

不同复水措施对油菜生长、产量及品质性状的影响

朱宗河¹, 郑文寅¹, 周可金¹, 刘萃鹤¹, 张学昆²

(1. 安徽农业大学农学院, 安徽 合肥 230036; 2. 中国农业科学院油料作物研究所, 湖北 武汉 430062)

摘要: 以2个油菜品种为材料, 在播后30~100 d的苗期干旱胁迫后采取“水”、“水+钾肥”、“水+钾肥+赤霉素”、“水+尿素”、“水+尿素+赤霉素”等5种复水处理, 研究干旱胁迫后各复水措施对油菜生长、产量及品质的影响, 分析不同复水措施增产的成因。结果表明: 苗期干旱胁迫后, 与未复水对照相比, 除在皖油19中“水”处理未显著提高地上部干重和“水+尿素”处理未显著提高总根干重外, 5种干旱恢复措施都显著提高了天禾油11和皖油19的地上部干重、总根干重、小区产量和产油量; 5种复水处理对2个油菜品种的地上部干重、总根干重、小区产量和产油量, 平均增幅分别达到11.6%、22%、19%和23.7%。5种复水措施中, 地上部干重、总根干重、籽粒产量、产油量增幅最大的都是“水+尿素+赤霉素”, 分别增加24.7%、27.7%、34.2%和36.8%。与未复水对照相比, 5种复水措施产量增幅由高到低依次为: “水+尿素+赤霉素”、“水+尿素”、“水+钾肥+赤霉素”、“水+钾肥”和“水”。关联及相关分析表明, 5种复水措施促进增产的主要原因是复水显著增加了单株总角果数。

关键词: 油菜; 复水; 干旱胁迫; 产量性状; 品质性状

中图分类号: S634.3 **文献标志码:** A

Effect of different rewatering treatments on growth, yield and quality traits of rapeseed (*Brassica napus* L.)

ZHU Zong-he¹, ZHENG Wen-yin¹, ZHOU Ke-jin¹, LIU Cui-he¹, ZHANG Xue-kun²

(1. Department of Agronomy, Anhui Agriculture University, Hefei, Anhui 230036, China;

2. Institute of Oil Crops Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan, Hubei 430062, China)

Abstract: The aim of this study was to investigate the effects of rewatering measures on root, growth, yield and quality traits of rapeseed (*Brassica napus* L.). The seedlings of two cultivars were treated by drought stress from 30 days after sowing (DAS30) to 100 days after sowing (DAS100), and then be rewatered by five treatments: ‘Irrigation(I)’, ‘I + K(KCl)’, ‘I + K + G(Gibberellin)’, ‘I + N(Urea)’, ‘I + N + G’. The results showed that: expect that the treatment of ‘I’ has no marked effect on the above-ground dry weight and ‘I + N’ has no significant increase in total root dry weight in Wanyou No. 19, compared to the control, the five rewatering treatments after drought stress at seedling stage could significantly increase the above-ground dry weight, total root dry weight, the seed yield and oil yield in Wanyou No. 19 and Tianheyong No. 11 with the average increase of 11.6%, 22%, 19% and 23.7%, respectively. Among the five rewatering treatments, ‘I + N + G’ had the largest increase in the above-ground dry weight, total root dry weight, grain yield and oil yield with the average amplitude of 24.7%, 27.7%, 33.1% and 36.8%, respectively. Compared to the control, the order of increasing amplitude of yield from high to low is ‘I + K + G’, ‘I + N’, ‘I + K + G’, ‘I + K’ and ‘I’. The correlation analysis indicated that the main reason that the rewatering treatment could enhance yields owing to the significant increase of the total number of pods per plant.

Keywords: *Brassica napus* L.; rewatering; drought tolerance; yield trait; quality trait

收稿日期: 2016-01-24

基金项目: 安徽省自然科学基金(1308085MC45); 安徽省油菜产业技术体系专项(11008726); 安徽农业大学学科骨干培育项目(2014XKPY-02)

作者简介: 朱宗河(1974—), 男, 安徽池州人, 博士, 副教授, 主要从事油菜育种研究。E-mail: zhuzonghe_74@163.com。

油菜是我国三大油料作物之一,长江流域冬油菜主产区,油菜种植过程中易发生的旱害是限制油菜生产的重要非生物因素之一^[1]。干旱推迟油菜营养生长期,降低生物学产量,影响形态建成,最终降低油菜产量和影响菜籽品质^[2-7]。减少油菜旱害除合理的生产布局和选用耐旱品种外,最有效的就是通过肥水调控等抗旱措施恢复油菜正常生长,避免因旱成灾。

