

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2024.09.001

邓磊, 张瑞丰, 傅健, 等. 不同生长调节剂、播期对间作大豆物质转化及品质的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(9): 2-18.

不同生长调节剂、播期对间作大豆物质转化及品质的影响

邓磊¹, 张瑞丰¹, 傅健¹, 刘卓¹, 柳宁¹,
易泽林¹, 朱世国², 方立魁³, 易靖³

1. 西南大学 农学与生物科技学院, 重庆 400715; 2. 重庆市种子站, 重庆 401121;

3. 重庆市农业技术推广总站, 重庆 401121

摘要: 大豆是重要的粮食作物和经济作物, 富含多种营养物质, 用途广泛. 随着大豆—玉米带状复合种植技术在重庆地区的推广, 适宜当地间作大豆品种的播期、生长调节剂种类及浓度需要进一步筛选. 以大豆—玉米带状复合种植模式为基础, 大豆选用耐荫抗倒品种‘渝豆 11’, 玉米选用半紧凑型品种‘成单 30’, 试验采取两因素裂区设计, 主区为播期(A), A1: 大豆、玉米同时播种, A2: 大豆较玉米晚播 14 d; 副区为 9 种不同种类及浓度的植物生长调节剂(B). 分别于 2022 年春季和 2023 年春季在重庆市歇马科研基地进行试验, 研究在大豆—玉米带状间作模式下不同播期及生长调节剂对间作大豆品质、叶片酶活性、物质转化效率的影响, 结果表明: ① 播期及植物生长调节剂对间作大豆品质具有显著影响. 大豆粗蛋白、粗脂肪含量播期 I (A1) > 播期 II (A2). A2B4 处理下的粗脂肪含量最高, A1B5 处理下的粗蛋白含量最高; ② 播期及植物生长调节剂对间作大豆叶片酶和光合指标有显著影响. 整体上 POD 活性 A2 > A1, SOD 活性 A1 > A2, NR 活性两个播期间无显著影响. 盛英期和鼓粒期播期 I 中, 施用 25 mg/L 6-BA 叶片 POD 活性、60 mg/L DTA-6 处理 SOD 活性、20 mg/L 6-BA 叶片 NR 活性分别达到最高. 2022 年和 2023 年在盛英期、鼓粒期平均净光合速率、气孔导度播期 I 显著高于播期 II, 而胞间 CO₂ 浓度、大豆平均蒸腾速率、SPAD 值, A1 与 A2 接近. 播期 I 中净光合速率 DTA-6 > S3307 > 6-BA 处理, 播期 II 中 DTA-6, 6-BA, S3307 处理下的净光合速率相近, 在盛英期和鼓粒期, 播期 I 下 60 mg/L DTA-6 的净光合速率、40 mg/L S3307 的气孔导度、75 mg/L DTA-6 胞间 CO₂ 浓度、50 mg/L S3307 蒸腾速率、60 mg/L DTA-6 处理的 SPAD 值最大; ③ 播期及植物生长调节剂对间作大豆物质转化效率具有显著影响. 植株氮(磷)含量及氮(磷)转化效率 A1 > A2, 盛花期播期 I 下施用 50 mg/L S3307 植株氮含量、25 mg/L 6-BA 植株磷含量最大. 成熟期播期 I 20 mg/L 6-BA 处理下大豆植株含氮(磷)量最大. 播期 I 中施用 50 mg/L DTA-6 植株氮转移效率最高, 播期 II 中施用 25 mg/L 6-BA 植株磷转移效率最高.

综上所述, 在大豆—玉米带状间作模式下, 晚播大豆叶片酶活性、光合效率降低, 且氮(磷)转化效率降低. DTA-6 和 6-BA 能一定程度上提高氮(磷)转化效率, 6-BA 相较其他生长调节剂更有利于成熟期氮(磷)含量的积累, 而在 R1(初花期)喷施 DTA-6 的品质均优于 S3307 和 6-BA.

收稿日期: 2024-05-20

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31971984); 重庆市科企联合体物质资源收集利用与品种试验项目(canvnew-ka1htxm); 重庆市玉米产业技术体系项目(CQMAITS2302).

作者简介: 邓磊, 硕士研究生, 主要从事大豆栽培制度研究.

通信作者: 易泽林, 教授, 硕士研究生导师.

关键词: 大豆玉米间作; 播期; 生长调节剂; 品质

中图分类号: S565.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2024)09-0002-17

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The Effects of Different Growth Regulators and Sowing Date on Substance Conversion, Yield and Quality of Intercropping Soybean

DENG Lei¹, ZHANG Ruifeng¹, FU Jian¹, LIU Zhuo¹,
LIU Ning¹, YI Zelin¹, ZHU Shiguo², FANG Likui³, YI Jing³

1. College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Seed Station, Chongqing 401121, China;

3. Chongqing Municipal Agricultural Technology Extension Station, Chongqing 401121, China

Abstract: Soybean is an important food crop and cash crop, rich in a variety of nutrients and widely used. With the popularization of soybean-maize strip compound planting technology in Chongqing, the sowing date, growth regulator type and concentration suitable for local intercropping soybean varieties need to be further screened. In this study, based on the soybean-maize strip intercropping mode, the shade-resistant soybean variety Yudou 11, and the semi-compact maize variety Chengdan 30 were selected for test. The trial adopted a two-factor split-plot design. The main plot was the sowing date (A), A1: soybean and maize were sown at the same time, and A2: soybean was sown 14 days later than maize; the sub-plot was 9 types of plant growth regulators (B) in different concentrations. The experiment was conducted in Xie-ma Research Base, Chongqing in spring of 2022 and 2023, respectively. The effects of different sowing date and growth regulators on the quality of soybean, leaf enzyme activity and substance conversion efficiency under soybean-maize strip intercropping mode were studied. The results are as follows: ① Sowing date and plant growth regulators had a significant impact on the soybean quality. Soybean crude protein and crude fat contents were generally presented as A1>A2. The highest crude fat content and crude protein content was observed under A2B4 treatment and A1B5 treatment, respectively. ② Sowing date and plant growth regulators affected the leaf enzymes and photosynthetic indexes. Overall, POD activity of A2>A1, SOD activity of A1>A2, and NR activity were not different between the two seeding dates. The highest activity of NR, POD and SOD was observed in the leaves treated with 20 mg/L 6-BA, 25 mg/L 6-BA and 60 mg/L DTA-6, respectively. In 2022 and 2023, the average net photosynthetic rate and stomatal conductivity under A1 were significantly higher than those under A2, while the intercellular carbon dioxide concentration, average soybean transpiration rate, SPAD value of A1 were close to A2. The changes of net photosynthetic rate under A1 with different plant growth regulator treatments was in the order of DTA-6>S3307>6-BA, but no significant differences under A2. During full pod and seed filling stages, net photosynthetic rate under 60 mg/L DTA-6 treatment, stomatal conductance under 40 mg/L S3307 treatment, intercellular carbon dioxide concentration under 75 mg/L DTA-6 treatment, transpiration rate under 50 mg/L S3307 treatment, and SPAD value under 60 mg/L DTA-6 treatment reached its peak, respectively. ③ Sowing date and plant growth regulators had a significant impact on the conversion efficiency of intercropping soybean substances. The nitrogen (phosphorus) content and nitrogen (phosphorus) transformation efficiency of the plants were A1>A2, and the nitrogen content of 50 mg/L S3307 plants

and phosphorus content of 25 mg/L 6-BA plants was the highest during the flowering period, respectively. Soybean plants contained the highest level of nitrogen (phosphorus) under 20 mg/L 6-BA treatment. The highest nitrogen and phosphorus transfer efficiency was achieved under A1 with 50 mg/L DTA-6 and 25 mg/L 6-BA treatment, respectively.

In conclusion, under the soybean-maize strip intercropping mode, leaf enzyme activity, photosynthetic efficiency and nitrogen (phosphorus) conversion efficiency of late sowing soybeans were reduced. DTA-6 and 6-BA can improve the conversion efficiency of nitrogen (phosphorus) to some extent, 6-BA could promote the accumulation of nitrogen (phosphorus), and application of DTA-6 in R1 (early flowering stage) had better effect on quality than that of S3307 and 6-BA.

Key words: soybean-maize intercropping; sowing date; growth regulator; quality

大豆起源于中国,是豆中之王,在我国已有 4 000 多年的栽培利用史,亦广泛种植于世界各地.大豆种植是我国农业重要的组成部分^[1],是中国粮油^[2]的重要来源之一,也是畜禽养殖用蛋白粕的主要原料.大豆具备食用价值和保健价值,富含多种对人体有益的营养物质,其中蛋白质约占 40%,是唯一包含所有人体必需氨基酸且含量达到人体需求的植物蛋白^[3].

播期作为大豆种植的重要栽培因素,与光、热、水等生态环境密切相关.已有研究表明,播期不同,大豆生态环境不同,会直接影响大豆生长发育、干物质积累、籽粒品质等^[4].杜佳兴等^[5]研究发现,播期显著影响大豆蛋白质含量、脂肪含量,4 个高蛋白大豆品种在各播期蛋白质含量均值变化范围为 39.14%~45.26%,最大变化幅度为 15.64%;脂肪含量均值变化范围为 18.82%~20.30%,最大变化幅度为 7.86%.玉米大豆同时播种时,可提高大豆开花后作物生长率,增加单株干物质积累量,提高籽粒分配率和产量^[6].随着播期延迟,小粒大豆的蛋白质、蛋脂和粗脂肪含量均有所下降^[7].

6-苄基腺嘌呤(6-BA)是世界上第一个人工合成的细胞分裂素类化合物,是一种高效能植物生长调节剂,可促进植物细胞生长,抑制植物叶绿素的降解,有效提高光合作用及产量^[8-9].胺鲜酯(DTA-6)又称 2-N,全称为 N-二乙氨基乙基己酸酯,是一种新型高效的生长调节剂,能促进细胞分裂和伸长,提高硝酸还原酶(NR)活性以及 POD, SOD 活性^[10-11],促进光合作用,提高碳水化合物的代谢和积累,提高产量和籽粒品质.烯效唑(S3307)是一种典型的生长延缓剂,能改善大豆株型,延长叶片功能期,具有控制营养生长、抑制细胞伸长、缩短节间、矮化植株、增进抗逆性的作用.研究表明,烯效唑能够改善抗氧化系统的运行,提高 SOD, POD 活性,促使植株内源激素变化来调节自身平衡以应对低温胁迫,提高大豆的产量和品质^[12].

