



不同肥水供给模式对高蛋白大豆干物质累积、氮素代谢、产量及品质的影响

赵景云, 许海涛, 刘志强, 王建立, 仇永康, 宋晓朋

(驻马店市农业科学院, 河南省 驻马店 463000)

摘要:为探索高蛋白大豆高产优质生产适宜肥水协同供给模式,以高蛋白驻豆 19 为试验材料,采用不同施氮量与灌水量进行田间裂区试验,设置 3 个施氮量水平, N0(不施氮肥)、N1(60 kg·hm⁻²)、N2(120 kg·hm⁻²); 3 个灌水量水平, W0(不灌水,自然降雨)、W1 灌水量(1 500 m³·hm⁻²)、W2 灌水量(3 000 m³·hm⁻²),研究了高蛋白大豆干物质和氮素累积与分配、氮素利用及品质对肥水协同供给的响应。结果表明:同一灌水量条件下,干物质积累分配量呈现豆荚>茎>叶,2020 年豆荚分配占比 53.65%~69.00%,2021 年豆荚分配占比 36.25%~52.15%;同一施氮条件下,随着灌水量的增加,鼓粒期干物质累积量呈逐渐升高趋势,在施氮 N1 条件下,灌水量为 W2 时,干物质累积量较自然降水 W0、灌水量处理 W1 分别提高了 56.55% 和 11.67%;不同灌水量条件下,提高施氮量反而降低了氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥农学效率、氮肥偏生产力,不同施氮量条件下,随灌水量的增加,氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥农学效率、氮肥偏生产力多呈增加趋势;同一灌水条件下,蛋白质含量不施氮最低,脂肪含量在施氮 120 kg·hm⁻² 最低,不同灌水处理中 W2N1 产量最高达 2 319.86 kg·hm⁻²,显著高于其他两个灌水处理产量,处理间差异达显著水平。本研究为大豆高效节水节肥生产提供理论依据和技术支撑。

关键词: 高蛋白大豆; 干物质累积与分配; 氮素利用效率; 产量; 品质

Effects of Different Fertilizer Water Supply Patterns on Involvement of High-protein Soybean Dry Matter, Nitrogen Metabolism, Yield and Quality

ZHAO Jingyun, XU Haitao, LIU Zhiqiang, WANG Jianli, QIU Yongkang, SONG Xiaopeng

(Zhumadian Agricultural Academy of Sciences, Zhumadian 463000, China)

Abstract: To explore the appropriate fertilizer and water synergistic supply mode for high-protein soybean with high yield and quality, the field split-zone experiment was conducted in different N application and irrigation amount using high-protein Zhudou 19 as the experimental material. In the experiment, three N application levels, namely N0 (no N fertilizer, 0), N1 (N, 60 kg·ha⁻¹), and N2 (N, 120 kg·ha⁻¹), and three irrigation levels, namely W0 (no irrigation, natural rainfall), W1 (1 500 m³·ha⁻¹), and W2 (3 000 m³·ha⁻¹), were used to investigate the response of dry matter, nitrogen accumulation and distribution, nitrogen utilization and quality to fertilizer and water synergistic supply in high-protein soybean. The results showed that under the same irrigation conditions, the dry matter accumulation distribution showed the trend of pods > stems > leaves, the proportion of pods received dry matter in 2020 and 2021 were 53.65%-69.00% and 36.25%-52.15%, respectively. Under the same N fertilizer conditions, the dry matter accumulation at the bulge stage showed the gradual increase with increasing irrigation water. Under the N1 fertilizer and W2 irrigation condition, the dry matter accumulation was 56.55% and 11.67% higher than those in natural rainfall and W1 conditions, respectively. In different irrigation conditions, the increase of nitrogen application reduced the nitrogen uptake efficiency, nitrogen utilization efficiency, nitrogen fertilizer agronomic efficiency and nitrogen fertilizer bias productivity. In different nitrogen fertilizer conditions, the nitrogen uptake efficiency, nitrogen utilization efficiency, nitrogen fertilizer agronomic efficiency and nitrogen fertilizer bias productivity tended to increase with the increase of irrigation water. In the same irrigation conditions, protein content was the lowest without N fertilizer application, and fat content was the lowest in N fertilizer application set at 120 kg·ha⁻¹. In different irrigation conditions, the highest yield was 2 319.86 kg·ha⁻¹ in W2N1 treatment and significantly higher than the yield of other two irrigation treatments. This study provides theoretical basis and technical support for efficient water-saving and fertilizer saving production of soybeans.

Keywords: high protein soybean; dry matter and nitrogen accumulation; nitrogen use efficiency; yield; quality