有研究表明,油菜在干旱胁迫后复水结合施氮、磷、钾肥,对光合作用和气体交换有一定程度的恢复^[8],赤霉素还可以提高油菜种子在干旱胁迫条件的发芽率,增强幼苗耐旱能力^[9],但肥水结合赤霉素处理对干旱胁迫条件下油菜生长、产量及品质性状的影响尚未见报道。本研究在模拟油菜遭遇苗期旱害情况下,探讨肥水及赤霉素处理对油菜根系、农艺性状、产量及品质的影响,比较不同复水措施的抗旱效果,分析不同复水措施促进增产的成因,为油菜抗旱减灾提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

前茬黄豆,砂壤土,中等肥力。氮肥为尿素(安徽合肥产)含 N:50%,钾肥为氯化钾(加拿大产)含 K₂O:60%,赤霉素为 15% 可湿性粉剂(四川成都产)。试验品种为天禾油 11(由安徽天禾农科院提供)和皖油 19(由安徽省农业科学院作物所提供)。

1.2 试验设计与方法

1.2.1 试验设计 采用 5 种复水措施(表 1),分别是:水(I₁N₀K₀G₀)、“水+钾肥(I₁N₀K₁G)”、“水+钾肥+赤霉素(I₁N₀K₁G₁)”、“水+尿素(I₁N₁K₀G₀)”、“水+尿素+赤霉素(I₁N₁K₀G₁)”,以干旱处理(I₀N₀K₀G₀)为对照。3 次重复,3 行/重复,行长 2 m,株行距为 0.30 m×0.33 m,小区间设隔水带,小区及隔水带面积都为 2 m²。

表 1 油菜抗旱试验设计

Table 1 Designs of drought recovery experiment on rapeseed

试验编号 Code	试验处理 Treatment	肥水及赤霉素配比/(kg·hm ⁻²) Rate of water, fertilizer and GA3			
		水 Irrigation(I)	尿素 Urea(N)	钾肥 KCl(K)	赤霉素 Gibberellin(G)
1	I ₀ N ₀ K ₀ G ₀	0	0	0	0.0
2	I ₁ N ₀ K ₀ G ₀	7500	0	0	0.0
3	I ₁ N ₀ K ₁ G ₀	7500	0	150	0.0
4	I ₁ N ₀ K ₁ G ₁	7500	0	150	1.5
5	I ₁ N ₁ K ₀ G ₀	7500	300	0	0.0
6	I ₁ N ₁ K ₀ G ₁	7500	300	0	1.5

1.2.2 试验方法 直播密度为每公顷 10 万株,在干旱棚内进行。干旱胁迫-复水处理:播后 25 d(25 days after sowing, DAS25)预控水至土壤含水量为田间持水量的 85±5%(0~40 cm),播后 30 d(DAS30),停止供水,用分段控制的喷灌设施及土壤湿度传感器(PTM-48M, Phytech Ltd. Israel)保持土壤含水量为田间持水量的 55±5%(0~40 cm)至播种后 100 d(DAS100)进行复水处理,保持土壤水分达到田间持水量的 85±5%(0~40 cm)至收获;干旱胁迫处理:播后 25 d,预控水至土壤含水量为田间持水量的 85±5%(0~40 cm),播后 30 d(DAS30)停止供水,用分段控制的喷灌设施及土壤湿度传感器(PTM-48M, Phytech Ltd. Israel)保持土壤含水量为田间持水量的 55±5%(0~40 cm)至收获,小区田间管理同大田生产。

1.3 性状调查与分析

1.3.1 性状调查与测定 成熟期取 3 行区中间行 8 株,称地上部鲜重,游标卡尺测茎粗(挂藏室风干后考察地上部干重、单株籽粒产量、株高、一次分枝、单株角果数、每角粒数、千粒重等农艺性状,电子磅称小区产量(含考种株);收获完挖取样株根系,流水冲洗干净,调查总根体积、侧根体积,根体积调查按照张宪政方法^[10]。105℃烘干 0.5 h,80℃烘干 4 h 后称总根干重、侧根干重。各处理收获种子晒干后(8%含水量),用近红外分析仪分析品质(FOSS NIR System MODEL 5000 型)。