为解决大豆、玉米争地矛盾,确保粮食安全,实现大豆和玉米自给,杨文钰等^[13]提出大豆—玉米带状复合种植技术.西南地区的主推模式是大豆—玉米带状间作模式,不过由于西南地区不同产区气候差异较大,不同生长调节剂种类及浓度、播期对不同大豆品种的影响也各不相同,从而导致了田间表现差异较大.另外,推荐用量的生长调节剂浓度范围太大,不能达到适宜效果.为得到主推大豆品种更精准的配套化控制措施,针对重庆市气候、土壤和种植模式,设置不同播期,探究在间作模式下,缩短大豆与玉米共生期对大豆生长发育的影响,同时设置不同植物生长调剂种类及浓度,探究其对间作大豆物质转化和品质的影响,进而为重庆地区推广大豆玉米带状间作模式及提高该模式下大豆产量提供一定的理论支撑和现实指导.

1 材料与方法

1.1 试验基本情况

1.1.1 试验地概况

试验于 2022 年和 2023 年春季在重庆市歇马科研基地(106°36'E, 29°39'N)进行.平均海拔 350 m,年平均温度 18.4 °C,年降雨量 1 191.1 mm,属亚热带季风性气候.试验地土壤为黏壤土,试验地土壤概况如表 1 所示.

表 1 试验地两年的土壤概况

年份	pH 值	有机质/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg · kg ⁻¹)
2022	5.56	7.48	95.46	53.21	40.39
2023	5.78	8.06	98.35	58.15	45.28

1.1.2 试验材料

本试验选用的大豆品种为‘渝豆 11’,属南方春大豆早熟品种,株高适中、株型半开张、抗倒伏,为西南地区大豆—玉米带状间作主推大豆品种,由重庆市农业科学院提供;玉米品种为‘成单 30’,属春玉米中晚熟品种,株型半紧凑、株高适中,适宜密植和机械化收割,为西南地区大豆—玉米带状间作主推玉米品种,由重庆市农业技术推广总站提供.

1.1.3 试验设计

本试验采取双因素裂区设计,主区为播期(A),即玉米固定播期,大豆分两个播期,副区为不同种类及质量浓度的植物生长调节剂(B). A 因素为播期,每隔 14 d 播种 1 次, A1: 大豆、玉米同时播种, A2: 大豆较玉米晚播 14 d; B 因素为 3 种植物生长调节剂(其中每种植物生长调节剂设 3 个质量浓度), 喷施时期均为 R1 期(初花期), B1 为 6BA: 15 mg/L, B2 为 6BA: 20 mg/L, B3 为 6BA: 25 mg/L; B4 为 DTA-6: 45 mg/L, B5 为 DTA-6: 60 mg/L, B6 为 DTA-6: 75 mg/L; B7 为 S3307: 40 mg/L, B8 为 S3307: 50 mg/L, B9 为 S3307: 60 mg/L, 兑水量为 450 kg/hm², 喷施等量清水作为对照(B10), 共计 20 个处理, 设 3 个重复, 共计 60 个小区.

采用带状复合种植间作模式(大豆、玉米行比为 4 : 2, 窄行 40 cm, 宽行 230 cm). 以 2 行玉米间作 4 行大豆为一个小区, 玉米与大豆行距 70 cm, 大豆带行距 30 cm、株距 20 cm, 大豆每窝留苗 2 株, 种植密度为 147 000 株/hm²; 玉米带行距 40 cm、株距 28 cm, 玉米每窝留苗 2 株, 种植密度为 60 000 株/hm², 每个小区面积 10.8 m². 试验小区种植是南北走向, 按照大豆玉米自西向东依次排列, 保障大豆光照充足. 玉米每公顷施用 750.0 kg 高氮缓控释肥 N-P₂O₅-K₂O(28-6-6), 大豆每公顷施用 298.5 kg 低氮缓控释肥 N-P₂O₅-K₂O(15-15-15), 施肥一次. 田间管理按《重庆市农业农村委员会办公室关于印发 2022 年大豆玉米带状复合种植实施方案的通知》(渝农办发〔2022〕11 号)文件内容执行.

1.2 取样、测定项目和方法

1.2.1 大豆品质的测定

待田间大豆超过 80% 以上成熟, 每个小区取 10 株长势一致且直立的植株, 收获其籽粒用于品质测定.

1) 籽粒粗蛋白含量测定: 称取 0.500 0 g 籽粒粉样放入 25 mL 消化管中, 加入 2 g(硫酸钾 : 硫酸铜 = 10 : 1)混合催化剂和 10 mL 浓硫酸, 将其摇匀后, 使用海能 SH420F 型石墨消解仪(山东)消煮. 采用两段式加热, 先将温度调到 220 ℃加热 20 min, 再将温度调到 420 ℃加热 60 min, 消煮液变为青绿色即可. 待冷却后转移至 50 mL 容量瓶中, 蒸馏水定容, 最后用 K1100F 型全自动凯氏定氮仪测定.

2) 籽粒粗脂肪含量测定: 参照古争艳^[14]的方法, 结合索氏抽提法, 蒸发去除烧瓶中溶剂、干燥烧瓶中油脂, 称质量以计算大豆籽粒粗脂肪含量.

1.2.2 叶片酶的测定

在 R4(盛荚期)、R6(鼓粒期)选取 3 株田间长势一致、无病害大豆的倒数第三片叶, 放于试管后迅速放置液氮中保存, 后置于 -80 ℃冰箱冷藏备用. SOD 活性检测采用总超氧化物歧化酶(T-SOD)测试盒, POD 活性检测采用过氧化物酶(POD)测试盒, NR 活性检测采用硝酸还原酶测定试剂盒, 上述试剂盒均购自江苏博深生物科技有限公司. 试验过程严格按照检测试剂盒说明书操作.

1.2.3 光合指标的测定

分别在大豆的 R4(盛荚期)、R6(鼓粒期)选一晴天, 于早上 9 : 30—11 : 30, 在每个小区随机选取 5 株长势一致且未倒伏的植株.

1) 光合测定: 用 LI-COR 品牌 LI-6400XT 型便携式光合仪(美国)测定大豆倒数第三片功能叶的净光

合速率(P_n)、胞间 CO_2 含量(C_i)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(Tr).

2) 叶绿素含量测定: 利用 SPAD 仪测定.

1.2.4 植株氮、磷含量及转移效率的测定

1) 全氮含量测定: 使用海能 SH420F 型石墨消解仪(山东)对样品进行消解后, 再用海能 K1100F 型全自动凯氏定氮仪(山东)进行全氮含量测定.

2) 植株全磷含量的测定: 用海能 SH420F 型石墨消解仪(山东)对样品进行消解后, 吸取 1 mL 的样品液于 50 mL 的容量瓶中, 向其加入 2 滴二硝基酚指示剂, 再加入 4 mol/L 的碳酸钠溶液, 直至样液变成淡黄色, 加入 1 mL 的钼锑抗显色剂, 最后用纯水定容, 将其摇匀, 静置 30 min, 在 700 nm 下比色.

$$V_{\text{氮(磷)转移效率}(\%)} = \frac{R_{2\text{氮(磷)含量}} - R_{8\text{氮(磷)含量}}}{R_{2\text{氮(磷)含量}}} \times 100$$

1.3 数据分析

用 Excel 2019 对数据进行初步整理、汇总及作图, 通过 DPS 7.05 和 SPSS 25.0 进行进一步数据分析, 用 R 和 Qorigin 2021 作图, 利用 LSD 法进行显著性分析, 并利用典型相关法进行相关性分析.

2 结果与分析

2.1 播期及植物生长调节剂对间作大豆品质的影响

由表 2 和表 3 可知, 2022 年和 2023 年大豆粗脂肪、粗蛋白含量 $A1 > A2$, 但 $A1$ 与 $A2$ 差异无统计学意义. 在同一播期下, 不同植物生长调节剂对大豆粗脂肪、粗蛋白含量差异有统计学意义, 其中 B8 处理粗脂肪含量最大, 其次为 B4 处理, 而播期及植物生长调节剂互作处理中 $A2B4$, $A2B8$ 处理的粗脂肪含量最高, 其两年平均含量较对照分别增长 9.68%, 7.17%, 在播期 II 下施用 45 mg/L DTA-6, 50 mg/L S3307 都能在一定程度上提高粗脂肪的含量; 而对于粗蛋白含量, B8 处理最高, 其次为 B5 处理. 在所有的处理中, $A1B5$, $A1B8$ 处理的粗蛋白含量最高, 其两年平均含量较对照分别增长 10.15%, 8.43%, 在播期 I 下施用 60 mg/L DTA-6, 50 mg/L S3307 都能在一定程度上提高粗脂肪的含量.

表 2 播期及植物生长调节剂对大豆籽粒粗蛋白和粗脂肪的影响(2022 年) %

处理			处理		
粗脂肪		粗蛋白	粗脂肪		粗蛋白
A1B1	18.12±0.74bcd	40.48±1.65cd	A2B1	18.86±0.77abcd	40.21±1.64cd
A1B2	19.25±0.79abc	41.33±1.69abcd	A2B2	19.07±0.78abcd	41.56±1.70abcd
A1B3	18.71±0.76abcd	40.84±1.67bcd	A2B3	17.98±0.73cd	40.98±1.67bcd
A1B4	18.72±0.76abcd	42.37±1.73abcd	A2B4	20.03±0.82a	42.79±1.75abcd
A1B5	19.58±0.80ab	44.68±1.82a	A2B5	19.14±0.78abcd	42.58±1.74abcd
A1B6	19.04±0.78abcd	43.19±1.76abc	A2B6	18.89±0.77abcd	41.4±1.69abcd
A1B7	19.52±0.80abc	42.97±1.75abcd	A2B7	19.31±0.79abc	41.14±1.68bcd
A1B8	19.78±0.81a	44.19±1.80ab	A2B8	19.87±0.81a	43.15±1.76abc
A1B9	19.14±0.78abcd	43.37±1.77abc	A2B9	18.85±0.77abcd	40.78±1.66bcd
A1B10	18.7±0.76abcd	40.12±1.64cd	A2B10	17.62±0.72d	39.67±1.62d

注: A1B1, A1B2, A1B3 表示播期 I 中 15, 20, 25 mg/L 的 6-BA 处理; A1B4, A1B5, A1B6 表示播期 I 中 45, 60, 75 mg/L 的 DTA-6 处理; A1B7, A1B8, A1B9 表示播期 I 中 40, 50, 60 mg/L 的 S3307 处理; A1B10 表示播期 I 中 等量清水处理; A2B1, A2B2, A2B3 表示播期 II 中 15, 20, 25 mg/L 的 6-BA 处理; A2B4, A2B5, A2B6 表示播期 II 中 45, 60, 75 mg/L 的 DTA-6 处理; A2B7, A2B8, A2B9 表示播期 II 中 40, 50, 60 mg/L 的 S3307 处理; A2B10 表示大豆—玉米间作下播期 II 中 等量清水处理. 表中数据为 3 次重复的平均值±标准误差, 同列不同小写字母表示同一性状不同处理间在 $p < 0.05$ 水平差异有统计学意义, 下同.

