

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

李亚杰, 徐文修, 张娜, 苏丽丽, 张永强, 唐江华, 郝维维
(新疆农业大学, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 为探明不同水氮组合对复播大豆干物质积累、氮素吸收及产量的影响, 于 2013 年 7—10 月在新疆伊宁县进行了不同滴灌量与施氮量的裂区田间试验。滴灌量为主因子, 分设 $3\,000\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W1)、 $3\,600\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W2)、 $4\,200\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W3)、 $4\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W4) 四个灌水梯度; 施氮量为副因子, 设 $0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (N0)、 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (N1)、 $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (N2) 三个水平。结果表明: 同一施氮量条件下, 随着滴灌量的增加各施氮处理干物质积累平均速率、干物质积累持续时间及氮素吸收量基本表现为“先增后降”的趋势, 且均在 W3 处理 ($4\,200\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$) 达到最大; 在低水量 (W1) 条件下增加氮肥的投入, 有利于增加复播大豆干物质积累, 提高复播大豆氮素吸收量, 进而提高复播大豆产量, 但降低了氮素籽粒生产效率; 水分充足时适量增施氮肥能促进大豆干物质的积累, 增加植株氮素的吸收量, 增加氮素籽粒生产效率, 而过量追施氮肥, 阻碍根系吸收氮素进入植株体内, 降低氮素的利用效率, 且 W3N1 组合条件下, 干物质积累量、植株氮素吸收量、产量均达到最大, 产量达到 $3\,741.23\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 分别比低水低肥处理 (W1N0)、高水高肥处理 (W4N2) 增加了 54.30%、17.02%。

关键词: 水氮耦合; 滴灌; 复播大豆; 干物质; 氮素利用效率; 产量
中图分类号: S158.5 **文献标志码:** A

Effects of different water nitrogen couplings on dry matter accumulation, nitrogen uptake and yield of summer soybean

LI Ya-jie, XU Wen-xiu, ZHANG Na, SU Li-li, ZHANG Yong-qiang, TANG Jiang-hua, HAO Wei-wei
(College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: In order to study the effects of different water-nitrogen couplings on dry matter accumulation, nitrogen uptake and yield of summer soybean, a field experiment was conducted based on a two factors split plot experiment in Yining County from the July to October. For the split plot design, the irrigation factor was assigned to the main plot with 4 irrigation levels as $3\,000\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W1), $3\,600\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W2), $4\,200\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W3) and $4\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W4), and the nitrogen factor to the subplot with 3 nitrogen levels as $0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (N0), $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (N1) and $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (N2). The results showed that with the increase of irrigation quantity, the average increase rate of dry matter (Va), the continued days of dry matter accumulation (T) and nitrogen uptake were all presented a trend of being increased first then becoming decreased, reaching the maximum by W3. Under the condition of the nitrogen input increased at low water (W1), the dry matter accumulation, nitrogen uptake and yield were also increased while the nitrogen use efficiency became reduced. Under sufficient soil water condition, increasing the application of nitrogen elevated dry matter accumulation, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency, and excessive nitrogen was not favorable to root absorption of nitrogen, which adversely decreased the nitrogen use efficiency. In a word, the treatment of W3N1 had the highest dry matter accumulation, nitrogen uptake and yield ($3\,741.23\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 54.30% and 17.02% in yield higher than those of W1N0 and W4N2, respectively.

Keywords: water nitrogen coupling; drip irrigation; summer soybean; dry matter; nitrogen use efficiency; yield

收稿日期: 2015-07-08
基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31560372, 31260312)
作者简介: 李亚杰 (1989—), 男, 河南商丘人, 硕士研究生, 研究方向为绿洲高效农作制度。E-mail: li317592684@qq.com。
通信作者: 徐文修, E-mail: xjxwx@sina.com。

在全球气候变暖的背景下,新疆大部分地区均有不同程度的变暖趋势,尤其北疆温度增加更为明显^[1-3],20 世纪 90 年代初北疆沿天山一带的部分农区开始利用麦后剩余的热量资源,复播一些热量要求较少的白菜、绿肥和油菜等作物^[4-5]。目前,热量的持续增加使北疆麦后复播大豆和玉米的种植模式不断涌现并有不断扩大的趋势^[6],这样不仅增加复播作物与春播作物之间的争水矛盾,而且增大地力的消耗,导致农民为追求高产,大量施用化肥,不仅肥料利用效率降低,而且造成环境污染^[7-8]。如何有效的利用有限的水资源,并提高水氮利用效率,是新疆乃至我国农业生产长期需要研究解决的问题。因此,研究不同水氮耦合对复播大豆干物质积累特征及产量的影响,对于制定复播大豆高产高效的灌溉施肥制度,以及节水节肥的水肥管理有重要的理论与实际意义。