大豆是我国重要的粮油兼用作物,也是植物蛋白质的重要来源^[1],大豆产量是自身遗传特性与肥水光热等外部环境因子协同作用的结果^[2],水是肥

料效应发挥的关键性因素,水分充足可提高营养物质转运的速度,水分亏缺则限制肥效的发挥,适宜水分可实现以水促肥的目的,合理施肥可达到以肥

收稿日期:2023-01-23

基金项目:河南省科技攻关项目(212102110307);驻马店市重大创新专项项目(16403)。

第一作者:赵景云(1979—),女,硕士,副研究员,主要从事大豆育种及高效栽培技术研究。E-mail:jingyun821@163.com。

通讯作者:刘志强(1970—),男,副研究员,主要从事大豆育种及高效栽培技术研究。E-mail:lzq020907@sina.com。

调水的效果^[3-4]。养分的合理供给是保障大豆高产的重要条件,养分亏损、水分亏缺及二者间非同步性供给均不利于大豆的生长发育^[5]。前人有关肥水耦合效应对大豆产量的影响已作较多研究,并获得一定进展,土壤水分在充足和适宜条件下肥水互作对大豆产量呈现加和效应,肥水协同供给比单独氮肥作用更有利于大豆产量的提高^[2-3,6]。有关大豆肥水互作方面目前也有一些报道,由于受试验土壤条件和区域气候环境差异的影响,研究结论不尽一致。白杨等^[7]研究表明氮肥与水分在一定的范围内呈显著正效应及耦合作用。褚丽丽等^[8]也研究表明肥水耦合作用比单独氮肥作用提高大豆产量的幅度更大,肥水资源利用效率更高。李亚杰等^[9]研究认为在同一氮肥条件下大豆干物质累积持续时长、累积平均速率与氮素吸收量呈先升后降趋势,在同一水分条件下适量增加氮肥施用量可促进大豆干物质累积,提高植株氮素吸收量,但充足水分过量施氮则抑制根系氮素转运至植株体内。黄俊霞等^[10]研究指出肥水一体化显著提高了大豆产量,增加了大豆单株生物产量、叶面积指数、光合参数、SPAD 值、株高及百粒重。裴宇峰等^[11]研究报道在合适水分条件下,增施氮肥有益于蛋白质的合成,提高大豆蛋白含量,但不利于脂肪的合成。也有研究表明随氮量提高大豆蛋白质含量呈先升高后降低趋势,而脂肪含量呈逐步下降趋势^[12]。

已有研究表明肥水协同具有一定的耦合作用,能够以肥调水、以水促肥,挖掘有限的水资源可发挥大豆的最大增产潜力,合理调配氮肥和水分,肥水协同作用可显著提高大豆产量及品质^[6,12]。目前

有关肥水耦合效应研究大多侧重于大豆生长发育、形态特征、生理性状、养分变化等方面影响^[2,6,11],而高蛋白大豆干物质和氮素累积与分配、氮素利用及品质对肥水协同供给的响应鲜有研究。本文在前人研究的基础上,以高蛋白大豆驻豆 19 为材料,针对河南半干旱特定区域环境气候和土壤固有特性条件,研究了高蛋白大豆干物质和氮素累积与分配、氮素利用及品质对肥水供给的响应,探讨在一定水分条件下如何科学施用肥料,充分挖掘肥水之间协同效应,因地制宜地制定高蛋白驻豆 19 合理肥水配比明确适宜高效的肥水定量组合,以期达到以肥调水、以水促肥的目的,提高肥水利用效率,为大豆高效节水节肥生产提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2020 和 2021 年在驻马店驿城区(114°05'E, 33°01'N)进行,该地属半湿润温带大陆偏旱性气候,雨热同季,由于气温较高蒸发量也较大,年际间降水量变化大,年降水量时空分布存在差异,常有干旱、渍害产生。前茬种植大麦,肥力较匀,地势平坦,易于排灌,土壤质地为壤土,0~20 cm 土壤营养成分为碱解氮 110.06 mg·kg⁻¹,速效磷 17.27 mg·kg⁻¹,速效钾 79.63 mg·kg⁻¹,有机质 12.18 g·kg⁻¹,pH6.8。2020 年 6—9 月大豆生长发育期间降水量 817.3 mm,有效积温 3 083.7 ℃,日照时数 553.9 h;2021 年比 2020 年降雨量减少 109.6 mm,有效积温增加 19.7 ℃,日照时数减少 29.5 h,气象数据由驻马店市气象局提供,详见图 1。

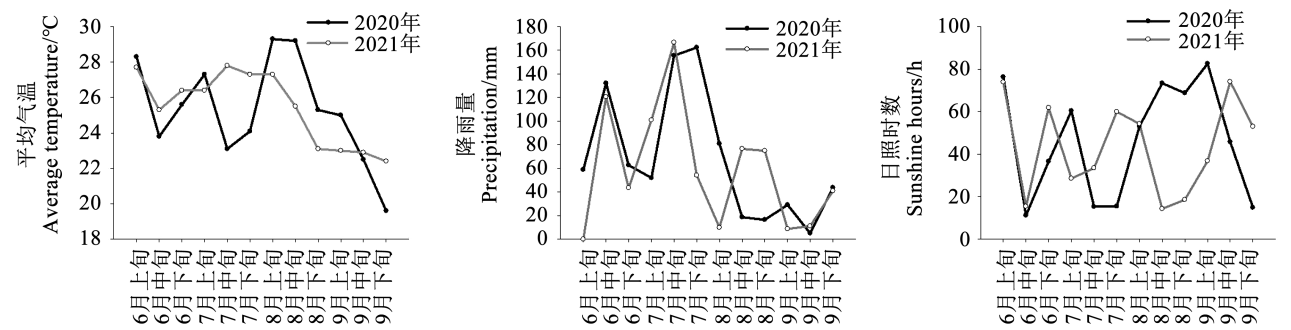


图 1 2020—2021 年 6—9 月大豆生育期间逐旬气象特征

Fig. 1 Ten days meteorological characteristics during soybean growth period from June to September in 2020—2021

1.2 材料

1.2.1 供试品种 高蛋白大豆品种驻豆 19 由驻马店农业科学院粮食作物研究所提供,驻豆 19(省审豆 2015002,国审豆 20170020),蛋白质含量 46.40%,脂肪含量 17.44%。

1.2.2 供试肥料 N 46% 尿素(河南骏马集团生产);P₂O₅ 12% 过磷酸钙(四川泸州常达工贸有限公司生产);K₂O 52% 硫酸钾(新疆罗布泊钾盐公司生产)。