表 3 播期及植物生长调节剂对大豆籽粒粗蛋白和粗脂肪的影响(2023 年)

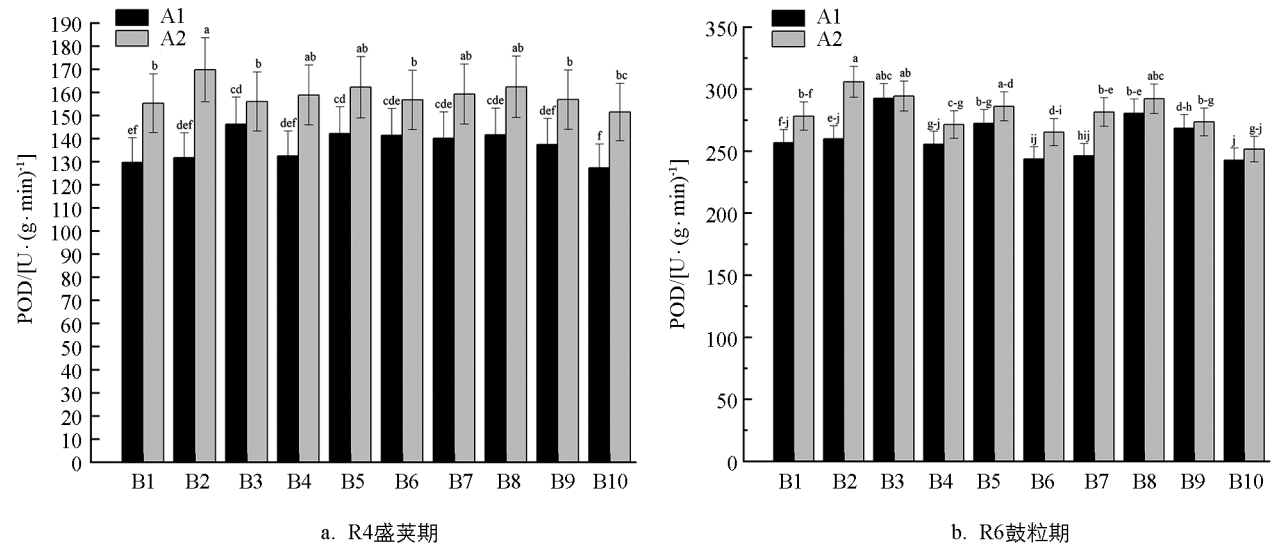
%

处理			处理		
粗脂肪		粗蛋白	粗脂肪		粗蛋白
A1B1	19.75±0.81bc	43.15±1.76abcde	A2B1	19.83±0.81bc	41.08±1.68de
A1B2	20.91±0.85abc	43.54±1.78abcde	A2B2	20.46±0.84abc	42.25±1.73bcde
A1B3	20.25±0.83abc	43.18±1.76abcde	A2B3	19.51±0.80c	41.71±1.70cde
A1B4	20.87±0.85abc	45.55±1.86ab	A2B4	21.64±0.88a	43.42±1.77abcde
A1B5	20.31±0.83abc	46.24±1.89a	A2B5	20.47±0.84abc	44.21±1.81abcd
A1B6	19.85±0.81bc	43.4±1.77abcde	A2B6	19.37±0.79c	43.1±1.76abcde
A1B7	19.73±0.81bc	44.71±1.83abc	A2B7	19.29±0.79c	43.85±1.79abcde
A1B8	21.39±0.87ab	45.31±1.85ab	A2B8	20.87±0.85abc	45.75±1.87ab
A1B9	20.57±0.84abc	44.32±1.81abcd	A2B9	19.85±0.81bc	43.52±1.78abcde
A1B10	19.54±0.80c	42.42±1.73bcde	A2B10	20.37±0.83abc	40.35±1.65e

2.2 播期及植物生长调节剂对大豆叶片酶的影响

2.2.1 播期及植物生长调节剂对大豆叶片 POD 活性的影响

由图 1 可知,随着生育期推进,大豆叶片 POD 活性降低,鼓粒期大豆叶片 POD 活性较盛荚期升高.在盛荚期、鼓粒期叶片 POD 活性整体上 A2>A1,且差异有统计学意义;在盛荚期,播期 I 中 6-BA, S3307, DTA-6 处理下的 POD 活性相近,播期 II 中则是 6-BA>S3307>DTA-6 处理;在鼓粒期,播期 I 和播期 II 中 6-BA>S3307>DTA-6 处理.在播期 I 中,盛荚期大豆叶片 POD 活性最大为 A1B3 处理,较对照增加 14.91%,鼓粒期叶片 POD 活性最大为 A1B3 处理,较对照增加 17.47%.在播期 II 中,盛荚期大豆叶片 POD 活性最大为 A2B2 处理,较对照增加 12.12%,鼓粒期叶片 POD 活性最大为 A2B2,较对照增加 21.58%.播期及植物生长调节剂互作处理中,播期 I 中施用 25 mg/L 6-BA、播期 II 中施用 20 mg/L 6-BA 均能提高大豆叶片 POD 活性.



R4 表示盛荚期; R6 表示鼓粒期; A1 表示播期 I (大豆玉米同期播种); A2 表示播期 II (大豆较玉米晚播); B1, B2, B3 表示播期中 15, 20, 25 mg/L 的 6-BA 处理; B4, B5, B6 表示播期中 45, 60, 75 mg/L 的 DTA-6 处理; B7, B8, B9 表示播期中 40, 50, 60 mg/L 的 S3307 处理; B10 表示播期中等量清水处理; 图中数据为 3 次重复的平均值±标准误差, 不同小写字母表示同一性状不同处理间在 $p<0.05$ 水平差异有统计学意义, 下同.

图 1 播期及植物生长调节剂对大豆 POD 活性的影响

2.2.2 播期及植物生长调节剂对大豆叶片 SOD 活性的影响

由图 2 可知,随着生育期推进,大豆叶片 SOD 活性升高,鼓粒期大豆叶片 SOD 活性较盛荚期升高. 在盛荚期叶片 SOD 活性整体上 A1>A2,且差异有统计学意义,在鼓粒期,叶片 SOD 活性整体上 A1 与 A2 接近. 在盛荚期,播期 I 和播期 II 中的叶片 SOD 活性为 DTA-6>S3307>6-BA 处理;在鼓粒期,播期 I 中 DTA-6>6-BA>S3307 处理,播期 II 中则为 DTA-6>S3307>6-BA 处理. 在播期 I 中,盛荚期大豆叶片 SOD 活性最大为 A1B5 处理,较对照增加 12.16%,鼓粒期叶片 SOD 活性最大为 A1B5 处理,较对照增加 13.35%. 在播期 II 中,盛荚期大豆叶片 SOD 活性最大为 A2B5 处理,较对照增加 16.27%,鼓粒期叶片 SOD 活性最大为 A2B5,较对照增加 13.08%. 播期及植物生长调节剂互作处理中,播期 I 中施用 60 mg/L DTA-6、播期 II 中施用 60 mg/L DTA-6 均能提高大豆叶片 SOD 活性.

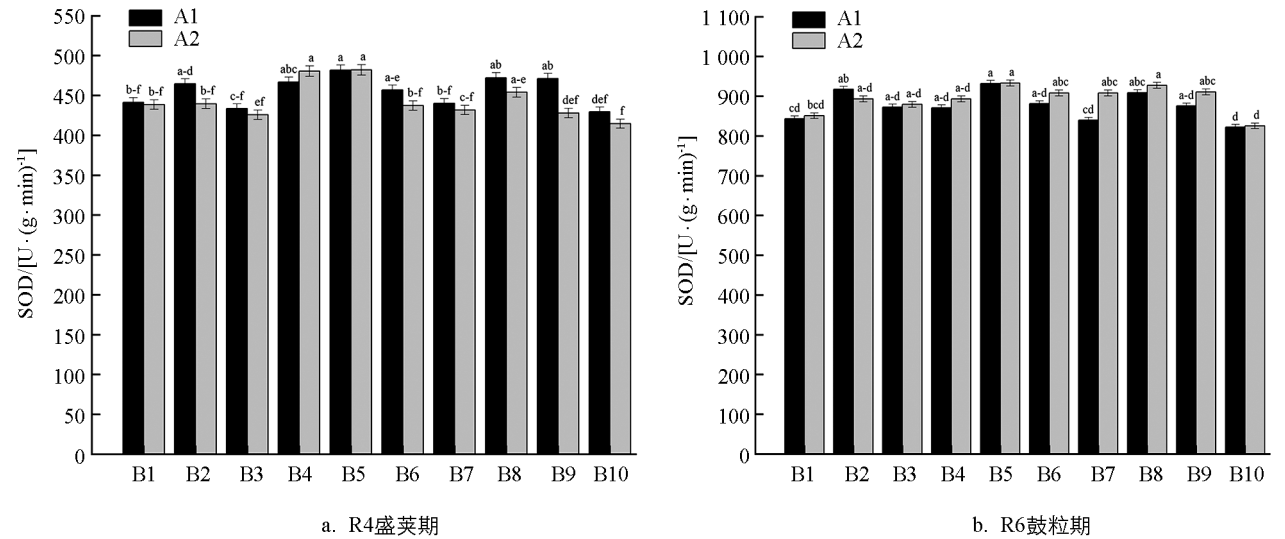


图 2 播期及植物生长调节剂对大豆 SOD 活性的影响

2.2.3 播期及植物生长调节剂对大豆叶片 NR 活性的影响

由图 3 可知,随着生育期推进,大豆叶片 NR 活性升高,鼓粒期大豆叶片 NR 活性较盛荚期升高. 在盛荚期、鼓粒期叶片 NR 活性整体上 A1 与 A2 接近;在盛荚期,播期 I 中 NR 活性 DTA-6>S3307>6-BA 处理,播期 II 中 6-BA, S3307, DTA-6 处理下的 SOD 活性相近;在鼓粒期,播期 I 中 DTA-6>6-BA>S3307 处理,播期 II 中 6-BA, S3307, DTA-6 处理下的 SOD 活性相近. 在播期 I 中,盛荚期大豆叶片 NR 活性最大为 A1B5 处理,较对照增加 12.85%,鼓粒期叶片 NR 活性最大为 A1B5 处理,较对照增加 9.50%. 在播期 II 中,盛荚期大豆叶片 NR 活性最大为 A2B5 处理,较对照增加 14.21%,鼓粒期叶片 NR 活性最大为 A2B5,较对照增加 15.02%. 播期及植物生长调节剂互作处理中,播期 I 中施用 60 mg/L、播期 II 中施用 60 mg/L DTA-6 均能提高大豆叶片 NR 活性.