国内外就水氮耦合对植株干物质积累^[9]、产量^[10]、生理代谢^[11]以及水氮利用率^[12-13]的影响做了大量研究,从不同层面系统地揭示水氮耦合机理,以较好协同利用土壤中有效水肥资源,获得稳定的生产效应。邢英英、杜清洁、张燕等对番茄的产量、品质及水氮利用做了一定的研究,表明水肥过高或过低均会使产量和品质下降,灌水和施肥要配合合理^[14-16];裴宇峰、韩晓增等研究认为大豆在适宜土壤水分条件下,提高氮肥施用量可以提高大豆的光合效率,有利于蛋白质的合成^[10-11];龚江、谢志良等研究表明灌水量对棉花干物质的积累影响大于施氮量,水分胁迫条件下,增加氮肥的供应,氮素利用率下降^[17-18]。在水氮耦合条件下前人对春大豆的研究多在产量品质和生理特性方面,而对复播大豆干物质积累、氮素吸收的研究鲜有报道。为此,本文研究不同水肥耦合处理对复播大豆干物质积累特征、氮素吸收及产量和产量构成的影响,以期为北疆地区麦后复播大豆确定合理的滴灌施肥制度提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验于 2013 年 7—10 月在伊犁哈萨克自治州伊宁县农业科技示范园进行。该区位于天山西段,属温带大陆性半干旱气候,冬春温暖湿润,夏秋干燥较热,昼夜温差明显,日照年平均可达 2 800~3 000 h,年均降水量约 257 mm,60%~70%的降雨集中在 6—9 月份,全年无霜期 169~175 d。试验地土壤耕层 0~20 cm 平均养分含量:有机质 2.35 g·kg⁻¹,全氮 0.83 g·kg⁻¹,碱解氮 85.2 mg·kg⁻¹,速效磷 21.8 mg·kg⁻¹,速效钾 116 mg·kg⁻¹。土壤 pH 值 8.4。

1.2 试验设计

前茬作物为冬小麦,试验采用双因素裂区试验设计,设置滴灌量为主因子,共设 4 个灌水梯度:3 000 m³·hm⁻²(W1)、3 600 m³·hm⁻²(W2)、4 200 m³·hm⁻²(W3)、4 800 m³·hm⁻²(W4);施肥量(尿素用量)为副因子,均以追肥形式施入,共设 3 个施氮水平:0 kg·hm⁻²(N0)、150 kg·hm⁻²(N1)、300 kg·hm⁻²(N2),自花期开始均随着滴灌灌水器水肥一体化追施氮肥,每次 150 kg·hm⁻²尿素,N1 处理花期追施一次,N2 处理花期和结荚期各追施一次。各处理重复三次,共计 36 个小区,小区面积 18 m²(3.6 m×5 m)。大豆品种为黑河 43,种植密度 52.5 万株·hm⁻²,30 cm 等行距播种(株距 6.3 cm),每小区播种 12 行,毛管采用 1 管 2 的铺设方式,即带间距 60 cm。结合整地各处理均施尿素 75 kg·hm⁻²,每小区进水口均有水表控制进水量。各处理每次的灌水定额依次分别为 375 m³、450 m³、525 m³、600 m³,全生育期共计灌水 8 次,具体灌水方案如表 1 所示。

1.3 测试项目与方法

1.3.1 干物质的测定 自苗期开始,每隔 10 d 分别从每个小区选取大豆 5 株,各株分茎、叶、叶柄、粒、荚等器官,于 105℃杀青 30 min,80℃烘干至恒重,称干重。

表 1 不同处理各阶段的滴灌量/(m³·hm⁻²)

Table 1 The amounts of drip irrigation under different treatments at different stages

处理 Treatments	出苗水 Emergence water	苗期~开花期 Seeding~flowering	开花期~结荚期 Flowering~podding	结荚期~鼓粒期 Podding~graining	鼓粒期~成熟期 Graining~maturing	总计 Total
W1	375	750	750	750	375	3000
W2	450	900	900	900	450	3600
W3	525	1050	1050	1050	525	4200
W4	600	1200	1200	1200	600	4800