1.3 试验设计

采用裂区二因素试验设计,灌水设置为主区,参照张洁等^[12]用水量以及本地常年降雨量共设置 3 个灌水水平:W0(生长发育期间不灌水,自然降雨)、W1 灌水量(1 500 m³·hm⁻²)、W2 灌水量(3 000 m³·hm⁻²),W1、W2 灌水时期均为开花期、结荚期、鼓粒期,W1、W2 每次分别各灌水 500 和 1 000 m³·hm⁻²,灌水方式采用微型喷带喷淋,各小区灌水量经进水口水表(LXL15~25 mm,山东慧泽仪表科技有限公司生产)控制;氮肥设置为副区,参照刘志强等^[13]氮肥用量及当地土壤肥力水平共设置 3 个氮肥水平:N0(不施氮肥,0)、N1(N,60 kg·hm⁻²)、N2(N,120 kg·hm⁻²),各小区均施硫酸钾(450 kg·hm⁻²,K₂O)、过磷酸钙(90 kg·hm⁻²,P₂O₅),磷钾肥旋耕前作为基肥一次性施入,确保磷钾肥各处理间水平相同,氮肥按照各小区施用量采用开沟条施的方法。各小区行长 6 m,6 行区,等行距种植,行距 0.4 m,小区面积 14.4 m²,3 次重复,田间共 27 个试验小区。各小区四周设置 30 cm 高土埂,埂内周围铺设塑料薄膜防止渗水,避免各小区间肥水产生渗透漂移。试验分别于 2020 年 6 月 3 日、2021 年 6 月 5 日播种,播种前浇足底墒水,确保一播全苗,人工开沟点播,每穴点种 3 粒,出苗后及时定苗,每穴留苗 1 株,种植密度 18.0 万株·hm²,分别于 2020 年 9 月 23 日、2021 年 9 月 26 日成熟收获。其它管理与当地大田生产一致。

1.4 项目测定及方法

每处理分别在分枝期、结荚期、鼓粒期选择 5 株无病虫害危害且具一定代表性的大豆植株,参照涂心海等^[14]方法从植株子叶节往上,按照茎、叶、豆荚 3 部分器官分开,分别放羊皮纸袋内置入烘箱,经 105 ℃ 杀青 0.5 h,再经 65 ℃ 鼓风干燥箱烘干至恒重,分别测量不同器官的干物质质量。大豆成熟期各处理随机取样 5 株,将茎、叶、豆荚干物质粉碎后过筛(0.5 mm),H₂O₂-H₂SO₄消煮后用凯氏定氮法测定氮素含量^[13],并计算以下指标:

氮素累积量(g) = Σ(各器官氮素含量 × 各器官干物质累积量);

氮素吸收效率(kg·kg⁻¹) = 氮素累积量/施氮量;

氮素利用效率(kg·kg⁻¹) = 籽粒产量/氮素累积量;

氮肥农学效率(kg·kg⁻¹) = (施氮区籽粒产量 - 不施氮区籽粒产量)/施氮量;

氮肥偏生产力(kg·kg⁻¹) = 施氮处理籽粒产量/施氮量。

参照刘志强等^[16]方法测定籽粒蛋白质和脂肪含量,成熟期各处理选取无虫食、无病斑的完整大豆籽粒 0.5 kg,对整粒谷物用 Infratec1255 型近红外快速分析测定仪(FOSS 公司生产)测定大豆籽粒蛋白质含量和脂肪含量。

成熟后收获中间 2 行,脱粒自然晾干后测量籽粒产量。

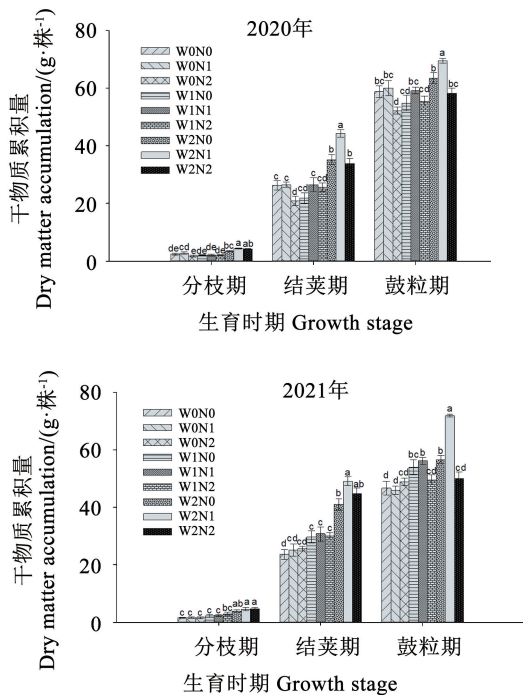
1.5 数据分析

采用 IBM SPSS Statistics 19.0 对试验数据进行分析,Sigmaplot 14.0 进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同肥水供给模式对高蛋白大豆干物质累积的影响

由图 2 可知,肥水协同供给对大豆分枝至鼓粒期干物质累积量的影响差异显著,分枝期干物质累积平缓,结荚期累积较快,鼓粒期累积又逐渐减缓。分枝期在自然降水条件下,处理 W0N1 干物质累积量最大,干物质累积值为 2.8 g·株⁻¹,在 W1 定额灌水条件下,干物质的累积差异未达显著水平,在 W2 定额灌水条件下,施氮可增加干物质的累积,且 2020 年差异达显著水平,处理 W1N1、W1N2 干物质累积分别为 4.43 和 4.17 g·株⁻¹。结荚期、鼓粒期肥水协同供给大豆干物质累积随施氮量的增加呈现先增加后降低趋势,鼓粒期在 W1、W2 定额灌水条件下,施氮干物质累积量在 49.59~63.4 g·株⁻¹,在施氮同一施氮条件下,随灌水的增加干物质累积量基本呈现逐渐升高趋势,在施氮 N1 条件下,灌水量为 W2 鼓粒期干物质累积 2020 和 2021 年分别为 69.51 和 71.89 g·株⁻¹,在施氮 N2 条件下,鼓粒期干物质累积 2020 和 2021 年处理 W2N2 分别为 58.26 和 50.02 g·株⁻¹,表明同一施氮条件下,随着灌水量的增加,鼓粒期干物质累积量逐渐升高趋势,生产中可以通过调控这一时期的管理措施,实现以水调肥的目标。



注:图中不同小写字母表示差异达 5% 显著水平,下同。
Note: The lowercase letters indicate a significant difference in the 5% level, the same below.