2.3 播期及植物生长调节剂对大豆光合指标的影响

2.3.1 播期及植物生长调节剂对大豆叶片净光合速率 Pn 的影响

由图 4 可知,随着生育期推进,鼓粒期大豆净光合速率较盛荚期降低. 2022 年和 2023 年在盛花期、盛荚期大豆平均净光合速率 A1>A2,且差异有统计学意义. 在盛荚期、鼓粒期两年的平均净光合速率,播期 I 中 DTA-6>S3307>6-BA 处理,播期 II 中 DTA-6, 6-BA, S3307 处理下相近. 在播期 I 中,盛荚期大豆植株净光合速率最大为 A1B5 处理,较对照增加 31.73%,鼓粒期大豆净光合速率最大为 A1B7,较对照增加 25.78%. 在播期 II 中,盛荚期大豆植株净光合速率最大为 A2B4 处理,较对照增加 37.93%,鼓粒期大豆净光合速率最大为 A2B7,较对照增加 20.91%. 播期及植物生长调节剂互作处理中,播期 I 中 60 mg/L DTA-6、播期 II 中 45 mg/L DTA-6 均能提高大豆净光合速率.

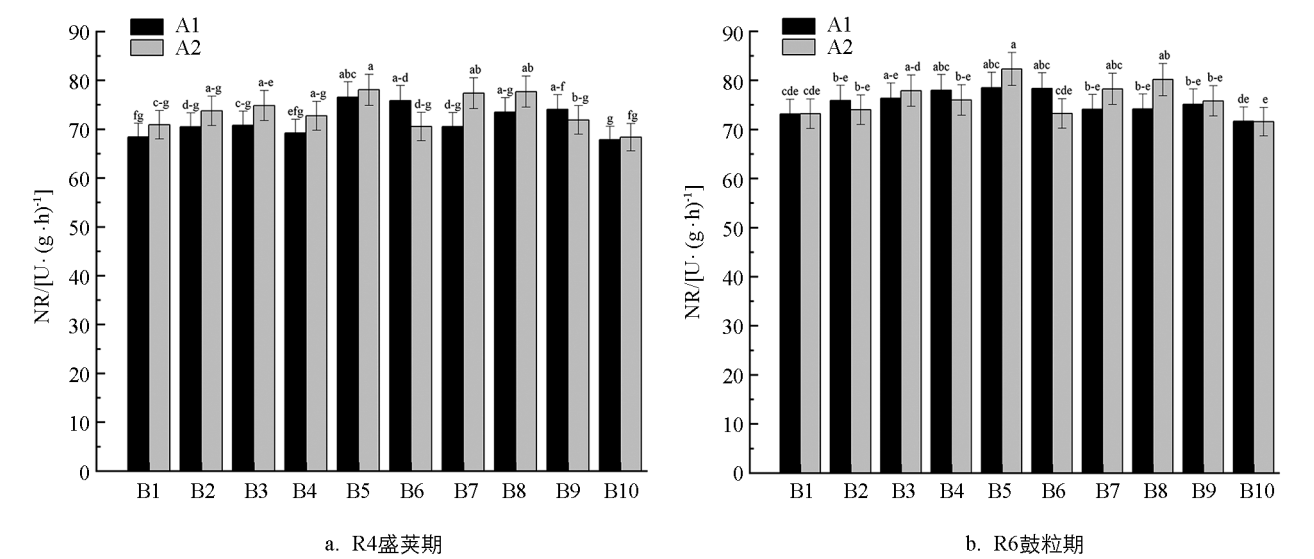


图 3 播期及植物生长调节剂对大豆 NR 活性的影响

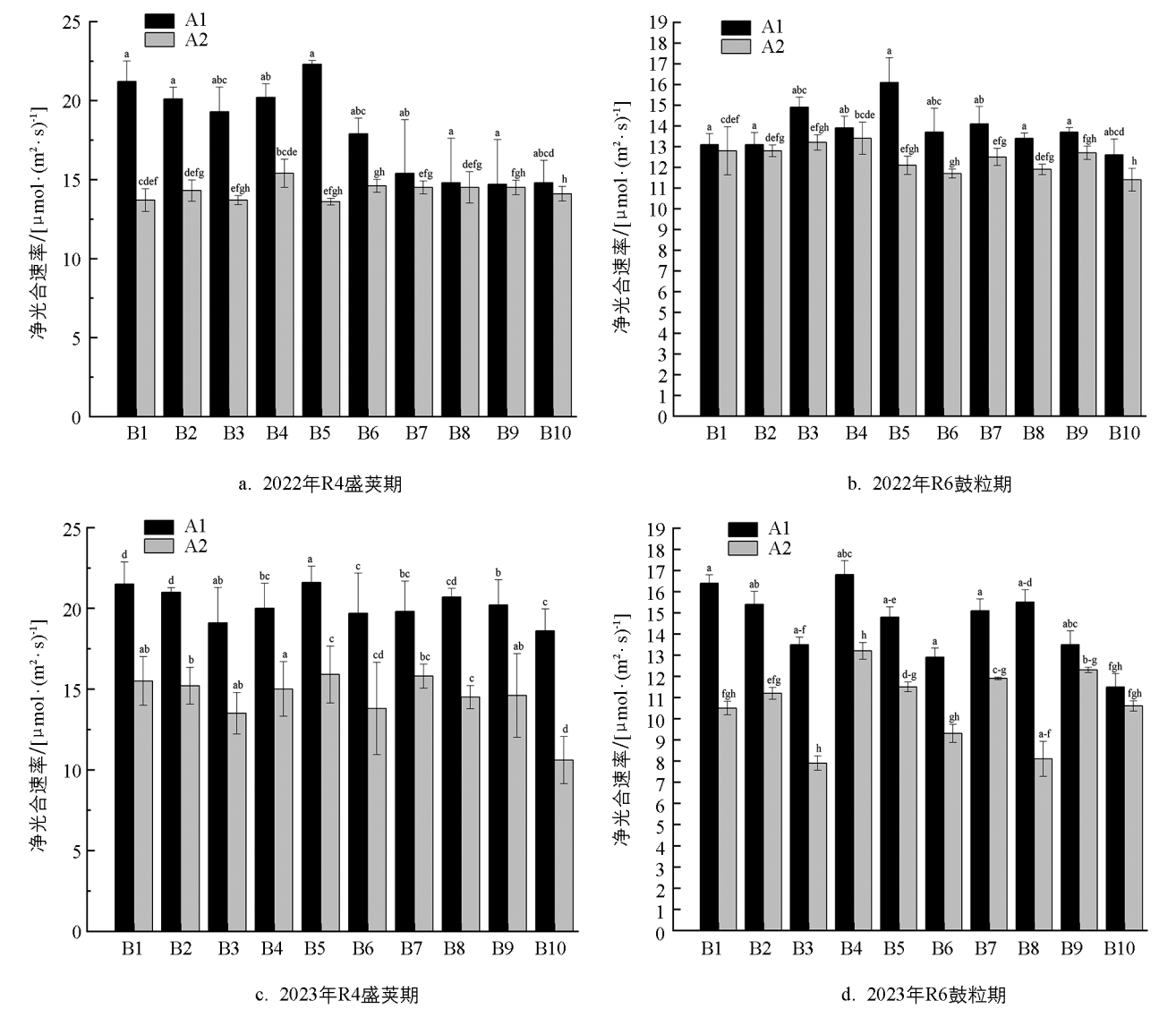


图 4 播期及植物生长调节剂对大豆叶片净光合速率 P_n 的影响

2.3.2 播期及植物生长调节剂对大豆叶片气孔导度 G_s 的影响

由图 5 可知,随着生育期推进,大豆气孔导度升高,鼓粒期大豆气孔导度较盛荚期降低. 2022 年和 2023 年在盛花期、盛荚期大豆平均气孔导度 $A1>A2$, 且差异有统计学意义. 在盛荚期两年的平均气孔导度,播期 I 中 $S3307>6\text{-BA}>DTA\text{-}6$ 处理,播期 II 中 $6\text{-BA}>DTA\text{-}6>S3307$ 处理;在鼓粒期,播期 I 中 6-BA, DTA-6, S3307 三者处理下的气孔导度接近. 在播期 I 中,盛荚期大豆植株气孔导度最大为 A17 处理,较对照增加 12.34%,鼓粒期大豆气孔导度最大为 A1B8,较对照增加 50.94%. 在播期 II 中,盛荚期大豆植株气孔导度最大为 A2B1 处理,较对照增加 33.33%,鼓粒期大豆气孔导度最大为 A2B8,较对照增加 21.15%. 播期及植物生长调节剂互作处理中,播期 I 中施用 40 mg/L S3307、播期 II 中施用 50 mg/L S3307 均能提高大豆气孔导度.