并采用 Logistic 方程对干物质积累的变化进行拟合: $Y = Y_0/[1 + e^{(A - Bt)}]$

式中:Y 为大豆出苗后 t 天干物质积累量(g·株⁻¹);t 为出苗后的天数(d);Y₀ 为单株干物质理论

最大值($\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$); A 、 B 为待定系数。由方程的一阶导数和二阶导数推导出一系列干物质积累特征参数,分别为干物质积累平均速率 V_a 、干物质积累持续时间 T 、干物质最大积累速率 V_m 及达到 V_m 的时间 T_m ,上述参数为干物质积累初级参数。干物质积累次级参数 Y_1 、 T_1 、 V_1 ; Y_2 、 T_2 、 V_2 ; Y_3 、 T_3 、 V_3 分别表示干物质积累的渐增期、快增期和缓增期 3 个阶段的干物质积累量、持续时间和平均速率。

1.3.2 植株氮素吸收量的测定 大豆成熟期,分别在每处理每重复随机选取大豆 5 株,将其茎、叶、叶柄、豆、豆荚分开,称鲜重后放入烘箱,在 105℃杀青 30 min,然后于 80℃烘至恒重,冷却后用电子天平称重。将各器官干样粉碎后,过 0.5 mm 筛,用 $\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}_2$ 消煮,消煮液用于养分测定,全氮含量用凯氏定氮仪(FOSS 2300 型)测定。

各器官氮吸收量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) = 各器官全氮含量 $\times$ 干物质质量

1.3.3 氮素籽粒生产效率

氮素籽粒生产效率($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$) = 大豆单株籽粒产量/单株植株氮吸收量

1.3.4 产量的测定 大豆成熟后实收各小区产量,同时每处理每重复各选取有代表性的点连续取植株 10 株进行考种,调查单株有效荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重。

1.4 数据分析及处理方法

采用 Microsoft Excel 作图,用 SPSS 软件统计分析试验数据。

2 结果与分析

2.1 水氮耦合对复播大豆干物质积累特征参数的影响

2.1.1 干物质积累的初级参数 对不同处理大豆地上部分干物质的积累进行 Logistic 方程模拟,其 Logistic 模型及其初级参数特征值如表 2 所示。同一施氮量条件下,随着滴灌量的增加各施氮处理干物质积累平均速率(V_a)、干物质积累持续时间(T)基本表现为“先增后降”的趋势,且均在 W3 处理($4\,200\,\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)达到最大,其中 W3 处理的 V_a 分别比 W1、W2、W4 各处理的增加 12.28%、8.47%、1.59%;W3 处理的 T 分别比 W1、W2、W4 各处理的平均值增加 5.3、2.6、2.2 d;同一滴灌量条件下,花期追施氮肥处理(N1)的 V_a 、 V_m 、 T_m 表现为最大,其中 N1 处理的 V_a 分别比 N0、N2 处理的增加 14.67%、4.88%。在低水量 W1、W2 条件下, T 随着施氮量的增加逐渐增大,但在中高水量 W3、W4 条件下, T 则随着施氮量的增加表现为先升后降的趋势。由此可见,不追施氮肥(N0)时,增加滴灌量可以提高干物质积累平均速率(V_a)、干物质积累持续时间(T),进而增加干物质的积累,花期追施氮肥(N1)均能增加 V_a 、 T 、 V_m 、 T_m ,进而促进大豆干物质的积累,而结荚期再追施氮肥(N2)虽能够满足大豆生育后期对氮肥的需求,但可能又影响了大豆后期根瘤的发育与功能,不利于植物对氮素的吸收,反而影响干物质的形成。

表 2 不同水肥处理复播大豆地上部分干物质积累的 Logistic 模拟及其特征值
Table 2 The Logistic equations and their eigenvalues of dry matter accumulation in the aboveground parts of summer soybean under different irrigations and fertilizer treatments

处理 Treatments	方程 Equation	V_a /($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)	T /d	V_m /($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)	T_m /d	R^2
W1N0	$Y = 16.96 / (1 + 80.33e^{-0.0835t})$	0.17f	99.87h	0.37h	48.77f	0.982
W1N1	$Y = 21.01 / (1 + 73.88e^{-0.0870t})$	0.20d	102.33f	0.45d	49.48e	0.997
W1N2	$Y = 21.53 / (1 + 61.34e^{-0.0763t})$	0.20d	103.28e	0.44e	48.80f	0.989
W2N0	$Y = 16.97 / (1 + 66.64e^{-0.0823t})$	0.18e	101.87g	0.39g	48.64f	0.989
W2N1	$Y = 23.05 / (1 + 79.30e^{-0.0850t})$	0.21c	105.49c	0.47c	51.44b	0.995
W2N2	$Y = 20.44 / (1 + 68.90e^{-0.0828t})$	0.20d	106.13c	0.45d	50.89c	0.991
W3N0	$Y = 20.96 / (1 + 58.74e^{-0.0756t})$	0.20d	105.00c	0.43f	49.34e	0.984
W3N1	$Y = 24.65 / (1 + 79.94e^{-0.0826t})$	0.23a	108.72a	0.51a	53.07a	0.998
W3N2	$Y = 21.71 / (1 + 68.39e^{-0.0804t})$	0.21c	107.52b	0.45d	51.50b	0.994
W4N0	$Y = 20.57 / (1 + 54.83e^{-0.0739t})$	0.20d	103.74e	0.43f	48.31g	0.981
W4N1	$Y = 23.66 / (1 + 95.56e^{-0.0860t})$	0.22b	106.44c	0.50b	53.02a	0.992
W4N2	$Y = 21.46 / (1 + 67.58e^{-0.0824t})$	0.21c	104.38d	0.45d	49.93d	0.994

