



陈志波,高山,张锐,等.水氮耦合对饲用油菜干物质积累分配及产量的影响[J].黑龙江农业科学,2024(5):70-76.

# 水氮耦合对饲用油菜干物质积累分配及产量的影响

陈志波<sup>1</sup>,高山<sup>1</sup>,张锐<sup>2,3</sup>,罗立新<sup>4</sup>,鲍蕊<sup>1</sup>

(1.塔里木大学农学院,新疆阿拉尔 843300; 2.塔里木盆地生物资源保护利用兵团重点实验室-省部共建国家重点实验室培育基地,新疆阿拉尔 843300; 3.塔里木大学园艺与林学院,新疆阿拉尔 843300; 4.新疆生产建设兵团第一师三团农发中心,新疆阿克苏 843000)

**摘要:**为促进新疆饲草高产优质及水肥科学管理,选用油菜品种华油杂 62 作为供试材料,进行不同的水氮耦合处理,分别设置 3 个不同灌水量,  $3\ 000\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$  (W1)、 $3\ 750\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$  (W2) 和  $4\ 500\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$  (W3), 3 个不同施纯氮梯度,  $121.5\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  (N1)、 $142.2\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  (N2) 和  $162.9\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  (N3), 进行随机组合, 共 9 个处理, 对不同处理饲用油菜的干物质积累及分配进行分析, 筛选出适合于新疆饲用油菜种植的最优水肥配比。结果表明, 饲用油菜干物质积累随灌水量的增加而增加, 高水高氮 (W3N3) 处理干物质积累较中水高氮 (W2N3)、低水高氮 (W1N3) 处理增加了 47.70% 和 108.62%, 产量增加了 9.77% 和 74.02%。在水分良好条件下, 干物质积累与施氮量呈正相关, 但在干旱胁迫下, 干物质积累呈现先增后减的趋势。在干物质分配上随着生育期的推进茎秆生物量占比逐渐增加, 叶片占比逐渐降低。说明本研究条件下在高水高氮的 W3N3 处理(灌水量  $4\ 500\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ , 施氮  $162.9\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ) 下更有利于饲用油菜干物质的积累, 可以获得更多的生物量。

**关键词:**水氮耦合; 饲用油菜; 干物质; 产量

新疆地处我国西北, 气候干燥, 水资源匮乏, 导致饲草产量不稳定<sup>[1]</sup>, 这极大限制了新疆加快推进优质畜产品产业集群建设。水资源的匮乏导致作物减产, 农户为获得高产加大肥料施用量, 进一步造成资源的浪费, 也极大地影响了生态环境。据统计, 我国化肥年生产和消费量已超过 6 000 万 t, 占全球三分之一以上<sup>[2]</sup>, 是世界上的肥料生产和消费大国。调节水、肥、作物之间的关系是解决新疆农牧饲草、推进新疆优质畜产品产业集群建设的关键。

饲用油菜为十字花科芸薹属作物, 具有适应能力强、生育周期短、生物产量大<sup>[3]</sup> 营养价值高、口感好、饱腹度好<sup>[4-5]</sup> 等优点, 具有良好的饲用价值与发展前景<sup>[6]</sup>。

近年来关于水肥管理对作物增产方面的研究日益增多, 研究表明增大灌水量和施氮量能够提高作物干物质积累量, 进而提高作物产量<sup>[7-8]</sup>。在轻微干旱胁迫的情况下适当施用氮肥可以提高植株对干旱胁迫的响应机制, 降低对植物生长的影响<sup>[9]</sup>, 以肥促水, 以达到增加作物干物质积累的效果, 但继续增加施氮量反而会降低植株的养分吸收

和水分利用效率, 从而影响作物的生长发育<sup>[10-11]</sup>。郭天财等<sup>[12]</sup> 研究表明, 当水分条件改善时, 增加氮肥施用可达到增产效果。同时水氮通过影响地上和地下的干物质来反映水分利用效率, 王艳哲等<sup>[13]</sup> 研究表明, 在同一水分梯度下, 小麦根冠比随施氮量的增加而降低。目前关于水氮耦合对干物质的相关研究大多关于棉花<sup>[14-15]</sup>、小麦<sup>[16]</sup>、玉米<sup>[17]</sup> 等作物, 该条件下饲用油菜干物质积累及其产量关系的研究较少。本研究以灌水量和施氮量两个因素进行了双因素田间试验, 对饲用油菜各时期各器官干物质积累分配及产量进行了测定, 明确了饲用油菜的生长发育对水氮耦合效应的响应, 并筛选出最优水肥配比, 为新疆饲草高产优质与水肥科学管理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