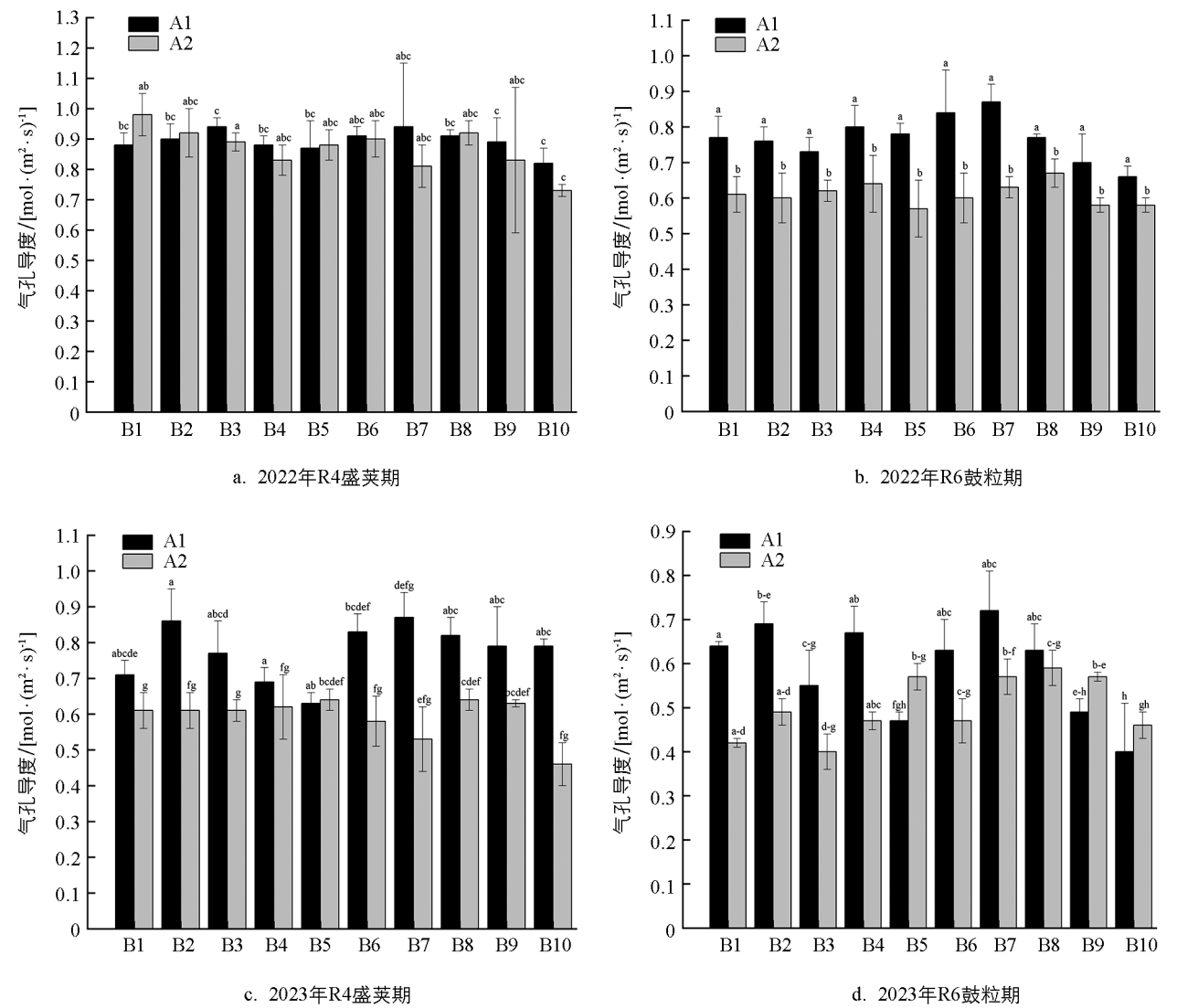


图 5 播期及植物生长调节剂对大豆叶片气孔导度 G_s 的影响

2.3.3 播期及植物生长调节剂对大豆叶片胞间 CO_2 浓度 C_i 的影响

由图 6 可知,随着生育期推进,大豆胞间 CO_2 浓度升高,鼓粒期大豆胞间 CO_2 浓度较盛荚期升高. 2022 年和 2023 年在盛花期、盛荚期大豆平均胞间 CO_2 浓度 A1 与 A2 差异无统计学意义. 在盛荚期两年的平均胞间 CO_2 浓度,播期 I 和播期 II 中均为 $DTA\text{-}6>S3307>6\text{-BA}$ 处理;在鼓粒期,播期 I 和播期 II 中

DTA-6>6-BA>S3307. 在播期 I 中, 盛荚期大豆植株胞间 CO₂ 浓度最大为 A1B8 处理, 较对照增加 7.06%, 鼓粒期大豆胞间 CO₂ 浓度最大为 A1B6, 较对照增加 5.81%. 在播期 II 中, 盛荚期大豆植株胞间 CO₂ 浓度最大为 A2B5 处理, 较对照增加 5.21%, 鼓粒期大豆胞间 CO₂ 浓度最大为 A2B6, 较对照增加 3.72%. 播期及植物生长调节剂互作处理中, 播期 I 中施用 75 mg/L DTA-6、播期 II 中施用 60 mg/L DTA-6 均能提高大豆胞间 CO₂ 浓度.

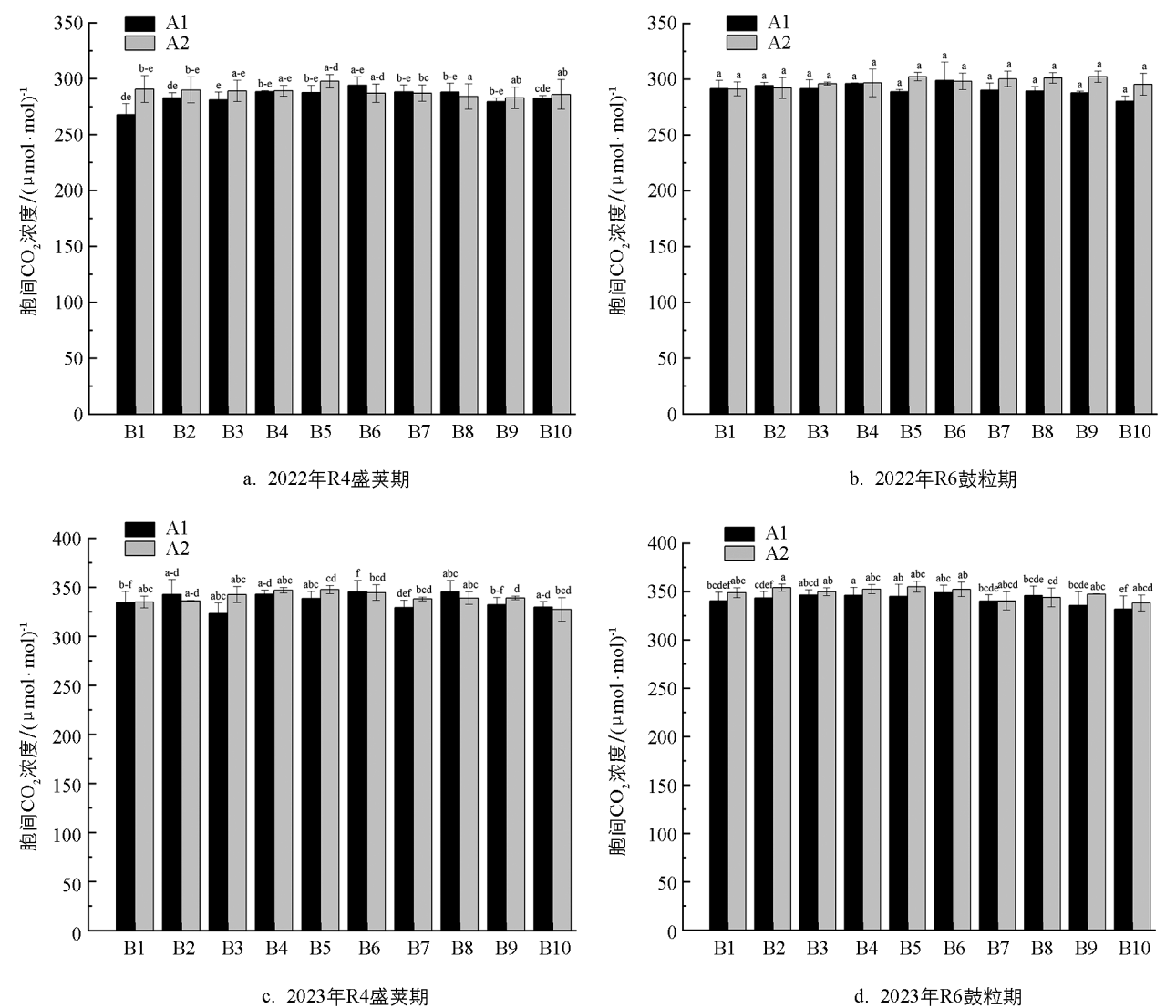


图 6 播期及植物生长调节剂对大豆叶片胞间 CO₂ 浓度 *C_i* 的影响

2.3.4 播期及植物生长调节剂对大豆叶片蒸腾速率 *Tr* 的影响

由图 7 可知, 随着生育期推进, 大豆蒸腾速率升高, 鼓粒期大豆蒸腾速率较盛荚期升高. 2022 年和 2023 年在盛花期、盛荚期大豆平均蒸腾速率 A1 与 A2 差异无统计学意义. 在盛荚期、鼓粒期两年的平均蒸腾速率, 播期 I 和播期 II 中均为 S3307>DTA-6>6-BA 处理. 在播期 I 中, 盛荚期大豆植株蒸腾速率最大为 A1B8 处理, 较对照增加 12.53%, 鼓粒期大豆蒸腾速率最大为 A1B8, 较对照增加 15.66%. 在播期 II 中, 盛荚期大豆植株蒸腾速率最大为 A2B8 处理, 较对照增加 20.34%, 鼓粒期大豆蒸腾速率最大为 A2B8, 较对照增加 31.71%. 播期及植物生长调节剂互作处理中, 播期 I 中施用 50 mg/L S3307、播期 II 中施用 60 mg/L DTA-6 均能提高大豆蒸腾速率.