注:不同字母表示差异达 5%显著水平,下同。
Note: different letters indicate significant difference ($P < 0.05$), and hereinafter.

2.1.2 干物质积累的二级参数 不同水肥处理下,复播大豆干物质积累的初级参数变化不同,进而影响其二级参数。由表 3 可得,在复播大豆生长过程中,各处理其干物质积累量最大的时期均是速增期,渐增期次之,缓增期最低,三个时期干物质积累的持续时间均表现为 $T_3 > T_1 > T_2$,平均速率表现为 $V_2 > V_1 > V_3$,说明速增期是复播大豆干物质积累的关键时期,增大速增期干物质的积累速率(V_2)和延长速增期持续的时间(T_2)有利于增大干物质的积累量。在渐增期、速增期、缓增期均以 W3N1 处理干物质积

累量达到最大。同一施氮水平下,随着滴灌量的增加干物质积累量(Y)基本表现为“先升后降”的变化趋势,均在 W3 处理达到最大,分别比 W1、W2、W4 各处理的平均值增加 15.25%、9.21%、2.79%。少量灌水条件下(W1、W2),增施氮肥能促进大豆干物质积累量,而适量和大量灌水下(W3、W4),大量追施氮肥不利于干物质的积累。说明水分不足时,可以通过增加氮肥的投入,达到以肥促水,进而提高复播大豆干物质积累量的目的,但较多灌水量时,过量施肥并不利于复播大豆干物质积累。

表 3 不同水肥处理复播大豆地上部分干物质积累的二级参数										
Table 3 Effects of different irrigations and fertilizer treatments on secondary parameters of dry matter accumulation in the aboveground parts at each stages of summer soybean by different treatments										
处理 Treatments	渐增期 Fast increase period			速增期 Cumulative period			缓增期 Slow growth period			Y
	Y ₁ /g	T ₁ /d	V ₁ /(g·plant ⁻¹ ·d ⁻¹)	Y ₂ /g	T ₂ /d	V ₂ /(g·plant ⁻¹ ·d ⁻¹)	Y ₃ /g	T ₃ /d	V ₃ /(g·plant ⁻¹ ·d ⁻¹)	
W1N0	3.49e	34.13d	0.1d	9.52g	29.29g	0.33d	3.32h	36.45f	0.09d	16.33h
W1N1	4.42c	34.34d	0.13b	12.07d	30.29f	0.40b	4.21e	37.7de	0.11b	20.70e
W1N2	4.44c	33.19e	0.13b	12.13d	31.23c	0.39bc	4.23e	38.87c	0.11b	20.80e
W2N0	3.8e	33.39e	0.11c	10.39f	30.51e	0.34d	3.62g	37.97d	0.1c	17.81g
W2N1	4.65b	35.95b	0.13b	12.71c	30.98d	0.41b	4.43c	38.56cd	0.11b	21.43cd
W2N2	4.57b	35.05c	0.13b	12.50c	31.67b	0.39bc	4.36cd	39.41b	0.11b	21.79c
W3N0	4.43c	33.39e	0.13b	12.10d	31.9a	0.38c	4.22e	39.71ab	0.11b	20.75e
W3N1	5.21a	37.12a	0.14a	14.23a	31.9a	0.45a	4.96a	39.71ab	0.12a	24.40a
W3N2	4.59b	35.45b	0.13b	12.54c	32.11a	0.39bc	4.37cd	39.96a	0.11b	21.50c
W4N0	4.35d	32.42f	0.13b	11.88e	31.78ab	0.37c	4.14f	39.55b	0.10c	20.37f
W4N1	4.96a	37.7a	0.13b	13.55b	30.63e	0.44a	4.72b	38.11d	0.12a	23.23b
W4N2	4.53b	34.32d	0.13b	12.39d	31.21c	0.40b	4.32d	38.85c	0.11b	21.24d