1.3.2 数据分析 DPS V8.01 计算相关系数及关联度(小区产量为母序列,标准化后,分辨系数设为 0.5)。

2 结果与分析

2.1 不同复水处理对油菜根系及生长性状的影响

从表 2 可以看出,苗期肥水调控结合施用赤霉素对油菜根系及生长发育性状有程度不同的改善。在苗期干旱胁迫后,复水可以显著增加地上部干重及总根干重,平均增幅分别达到 11.6% 和 22%。两个品种在等量灌溉和等量施用钾肥(或尿素)前提下,赤霉素处理的地上部干重和总根干重都显著高于未施赤霉素处理。说明油菜在苗期遇到旱害时,通过肥水结合赤霉素优化调控显著促进油菜地上部营养体和根系生长。各处理中以“水+尿素+赤霉素”的抗旱效果最好,主要表现在地上部干重和总根干重分别比对照平均增加 24.7% 和 27.7%。

表 2 不同复水处理对油菜根系及生长性状的影响

Table 2 Effect of different rewatering measurements on growth and root traits of *Brassica napus* L.

品种 Variety	处理 Treatment	地上部 干重/g ADW	茎粗 /mm SD	侧根 干重/g LRDW	主根 干重/g MRDW	总根 干重/g RDW	侧根体 积/mm ³ LRV	主根体 积/mm ³ MRV	总根体 积/mm ³ RV
天禾油 11 Tianheyou No. 11	I ₀ N ₀ K ₀ G ₀	136d	9.5a	0.46b	2.2b	2.66c	1.22c	6.11b	7.33c
	I ₁ N ₀ K ₀ G ₀	140c	9.7a	0.55b	3.01ab	3.56a	1.44bc	7.67ab	9.11ab
	I ₁ N ₀ K ₁ G ₀	146c	9.9a	0.48b	3.13a	3.61a	1.61ab	8.56a	10.17ab
	I ₁ N ₀ K ₁ G ₁	162b	10.9a	0.55b	3.28a	3.83a	1.83a	8.72a	10.55a
	I ₁ N ₁ K ₀ G ₀	148c	10.3a	0.54b	2.74ab	3.28b	1.44bc	7.39ab	8.83b
皖油 19 Wanyou No. 19	I ₁ N ₁ K ₀ G ₁	176a	11.1a	0.68a	2.97ab	3.65a	1.89a	7.67ab	9.56ab
	I ₀ N ₀ K ₀ G ₀	110d	8.6b	0.40d	2.64b	3.04d	1.06d	6.17cd	7.23b
	I ₁ N ₀ K ₀ G ₀	114.7cd	8.5b	0.56b	2.76ab	3.32bc	1.33b	6.00cd	7.33b
	I ₁ N ₀ K ₁ G ₀	116c	9.5a	0.52c	2.84ab	3.36bc	1.39b	6.28bc	7.67b
	I ₁ N ₀ K ₁ G ₁	120b	8.9ab	0.64a	2.76ab	3.4ab	1.39b	6.61b	8.00b
	I ₁ N ₁ K ₀ G ₀	118bc	9.1ab	0.51c	2.66b	3.17cd	1.22c	5.89d	7.45b
	I ₁ N ₁ K ₀ G ₁	132a	9.6a	0.56b	3.03a	3.59a	1.56a	7.5a	9.06a

注: ADW:地上部干重;SD:茎粗;LRDW:侧根干重;MRDW:主根干重;RDW:总根干重;LRV:侧根体积;MRV:主根体积;RV:总根体积。数据后的不同字母表示处理间差异达显著水平(0.05)。下同。

Note: ADW: above-ground dry weight; SD: stem diameter; LRDW: lateral root dry weight; MRDW: main root dry weight; RDW: total root dry weight; LRV: lateral root volume; MRV: main root volume; RV: total root volume. Values followed by different letters are significantly difference at 0.05 level. The same as below.

2.2 不同复水处理对油菜产量及农艺性状的影响

从表 3 可以看出,油菜在遇到苗期旱害条件下,采取肥水调控措施可以显著提高油菜产量,5 种复水措施增产幅度在 9.2% ~ 34.2% 之间,平均增幅达 19%。各产量因子中,复水对总角数改善效果最好,千粒重其次,对角粒数的改善效果相对较差。在灌溉和施等量钾肥(或尿素)前提下,施赤霉素处理的总角数和小区产量都显著高于未施赤霉素处理,说明在油菜抗旱减灾措施中,适当增施赤霉素能起到促进开花结实、提高籽粒产量的作用。“水+尿素+赤霉素”在 5 种复水措施中,增产幅度最大,平均比对照增产 34.2%。