图2 高蛋白大豆干物质累积对肥水协同供给的响应
Fig. 2 Response of high protein soybean dry matter accumulation to collaborative supply of fertilizer and water

2.2 不同肥水供给模式对高蛋白大豆干物质分配的影响

由图 3 可知,肥水协同供给对大豆鼓粒期茎、叶、豆荚干物质的分配影响显著,不同器官干物质累积基本呈现出豆荚>茎>叶的变化趋势,2020 年豆荚分配占比 53.65%~69.00%,2021 年豆荚分配占比 36.25%~52.15%。在 W0 自然降水条件下,施氮处理 N1 豆荚干物质分配量最高,2020 年为 33.16 g·株⁻¹,在 W1 灌水量条件下,施氮处理 N2

豆荚干物质分配量最低,2021 年为 17.98 g·株⁻¹,在 W2 灌水量条件下,施氮处理 N2 最低,2020 和 2021 年处理 W2N2 豆荚干物质累积分别降低了 15.77% 和 52.83%。在不同施氮条件下,2020 年豆荚干物质分配量随灌水量的增加而增加,2021 年随灌水量的增加而呈先增加后降低趋势,灌水处理豆荚干物质分配量较高,进一步说明水分对大豆生长发育起关键性作用,肥水协同供给增加大豆干物质向豆荚内比配量,减少茎、叶的干物质比配量。

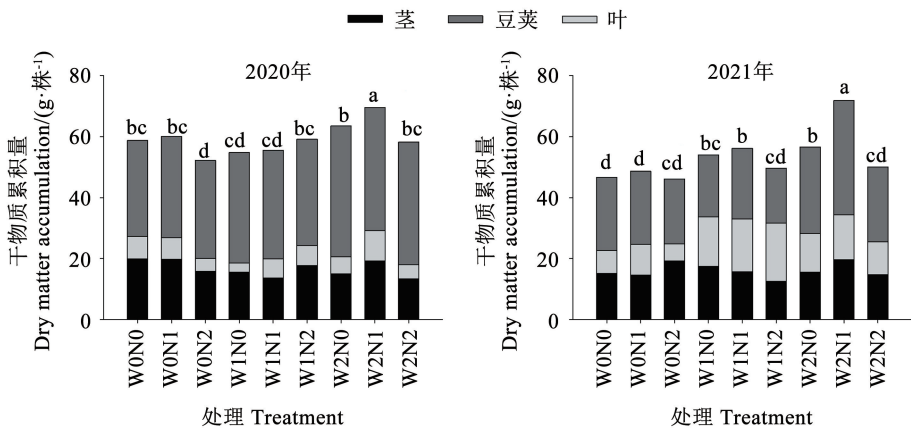


图3 高蛋白大豆干物质分配对肥水协同供给的响应
Fig. 3 Response of high protein soybean dry matter distribution to the collaborative supply of fertilizer and water

2.3 不同肥水供给模式对高蛋白大豆氮素累积的影响

由图 4 可知,在自然降水 W0 条件下,处理 W0N0 氮素累积量最低,氮素累积量 2020 年处理 W0N1、W0N2 比 W0N0 分别增加了 0.93% 和 1.24%,2021 年分别增加了 9.78% 和 10.25%;在灌水量 W1 条件下,氮素累积量 W1N1 最高,2020 年为 1 335.24 mg·株⁻¹,在灌水量 W2 条件下,氮素累积量 W2N1 最高,氮素累积量 2021 年为 1 440.91 mg·株⁻¹。

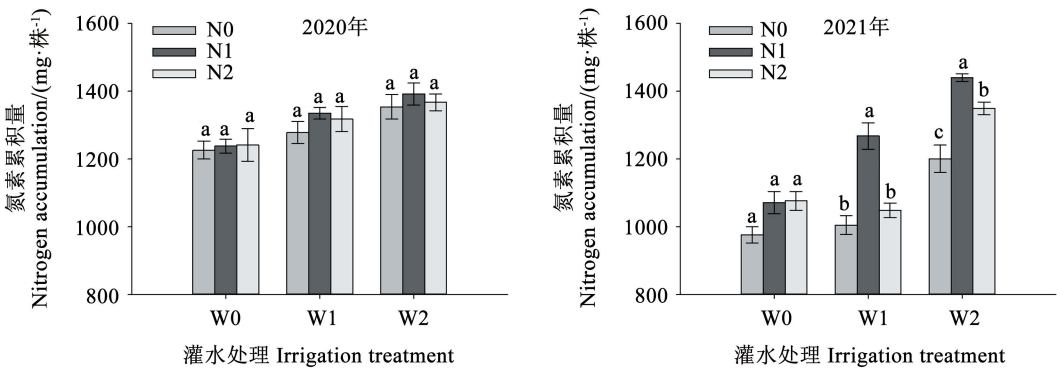


图 4 高蛋白大豆氮素累积对肥水协同供积的响应

2.4 不同肥水供给模式对高蛋白大豆氮素利用的影响

由表 1 可知,肥水协同供给对氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥农学效率、氮肥偏生产力的响应均达显著水平,不同灌水量条件下,提高施氮量反而降低了氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥农学效率、氮肥偏生产力;不同施氮量条件下,随灌水量的增加氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥农学效率、氮肥偏生产力多呈增加趋势。在自然降水 W0 条件下,氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥农学效率和氮肥偏生产力 2020 年施氮 N1 比施氮 N2 处理分别增加了 99.46%、5.64%、188.89% 和 110.86%,2021 年氮素吸收效率和氮肥偏生产力施氮 N1 比施氮 N2 分别增加了 100.00% 和 78.74%,氮素利用效率和氮肥农学效率施氮 N1 比施氮 N2 分别降低了

