogen accumulation, translocation, and distribution in rice[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40(5):859-870 (in Chinese)
- [36] 朱宝国, 韩旭东, 张春峰, 贾会彬, 孟庆英, 王囡囡, 匡恩俊. 氮肥深追可提高玉米对¹⁵N 的吸收、分配及利用[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(6):1696-1700
Zhu B G, Han X D, Zhang C F, Jia H B, Meng Q Y, Wang N N, Kuang E J. Improvement of nitrogen fertilizer dressing in deep soil on absorption, allocation and utilization of ¹⁵N of maize[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2016, 22(6):1696-1700 (in Chinese)
- [37] 严奉君, 孙永健, 马均, 徐徽, 李玥, 杨志远, 蒋明金, 吕腾飞. 秸秆覆盖与氮肥运筹对杂交稻根系生长及氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1):23-35
Yan F J, Sun Y J, Ma J, Xu H, Li Y, Yang Z Y, Jiang M J, Lv T F. Effects of straw mulch and nitrogen management on root growth and nitrogen utilization characteristics of hybrid rice[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2015, 21(1):23-35 (in Chinese)
- [38] 王永亮, 蒋玉明, 訾玉和, 王苏和, 杨宗妮. 半干旱地区荞麦干物质积累及生长规律的研究[J]. 内蒙古农业科技, 1996(5):9-11
Wang Y L, Jiang Y M, Zi Y H, Wang S H, Yang Z N. Study on dry matter accumulation and growth regularity of buckwheat in semiarid area[J]. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 1996(5):9-11 (in Chinese)