2.3 不同复水处理对油菜品质性状的影响

从表 4 可以看出,灌溉后施氮肥比施钾肥更能提高种子中蛋白质含量;干旱恢复措施对种子脂肪酸成分中的棕榈酸和甘碳烯酸没有显著影响。与对照相比,5 种复水措施处理,种子含油量和产油量都有显著增加,产油量增幅平均达 23.7%。“水+尿素+赤霉素”处理单株种子产油量最高,天禾油 11、皖油 19 分别比相应对照增加 48.6% 和 24.9%,平均增加达 36.8%。

2.4 不同复水处理油菜产量与根系、生长、农艺及产量性状的关联度及相关性

各抗旱措施小区籽粒产量与根系及生长发育性状灰色关联及相关分析表明,除处理 4(I₁N₀K₁G₁)

外,其余 4 种处理中,地上部干重与产量的关联度都相对较高,相关系数都达到显著或极显著水平(见表 5)。此外,处理 5(I₁N₁K₀G₀)与处理 6(I₁N₁K₀G₁)的侧根体积与产量也呈显著或极显著正相关,而各处理的侧根干重、主根干重、总根干重与相应的小区产量间相关不显著。

各处理小区籽粒产量与农艺及产量因子关联及相关分析见表 6。在干旱胁迫处理(I₀N₀K₀G₀)中与产量关联度和相关性最强的两个农艺性状分别是分枝高度和角果粒数,相关系数分别达到 0.969 和 0.900,都达到极显著水平。处理 1(I₁N₀K₀G₀)与产量关联度和相关系数最大的都是总角果数,相关系数为 0.894,达到极显著正相关。处理 3(I₁N₀K₁G₀)分枝高度与产量的关联度最大,相关性也达到极显著水平。处理 4(I₁N₀K₁G₁)中角果粒数与产量关联度最大,但相关性未达到显著水平。处理 5(I₁N₁K₀G₀)中,关联度从大到小依次为:分枝高度 > 总角果数 > 角果粒数 > 主花序角 > 株高 > 一次分枝 > 千粒重 > 二次分枝 > 主花序长,相关系数大小与关联度一致,即在“水+尿素”的干旱恢复措施中,分枝高度、总角果数及千粒重与干旱恢复后的产量相关性最强,相关系数分别为 0.995、0.989 和 0.956,都达到极显著水平,灌溉及氮肥抗旱措施通过影响分枝高度、总角果数及千粒重,最终影响单位面积产量形成。处理 6(I₁N₁K₀G₁)中,该处理中这两个性状与最终的产量形成有显著相关性。

表3 不同复水处理对油菜农艺及产量性状的影响
Table 3 Effect of different rewating measurements on agronomic and yield traits of *Brassica napus* L

品种 Variety	处理 Treatment	株高 PH /cm	分枝高 BH /cm	主序长 LI /cm	一次枝 PBN /(No· plant ⁻¹)	二次枝 SB /(No· plant ⁻¹)	主序角 NRP /(No· plant ⁻¹)	总角数 PN /(No· plant ⁻¹)	角粒数 SPP /(No· plant ⁻¹)	千粒重 TSW /g	单株籽重 SY /(g·plant ⁻¹)	小区产量 Yield /(g·m ⁻²)
天禾油 11 Tianheyou No. 11	I ₀ N ₀ K ₀ G ₀	112.8a	30.9a	48.2d	7.7b	2.3de	62c	312e	24.6ab	2.8b	10.1c	181.5e
	I ₁ N ₀ K ₀ G ₀	111.4a	30.1a	48.9cd	7.3b	2.7d	64bc	352d	21.5d	3.3a	12.1abc	196.5d
	I ₁ N ₀ K ₁ G ₀	113.4a	29.4a	48.6d	8.0ab	2.0e	61c	344d	20.3e	3.0ab	10.9bc	207.3d
	I ₁ N ₀ K ₁ G ₁	117.7a	29.5a	51.9bc	7.7b	4.0c	68ab	382c	25.1a	3.0ab	12.2abc	220.3c
	I ₁ N ₁ K ₀ G ₀	120.5a	29.8a	53.5ab	8.0ab	4.7b	70a	419b	23.1c	3.3a	13.2ab	238.0b
	I ₁ N ₁ K ₀ G ₁	121.1a	25.2b	55.8a	8.7a	5.3a	72a	452a	23.7bc	3.2a	14.5a	261.4a
皖油 19 Wanyou No. 19	I ₀ N ₀ K ₀ G ₀	114.9d	22.5c	53.6d	7.3c	3.0e	57b	292f	17.0b	3.1b	8.3d	148.9d
	I ₁ N ₀ K ₀ G ₀	117.7cd	23.7ab	59.5b	7.0c	4.3d	60ab	310e	17.7b	3.4ab	9.1bc	164.5c
	I ₁ N ₀ K ₁ G ₀	124ab	24.7a	60.8a	7.7b	5.7b	61ab	376b	18.3b	3.2ab	8.8cd	158.1c
	I ₁ N ₀ K ₁ G ₁	121.5abc	21.1d	57.7c	8.0ab	5.7b	62a	365c	16.5b	3.2ab	9.6ab	173.0b
	I ₁ N ₁ K ₀ G ₀	120.4bc	19.5e	61.3a	8.0ab	5.0c	60ab	341d	16.7b	3.4ab	9.2bc	164.8c
I ₁ N ₁ K ₀ G ₁	126.5a	23.1bc	61.9a	8.3a	8.0a	63a	428a	20.6a	3.5a	10.1a	182.0a	