在不施氮 N0 条件下,大豆氮素累积处理 W0N0 最低,大豆氮素累积 2020 年处理 W1N0、W2N0 比 W0N0 分别增加了 7.15% 和 33.41%,在 N1 施氮量条件下,大豆氮素累积处理 W0N1 最低,2020 年大豆氮素累积量为 1 238.1 mg·株⁻¹;在 N2 施氮量条件下,大豆氮素累积处理 W2N2 最高,2020 年大豆氮素累积量为 1 367.62 mg·株⁻¹。两年试验数据表明灌水量 W2(3 000 m³·hm⁻²),施氮 N1(60 kg·hm⁻²)的肥水协同供给可提高大豆氮素累积量。

10.31% 和 73.44%;在灌水量 W1 条件下,氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥农学效率和氮肥偏生产力 2020 年施氮 N1 比施氮 N2 分别增加了 104.55%、21.73%、1169.81% 和 146.78%,2021 年施氮 N1 比施氮 N2 分别增加了 142.04%、3.82%、667.69% 和 150.78%;在灌水量 W2 条件下,氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥农学效率和氮肥偏生产力 2020 年施氮 N1 比施氮 N2 分别增加了 103.90%、15.30%、4035.29% 和 134.70%,2021 年处理施氮 N1 比施氮 N2 分别增加了 113.86%、17.78%、549.35% 和 151.53%。在 N1 施氮量条件下,灌水处理比自然降雨处理氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥农学效率和氮肥偏生产力都增加;在 N2 施氮量条件下,灌水处理比自然降雨处理氮素吸收效率、氮素利用效率和氮肥偏生产力均增加,氮肥农学效率降低。

表 1 高蛋白大豆氮素利用对肥水协同供应的响应

Table 1 Response of high protein soybean nitrogen utilization to the collaborative supply of fertilizer and water					
单位:kg·kg ⁻¹					
年份 Year	处理 Treatment	氮素吸收效率 Nitrogen absorption efficiency	氮素利用效率 Nitrogen use efficiency	氮肥农学效率 Nitrogen agronomic efficiency	氮肥偏生产力 Nitrogen partial productivity
2020	W0N1	3.71 ±0.38 a	6.37 ±0.67 b	3.90 ±0.38 b	23.68 ±0.97 c
	W0N2	1.86 ±0.31 b	6.03 ±0.44 b	1.35 ±0.21 c	11.23 ±0.81 e
	W1N1	4.01 ±0.21 a	7.45 ±0.78 b	6.73 ±0.57 a	29.86 ±0.87 b
	W1N2	1.98 ±0.32 b	6.12 ±0.44 b	0.53 ±0.07 cd	12.10 ±0.78 e

表 1(续)

年份 Year	处理 Treatment	氮素吸收效率 Nitrogen absorption efficiency	氮素利用效率 Nitrogen use efficiency	氮肥农学效率 Nitrogen agronomic efficiency	氮肥偏生产力 Nitrogen partial productivity
2021	W2N1	4.18 ± 0.25 a	10.85 ± 0.31 a	7.03 ± 0.50 a	45.32 ± 1.19 a
	W2N2	2.05 ± 0.21 b	9.41 ± 0.43 a	0.17 ± 0.04 d	19.31 ± 0.85 d
	W0N1	3.22 ± 0.37 b	5.74 ± 0.72 b	0.34 ± 0.05 c	18.44 ± 1.24 c
	W0N2	1.61 ± 0.26 c	6.40 ± 0.84 b	1.28 ± 0.09 c	10.33 ± 0.91 d
	W1N1	3.80 ± 0.44 ab	6.79 ± 0.53 ab	7.06 ± 0.59 b	25.83 ± 1.22 b
	W1N2	1.57 ± 0.26 c	6.54 ± 0.94 b	0.92 ± 0.21 c	10.30 ± 0.55 d
	W2N1	4.32 ± 0.26 a	8.94 ± 0.55 a	10.00 ± 0.78 a	38.66 ± 1.16 a
	W2N2	2.02 ± 0.15 c	7.59 ± 0.70 ab	1.54 ± 0.20 c	15.37 ± 0.72 c

注:表中同列不同小写字母表示差异达 5% 显著水平。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate a significant difference at 5% level.

2.5 不同肥水供给模式对高蛋白大豆品质的影响

由图 5 可知,不同肥水供给蛋白质与脂肪含量均产生一定变化,同一灌水量条件下蛋白质含量随氮肥的增加呈升高趋势,脂肪含量呈相反趋势,随氮肥的增加呈下降趋势,同一施氮量条件下蛋白质含量随灌水量的增加呈下降趋势,而脂肪含量两年变化趋势不同。在不同灌水处理下,蛋白质含量在不施氮 N0 处理下最低,脂肪含量在施氮处理 N2 最

低。在不施氮 N0 条件下,灌水处理 W2 蛋白质、脂肪含量最低;在施氮 N1 条件下,自然降水处理下蛋白质含量最高,脂肪含量最低;在施氮 N2 条件下,自然降水处理下蛋白质含量最高,表明水分充足蛋白质含量下降,而高氮肥能够起到水分调节功能,增施氮肥脂肪含量虽有所降低,可以通过调节水分减轻对脂肪含量的影响程度。

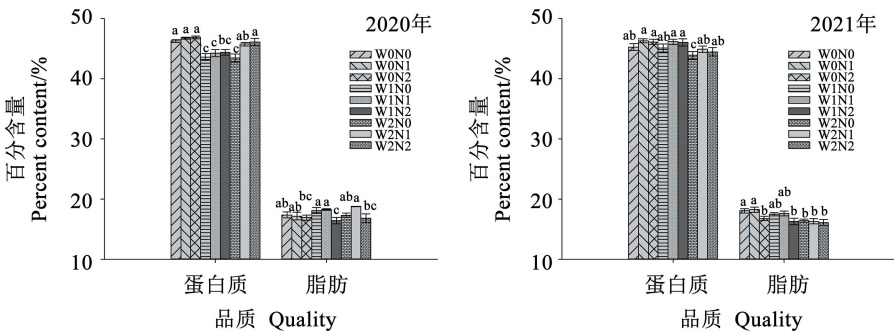


图 5 高蛋白大豆品质对肥水协同供给的响应
Fig. 5 Response of high protein soybean quality to the collaborative supply of fertilizer and water