2.2 复播大豆干物质积累特征参数与产量的相关性

由表 4 可知,各处理复播大豆干物质积累参数 V_m 、 V_a 、 V_1 、 V_2 、 V_3 与产量均呈极显著正相关($P < 0.05$),且 V_a 与产量的相关性最大, T_m 、 T 、 T_1 、 T_2 、 T_3 与产量相关不显著,各个阶段复播大豆干物质积累速率之间呈极显著正相关,各个阶段复播大豆干物质积累速率均与持续时间呈负相关。说明复播大豆干物质积累速率的提高是增加大豆产量的关键,复播大豆干物质积累持续时间长短也对大豆产量起主导作用,增加复播大豆干物质积累速率和减少干物质积累持续时间有利于复播大豆产量的提高。

2.3 水氮耦合对复播大豆氮素吸收和氮素籽粒生产效率的影响

水氮耦合不仅影响复播大豆干物质的积累,而且对复播大豆氮素吸收和氮素籽粒生产效率也有重要的影响。由图 1 可知,同一施氮水平下,随着滴灌

量的增加,植株氮素吸收量均呈先升后降的趋势,且均在 W3 处理达到最高,分别比 W1、W2、W4 处理平均值增加 11.01%、4.70%、1.63%;在低水量下(W1),随着施氮量的增加,植株氮素吸收量逐渐增加;在适量和大量灌水水平下(W2、W3、W4),随着施氮量的增加,植株氮素吸收量均表现为 $N1 > N2 > N0$, N1 处理分别比 N0、N2 处理平均值增加 2.40%、1.02%。由图 2 可知,氮素籽粒生产效率变化趋势与大豆氮素吸收量的基本相同,且均在 W3N1 处理达到最高。说明随着大豆生育期的推进增施氮肥能够增加植株氮素的吸收量,增加氮素籽粒生产效率,而过量追施氮肥,可能导致根系活力的减弱,降低根瘤菌的固氮作用,进而阻碍根系吸收氮素进入植株体内,降低氮素的利用效率;在低水量条件下,大量增施氮肥可以增加大豆氮素的吸收,但降低了氮素籽粒生产效率,在适宜的灌水条件下,能增加大豆氮素的吸收,增加氮素籽粒生产效率,当超过 4 200 m³

•hm⁻²时,会增加土壤氮素的淋失,不利于大豆氮素 的吸收,进而降低氮素籽粒生产效率。

表 4 不同水肥处理复播大豆干物质积累参数与产量的相关系数

Table 4 Correlation coefficients between dry matter accumulation parameters and yields of summer soybean by different irrigations and fertilizer treatments

参数 Parameter	V _m	V _a	V ₁	V ₂	V ₃	T _m	T	T ₁	T ₂	T ₃
V _m	1									
V _a	0.986 **	1								
V ₁	0.961 **	0.978 **	1							
V ₂	0.978 **	0.986 **	0.961 **	1						
V ₃	0.972 **	0.991 **	0.958 **	0.968 **	1					
T _m	-0.814 **	-0.769 **	-0.663 *	-0.819 **	-0.822 **	1				
T	-0.803 **	-0.754 **	-0.689 **	-0.800 **	-0.799 **	0.989 **	1			
T ₁	-0.799 **	-0.731 **	-0.602 *	-0.788 **	-0.813 **	0.967 **	0.931 **	1		
T ₂	-0.778 **	-0.729 **	-0.595 *	-0.794 **	-0.792 **	0.974 **	0.986 **	0.89 **	1	
T ₃	-0.784 **	-0.734 **	-0.578 *	-0.782 **	-0.780 **	0.955 **	0.998 **	0.786 **	0.999 **	1
产量 Yield	0.729 **	0.789 **	0.712 **	0.726 **	0.731 **	-0.426	-0.403	-0.439	-0.378	-0.383

注: * 和 ** 表示 0.05 和 0.01 的显著水平。P<0.01。
Note: * and ** mean significant difference at 0.05 and 0.01 level, respectively.