本试验于 2023 年 3 月至 6 月在塔里木大学农学试验站 ( $40^{\circ}32'\text{N}$ ,  $81^{\circ}17'\text{E}$ ) 进行, 该地区平均海拔 1 100 m, 属暖温带大陆干旱荒漠气候区, 降水稀少, 光照时间长, 年均气温  $10.7\ ^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10\ ^{\circ}\text{C}$  积温  $4\ 113\ ^{\circ}\text{C}$ , 无霜期 220 d, 年日照约 2 900 h,

收稿日期: 2023-12-12

基金项目: 兵团向南发展专项(2021AB022); 新疆维吾尔自治区兵团林业推广项目(1221029)。

第一作者: 陈志波(1999—), 男, 硕士研究生, 从事作物高产生理生态与节水研究。E-mail: bg13595344834@163.com。

通信作者: 高山(1978—), 男, 硕士, 教授, 从事作物高产栽培理论与技术研究。E-mail: gaoshan\_zhr@163.com。

4月—10月每天平均日照9.5 h,年降水量50 mm左右。试验地土壤为砂壤土,0~20 cm土层有机质含量8.77 g·kg<sup>-1</sup>、全氮含量0.58 g·kg<sup>-1</sup>、全磷含量1.35 g·kg<sup>-1</sup>、全钾含量17.547 g·kg<sup>-1</sup>、碱解氮含量48.25 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷含量21.34 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾含量55.62 mg·kg<sup>-1</sup>、pH为8.17。

1.2 材料

供试油菜品种为华油杂62,由华中农业大学选育。该品种为甘蓝型半冬性波里马细胞质雄性不育系杂交种,2010年由国家农作物品种审定委员会审定。该品种具有适应性强、高产、抗病、抗倒伏等特点,作为饲草具有适口性高、营养价值高、饱腹感强等特点<sup>[18]</sup>。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 本试验于2023年开展,4月3日进行播种,期间防治菜青虫、跳甲1次(5月15号),蚜虫3次(5月24号、5月30号、6月9号),于同年6月18日收获,总生育期为76 d。开展双因素随机区组试验,设置3个灌水定额:高水(W3:4 500 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>)、中水(W2:3 750 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>)、低水(W1:3 000 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>);3个施肥水平:高氮(N3:162.9 kg·hm<sup>-2</sup>)、中氮(N2:142.2 kg·hm<sup>-2</sup>)、

低氮(N1:121.5 kg·hm<sup>-2</sup>),播前施100 kg·hm<sup>-2</sup>磷酸二铵和200 kg·hm<sup>-2</sup>尿素作为基肥,其余的氮素折算成氮肥按五叶期:现蕾期:花期=2:4:4的比例随水滴入,用水表控制水量。种植方式为条播,播种深度为2~3 cm,于油菜三叶期进行定苗,种植密度为36万株·hm<sup>-2</sup>,3次重复,共27个小区。小区面积为5 m<sup>2</sup>(2.0 m×2.5 m),小区过道宽0.5 m,各水肥处理之间用防水膜隔开,隔离深度1.0 m,以防水肥互渗,其他管理措施均按大田管理。

1.3.2 测定项目及方法 干物质测定:于油菜各生育期(表1),每个小区取3株具有代表性的样品植株,将其分为根、茎、叶、生殖器官置于烘箱中105℃杀青30 min,在80℃下烘干直至恒重后称量,得到各器官的干物质质量。分别计算根冠比和干物质的分配比<sup>[19]</sup>。

根冠比=地下部干重/地上部干重  
物质的分配比=不同器官的干重/植株单株的总干重

产量测定:初次结荚期各小区选取1 m<sup>2</sup>的面积,从地上部刈割进行测产。

表1 饲用油菜各时期取样时间

油菜生育时期	播种	五叶期	现蕾期	抽薹期	花期	初次结荚期
日期	4月3日	5月14日	5月26日	6月1日	6月10日	6月18日

1.3.3 数据分析 采用Excel 2019进行数据整理、DPS 9.01进行数据处理与分析,用Duncan's新复极差法进行方差分析(P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 水氮耦合对饲用油菜干物质积累的影响

2.1.1 干物质积累 由图1可知,W3N3处理在各时期干物质积累量均高于其他处理,W1N1处理干物质积累最低。同一灌水量下,W2、W3处理各时期干物质积累均随着施氮量的增加而明显上升,W1处理下干物质积累随着施氮量的增加呈现先增后减的趋势。相同施氮量处理下,灌水量的减少会降低植株干物质积累。饲用油菜生长发育过程中花期干物质积累增长迅速,W3N3处理的单株干物质积累量最大,为48.32 g,较W2N3、W1N2和W1N1处理分别增加了37.25%、48.08%和80.59%。