2.6 不同肥水供给模式对高蛋白大豆产量的影响

由图 6 可知,肥水协同供给对大豆产量影响显著,同一灌水条件下产量随施氮量的增加基本呈现先升高后下降趋势,同一施氮量条件下产量随灌水量的增加呈现逐渐升高趋势。W0 自然降雨条件下,处理 W0N0 产量最低,施氮处理大豆产量均高于不施氮处理。W1 灌水条件下,2020 和 2021 年处理 W1N1 产量最大,分别为 1 791.54 和 1 549.87 kg·hm⁻²。W2 灌水条件下,处理 W2N1 产量最大,2020 和 2021 年处理 W2N1 产量分别为 2 719.27 和 2 319.86 kg·hm⁻²,较

不施氮处理产量提高 22.76% 和 39.77%,较 W2N2 处理产量提高 17.37% 和 25.16%。表明过量施氮和不施氮并不能使大豆产量提高,反而会使大豆产量降低。不同灌水处理中 W2N1 产量最高,显著高于 W0、W1 灌水处理产量,处理间差异达显著水平,表明在本试验条件下提高灌水量可有效增加大豆产量。两年试验数据表明灌水量 W2(3 000 m³·hm⁻²)和施氮 N1(60 kg·hm⁻²)的肥水协同供给可充分发挥大豆产量潜力。

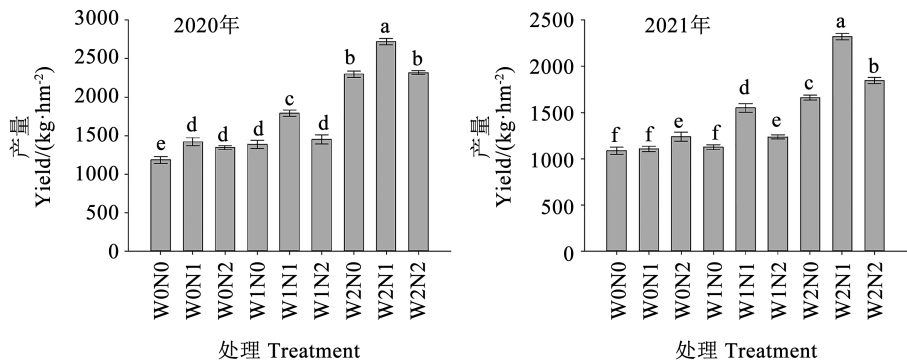


图6 高蛋白大豆产量对肥水协同供给的响应

Fig.6 Response of high protein soybean yield to the collaborative supply of fertilizer and water

3 讨论

3.1 高蛋白大豆干物质累积对不同肥水供给的响应

干物质是大豆光合积累物质在植株内的具体体现,也是光合产物积累的最高表现形式,其在作物体内的累积规律以及在器官内分配特点直接决定了大豆最终产量的建成^[15]。前人研究表明,施氮和灌水量的多少显著影响干物质累积量,增施氮肥可显著增加干物质的累积,但随氮肥用量的提高氮肥的增产效果反而降低,施氮过量又造成环境污染^[9]。而冯淑梅^[5]研究认为大豆干物质的累积氮肥效应大于水分。本研究表明 W0 自然降水条件下,施氮量(N1)能够促进干物质的累积,过多施氮(N2)反而限制了干物质累积,随灌水量的增加干物质累积量基本呈逐渐增加的趋势,在同一灌水量条件下,施氮量 N1 有利于大豆干物质累积,肥水协同可减少氮施用量,可实现以水促肥的目标,这与 Taylor 等^[16]结果一致。本研究也表明同一施氮条件下,随灌水的增加干物质累积量基本呈现逐渐升高趋势,灌水充足有利于大豆干物质的累积,可实现以水调肥的目标,与卢晓鹏^[6]、赵恩龙等^[17]研究结论相同,与张永强等^[18]干物质累积量随滴灌量的提高呈现先升后下降的结果不一致,差异原因可能与其试验环境降雨量、土壤特性、日照时数以及试验用灌水量差异所致,还需进一步研究探讨。

3.2 高蛋白大豆干物质分配对不同肥水供给的响应

有研究表明^[19]干物质的累积是极其复杂的过程,其累积量以及在大豆籽粒内的分配量是大豆产

量形成的关键,干物质在生育前期积累不足或过多都会影响大豆籽粒运转。本研究表明大豆鼓粒期茎、叶、豆荚干物质的分配受水肥影响显著,干物质累积基本呈现出豆荚>茎>叶的变化趋势。不同灌水处理 N1 可显著提高大豆干物质向豆荚内转运,降低茎、叶干物质占比,而高氮阻碍了茎、叶、豆荚干物质的形成。不同施氮处理豆荚干物质分配量随灌水量的增加而增加,灌水处理豆荚干物质分配量较高,进一步说明水分对大豆生长发育起关键性作用。适宜的灌水量和施氮量增加大豆干物质向豆荚内比配置,减少茎、叶的干物质比配置。这与冯淑梅^[6]研究结论类似,合理肥水供给有助大豆干物质积累向豆荚内转运。

3.3 高蛋白大豆氮素累积对不同肥水供给的响应

作物的养分积累与其干物质质量积累密切相关,养分的积累是其干物质质量积累的重要基础,也是其产量建成的物质来源。有文献报道,大豆植株的吸氮量随施氮量的提高而增加,同一灌水量条件下肥水互作呈现协同促进效应,同一施氮量条件下提高灌水量大豆植株的吸氮量均有提升^[20]。本研究表明在自然降水条件下,大豆氮素累积量随施氮量的增加而提高,在 W1、W2 灌水量条件下,大豆氮素累积量随施氮量的增加呈先增加后降低趋势;在同一施氮条件下,大豆氮素累积量随灌水量的增加多呈现增加趋势。不灌水条件下提高施氮量有益于大豆氮素的累积,灌水条件下过量施氮则降低大豆氮素累积,不同施氮条件下增加灌水量有助于提高大豆氮素累积量,这与人^[6]有关大豆氮素累积量随灌水与施肥量的提高而呈现增加趋势的研究结论相近。