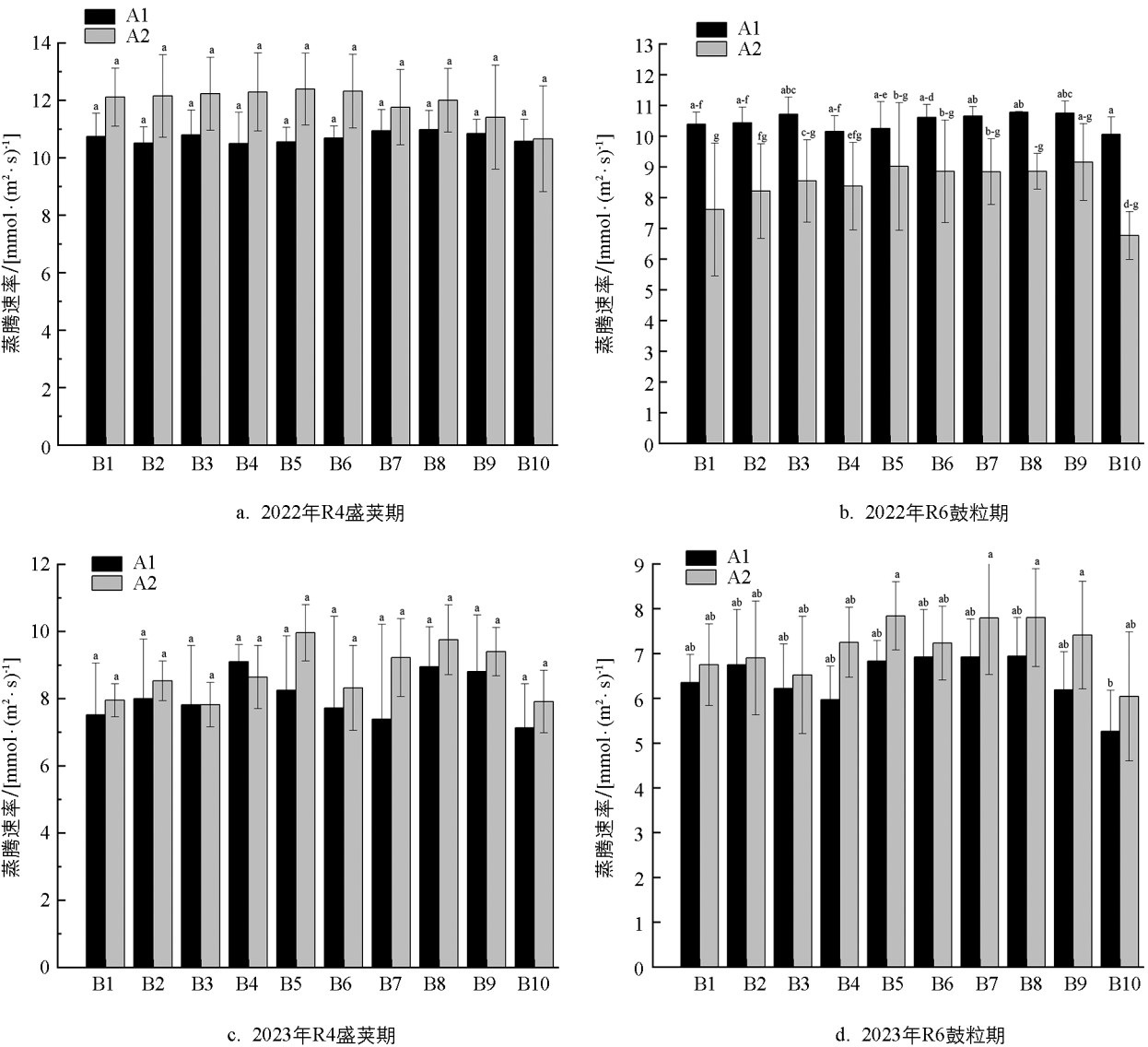


图 7 播期及植物生长调节剂对大豆叶片蒸腾速率 Tr 的影响

2.3.5 播期及植物生长调节剂对大豆叶片 SPAD 值的影响

由图 8 可知,随着生育期推进,鼓粒期大豆 SPAD 值较盛荚期降低. 2022 年和 2023 年在盛花期、盛荚期大豆平均 SPAD 值 A1 与 A2 差异无统计学意义. 在盛荚期两年的平均 SPAD 值,播期 I 和播期 II 中均为 DTA-6>S3307>6-BA 处理;在鼓粒期,播期 I 和播期 II 中均为 DTA-6>6-BA>S3307 处理. 在播期 I 中,盛荚期大豆植株 SPAD 值最大为 A1B8 处理,其次为 A1B5 处理,较对照分别增加 10.19%, 7.81%, 鼓粒期大豆 SPAD 值最大为 A1B6,较对照增加 8.52%. 在播期 II 中,盛荚期大豆植株 SPAD 值最大为 A2B6 处理,较对照增加 7.83%,鼓粒期大豆 SPAD 值最大为 A2B6 处理,较对照增加 6.54%. 播期及植物生长调节剂互作处理中,播期 I 中施用 60 mg/L DTA-6、播期 II 中施用 75 mg/L DTA-6 均能提高大豆 SPAD 值.

2.4 播期及植物生长调节剂对大豆植株氮、磷含量及转移效率的影响

2.4.1 播期及植物生长调节剂对大豆植株氮含量的影响

由表 4 可知,随着生育期推进,大豆植株氮含量降低,成熟期大豆植株氮含量较盛花期降低. 在盛花期植株氮含量整体上 A1>A2,成熟期植株氮含量整体上 A1 与 A2 接近;在盛花期植株的氮含量,播期 I 中 S3307>DTA-6>6-BA 处理,播期 II 中 6-BA>DTA-6>S3307 处理;在成熟期,播期 I 中 DTA-6>

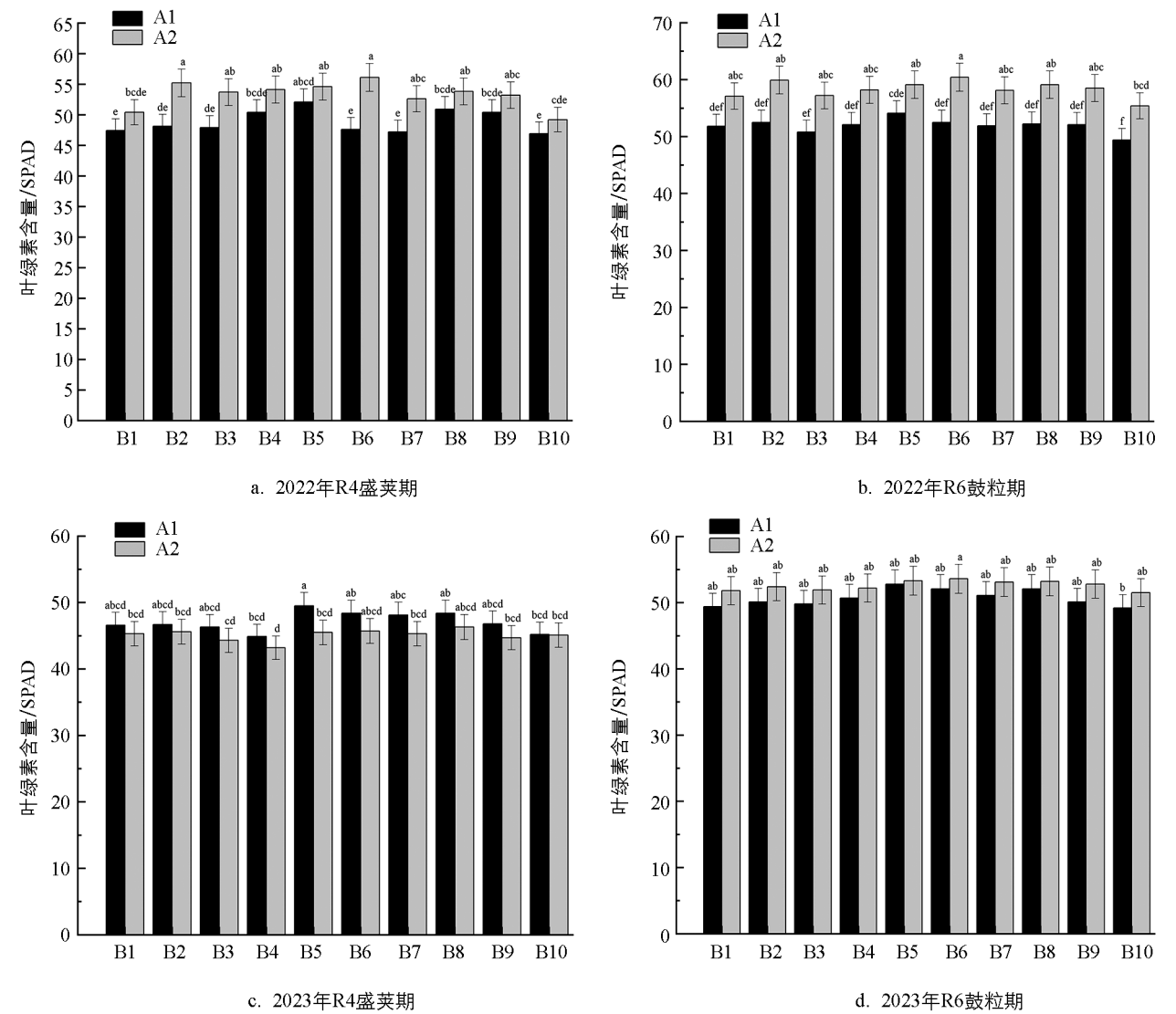


图 8 播期及植物生长调节剂对大豆叶片 SPAD 值的影响

6-BA>S3307 处理,播期Ⅱ中 6-BA>DTA-6>S3307 处理. 在播期Ⅰ中,盛花期大豆植株氮含量最大为 A1B8 处理,较对照增加 6.35%,成熟期植株氮含量最大为 A1B6 处理,较对照增加 19.81%. 在播期Ⅱ中,盛花期大豆植株氮含量最大为 A2B2 处理,较对照增加 46.89%,成熟期植株氮含量最大为 A2B2,较对照增加 10.56%. 播期及植物生长调节剂互作处理中,播期Ⅰ中施用 50 mg/L S3307、播期Ⅱ中施用 20 mg/L 6-BA、播期Ⅰ和播期Ⅱ中施用 20 mg/L 6-BA 均能提高大豆植株氮含量.

表 4 播期及植物生长调节剂对大豆植株氮含量的影响 %

处理	2022 年		2023 年	
	盛花期	成熟期	盛花期	成熟期
A1B1	1.91±0.13abcde	0.78±0.13cd	2.66±0.16ab	2.66±0.16ab
A1B2	2.14±0.1ab	1.21±0.06a	2.56±0.11bcd	2.56±0.11bcd
A1B3	1.98±0.14abcde	0.98±0.13abcd	2.36±0.07cdef	2.36±0.07cdef
A1B4	2.02±0.1abcd	0.94±0.01abcd	2.22±0.03efg	2.22±0.03efg
A1B5	2.06±0.12abcd	1.11±0.17abc	2.61±0.16bc	2.61±0.16bc
A1B6	2.04±0.08abcd	1.14±0.03ab	2.76±0.19ab	2.76±0.19ab

续表 4

处理	2022 年		2023 年	
	盛花期	成熟期	盛花期	成熟期
A1B7	2.31±0.21a	0.97±0.08abcd	2.31±0.04defg	2.31±0.04defg
A1B8	2.28±0.13a	0.91±0.06abcd	2.72±0.12ab	2.72±0.12ab
A1B9	2.11±0.19abc	0.91±0.14abcd	2.82±0.02ab	2.82±0.02ab
A1B10	1.82±0.04abcde	0.86±0.16bcd	2.91±0.09a	2.91±0.09a
A2B1	1.62±0.41def	0.87±0.07abcd	2.05±0.25gh	2.05±0.25gh
A2B2	1.87±0.01abcde	1.11±0.19abc	2.38±0.01cde	2.38±0.01cde
A2B3	1.75±0.2bcdef	0.77±0.11cd	2.23±0.21efg	2.23±0.21efg
A2B4	1.72±0.43bcdef	0.85±0.1bcd	2.25±0.04efg	2.25±0.04efg
A2B5	1.85±0.17abcde	0.98±0.01abcd	2.35±0.17cdef	2.35±0.17cdef
A2B6	1.32±0.37f	0.86±0.12bcd	1.67±0.16ij	1.67±0.16ij
A2B7	1.53±0.53ef	0.85±0.13bcd	1.94±0.16hi	1.94±0.16hi
A2B8	1.66±0.65cdef	0.91±0.07abcd	2.11±0.18fgh	2.11±0.18fgh
A2B9	1.51±0.46ef	0.88±0.08abcd	1.91±0.15hi	1.91±0.15hi
A2B10	1.27±0.31f	0.76±0.09d	1.61±0.08j	1.61±0.08j

2.4.2 播期及植物生长调节剂对大豆植株磷含量的影响

由表 5 可知,随着生育期推进,大豆植株磷含量降低,成熟期大豆植株磷含量较盛花期降低.在盛花期平均植株磷含量整体上 A1>A2,且差异有统计学意义;成熟期植株磷含量整体上 A1 与 A2 相近.在盛花期植株的磷含量,播期 I 中 S3307,DTA-6,6-BA 处理接近,播期 II 中 6-BA>DTA-6>S3307 处理;在成熟期,播期 I 中 S3307>6-BADT>A-6 处理,播期 II 中 6-BA>S3307>DTA-6 处理.在播期 I 中,盛花期大豆植株磷含量最大为 A1B3 处理,较对照增加 20.25%,成熟期植株磷含量最大为 A1B7 处理,较对照增加 21.19%.在播期 II 中,盛花期大豆植株磷含量最大为 A2B2 处理,较对照增加 41.27%,成熟期植株磷含量最大为 A2B2,较对照增加 58.82%.播期及植物生长调节剂互作处理中,盛花期播期 I 中施用 25 mg/L 6-BA、播期 II 中施用 40 mg/L S3307、成熟期播期 I 和播期 II 中施用 20 mg/L 6-BA 均能提高大豆植株磷含量.