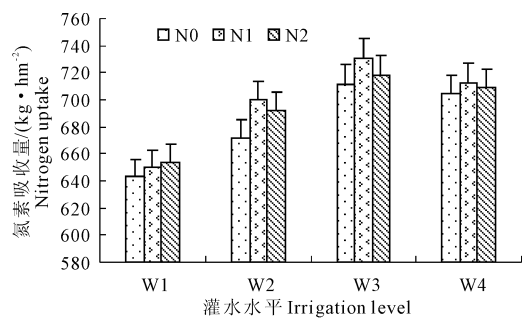


图 1 不同水肥处理对复播大豆氮素吸收的影响
Fig.1 Effects of different irrigations and fertilizer treatments on nitrogen uptake of summer soybean

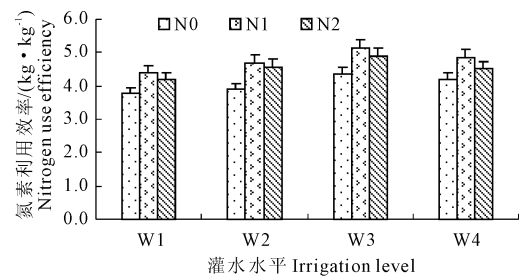


图 2 不同水肥处理对复播大豆氮素籽粒生产效率的影响
Fig.2 Effects of different irrigations and fertilizer treatments on nitrogen use efficiency of summer soybean

2.4 水氮耦合对复播大豆产量及其构成因素的影响

由表 5 可知,同一施氮水平下,随着滴灌量的增加,复播大豆的单株荚数、单株粒数、单株粒重、百粒重、产量均表现为“先升后降”的变化趋势,且均在 W3 处理达到最高,其产量分别比 W1、W2、W4 处理平均值增加 29.16%、14.36%、7.81%;在少量灌水

(W1)下,能够增加复播大豆的单株粒重、百粒重,进而提高复播大豆产量;在适量和大量灌水量(W2、W3、W4)水平,N1 与 N2 相比,单株荚数差异不显著,单株粒数、单株粒重、百粒重均达到显著差异,且产量达到极显著差异;N1 与 N0 相比,单株荚数、单株粒数、单株粒重、百粒重、产量均达到显著和极显著差异,其产量分别比 N0、N2 处理平均值增加 20.53%、6.06%,。说明水分过少时,以肥促水,能够提高复播大豆产量,而水分过多时,可能会造成氮肥流失,进而导致大豆减产。由此可见,W3N1 组合条件能提高复播大豆的产量,一旦超出这个范围,水肥之间不但不会产生预期的协同效应,反而会产生拮抗效应,导致产量下降。

3 结论与讨论

3.1 水氮耦合对复播大豆干物质积累量的影响

大量研究表明,不同的施氮量和滴灌量对作物干物质积累量的影响较大,增施氮肥能够显著提高作物干物质积累量和产量,然而随施氮量增加氮肥增产效果下降,氮肥利用效率降低,过量施氮甚至还会加重土地污染,带来环境污染问题^[19-20]。龚江、谢志良等研究一致认为灌水量对棉花干物质的积累影响很大,而施氮量影响不大,在棉花生长过程中灌水的作用要明显大于施氮作用^[17-18],而冯淑梅和陈碧华等研究结果与其相反,他们研究认为其影响施氮量大于灌水量^[13,21]。本文研究结果表明在水分不足的条件,增加氮肥的投入能够增加复播大

豆干物质积累;水分充足时,花期增施氮肥能促进复播大豆干物质的积累,但荚期继续增施氮肥不利于复播大豆干物质的积累,且在 W3N1 这个处理组合下干物质积累量达到最大,这可能是因为不同作物对水肥的需求不同,试验设计的灌水梯度和施肥梯度不同所导致的结果。

表 5 不同水肥处理对复播大豆产量及产量构成因素的影响
Table 5 Effects of different irrigations and fertilizer treatments on yield and yield components

处理 Treatments	单株荚数/个 Pods per plant	单株粒数/粒 Seeds per plant	单株粒重/g Grain weight per plant	百粒重/g 100-seed weight	产量/(kg·hm ⁻²) Yield
W1	N0	15.62 ± 0.12 Bb	34.05 ± 1.05 Bc	6.07 ± 0.07 Cc	14.68 ± 0.02 Bc
	N1	19.13 ± 0.10 Aa	39.76 ± 1.10 Aa	6.46 ± 0.06Bb	15.00 ± 0.03 Ab
	N2	18.95 ± 0.10 Aa	37.29 ± 1.20 Ab	6.88 ± 0.08 Aa	14.92 ± 0.05Aa
W2	N0	16.13 ± 0.03 Bb	35.93 ± 1.03 Bc	6.32 ± 0.02 Cc	14.99 ± 0.04 Cc
	N1	21.32 ± 0.30 Aa	43.27 ± 1.07 Aa	7.65 ± 0.04 Aa	15.64 ± 0.01 Aa
	N2	20.91 ± 0.20 Aa	40.47 ± 1.23 Ab	7.49 ± 0.05 Bb	16.08 ± 0.04 Bb
W3	N0	18.30 ± 0.30 Bb	39.85 ± 0.85 Bc	7.38 ± 0.03 Cc	15.97 ± 0.02 Bc
	N1	22.54 ± 0.40 Aa	48.98 ± 2.00 Aa	9.25 ± 0.02 Aa	16.17 ± 0.04 Aa
	N2	21.84 ± 0.10 Aa	45.37 ± 1.37 Ab	8.43 ± 0.07 Bb	16.01 ± 0.03 Bb
W4	N0	17.98 ± 0.08 Bb	38.56 ± 0.56 Bc	7.04 ± 0.40 Cc	15.79 ± 0.03 Bc
	N1	21.16 ± 0.06 Aa	44.35 ± 1.05 Aa	8.48 ± 0.06 Aa	16.04 ± 0.05 Aa
	N2	20.08 ± 0.12 Aa	41.64 ± 1.64 Ab	7.39 ± 0.01 Bb	15.83 ± 0.03 Bb
F 值	—	—	—	—	—
W	12.732	44.62	20.776	13.04	56.29
N	52.865	71.065	20.451	2.67	58.47
W × N	1.0748	1.415	105.99	171.24	70.54