注:PH:株高;BH:分枝高;LI:主序长;PBN:一次枝;SB:二次枝;NRP:主序角;PN:总角数;SPP:角粒数;TSW:千粒重;SY:单株籽重。下同。

Note: PH: plant height; BH: branch height; LI: length of main inflorescence; PBN: number of primary branches; SB: number of second branches; NRP: number of pods of main inflorescence; PN: number of pods per plant; SPP: number of seeds per pod; TSW: 1000 seeds weight; SY: seed yield per plant. The same as below.

表4 不同复水处理对油菜品质性状的影响
Table 4 Effect of different rewating measurements on quality traits of *Brassica napus* L.

品种 Variety	处理 Treatment	芥酸 C22:1 /%	硫甙 Glu /($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)	含油量 Oe /%	蛋白质 Pro /%	棕榈酸 C16:0 /%	硬脂酸 C18:0 /%	油酸 C18:1 /%	亚油酸 C18:2 /%	亚麻酸 C18:3 /%	廿碳烯酸 C20:1 /%	产油量 Oil yield /(g·plant ⁻¹)
天禾油 11 Tianheyou No. 11	I ₀ N ₀ K ₀ G ₀	4.32ab	24.68bc	38.48c	25.59b	4.89a	0.09b	63.18b	20.14a	10.51ab	1.21a	3.88d
	I ₁ N ₀ K ₀ G ₀	3.31d	24.29c	39.51ab	25.15b	4.84a	0.16a	63.66ab	20.17a	10.45ab	1.13a	4.78bc
	I ₁ N ₀ K ₁ G ₀	4.25bc	23.96c	40.43a	23.32c	4.89a	0.12ab	64.20a	20.61a	10.10b	1.14a	4.40c
	I ₁ N ₀ K ₁ G ₁	5.02a	23.99c	39.01b	24.66bc	4.91a	0.09b	63.86ab	20.13a	10.20a	1.19a	4.75bc
	I ₁ N ₁ K ₀ G ₀	3.13d	25.81a	39.42ab	25.83b	4.85a	0.13a	63.33b	20.36a	10.60a	1.13a	5.20ab
	I ₁ N ₁ K ₀ G ₁	3.54cd	25.16ab	39.05b	26.68a	4.87a	0.14a	63.19b	20.01a	10.62a	1.15a	5.66a
皖油 19 Wanyou No. 19	I ₀ N ₀ K ₀ G ₀	5.75bc	31.77b	35.83e	26.24c	4.75a	0.25a	61.92a	19.50d	10.23c	1.28a	2.97d
	I ₁ N ₀ K ₀ G ₀	6.54a	38.01a	38.59a	25.20e	4.76a	0.20b	61.59b	19.86c	10.74a	1.33a	3.51abc
	I ₁ N ₀ K ₁ G ₀	5.50c	31.55b	37.29c	25.49d	4.85a	0.24ab	61.57b	20.39ab	10.45bc	1.21a	3.28c
	I ₁ N ₀ K ₁ G ₁	5.86b	30.87c	37.97b	25.62d	4.81a	0.20b	61.59b	20.19b	10.43bc	1.26a	3.64ab
	I ₁ N ₁ K ₀ G ₀	4.65d	30.87c	37.41c	27.90a	4.85a	0.24ab	60.36d	20.12bc	10.79a	1.17a	3.44bc
I ₁ N ₁ K ₀ G ₁	4.51d	27.76d	36.78d	26.82b	4.84a	0.26a	60.83c	20.59a	10.66ab	1.18a	3.71a	