表 5 播期及植物生长调节剂对大豆植株磷含量的影响

mg/g

处理	2022 年		2023 年	
	盛花期	成熟期	盛花期	成熟期
A1B1	0.48±0.01abcd	0.36±0.03defg	0.35±0.02cde	0.32±0.04abc
A1B2	0.51±0.05ab	0.39±0.06abcde	0.38±0.03abcde	0.31±0.03abc
A1B3	0.53±0.03a	0.42±0.02abcd	0.36±0.01bcde	0.31±0.04abc
A1B4	0.51±0.03ab	0.36±0.04efg	0.39±0.02abcd	0.28±0.02c
A1B5	0.51±0.04ab	0.36±0.04efg	0.38±0.02abcde	0.32±0.05abc
A1B6	0.49±0.04abc	0.41±0.03abcde	0.37±0.02bcde	0.27±0.04cd
A1B7	0.49±0.03ab	0.4±0.02abcde	0.37±0.04abcde	0.33±0.03abc
A1B8	0.51±0.01ab	0.38±0.07bcdef	0.37±0.01abcde	0.33±0.02abc
A1B9	0.48±0.01abcd	0.38±0.03bcdef	0.36±0.02bcde	0.32±0.04abc
A1B10	0.47±0.02bcde	0.32±0.01fg	0.34±0.02e	0.28±0.02c
A2B1	0.42±0.01efg	0.43±0.04abcd	0.38±0.02abcde	0.33±0.02abc

续表 5

处理	2022 年		2023 年	
	盛花期	成熟期	盛花期	成熟期
A2B2	0.44±0.02cdefg	0.45±0ab	0.41±0.02a	0.36±0.01a
A2B3	0.47±0.04bcdef	0.38±0.02cdef	0.39±0.01abc	0.33±0.01abc
A2B4	0.43±0cdefg	0.45±0.02a	0.35±0.01de	0.3±0.01bc
A2B5	0.43±0.04defg	0.44±0.04abc	0.4±0.01ab	0.32±0.02abc
A2B6	0.41±0.01g	0.39±0.05abcde	0.36±0.01bcde	0.35±0.03ab
A2B7	0.44±0.03cdefg	0.43±0.01abc	0.36±0.02bcde	0.3±0.02abc
A2B8	0.42±0.01efg	0.42±0.01abcde	0.37±0.03abcde	0.33±0.03abc
A2B9	0.42±0.03fg	0.4±0.01abcde	0.37±0.03abcde	0.31±0.03abc
A2B10	0.33±0.02h	0.3±0.02g	0.26±0.02f	0.22±0.01d

2.4.3 播期及植物生长调节剂对大豆植株氮转移效率的影响

由表 6 可知，两年平均植株氮转移效率整体上 A1>A2；播期Ⅰ中植株氮转移效率为 S3307>DTA-6>6-BA 处理，播期Ⅱ中 6-BA>S3307>DTA-6 处理。在播期Ⅰ中，盛荚期大豆植株氮转移效率最高为 A1B9 处理，较对照提高 6.81%，在播期Ⅱ中，盛荚期大豆植株氮转移效率最高为 A2B3 处理，较对照提高 28.84%。播期及植物生长调节剂互作处理中，播期Ⅰ中施用 60 mg/L S3307，播期Ⅱ中施用 25 mg/L 6-BA、施用 60 mg/L DTA-6 均能提高大豆植株氮转移效率。

表 6 播期及植物生长调节剂对大豆氮(磷)转移效率的影响 %

处理	植株氮转移效率		植株磷转移效率	
	2022 年	2023 年	2022 年	2023 年
A1B1	58.53±7.19a	54.07±4.33abcd	24.67±1.41bc	12.67±0.6ij
A1B2	50.17±4.76abcd	46.01±3.68bcdef	27.33±2.74ab	23.33±2.63de
A1B3	43.47±3.84cdef	42.47±3.4def	30.01±0.69a	26.67±4.13cd
A1B4	53.41±2.14abc	42.27±3.38def	26.67±1.19abc	11.01±1.51ij
A1B5	46.03±6.52bcde	54.03±4.32abcd	23.11±0.86cd	19.33±3.37fg
A1B6	43.41±4.6cdef	56.07±4.48ab	24.33±1.92bc	31.02±1.93ab
A1B7	57.57±4.7a	46.37±3.71bcdef	24.67±3.69bc	12.33±1.37ij
A1B8	58.83±5.67a	55.83±4.47abc	27.01±1.83ab	17.33±1.14gh
A1B9	56.83±4.11ab	65.87±5.27a	24.33±2.44bc	14.33±0.47hi
A1B10	52.27±7.92abc	56.81±4.55ab	26.67±2.63abc	12.33±1.82ij
A2B1	40.97±3.41defg	37.17±2.98efg	10.33±0.85hi	23.33±2.57de
A2B2	43.97±4.5cde	41.01±3.28ef	15.67±1.11fg	20.67±2.8efg
A2B3	56.01±0.93ab	47.87±3.83bcde	7.33±1.4i	12.33±0.19ij
A2B4	48.71±10.37abcd	34.67±2.77fg	19.67±1.66de	34.11±1.68a
A2B5	48.27±4.32abcd	43.63±3.49cdef	12.33±1.56gh	26.33±1.34cd
A2B6	32.03±3.06g	26.51±2.12g	7.67±0.69i	10.01±1.64j
A2B7	39.11±5.12defg	28.51±2.28g	17.33±2.3ef	30.11±0.64bc
A2B8	32.43±6.56fg	37.13±2.97efg	12.11±0.99gh	21.13±2.54efg
A2B9	36.63±6.99efg	34.21±2.74fg	10.01±2.2hi	21.33±0.72ef
A2B10	39.07±6.67defg	7.07±0.57h	17.01±1.02ef	26.33±1.5cd

2.4.4 播期及植物生长调节剂对大豆植株磷转移效率的影响

由表 6 可知, 两年平均植株磷转移效率整体上 $A1 > A2$; 播期 I 中植株磷转移效率为 $6-BA > DTA-6 > S3307$ 处理, 播期 II 中 $S3307 > DTA-6 > 6-BA$ 处理. 在播期 I 中, 盛荚期大豆植株磷转移效率最高为 $A1B3$ 处理, 较对照增加 8.84%, 在播期 II 中, 盛荚期大豆植株磷转移效率最高为 $A2B4$ 处理, 较对照增加 5.22%. 播期及植物生长调节剂互作处理中, 播期 I 中施用 25 mg/L 6-BA、播期 II 中施用 45 mg/L DTA-6 均能提高大豆植株磷转移效率.

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 播期及植物生长调节剂对大豆品质的影响

前人不同播期对大豆品质影响的研究结果表明, 大豆籽粒蛋白质含量随播期的推迟而升高, 脂肪含量随播期的推迟而降低^[15-16]. 而本试验结果表明, 大豆粗蛋白、粗脂肪含量 $A1 > A2$, 这可能是地域差异所导致的, 故根据当地环境条件调整合适播期是生产的关键. 郑殿峰等^[17]在 R1(初花期)叶面喷施 20 mg/L, 维持了大豆籽粒中蛋白质含量稳定, 但极显著提高了大豆籽粒中的脂肪含量. 而本试验表明在 20 mg/L 的 6-BA 处理下, 大豆籽粒粗蛋白和粗脂肪有所提升, 但差异无统计学意义, 这可能与 6-BA 调控了大豆叶片中氮代谢相关生理指标有关. 同时, 本试验结果表明间作大豆在 R1(初花期)喷施 50 mg/L S3307 处理下大豆粗脂肪、粗蛋白含量最高. 而闫艳红等^[18]研究得出在大豆分枝期喷施 75 mg/kg 烯效唑最有利于蛋白质和粗脂肪的积累, 这可能是由喷施时期的差异而造成. 因此在不同时期喷施烯效唑的效果不同, 在合适的时期喷施适宜浓度的生长调节剂有助于提高大豆的品质性状.

3.1.2 播期及植物生长调节剂对大豆叶片酶及光合指标的影响

间作大豆在生长阶段通过增加光捕获来抵抗玉米遮阴的抑制, 但最终大豆生物量仍低于单作, 因为光能利用效率降低. 杨东清等^[19]研究发现对小麦喷施外源 6-BA 显著提高了 NR 活性, 改善了叶片氮素同化能力和光能捕获、传递转化能力, 使叶片积累较多的光合产物, 从而提高地上部植株干质量, 最终提高了籽粒产量; 袁晓婷等^[20]研究发现 S3307 和 DTA-6 处理提高了带状间作大豆主茎和分枝叶片 SPAD 值、净光合速率、气孔导度和蒸腾速率, 且大豆的叶面积指数、干物质积累量和群体产量显著高于对照; 在大豆叶片上施用 DTA-6 增加了内源激素(玉米素核糖苷、赤霉素和吲哚乙酸)水平, 从而增加了 PEPCase 和 Rubisco(关键光合酶)的活性, 提高了光合速率, 促进了生物量积累, 从而提高了籽粒产量^[21]. 吴奇峰等^[22]研究认为鼓粒期所积累的氮素的多少决定了后期籽粒产量的高低. 本试验结果表明, 2022 年和 2023 年在盛荚期、鼓粒期平均净光合速率、气孔导度含量播期 I 显著高于播期 II, 而胞间 CO_2 浓度、大豆平均蒸腾速率、SPAD 值, $A1$ 与 $A2$ 接近, 差异无统计学意义. 播期 I 中 $DTA-6 > S3307 > 6-BA$ 处理, 播期 II 中 $DTA-6$, 6-BA, S3307 处理下的净光合速率相近, 盛荚期和鼓粒期播期 I 中 60 mg/L DTA-6、播期 II 中 45 mg/L DTA-6 均能提高大豆净光合速率; 盛荚期和鼓粒期播期 I 中施用 40 mg/L S3307, 播期 II 中施用 50 mg/L S3307 均能提高大豆气孔导度; 盛荚期两年的平均胞间 CO_2 浓度, 播期 I 和播期 II 中均为 $DTA-6 > S3307 > 6-BA$ 处理, 盛荚期和鼓粒期播期 I 中施用 75 mg/L DTA-6、播期 II 中施用 60 mg/L DTA-6 均能提高大豆胞间 CO_2 浓度; 盛荚期和鼓粒期播期 I 中施用 50 mg/L S3307、播期 II 中施用 60 mg/L DTA-6 均能提高大豆蒸腾速率; 盛荚期和鼓粒期播期 I 中施用 60 mg/L DTA-6、播期 II 中施用 75 mg/L DTA-6 均能提高大豆 SPAD 值.