注:同列不同小些字母表示 0.05 水平的显著差异。
Note: Means with different letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$).

3.2 水氮耦合对复播大豆氮素吸收利用和产量的影响

增施氮肥能够显著提高作物产量,然而随施氮量增加氮肥增产效果下降,氮肥利用效率降低,雍太文^[22]和刘学军^[23]一致认为减半施氮既未引起小麦产量和吸氮量的变化,又有利于提高作物的氮肥利用率,本文研究认为花期追施氮肥可以增加复播大豆氮素吸收,提高氮素籽粒生产率,进而增加大豆产量。张永丽和刘新永等研究认为水与氮存在明显的互作效应,增加滴灌量,氮素利用效率增加,但过量的灌水,氮素利用效率下降,产量降低^[24-25]。本研究认为在低水量条件下,大量增施氮肥可以增加复播大豆氮素的吸收量,但降低了氮素籽粒生产效率,在适宜的灌水条件下,能增加大豆氮素的吸收,增加氮素籽粒生产效率,当超过 4 200 m³·hm⁻²时,会增加土壤氮素的淋失,不利于大豆氮素的吸收,进而降低氮素籽粒生产效率,导致产量下降。

参 考 文 献:

[1] 徐娇媚,徐文修,李大平.近 51a 伊犁河谷热量资源时空变化

[J].干旱区研究,2014,31(3):472-480.
[2] 牛海生,徐文修,徐娇媚,等.气候突变后伊犁河谷两熟制作物种植区的变化及风险分析[J].中国农业气象,2014,35(5):516-521.
[3] 徐娇媚.伊犁河谷气候变化及其对农业影响初探[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2013.
[4] 朱树秀,孙保成,赵奇,等.北疆冬小麦复种玉米研究再报[J].新疆农业科学,1998,(3):99-102.
[5] 苗福红,烟彬,方波,等.北疆冬小麦复种油葵研究[J].新疆农业科学,2000,(3):135-137.
[6] 张占琴,魏建军,杨相昆,等.北疆“一年两作”冬小麦-复播青贮玉米模式物质生产及资源利用率研究[J].干旱地区农业研究,2013,31(6):28-33.
[7] Suprayogo D M, van Noordwijk K H, Cadisch C. The inherent safty net of Ultisols: Measuring and modeling retarded leaching mineral nitrogen[J]. European Journal of Soil Science, 2002,53(2):185-194.
[8] 朱兆良.中国土壤氮素研究[J].土壤学报,2008,45(5):778-783.
[9] 王李芳,刘国顺,张永辉,等.水氮耦合对烤烟干物质积累及产质量的影响[J].作物研究,2011,25(1):51-55.
[10] 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.

偿了产量构成因素降低带来的负效应,A3 密度下单株生产能力影响群体产量,产量构成因素降低产生的负效应大于群体密度增加带来的补偿效应,群体生产能力降低。因此在 90 000 株·hm⁻²密度条件下,采用宽窄行双株三角留苗种植能使夏玉米郑单 958 群体生产潜力得到更大发挥,是获得高产的重要手段。

参 考 文 献:

[1] 俞凤芳,丁成芳.种植方式和密度对高产玉米产量及相关性状的影响[J].湖北农业科学,2010,49(6):1297-1299.

[2] 陈传永,侯玉虹,孙 锐,等.密植对不同玉米品种产量性能的影响及其耐密性分析[J].作物学报,2010,36(7):1153-1160.

[3] 徐恒永,赵君实.高产冬小麦的冠层光合能力及不同器官的贡献[J].作物学报,1995,21(2):204-209.