2.1.2 干物质分配 如表2所示,随着生育期的

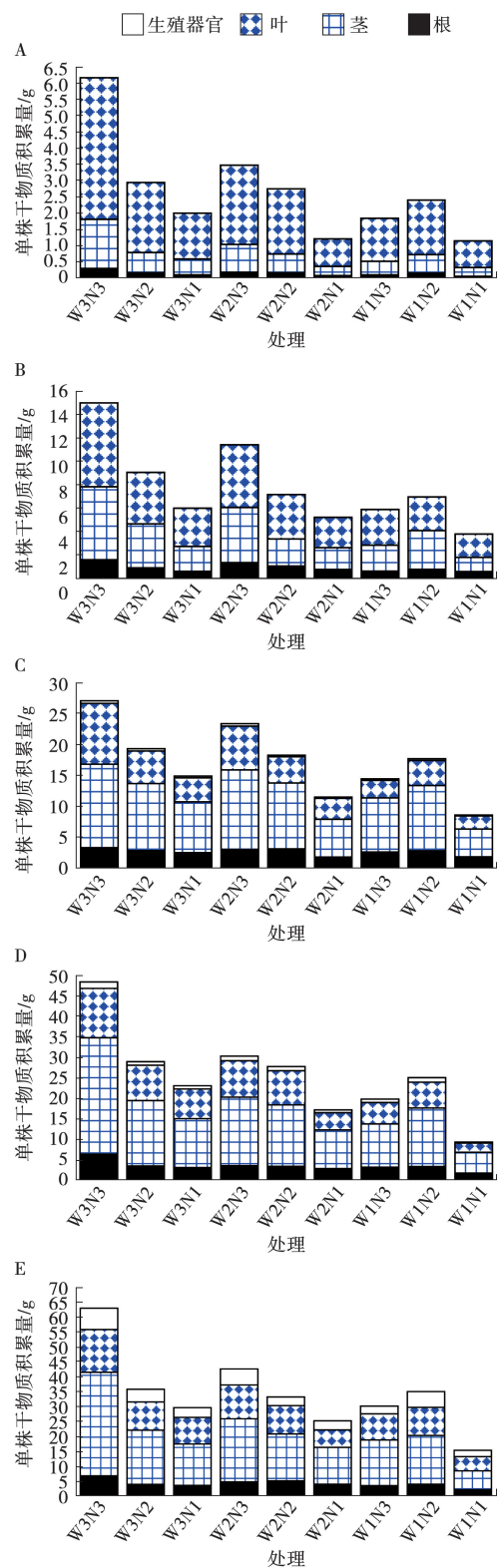
推进,根干物质分配比率呈先增后降趋势;茎干物质分配比率大致呈先上升,花期达到最高而后下降;叶干物质分配比率在W3、W2处理下大致呈下降趋势,在W1处理下呈现先下降后上升趋势。

五叶期干物质积累量最小,为初次结荚期植株单株积累量的4.79%~9.80%,但叶片干物质积累量占整株干物质的比值为所有生育期最大,表现为叶>茎>根,叶干物质积累量占全株积累量的69.42%~73.47%,茎占全株的20.73%~24.71%,根占4.35%~6.61%。

现蕾期、抽薹期为茎干物质增长的快速时期,茎占比不断增大,叶占比不断降低,到达抽薹期后茎干物质占全株比例超过叶占比,茎干物质积累量为单株物质积累量的主要构成,根系也在快速生长,占比不断增加,占整株植株的12.15%~21.10%,植株进入快速增长时期,同时油菜开始进行生殖生长。