3.4 高蛋白大豆氮素利用对不同肥水供给的响应

刘新永等^[21] 研究认为氮、水存在显著耦合效率,提高灌水量,氮素利用的效率也提高,而灌水过多则使氮素利用效率降低。本研究表明肥水协同供给对氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥农学效率和氮肥偏生产力的响应均达显著水平,不同灌水量条件下,提高施氮量反而降低了氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥农学效率和氮肥偏生产力,不同施氮量条件下,随灌水量的增加氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥农学效率和氮肥偏生产力多呈增加趋势,前人的研究^[6] 也印证了氮、水协同供给对氮素利用变化的影响。因此,生产中适当降低施肥量,根据土壤持水量,调整施氮用量,可以兼顾产量和肥水肥料利用的协同效应关系。

3.5 高蛋白大豆品质对不同肥水供给的响应

大豆品质主要受遗传基因控制,施肥、水分等环境因子对品质也产生一定影响^[22]。本研究表明不同肥水供给处理蛋白质与脂肪含量均产生一定变化,同一灌水量条件下蛋白质含量随氮肥的增加呈升高趋势,而脂肪含量随氮肥的增加呈下降趋势,同一施氮量条件下蛋白质含量随灌水量的增加呈下降趋势,水分充足蛋白质含量下降,而高氮肥能够起到水分调节功能,增施氮肥脂肪含量虽有所降低,可以通过调节水分减少对脂肪含量的影响程度,这与裴宇峰^[11] 的研究结果类似,郝利^[22] 也认为施肥、灌水可提高大豆蛋白质与脂肪含量,与灌水量达极显著相关关系,而与施肥相关未达显著水平。

3.6 高蛋白大豆产量对不同肥水供给的响应

肥和水是大豆生产过程中两个主要限制因素,二者互作对产量具有显著影响^[4]。前人研究^[5] 表明土壤肥力较低时施肥增产效应显著;肥水不足时灌水也可提高产量,施肥增产效应高于水分增产效应,肥水对产量具有一定耦合正效应;施肥具有显著调水作用,灌水也显著具有调肥作用。裴宇峰等^[11] 研究指出水分是产量形成的重要因素,土壤持分量充足时肥水互作呈顺序加和效应,土壤持分量过量时肥水互作呈现拮抗效应,土壤水分亏缺时肥水互作呈限制效应。本研究表明不同肥水供给对大豆产量影响显著,同一灌水条件下产量随施氮量的增加基本呈现先升高后下降趋势,同一施氮量条件下产量随灌水量的增加呈现逐渐升高趋势。这与孙云岭等^[19] 和卢晓鹏^[6] 结果一致,李亚杰等^[9] 也获得相似结论。

4 结论

本研究结果表明,不同肥水供给可显著增加大豆干物质的累积,使干物质尽可能向豆荚器官转运,同一灌水量条件下,干物质积累分配量豆荚最高,干物质积累分配量呈现豆荚>茎>叶。

同一施氮条件下,随着灌水量的增加,鼓粒期干物质累积量呈逐渐升高趋势,在施氮 N1 条件下,灌水量为 W2 时,干物质累积量较自然降水 W0 和灌水量处理 W1 分别提高了 56.55% 和 11.67%;不同灌水量条件下,提高施氮量反而降低了氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥农学效率和氮肥偏生产力,不同施氮量条件下,随灌水量的增加氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥农学效率和氮肥偏生产力多呈增加趋势。同一灌水条件下蛋白质含量在不施氮时最低,脂肪含量在施氮量为 120 kg·hm⁻² 最低,产量随施氮量的增加基本呈现先升高后下降趋势,同一施氮量条件下,产量随灌水量的增加呈现逐渐升高趋势。本试验条件下,两年试验数据表明灌水量 W2(3 000 m³·hm⁻²) 和施氮 N1(60 kg·hm⁻²) 是高蛋白大豆较适宜的肥水协同供给的最佳组配模式。

参考文献

[1] 郑宇宏,李琳,孙明明,等. 高蛋白大豆新品种吉育 259 高产栽培技术研究示范[J]. 黑龙江农业科学,2022(11): 10-14. (ZHENG Y H, LI L, SUN M M, et al. Research and demonstration on high yield cultivation technology of a high protein soybean variety Jiyu 259[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2022(11): 10-14.)

[2] 申晓慧,姜成,冯鹏,等. 不同水肥措施对大豆产量及农艺性状的影响[J]. 农学学报,2014,4(1): 1-3. (SHEN X H, JIANG C, FENG P, et al. Effects of irrigation and fertilization on yield and agronomic traits of soybean[J]. Journal of Agriculture, 2014,4(1): 1-3.)

[3] 田艺心,高凤菊. 高蛋白大豆水肥耦合效应研究 - 基于均匀设计偏最小二乘回归建模分析[J]. 核农学报,2018,32(3): 561-568. (TIAN Y X, GAO F J. The water-fertilizer coupling study of high protein soybean-based on uniform design and partial least squares regression modeling[J]. Journal of Nuclear Agricultural Science, 2018,32(3): 561-568.)

[4] 冯淑梅,张忠学. 黑龙江省西部半干旱区不同水肥条件对大豆产量的影响[J]. 中国农村水利水电,2011(5): 89-90,94. (FENG S M, ZHANG Z X. Effect of different kinds of irrigation water and fertilizer on soybean yield in the western semi-arid area of Heilongjiang province[J]. China Rural Water and Hydropower, 2011(5): 89-90,94.)