[4] 王春虎,陈士林,赵新亮,等.玉米郑单 958、14、18 系列品种高产生理研究[J].中国农学通报,2005,21(5):253-256,268.

[5] Farnham D E. Row spacing, plant density, and hybrid effects on corn grain yield and moisture[J]. Agronomy Journal, 2001,93:1049-1053.

[6] Lambert D M, Lowenberg-DeBoer J. Economic analysis of row spacing for corn and soy-bean[J]. Agronomy Journal, 2003,95:564-573.

[7] 杨克军,李 明,李振华.栽培方式与群体结构对寒地玉米物质积累及产量形成的影响[J].中国农学通报,2005,21(11):157-

160.

[8] 刘武仁,冯艳春,郑金玉,等.玉米宽窄行种植产量与效益分析[J].玉米科学,2003,11(3):63-65.

[9] 杨吉顺,高辉远,刘 鹏,等.种植密度和行距配置对超高产夏玉米群体光 and 特性的影响[J].作物学报,2010,36(7):1226-1233.

[10] 徐建民,高红权,毛善国,等.大行距双株栽培对玉米后期光和特性的影响[J].扬州大学学报(农业科学版),2008,(3):66-71.

[11] 温日宇,郭耀东,刘建霞,等.不同密度和种植方式对玉米产量的影响[J].山西农业科学,2011,39(8):814-815.

[12] 刘武仁,郑金玉,冯艳春,等.玉米品种不同密度下的质量效应[J].玉米科学,2005,13(2):99-101.

[13] 李 明,李文雄.肥料和密度对寒地高产玉米源库性状及产量的调节作用[J].中国农业科学,2004,37(8):1130-1137,182.

[14] 张永科.玉米密植和营养改良之研究—I,密度对玉米产量和营养的效应—II[J].玉米科学,2005,13(3):87-90.

[15] 郭天财,盛 坤,冯 伟,等.种植密度对两种穗型小麦品种分蘖期茎蘖生理特性的影响[J].西北植物学报,2009,29(2):350-355.

[16] 胡昌浩,董树亭,岳寿松,等.高产夏玉米群体光合速率与产量关系的研究[J].作物学报,1993,19(1):63-69.

[17] 陆雪珍,沈雪芳,沈才标,等.不同种植密度下糯玉米产量及相关性状研究[J].上海农业学报,2008,24(2):61-64.

(上接第 84 页)

[11] 韩晓增,裴宇峰,王守宇,等.水氮耦合对大豆生长发育的影响 II.水氮耦合对大豆生理特征的影响[J].大豆科学,2006,25(2):103-108.

[12] 栗 丽,洪坚平,王宏庭,等.水氮处理对冬小麦生长、产量和水氮利用效率的影响[J].应用生态学报,2013,24(5):1367-1373.

[13] 冯淑梅,张忠学.滴灌条件下水肥耦合对大豆生长及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2011,30(4):65-67.

[14] 邢英英,张富仓,张 燕,等.滴灌施肥水肥耦合对温室番茄产量、品质和水氮利用的影响[J].中国农业科学,2015,48(4):713-726.

[15] 杜清洁,李建明,潘铜华,等.滴灌条件下水肥耦合对番茄产量及综合品质的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(3):10-17.

[16] 张 燕,张富仓,袁宇霞,等.灌水和施肥对温室滴灌施肥番茄生长和品质的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(2):206-212.

[17] 谢志良,田长彦.膜下滴灌水氮耦合对棉花干物质积累和氮素吸收及水氮利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(1):160-165.

[18] 龚 江,王海江,谢海霞,等.膜下滴灌水氮耦合对棉花生长和产量的影响[J].灌溉排水学报,2008,27(6):51-54.

[19] 朱兆良,孙 波.中国农业面源污染控制对策研究[J].环境保护,2008,(8):4-6.

[20] 朱兆良,金继运.保障我国粮食安全的肥料问题[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.

[21] 陈碧华,邵庆炉,杨和连,等.日光温室膜下滴灌水肥耦合技术对番茄生长发育的影响[J].广东农业科学,2008,(8):63-65,78.

[22] 雍太文,刘小明,刘文钰,等.减量施氮对玉米-大豆套作体系中作物产量及养分吸收利用的影响[J].应用生态学报,2014,25(2):474-482.

[23] 刘学军,巨晓棠,张福锁.减量施氮对冬小麦-夏玉米种植体系中氮利用与平衡的影响[J].应用生态学报,2004,15(3):458-462.

[24] 张永丽,于振文.灌水量对小麦氮素吸收、分配、利用及产量与品质的影响[J].作物学报,2008,34(5):870-878.

[25] 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.