花期茎叶比达到最大,初次结荚期较花期茎

占比、叶占比再次降低,茎叶比下降,干物质开始  
主要向生殖器官(荚)转移。



A. 五叶期;B. 现蕾期;C. 抽薹期;D. 花期;E. 初次结荚期。  
图1 水氮耦合对饲用油菜干物质积累与分配的影响

表2 水氮耦合对饲用油菜各时期  
器官干物质分配占比的影响

处理	时期	分配占比/%			
		根	茎	叶	生殖器官
W3N3	五叶期	4.86	24.47	70.66	—
	现蕾期	10.62	41.55	47.83	—
	抽薹期	12.15	49.89	36.41	1.55
	花期	13.35	58.60	24.83	3.23
	初次结荚期	10.90	55.05	22.68	11.38
W3N2	五叶期	5.44	21.09	73.47	—
	现蕾期	9.97	41.53	48.50	—
	抽薹期	14.60	56.16	27.38	1.86
	花期	12.47	56.87	27.59	3.07
	初次结荚期	11.19	50.49	26.51	11.81
W3N1	五叶期	5.00	24.50	70.50	—
	现蕾期	10.02	35.56	54.42	—
	抽薹期	16.75	55.21	26.23	1.82
	花期	13.97	51.34	31.23	3.46
	初次结荚期	12.27	46.86	29.87	10.99
W2N3	五叶期	5.17	24.71	70.11	—
	现蕾期	11.76	41.26	46.97	—
	抽薹期	12.93	55.05	30.35	1.67
	花期	12.20	54.85	29.22	3.73
	初次结荚期	12.07	49.10	26.37	12.46
W2N2	五叶期	6.18	20.73	73.09	—
	现蕾期	14.59	32.40	53.02	—
	抽薹期	16.98	58.43	23.17	1.42
	花期	12.68	53.80	29.87	3.64
	初次结荚期	14.75	47.78	28.74	8.73
W2N1	五叶期	6.61	23.97	69.42	—
	现蕾期	14.42	35.77	49.81	—
	抽薹期	15.59	53.31	29.36	1.74
	花期	17.19	54.59	24.51	3.72
	初次结荚期	16.20	48.67	23.13	12.00
W1N3	五叶期	5.43	22.83	71.74	—
	现蕾期	10.58	37.71	51.71	—
	抽薹期	17.95	60.78	19.47	1.80
	花期	16.74	52.90	26.32	4.03
	初次结荚期	11.90	50.55	28.97	8.58
W1N2	五叶期	6.25	23.75	70.00	—
	现蕾期	11.10	47.55	41.35	—
	抽薹期	15.70	59.57	23.09	1.64
	花期	13.88	56.74	25.04	4.35
	初次结荚期	11.56	46.52	26.83	15.10
W1N1	五叶期	4.35	24.35	71.30	—
	现蕾期	15.30	31.93	52.77	—
	抽薹期	21.10	52.56	24.48	1.86
	花期	19.72	54.16	23.56	2.56
	初次结荚期	14.17	41.29	30.88	13.65

## 2.2 水氮耦合对饲用油菜收获期农艺性状和产量的影响

2.2.1 干物质和根冠比 由表 3 可知,初次结荚期,水氮耦合对饲用油菜干物质积累与单株地上部干重和单株地下部干重规律一致,地下部干重占比较小,可见饲用油菜各处理单株干物质积累变化趋势主要是由地上部干重影响。在不同水分梯度下,各处理饲用油菜地上部干重较高的为 W3N3、W2N3、W3N2,其中 W3N3 处理显著高于其他处理。

W2 处理下饲用油菜的根冠比随着施氮量的增加而降低,W1 处理下 N1 处理根冠比显著高于

N2 和 N3 处理,W3 灌水量下,各施氮处理间根冠比无显著性变化,但同 W2 处理变化趋势相同。表明在同一水分条件下增施氮素能促进饲用油菜生长发育,且对地上部影响大于地下部。

2.2.2 产量 W1N1 产量最低,为  $48.00\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,W3N3 产量显著高于其他处理,为  $90.56\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,较 W1N1 处理提高了 88.67%;在 W3、W2 处理下 N3 处理显著高于 N2 和 N1 处理,W1 处理的产量随施氮量的增加呈现先增后减趋势,W1N2 处理较 W1N3 和 W1N1 处理产量分别增加 16.06% 和 25.83%。

表 3 水氮耦合对饲用油菜收获期干物质、根冠比和产量的影响

处理	单株地下部干重/g	单株地上部干重/g	单株干物质/g	根冠比	产量/( $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ )
W3N3	$6.86\pm0.39\text{ a}$	$56.06\pm5.36\text{ a}$	$62.92\pm5.73\text{ a}$	$0.12\pm0.01\text{ c}$	$90.56\pm2.51\text{ a}$
W3N2	$4.01\pm0.55\text{ c}$	$31.82\pm4.10\text{ c}$	$35.83\pm4.50\text{ c}$	$0.13\pm0.01\text{ c}$	$74.17\pm3.62\text{ c}$
W3N1	$3.64\pm0.32\text{ c}$	$26.02\pm2.44\text{ de}$	$29.66\pm2.70\text{ cd}$	$0.14\pm0.01\text{ c}$	$70.49\pm3.61\text{ cd}$
W2N3	$4.85\pm0.62\text{ b}$	$37.75\pm3.54\text{ b}$	$42.60\pm4.13\text{ b}$	$0.14\pm0.01\text{ c}$	$82.50\pm5.71\text{ b}$
W2N2	$5.18\pm0.76\text{ b}$	$28.03\pm3.65\text{ cd}$	$33.21\pm4.37\text{ c}$	$0.17\pm0.01\text{ b}$	$68.28\pm2.52\text{ d}$
W2N1	$4.09\pm0.53\text{ c}$	$21.16\pm2.53\text{ e}$	$25.25\pm3.03\text{ d}$	$0.19\pm0.01\text{ a}$	$50.28\pm1.16\text{ f}$
W1N3	$3.59\pm0.47\text{ c}$	$26.58\pm3.24\text{ cd}$	$30.16\pm3.62\text{ cd}$	$0.14\pm0.01\text{ c}$	$52.04\pm0.20\text{ f}$
W1N2	$4.05\pm0.19\text{ c}$	$30.98\pm4.06\text{ cd}$	$35.04\pm4.23\text{ c}$	$0.13\pm0.01\text{ c}$	$60.40\pm4.05\text{ e}$
W1N1	$2.18\pm0.24\text{ d}$	$13.19\pm1.38\text{ f}$	$15.37\pm1.61\text{ e}$	$0.17\pm0.01\text{ b}$	$48.00\pm2.28\text{ f}$