[5] 冯淑梅. 黑龙江西部半干旱区大豆滴灌水肥耦合效应试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2011. (FENG S M. Study on water and fertilizer coupling pattern of drip irrigation soybean in the western semi-arid area of Heilongjiang province [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2011.)

[6] 卢晓鹏. 不同水氮处理对大豆生长、产量及水氮利用的影响 [D]. 保定: 河北农业大学, 2021. (LU X P. Effects of different water and nitrogen treatments on soybean growth, yield and water and nitrogen utilization [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2021.)

[7] 白杨, 王存国, 魏永霞, 等. 不同黑土层厚度的大豆水氮耦合效应研究[J]. 节水灌溉, 2013(12): 20-22, 32. (BAI Y, WANG C G, WEI Y X, et al. The coupling effect of water and nitrogen on soybean under different layer thickness of black soil [J]. Water Saving Irrigation, 2013(12): 20-22, 32.)

[8] 褚丽丽. 营养生长期水分胁迫和氮素对大豆干物质及产量的影响 [J]. 节水灌溉, 2016(7): 31-35. (CHU L L. Effects of water stress in vegetative growth stage and nitrogen on yield and dry matter of soybean [J]. Water Saving Irrigation, 2016(7): 31-35.)

[9] 李亚杰, 徐文修, 张娜, 等. 水氮耦合对滴灌复播大豆干物质积累氮素吸收及产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(5): 79-84, 90. (LI Y J, XU W X, ZHANG N, et al. Effects of different water nitrogen couplings on dry matter accumulation, nitrogen uptake and yield of summer soybean [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34(5): 79-84, 90.)

[10] 黄俊霞, 黄甜, 饶德民, 等. 花后水肥一体化与化控措施对大豆产量及生理特征的影响 [J]. 作物杂志, 2020(2): 82-87. (HUANG J X, HUANG T, RAO D M, Effects of water and fertilizer integration and chemical control measures after flowering on soybean yield and physiological characteristics [J]. Crops, 2020(2): 82-87.)

[11] 裴宇峰, 韩晓增, 祖伟, 等. 水氮耦合对大豆生长发育的影响 I. 水氮耦合对大豆产量和品质的影响 [J]. 大豆科学, 2005, 24(2): 106-111. (PEI Y F, HAN X Z, ZU W, et al. Effect of water and nitrogen fertilizer coupling on growth and develop of soybean I. effect of water and nitrogen fertilizer coupling on yield and quality of soybean [J]. Soybean Science, 2005, 24(2): 106-111.)

[12] 张洁, 丁志强, 李俊红, 等. 水肥对大豆叶绿素荧光动力学参数及其产量的影响 [J]. 土壤与作物, 2013, 2(3): 122-126. (ZHANG J, DING Z Q, LI J H, et al. Effect of water and fertilizer coupling on chlorophyllfluorescence characters and yield in soybean [J]. Soil and Crop, 2013, 2(3): 122-126.)

[13] 刘志强, 王建立, 赵景云, 等. 氮肥用量和种植密度对大豆产量及品质的影响 [J]. 农业工程技术, 2021, 41(32): 17, 21. (LIU Z Q, WANG J L, ZHAO J G, et al. Effects of nitrogen application rate and planting density on yield and quality of soybean [J]. Agricultural Engineering Technology, 2021, 41(32): 17, 21.)

[14] 涂心海, 牛超. 夏大豆干物质生产、光合生理特性对群体调控的反应 [J]. 陕西农业科学, 2022, 68(4): 70-75. (TU X H, NIU C. Response of dry matter production and photosynthetic physiological characteristics of summer soybean to population regulation [J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2022, 68(4): 70-75.)

[15] 李长红. 行株距对夏大豆干物质积累、光合特性及产量的影响 [J]. 山西农业科学, 2022, 50(3): 364-370. (LI C H. Effects of row and plant spacing on dry matter accumulation, photosynthetic characteristics and yield of summer soybean [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2022, 50(3): 364-370.)

[16] TAYLOR R S, WEAVER D B, WOOD C W, et al. Nitrogen application increases yield and early dry matter accumulation in late-planted soybean [J]. Crop Science, 2005, 45(3): 854-858.

[17] 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. (ZHAO E L, GE H L, GONG Z P, et al. Effect of levels of irrigation on plant height and yield in spring soybean [J]. Crops, 2014(1): 125-128.)

[18] 张永强, 张娜, 李亚杰, 等. 滴灌量对北疆复播大豆耗水特性及干物质积累、转运的影响 [J]. 水土保持研究, 2016, 23(2): 111-116. (ZHANG Y Q, ZHANG N, LI Y J, et al. Effect of drip irrigation amount on water consumption characteristics and dry matter accumulation and transformation of summer soybean in north Xinjiang [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(2): 111-116.)

[19] 蔡柏岩, 祖伟, 葛菁萍. 磷素水平对不同基因型大豆干物质积累与分配的影响 [J]. 大豆科学, 2004, 23(4): 274-280. (CAI B Y, ZU W, GE J P. Influence on phosphorus amount to dry matter accumulation and distribution of different soybean cultivars [J]. Soybean Science, 2004, 23(4): 274-280.)

[20] 孙云岭, 杨树青, 刘德平, 等. 水肥互作对大豆产量及氮肥利用的影响 [J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(10): 81-86. (SUN Y L, YANG S Q, LIU D P, et al. Impact of water-fertilizer interaction on yield and nitrogen use efficiency of soya bean [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(10): 81-86.)

[21] 刘新永, 田长彦. 棉花膜下滴灌水氮耦合效应研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2): 286-291. (LIU X Y, TIAN C Y. Coupling effect of water and nitrogen of cotton under plastic mulching by drip irrigation [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2007, 13(2): 286-291.)

[22] 郝利. 嫩江地区水肥耦合效应对大豆产质量的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2001. (HAO L. The influence of coupling effect between water and fertilizer yield and quality of soybean in Nenjiang zone [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2001.)