郑殿峰等^[17]研究表明, DTA-6 增加了大豆叶片中的 SOD, CAT 和 POD 活性, 降低了 MDA, 从而提高了种子产量并延缓了叶片衰老, DTA-6 和 S3307 提高了豆荚中的 POD 活性, 降低了相关影响花荚脱落酶的活性. DTA-6 提高了抗氧化防御系统的活性, 延缓了叶片衰老, 延长了大豆结荚鼓粒期, 以维

持大豆结荚鼓粒的生物量供应, 有利于生物量向籽粒的转移, 提高豆荚数、籽粒百粒质量, 保持单荚粒数的稳定性. 本研究 DTA-6 延缓叶片衰老的效果与崔洪秋等^[23]一致, DTA-6 的应用提高了 SOD, POD, NR 的活性.

3.1.3 播期及植物生长调节剂对大豆植株氮、磷含量及转移效率的影响

马念念^[24]试验表明, 大豆鼓粒期的叶片和籽粒氮(磷)转移效率与品质、产量性状存在一定的相关性. 有研究表明大豆叶片的含氮量通常很高, 在始粒期(R5)可达 5%左右, 但在初熟期(R7)可降至 1%左右, 说明大量的氮素从叶片中转移出来^[25], 可以推断叶片中的氮被转移到籽粒中, 用于蛋白质的合成. 同时也有研究发现, 磷素在大豆叶片中可以转移, 且磷素的增加有利于大豆籽粒蛋白质和脂肪含量的增加^[26], 因此, 高效的氮磷转移有利于大豆品质的提高. 本试验结果表明, 植株氮(磷)含量及氮(磷)转化效率 A1>A2. 在盛花期, 播期 I 中施用 50 mg/L S3307、播期 II 中施用 20 mg/L 6-BA 能提高大豆植株氮含量; 播期 I 中施用 25 mg/L 6-BA、播期 II 中施用 40 mg/L S3307 能提高大豆植株磷含量. 在成熟期, 播期 I 和播期 II 中施用 20 mg/L 6-BA 均能提高大豆植株含氮(磷)量. 播期 I 中施用 50 mg/L DTA-6、播期 II 中施用 25 mg/L 6-BA 均能提高大豆植株氮转移效率. 播期 I 中施用 25 mg/L 6-BA、播期 II 中施用 45 mg/L DTA-6 均能提高大豆植株磷转移效率.

3.2 结论

播期及植物生长调节剂对间作大豆品质具有显著影响. 大豆粗蛋白、粗脂肪含量 A1>A2, A2B4 处理下的粗脂肪含量最高, A1B5 处理下的粗蛋白含量最高.

播期及植物生长调节剂对间作大豆光合指标及物质转移具有显著影响. 2022 年和 2023 年盛荚期、鼓粒期平均净光合速率、气孔导度播期 I 显著高于播期 II, 而胞间 CO₂ 浓度、大豆平均蒸腾速率、SPAD 值, A1 与 A2 接近. 播期 I 中 DTA-6>S3307>6-BA 处理, 播期 II 中 DTA-6, 6-BA, S3307 处理下的净光合速率相近, 在盛荚期和鼓粒期, 播期 I 中 60 mg/L DTA-6 的净光合速率、40 mg/L S3307 的气孔导度、75 mg/L DTA-6 胞间 CO₂ 浓度、50 mg/L S3307 蒸腾速率、60 mg/L DTA-6 处理的 SPAD 值最大. 整体上 POD 活性 A2>A1, SOD 活性 A1>A2, NR 活性两个播期间无显著差异, 而植株氮(磷)含量及氮(磷)转化效率 A1>A2. 在盛荚期和鼓粒期, 播期 I 中施用 25 mg/L 6-BA 叶片 POD 活性、60 mg/L DTA-6 叶片 SOD 活性、20 mg/L 6-BA 叶片 NR 活性最高. 在盛花期, 播期 I 中施用 50 mg/L S3307 植株氮含量、25 mg/L 6-BA 植株磷含量最大. 在成熟期, 播期 I 20 mg/L 6-BA 处理下大豆植株含氮(磷)量最大. 播期 I 中施用 50 mg/L DTA-6 植株氮转移效率最大, 播期 I 中施用 25 mg/L 6-BA 植株磷转移效率最大.

综上所述, 在大豆—玉米带状间作模式下, 晚播大豆不利于大豆品质的提升, 也不利于叶片酶活性、光合效率降低和氮(磷)转化效率降低. DTA-6 和 6-BA 能一定程度上提高氮(磷)转化效率, 在 R1(初花期)喷施 DTA-6 的品质优于 S3307 和 6-BA, 而 6-BA 相较其他生长调节剂更有利于成熟期氮(磷)的积累.

参考文献:

[1] 林凤岩, 黄永娜, 褚洪俊, 等. 我国大豆蛋白加工产业现状及发展趋势 [J]. 中国油脂, 2023, 48(11): 33-37, 56.

[2] 柴冠群, 王丽, 刘桂华, 等. 基于多目标重金属元素低积累大豆品种筛选 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(9): 57-66.

[3] 郭伟, 邓虹. “麦/玉/苕+大豆”种植模式经济效益及养地效果初探 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2010, 32(5): 6-9.

[4] 田艺心, 高凤菊, 曹鹏鹏, 等. 播期对高蛋白大豆新品种(系)农艺性状、品质及产量的影响 [J]. 核农学报, 2021,

- 35(8): 1900-1907.
- [5] 杜佳兴, 刘婧琦, 盖志佳, 等. 播期对高蛋白大豆籽粒品质及产量的影响 [J]. 中国农学通报, 2019, 35(35): 31-34.
- [6] 杨燕竹, 杜青, 陈平, 等. 玉米大豆播期衔接对间作大豆干物质积累及产量的影响 [J]. 华北农学报, 2017, 32(3): 96-102.
- [7] 刘玉兰, 元明浩, 范文忠, 等. 播种期对吉林小粒大豆生育进程、产量及品质的影响 [J]. 大豆科学, 2019, 38(4): 542-547.
- [8] 王英杰, 唐才宝, 潘素君, 等. 外源 6-BA 和 BR 对不同灌溉方式下水稻光合特性及产量的影响 [J]. 分子植物育种, 2022, 20(20): 6930-6938.
- [9] YU T, XIN Y N, LIU P. Effects of 6-Benzyladenine (6-BA) on the Filling Process of Maize Grains Placed at Different Ear Positions under High Planting Density [J]. Plants, 2023, 12(20): 3590-3606.
- [10] 吴燕, 耿书德, 史长江, 等. DA-6 对滁菊幼苗生长及叶片氮代谢的影响 [J]. 核农学报, 2014, 28(12): 2283-2289.
- [11] 施美君, 刘伊芸, 周灿, 等. 胺鲜酯与氯化钙配施对烤烟育苗的影响 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(1): 31-35.
- [12] 赵海红. 大豆和绿豆对初花期低温胁迫的响应及烯效唑调控机制研究 [D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2022.
- [13] 杨文钰, 雍太文, 王小春, 等. 玉米-大豆带状复合种植技术体系创建与应用 [J]. 中国高新技术, 2020(15): 149-151.
- [14] 古争艳. 大豆粗脂肪含量检测方法研究现状及延伸探讨 [J]. 现代食品, 2022(22): 30-32, 36.
- [15] 崔晓培, 郑金焕, 胡冬梅. 播期与密度对大豆生长发育影响的研究进展 [J]. 黑龙江农业科学, 2021(9): 123-128.
- [16] 陈立君. 不同播期对大豆东农 42 产质量性状动态变化规律研究 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(3): 122-127.
- [17] 郑殿峰, 宋春艳. 植物生长调节剂对大豆氮代谢相关生理指标以及产量和品质的影响 [J]. 大豆科学, 2011, 30(1): 109-112.
- [18] 闫艳红, 杨文钰, 张静, 等. 叶面喷施烯效唑对大豆产量及品质的影响 [J]. 草业学报, 2010, 19(4): 251-254.
- [19] 杨东清, 董文华, 骆永丽, 等. 外源 6-BA 对两种氮素水平下小麦幼苗叶片光合性能及内源激素含量的影响 [J]. 中国农业科学, 2017, 50(20): 3871-3884.
- [20] 袁晓婷, 罗凯, 刘姗姗, 等. 化控对玉米带状间作大豆主茎分枝光合特性、物质积累及产量的影响 [J]. 核农学报, 2024, 38(4): 776-784.
- [21] QI R, GU W, ZHANG J, et al. Exogenous Diethyl Aminoethyl Hexanoate Enhanced Growth of Corn and Soybean Seedlings through Altered Photosynthesis and Phytohormone [J]. Australian Journal of Crop Science, 2013, 7(13): 2021-2028.
- [22] 吴奇峰, 董志新. 不同施肥及密度处理下大豆籽粒干物质积累动态及产量表现 [J]. 江苏农业科学, 2011, 39(3): 112-113.
- [23] 崔洪秋, 冯乃杰, 孙福东, 等. DTA-6 对大豆花荚脱落纤维素酶和 GmAC 基因表达的调控 [J]. 作物学报, 2016, 42(1): 51-57.
- [24] 马念念. 大豆氮磷转移效率与产量、品质性状的 QTL 共定位 [D]. 福州: 福建农林大学, 2023.
- [25] ZHAO X, ZHENG S, FATICHIN F, et al. Varietal Difference in Nitrogen Redistribution from Leaves and Its Contribution to Seed Yield in Soybean [J]. Plant Production Science, 2014, 17(1): 103-108.
- [26] 曹立为, 郭晓双, 龚振平, 等. 磷素营养变化对大豆磷素积累及产量和品质的影响 [J]. 大豆科学, 2015, 34(3): 458-462, 479.

责任编辑 包颖

崔玉洁