注:(C22:1):芥酸;Glu:硫甙;Fat:含油量;Pro:蛋白质;(C16:0):棕榈酸;(C18:0):硬脂酸;(C18:1):油酸;(C18:2):亚油酸;(C18:3):亚麻酸;(C20:1):廿碳烯酸。

Notes: (C22:1): Enic acid; Glu: Glucosinolate; Fat: Oil content; Pro: Protein; (C16:0): Palmitic acid; (C18:0): Stearic acid; (C18:1): Oleic acid; (C18:2): Linoleic acid; (C18:3): Linolenic acid; (C20:1): Eicosenoic acid.

3 讨论

水稻、小麦、玉米等粮食作物干旱胁迫下的肥料效应研究得较多^[11-14],油菜干旱胁迫条件下的肥水调控措施,特别是结合赤霉素处理的抗旱措施研

究较少。已有的研究表明,氮肥是影响油菜产量的主要因子,合理施用氮肥能显著提高油菜产量^[15];而钾肥对油菜籽内各种重要的酶类起到活化剂作用^[16]。

本研究中油菜在轻度干旱胁迫情况下,各种肥

水调控措施都能缓解干旱带来的不利影响,促进油菜地上部干物质积累、根系生长、产量增加和含油量提高,其中以“水+尿素+赤霉素”的干旱恢复措施效果最好,主要表现在地上部干重、总根干重、产量、产油量增幅都最大,分别达到 24.7%、27.7%、34.2%和 36.8%。

在“水+尿素+赤霉素”抗旱措施中,在苗期干旱胁迫解除后,根系能更快地恢复生长,保证了油菜能更充分吸收水分和养分;地上部营养体能更快地

积累和形成,确保了苗期干旱胁迫后营养生长阶段的形态建成。而增施赤霉素又促进了油菜生殖生长阶段的花芽分化和抽薹开花,增加了单株角果数、每角粒数,提高了千粒重,从而达到抗旱减灾的目的和增产的效果。

今后的研究中还可以考虑在抗旱措施中增施磷肥,研究 N、P、K 及赤霉素的施肥组合和不同施肥量的抗旱增产效果,探索节本增效的最佳抗旱措施,为油菜抗旱减灾提供理论依据。

表 5 不同处理下油菜产量与生长发育性状的关联度和相关系数

Table 5 Grey correlations and correlation coefficients between yield and root and growth traits of 6 treatments

处理 Treatment	项目 Item	地上部干重 ADW	茎粗 SD	侧根干重 LRDW	主根干重 MRDW	总根干重 RDW	侧根体积 LRV	主根体积 MRV	总根体积 RV
I ₀ N ₀ K ₀ G ₀	关联度 CD	0.643	0.777	0.742	0.532	0.529	0.596	0.635	0.566
	相关系数 CC	0.602	0.746*	0.624	-0.494	-0.549	0.167	-0.057	-0.204
I ₁ N ₀ K ₀ G ₀	关联度 CD	0.871	0.684	0.626	0.647	0.698	0.551	0.736	0.762
	相关系数 CC	0.791*	0.434	0.237	0.262	0.156	-0.409	0.635	0.620
I ₁ N ₀ K ₁ G ₀	关联度 CD	0.862	0.739	0.753	0.706	0.702	0.802	0.999	0.789
	相关系数 CC	0.873**	0.236	-0.144	0.045	0.016	0.609	0.993**	0.775*
I ₁ N ₀ K ₁ G ₁	关联度 CD	0.761	0.767	0.824	0.777	0.750	0.795	0.775	0.779
	相关系数 CC	0.054	0.402	0.580	-0.018	-0.030	0.491	-0.386	0.481
I ₁ N ₁ K ₀ G ₀	关联度 CD	0.814	0.720	0.574	0.601	0.530	0.828	0.695	0.595
	相关系数 CC	0.949**	0.682*	0.231	0.072	0.094	0.748*	0.527	0.543
I ₁ N ₁ K ₀ G ₁	关联度 CD	0.870	0.760	0.701	0.699	0.657	0.875	0.581	0.636
	相关系数 CC	0.901**	0.576	0.510	-0.016	0.201	0.933**	0.034	0.292

注:CD:关联度;CC:相关系数;*,**分别表示达到0.05和0.01水平,下同。

Note: CD: correlation degree; CC: correlation coefficient; *, ** represent the significance levels at 0.05 and 0.01. The same as below.