注:不同小写字母表示处理间在  $P<0.05$  水平差异显著。

2.2.3 干物质积累的 Logistic 方程回归分析 为探究水氮耦合下饲用油菜干物质积累动态积累过程变化规律,采用 Logistic 方程进行拟合分析,可以看出各处理 Logistic 方程  $R^2$  均大于 0.95 ( $P<0.05$ ),说明拟合程度高,可以较好地体现饲用油菜干物质积累变化。由表 4 可知,各处理最大干物质积累速率出现时间在播种后 58.98~67.95 d,正处于饲用油菜抽薹期到花期。不同灌水量下最大生长速率开始时间总体表现为  $W3>W2>W1$ ,且各灌水梯度中 N2 处理干物质最大生长速率开始时间均提前于同一灌水量其他处理,说明干旱胁迫会抑制饲用油菜营养生长的出现,且在中氮条件下较适宜干物质积累。

W1N1 处理干物质积累最大生长速率最低,为  $0.51\text{ g}\cdot(\text{株}\cdot\text{d})^{-1}$ ,W3N3 处理干物质积累最大生长速率最高,为  $2.36\text{ g}\cdot(\text{株}\cdot\text{d})^{-1}$ ,是 W1N1 处理的 4.63 倍;W3 处理干物质最大生长速率表现为  $N3>N2>N1$ ,W2 处理和 W1 处理均表现为  $N2>N3>N1$ ;而在同一施氮量下,N2 处理随着

灌溉量的增加呈先增后减趋势,N3、N1 处理均随着灌溉量的增加而增加,表明水肥耦合对饲用油菜的最大积累速率均有影响,在水分充足条件下主要受水分影响;在轻微干旱胁迫及干旱胁迫下随施氮量的增加呈现先上升后下降趋势,受氮素影响较大。

各处理干物质快速积累开始时间在播种后 51.01~55.42 d,处于现蕾期至抽薹期。W1N3 处理最晚出现,W3N2 处理最早出现,较 W1N3 处理缩短了 4.41 d,总体差距并不大。W1N1 处理干物质快速积累期持续时间最久,为 25.13 d,W1N3 处理为 25.06 d,均高于 W1N2 处理,表明在干旱胁迫下,过高和过低施氮均会延长干物质积累持续时间。由快速积累结束时间可得出在初次结荚期饲用油菜低水处理干物质继续积累,生物量持续增加,考虑地上部鲜重产量因素,在干旱胁迫下可在该试验时间基础上推迟刈割时间,以便获得更大生物产量。

水分和氮素是影响饲用油菜干物质积累的重



要因素,灌水量充足能够促进干物质最大生长速率初始时间总体向前推移,W3 处理下最大积累效率出现在 60.04~64.50 d,W2 处理及 W1 处理分别在 58.98~66.46 d、63.48~67.95 d。W2N2 在干物质积累最大生长速率时间出现最

早,但最大积累速率仅为 1.55 g·(株·d)<sup>-1</sup>,较最大积累速率 W3N3 处理下降 34.32%,且干物质快速积累结束时间过早,快速积累期持续时间仅为 14.50 d。