表 6 肥水等不同处理下油菜产量与农艺性状和产量因子的关联度和相关系数

Table 6 Grey correlations and correlation coefficients between yield and agronomic traits of 6 treatments

处理 Treatment	项目 Item	株高 PH	分枝高 BH	主序长 LI	一次枝 PBN	二次枝 SB	主序角 NRP	总角数 PN	角粒数 SPP	千粒重 TSW
I ₀ N ₀ K ₀ G ₀	关联度 CD	0.617	0.882	0.5485	0.677	0.510	0.829	0.758	0.852	0.593
	相关系数 CC	0.036	0.969**	-0.260	0.306	-0.847**	0.798**	0.482	0.900**	-0.671*
I ₁ N ₀ K ₀ G ₀	关联度 CD	0.589	0.804	0.560	0.777	0.539	0.718	0.921	0.723	0.734
	相关系数 CC	0.035	0.825**	-0.468	0.395	-0.876**	0.525	0.894**	0.759*	0.239
I ₁ N ₀ K ₁ G ₀	关联度 CD	0.699	0.864	0.656	0.683	0.599	0.770	0.771	0.772	0.695
	相关系数 CC	-0.385	0.882**	-0.681*	0.117	-0.886**	0.217	0.232	0.581	0.122
I ₁ N ₀ K ₁ G ₁	关联度 CD	0.691	0.7681	0.771	0.706	0.686	0.780	0.657	0.853	0.789
	相关系数 CC	0.419	0.258	0.475	0.015	-0.052	0.219	-0.408	0.592	0.580
I ₁ N ₁ K ₀ G ₀	关联度 CD	0.665	0.983	0.495	0.627	0.540	0.696	0.886	0.861	0.591
	相关系数 CC	0.170	0.995**	-0.509	0.152	-0.175	0.744*	0.989**	0.956**	0.079
I ₁ N ₁ K ₀ G ₁	关联度 CD	0.561	0.779	0.570	0.710	0.567	0.750	0.614	0.715	0.657
	相关系数 CC	-0.393	0.542	-0.549	0.427	-0.945**	0.722*	0.257	0.684*	0.005

旱带玉米种植观测资料的不足,本文对玉米生育期的划分主要是根据引黄灌区玉米观测资料以旬为单位进行了生育期的划分,使得生育期表达不够精确。此外,覆膜作为重要的农业技术在玉米生产中得到应用,今后应在量化单一气象要素和覆膜技术的增温效应对产量的影响方面以及更为适用的适宜度计算公式方面加强研究,以进一步提高适宜度的表达准确度。

参考文献:

- [1] 王馥棠,赵宗慈,王石立,等.气候变化对农业生态的影响[M].北京:气象出版社,2003:96-126.
- [2] 张强,邓振镛,赵映东,等.全球气候变化对我国西北地区农业的影响[J].生态学报,2008,(3):1210-1219.
- [3] 郭庆海.中国玉米主产区的演变与发展[J].玉米科学,2010,18(1):139-145.
- [4] 李祎君,王春乙.气候变化对我国农作物种植结构的影响[J].气候变化研究进展,2010,6(2):123-130.
- [5] Watson R T, Albritton D L, Barker T. Climate Change 2001—Synthesis Report. United States of America: Cambridge University Press, 2001:46.
- [6] 赖荣生,余海龙,黄菊莹.宁夏中部干旱带气候变化及其对春玉米气候生产潜力的影响[J].中国农业大学学报,2014,19(3):108-114.
- [7] 马树庆.吉林省农业气候研究[M].北京:气象出版社,1994:33.
- [8] 白永平.西北地区(甘宁青)农业生态气候资源量化与评价[J].自然资源学报,2000,15(3):218-224.
- [9] 赵峰,千怀遂,焦士兴.农作物气候适宜度模型研究——以河