表 4 饲用油菜的干物质累积 Logistic 方程回归分析

处理	Logistic 回归方程	R <sup>2</sup>	T0/d	$\frac{v_{\max}}{[g \cdot (株 \cdot d)^{-1}]}$	T1/d	T2/d	ΔT/d
W3N3	$y=79.2391/(1+e^{7.6819-0.119094t})$	0.9981 **	64.50	2.36	53.44	75.56	22.12
W3N2	$y=39.0038/(1+e^{8.7538-0.145795t})$	0.9942 **	60.04	1.42	51.01	69.07	18.07
W3N1	$y=32.4615/(1+e^{9.2721-0.151463t})$	0.9916 **	61.20	1.23	52.51	69.89	17.39
W2N3	$y=53.0658/(1+e^{6.8510-0.107769t})$	0.9793 *	63.55	1.43	51.34	75.77	24.43
W2N2	$y=34.0286/(1+e^{10.7164-0.181678t})$	0.9903 **	58.98	1.55	51.73	66.23	14.50
W2N1	$y=33.3320/(1+e^{7.5699-0.113945t})$	0.9891 *	66.46	0.95	54.90	78.02	23.12
W1N3	$y=42.4901/(1+e^{7.1411-0.105081t})$	0.9784 *	67.95	1.12	55.42	80.48	25.06
W1N2	$y=41.6698/(1+e^{7.9545-0.125327t})$	0.9819 *	63.48	1.31	52.97	73.99	21.02
W1N1	$y=19.4437/(1+e^{6.7527-0.104771t})$	0.9637 *	64.43	0.51	51.87	77.00	25.13

注: \*\* 表示在 α=0.01 水平上极显著相关; \* 表示在 α=0.05 水平上显著相关;R<sup>2</sup>为决定系数;T0 为最大生长速率开始时间;v<sub>max</sub> 为最大累积速率;T1 为快速累积期开始时间;T2 为最大累积期结束时间;ΔT 为快速累积期持续时间。

3 讨论

水肥一体化技术是节水节肥的一项重要田间管理技术,尹光华等<sup>[20]</sup>研究表明水肥对于干旱地区作物生长具有显著的促进作用,灌水量较施肥影响更为明显,水肥耦合对增产更为显著,合理的水肥比对增产效应大于高水高肥和低水低肥组合;氮与水的耦合对作物增产效应最为显著,水氮耦合对作物干物质积累及产量的提高有着明显的促进作用<sup>[21-23]</sup>。水分可加强作物对氮素的吸收、提高作物的氮素利用率<sup>[24]</sup>、扩大硝态氮分布<sup>[25]</sup>;而增施氮肥能够增强根系吸水能力、提高土壤水分利用效率<sup>[26]</sup>。饲用油菜产量的形成与其所生长的水肥环境有密切关系,谷晓博等<sup>[27]</sup>研究表明,灌水量和施氮量会明显提高油菜的干物质积累和产量,水氮因素对于油菜地上部干物质变化有显著的交互作用。且茎叶干物质随生育期进行呈现茎秆比例增大,叶片逐渐减少的趋势,在施肥灌溉 75 d 后器官干物质表现为:茎≈角壳>籽粒>叶。上述结论与本研究表明,油菜干物质积累受灌水量及施氮量的共同影响,在相同施氮量下,油菜干物质随着灌水量的增加而增加;器官干物质分配随生育期的进行呈现茎秆占比逐渐增大,叶片逐渐减小的规律与试验中在非干旱胁迫下处理

基本相同。干旱胁迫下叶占比呈现先降低后上升趋势,推测是抽薹期正处于油菜对营养需求量较大时期,在逆境胁迫下导致营养不良、生育受阻,在灌溉施肥后恢复生长发育<sup>[28]</sup>。在干旱胁迫下本研究油菜干物质积累随施氮量的增加呈现先上升后下降趋势,与谷晓博等<sup>[27]</sup>得出的水分胁迫下油菜干物质积累随施氮量的增加而增加的结果不同,但与王斌等<sup>[29]</sup>在藜麦、谢志良等<sup>[30]</sup>在棉花的研究结果相同,可能是施氮量梯度不同导致试验结果存在差异。在高水、中水条件下饲用油菜干物质积累和生物产量均随施氮量增加而增加,且各项指标中高氮处理显著高于同灌水量下的中氮、低氮处理;但在低水条件下中氮处理最有利于干物质的积累及产量的增加,增施或减施氮肥均会降低饲用油菜干物质积累及产量,高氮处理较低氮处理具有增产效果,但增产效果并不显著。杨建昌等<sup>[31]</sup>认为增施氮素对水稻根系、地上部均能起到促进作用,但对地上部影响大于地下部的影响,因此同灌水量条件下随着施氮量的增加会使水稻根冠比减小,这与本研究结果相同。

本研究中对于高水、中水条件下最优施氮量探究并不充分,无法确定继续增施氮肥是否能实现继续增产,未来将加大施氮量,探寻饲用油菜增产最优水氮配比。对于饲用油菜干物质积累的回

归模拟上应再推迟刈割时间,保证所有试验处理完成最后时期的生育进程。在干旱胁迫下对于器官干物质分配与前人研究结果存在不同,后续应在相同条件下进行试验,确定其具体原因。

#### 4 结论

水氮耦合对饲用油菜生长有良好的促进作用,在灌溉条件良好及轻微干旱胁迫下,增施氮肥有利于促进饲用油菜干物质积累及生物量的增加。在干旱胁迫下,过度增施氮肥反而会抑制干物质积累及产量;在中氮条件下水分对饲用油菜干物质积累及产量的影响较小,而在高氮及低氮条件下,水分对饲用油菜的影响较为显著。根系和地上部干物质的比值在一定程度上能够反映植物对水分和养分的利用率。同一灌水量下,根冠比随氮肥的增施呈降低趋势,对产量有增产作用且增施氮肥对地上部分的影响大于地下部。水分胁迫会延长干物质积累持续时间,但也会延迟干物质积累开始时间,降低干物质积累速率,从而影响油菜的生长发育,最终影响产量。

综上所述,W3N3 处理(灌水量: $4\ 500\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ ;施氮: $162.9\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )单株干物质积累及产量分别为  $62.92\ \text{g}$  和  $90.56\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,且显著高于其他处理,为本研究条件下实现南疆饲用油菜增产增收的最优水肥管理方案。

#### 参考文献:

- [1] 江惠,王明利,励汀郁,等. 新疆草原畜牧业转型升级:发展现状、现实困境与实现路径[J]. 华中农业大学学报,2023,42(5):42-52.
- [2] 申建波,白洋,韦中,等. 根际生命共同体:协调资源、环境和粮食安全的学术思路与交叉创新[J]. 土壤学报,2021,58(4):805-813.
- [3] 王洪超,刘大森,刘春龙,等. 饲料油菜及其饲用价值研究进展[J]. 土壤与作物,2016,5(1):60-64.
- [4] 杨华,熊明清,余陵峰,等. 青贮饲料油菜对肉牛增重效果的研究[J]. 中国饲料,2017(2):16-18.
- [5] 文健,刘桂琼,姜勋平,等. 饲用油菜生物量与营养成分测定及其发酵全混合日粮饲喂湖羊效果[J]. 华中农业大学学报,2018,37(2):71-75.
- [6] 黎咏蜀. 饲用油菜栽培技术及营养价值研究[D]. 重庆:西南大学,2014.
- [7] 梁伟琴,贾莉,郭黎明,等. 水氮耦合对春小麦干物质积累与植株氮素转运的影响[J]. 作物杂志,2022(4):242-248.
- [8] 高娜,张玉龙,曲晶,等. 水氮联合调控对小油菜生长、产量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2016(4):84-89.
- [9] 刘颖,顾响烽,张伟杨,等. 水分与氮素及其互作调控小麦产

- 量和水氮利用效率研究进展[J]. 作物杂志,2023(4):7-15.
- [10] 李欢欢,刘浩,庞婕,等. 水氮互作对盆栽番茄生长发育和养分累积的影响[J]. 农业机械学报,2019,50(9):272-279.
- [11] OWEIS T Y, HACHUM A, PALA F, et al. Nitrogen responses and nitrogen-use efficiency under progressive drought stress in durum wheat[J]. Field Crops Research, 2020, 255:107802.
- [12] 郭天财,冯伟,赵会杰,等. 水氮运筹对干旱年型冬小麦旗叶生理性状及产量的交互效应[J]. 应用生态学报,2004,15(3):453-457.
- [13] 王艳哲,刘秀位,孙宏勇,等. 水氮调控对冬小麦根冠比和水分利用效率的影响研究[J]. 中国生态农业学报,2013,21(3):282-289.
- [14] 吴倩,吴启侠,邓超,等. 控制排水条件下施氮水平对棉花生长、吸氮量和产量的影响[J]. 灌溉排水学报,2023,42(10):32-38.
- [15] 尔晨,林涛,王家勇,等. 水氮耦合对棉花干物质积累及产量的影响[J]. 新疆农业科学,2021,58(7):1187-1196.
- [16] 刘俊明,司转运,武利峰,等. 高低畦种植模式下水氮耦合对冬小麦产量和水氮利用效率的影响[J]. 农业工程学报,2023,39(8):144-154.
- [17] 张腾,邢英英,密菲瑶,等. 根区深层水氮耦合对玉米生长和生理的影响[J]. 西北农业学报,2023,32(11):1707-1717.
- [18] 陈晶晶. 临夏地区麦后复种饲用油菜华油杂 62 高效栽培技术[J]. 农业科技与信息,2016(29):60.
- [19] 高小锋,王进鑫,张波,等. 不同生长期干旱胁迫对刺槐幼树干物质分配的影响[J]. 生态学杂志,2010,29(6):1103-1108.
- [20] 尹光华,刘作新,李桂芳,等. 辽西半干旱区春小麦氮磷水耦合产量效应研究[J]. 农业工程学报,2005(1):41-45.
- [21] 陈修斌,尹鑫,刘珍伶,等. 水氮合理配合对旱区温室番茄土壤酶活性与水氮利用效率的影响[J]. 西北农业学报,2019,28(6):972-980.
- [22] 崔政军,刘栋,吴兵,等. 水氮耦合对旱地胡麻产量形成与花后氮素积累转运的影响[J]. 应用生态学报,2020,31(3):909-918.
- [23] LI F, ZHANG H, WANG Z, et al. Response of biomass accumulation and nitrogen uptake to integrated water and nitrogen management in winter wheat[J]. European Journal of Agronomy, 2015, 62(1): 69-81.
- [24] de Pascale, Rinaldi R M, RUSSO M A. Optimizing yield and water use of processing tomato with deficit surface drip-irrigation and fertilization management[J]. Agricultural Water Management, 2020,228: 105894.
- [25] 谷晓博,李援农,黄鹏,等. 水氮互作对冬油菜氮素吸收和土壤硝态氮分布的影响[J]. 中国农业科学,2018,51(7):1283-1293.
- [26] 韦广源,谭军利,李红,等. 施氮量和灌溉定额对引黄灌区麦后复种油菜产量和水氮利用的影响[J]. 中国生态农业