- 南省冬小麦为例[J].资源科学,2003,25(6):77-82.
- [10] 赵峰,千怀遂.全球变暖影响下农作物气候适宜性研究进展[J].中国生态农业学报,2004,12(2):134-137.
- [11] 郝君明,赵军,刘红兵,等.基于FIS与GIS方法的山西省玉米气候适宜性评价[J].安徽农业科学,2008,36(23):10129-10130.
- [12] 刘伟昌,陈怀亮,余卫东,等.基于气候适宜度指数的冬小麦动态产量预报技术研究[J].气象与环境科学,2008,(31):21-24.
- [13] 贾建英,郭建平.东北地区近46年玉米气候资源变化研究[J].中国农业气象,2009,30(3):302-307.
- [14] 宫丽娟,王晨轶,朱海霞,等.玉米气候适宜度变化分析[J].玉米科学,2013,21(5):140-146.
- [15] 姚小英,蒲金涌,姚茹莘,等.气候暖干化背景下甘肃旱作区玉米气候适宜性变化[J].地理学报,2011,66(1):59-67.
- [16] 何永平,徐秀梅.宁夏中部干旱带气候变化对玉米产量的影响——以盐池县、同心县为例[J].宁夏农林科技,2012,53(4):1-3,17.
- [17] 魏瑞江,宋迎波,王鑫.基于气候适宜度的玉米产量动态预报方法[J].应用气象学报,2009,20(5):622-627.
- [18] 范磊,郑国清,赵全志,等.河南省水稻气象灾害因子分析及主要灾害发生区划研究[J].中国农业资源与区划,2013,34(6):162-168.
- [19] 千怀遂,焦士兴,赵峰.全球气候变化对作物气候适宜性的影响——以河南省冬小麦为例[J].农业现代化研究,2004,25(2):106-110.
- [20] 魏瑞江,张文宗,康西言,等.河北省冬小麦气候适宜度动态模型的建立及应用[J].干旱地区农业研究,2007,25(6):5-15.
- [21] 陈晓光,苏占胜,郑广芬,等.宁夏气候变化的事实分析[J].干旱区资源与环境,2005,19(6):43-47.

(上接第208页)

参考文献:

- [1] 王汉中.中国油菜生产抗灾减灾技术手册[M].北京:中国农业科学技术出版社,2009.
- [2] 朱宗河,郑文寅,张学昆.甘蓝型油菜耐旱相关性状的主成分分析及综合评价[J].中国农业科学,2011,44(9):1775-1787.
- [3] Eyob H T, John G, Joachim M S. Water stress effects on winter canola growth and yield[J]. Agronomy Journal, 2010,102(2):658-666.
- [4] Muller T, Luttschwager D, Lentzsch P. Recovery from drought stress at the shooting stage in oilseed rape (*Brassica napus*) [J]. J Agronomy & Crop Science, 2010,196:81-89.
- [5] Hamzei J, Soltani J. Deficit irrigation of rapeseed for water-saving: effects on biomass accumulation light interception and radiation use efficiency under different N rates[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2012,155(28):153-160.
- [6] Jean-Nicolas E, Zheng S S, Jerry J J, et al. Brassicaceae germplasm diversity for agronomic and seed quality traits under drought stress[J]. Industrial Crops and Products, 2013,47:176-185.
- [7] Hamid J, Gholam A A, Nayer A, et al. Relationships between seedling establishment and soil moisture content for winter and spring rapeseed genotypes[J]. Industrial Crops and Products, 2013,49:177-187.

- [8] 蒙祖庆,宋丰萍,刘振兴,等.干旱及复水对油菜苗期光合及叶绿素荧光特性的影响[J].中国油料作物学报,2012,(1):40-47.
- [9] 李震,杨春杰,张学昆,等.PEG胁迫下甘蓝型油菜品种(系)种子发芽耐旱性鉴定[J].中国油料作物学报,2008,30(4):438-442.
- [10] 张宪政.作物生理研究法[M].北京:农业出版社,1992.
- [11] 朱维琴,吴良欢,陶勤南.氮营养对干旱逆境下水稻体内可溶性渗透调节物质的影响[J].浙江大学学报,2003,29(5):479-484.
- [12] 宋娜,郭世伟,沈其荣.不同氮素形态及水分胁迫对水稻苗期水分吸收、光合作用及生长的影响[J].植物学通报,2007,24(4):477-483.
- [13] 张蕊,张富平,郝艳丽.水分胁迫条件下磷素营养对小麦抗旱影响的研究进展[J].安徽农业科学,2007,35(11):3313-3314.
- [14] 张立新,李生秀.水分胁迫下氮、钾对不同基因型夏玉米氮代谢的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):554-560.
- [15] 李银水,鲁剑魏,邹娟,等.湖北省油菜氮肥效应及推荐用量研究[J].中国油料作物学报,2008,30(2):218-223.
- [16] 刘后利.实用油菜栽培学[M].上海:上海科学技术出版社,1987:251-256.