- 学报(中英文),2023,31(11):1745-1757.
- [27] 谷晓博,李援农,杜娅丹,等.水氮耦合对冬油菜氮营养指数和光能利用效率的影响[J].农业机械学报,2016,47(2):122-132.
- [28] ZENG, L T, LIU X, GENG M X, et al. Recovery from drought stress at the vegetative stage enhances grain yield and quality in wheat[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12: 578477.
- [29] 王斌,聂督,赵圆峰,等.水氮耦合对藜麦产量、氮素吸收和水氮利用的影响[J].灌溉排水学报,2020,39(9):87-94.
- [30] 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.
- [31] 杨建昌,王志琴,朱庆森.不同土壤水分状况下氮素营养对水稻产量的影响及其生理机制的研究[J].中国农业科学,1996(4):59-67.

## Effects of Water and Nitrogen Coupling on Dry Matter Accumulation, Distribution and Yield of Forage Rape

CHEN Zhibo<sup>1</sup>, GAO Shan<sup>1</sup>, ZHANG Rui<sup>2,3</sup>, LUO Lixin<sup>4</sup>, BAO Rui<sup>1</sup>

(1. Agricultural College, Tarim University, Alar 843300, China; 2. Key Laboratory of Biological Resources Protection and Utilization Corps of Tarim Basin-National Key Laboratory Cultivation Base Co-constructed by Province and Ministry, Alar 843300, China; 3. College of Horticulture and Forestry, Tarim University, Alar 843300, China; 4. Agricultural Development Center of the First Division and the Third Regiment of Xinjiang Production and Construction Corps, Aksu 843000, China)

**Abstract:** In order to promote high-yield and high-quality forage and scientific management of water and fertilizer in Xinjiang. The Huayouza 62 variety of rapeseed was used as the test material to conduct different water-nitrogen coupling treatments. Three different irrigation levels were set:  $3\ 000\ \text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  (W1),  $3\ 750\ \text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  (W2), and  $4\ 500\ \text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  (W3), three different nitrogen application gradients were set:  $121.5\ \text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (N1),  $142.2\ \text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (N2), and  $162.9\ \text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (N3). Through random combination, nine treatments were carried out in total. The accumulation and distribution of dry matter in forage rape under different treatments were analyzed to select the optimal treatment most conducive to increased production of forage rape. The results showed that, the accumulation of dry matter in forage rape increased with the increase of irrigation amount. The accumulation of dry matter under the W3N3 treatment increased by 47.70% and 108.62% compared with the W2N3 treatment and W1N3 treatment, respectively, and the yield increased by 9.77% and 74.02%. Under good water conditions, dry matter accumulation was positively correlated with nitrogen application rate, but under drought stress, dry matter accumulation showed an increasing and then decreasing trend. In terms of dry matter distribution, the proportion of stem biomass increased gradually and the proportion of leaves decreased gradually with the progression of the growth period. It demonstrates that under the condition of this study, the high-water and high-nitrogen treatment of W3N3 ( $4\ 500\ \text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  and  $162.9\ \text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) is more conducive to dry matter accumulation of forage rape, through which more biomass can be obtained.

**Keywords:** water and nitrogen coupling; forage rapeseed; dry matter; yield

欢迎订阅