文章编号:1672 - 3317(2019)05 - 0019 - 06

呼伦贝尔地区喷灌对大豆生长及水分利用效率的影响

闫泽宇[1],史海滨[1*],杨树青[1],王佐奎[2],王美荣[1]
(1.内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院,呼和浩特 010018;
2.内蒙古呼伦贝尔市阿荣旗水务局,内蒙古 呼伦贝尔 162750)

摘 要:【目的】优化呼伦贝尔地区灌溉管理制度。【方法】针对呼伦贝尔大豆喷灌补灌技术,以"新密荚王738"为供试品种,采用喷灌,设75 mm(P1)、85 mm(P2)、95 mm(P3)、105 mm(P4)4个灌水量处理,并设置1个无灌溉对照处理(CK),测定了不同时期的生物质量、产量、产量构成因子,分析了不同水平下生育期各阶段的耗水规律和水分利用效率。【结果】不同生育期灌水均能促进植物株高和叶面积的生长,株高较CK增加了3.8%~14.1%,叶面积指数较CK增加了2.4%~16.7%,结荚期是株高和叶面积指数的需水敏感期。与CK相比,灌水各处理百粒质量和荚粒数明显增加,单株荚数显著增加。与CK相比,P2处理荚数、百粒质量分别提高了37.2%、11.1%,P4处理荚数、百粒质量分别提高了21.9%、6.6%。P1、P2、P3和P4处理产量分别增加了9.9%、21.9%、20.8%和16.9%。全生育期大豆耗水量在326.7~435.8 mm之间,且随着灌水量的增加,大豆总耗水量显著增加,P1、P2、P3、P4处理分别比CK增加了17.7%、19.9%、26.5%、33.4%。不同生育阶段大豆耗水量不同,结荚期与鼓粒期为主要耗水阶段,共占总耗水量的48.6%以上。生育期日耗水强度均值表现为结荚期>鼓粒期>开花期>成熟期>分枝期>苗期。P1、P2、P3、P4处理*WUE*均分别比CK提高了17.4%、27.5%、20.3%和10.1%。【结论】本试验条件下,不同灌水量对耗水量和水分利用效率影响比较明显,P2处理在各方面表现均最好,可以达到节水与高产的目标。

关 键 词:喷灌;大豆;耗水量;产量;水分利用效率
中图分类号:S27 **文献标志码:**A doi:10.13522/j.cnki.ggps.20180556
闫泽宇,史海滨,杨树青,等.呼伦贝尔地区喷灌对大豆生长及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2019,38(5):19-24.

0 引 言

大豆是我国重要的粮食和油料作物之一,在当前形势下,大豆的高产稳产关系到国家的粮食安全。阿荣旗地处大兴安岭东南麓,是内蒙古重要的大豆生产基地。该地区水资源相对丰富,但降雨多集中在7—8月,常出现春旱、秋旱,导致大豆产量不稳[1]。由于灌溉水平较低,传统灌溉方式已无法满足当地现代农业发展要求[2],在该地区尝试发展喷灌技术进行补充灌溉,对促进当地农业的发展和粮食生产有重要意义。近年来,随着国家田间节水工程投入的增加和喷灌设备成本的降低,喷灌技术不仅在蔬菜、果树等经济作物上得到了广泛应用,在大田作物的应用也有快速发展。喷灌较传统地面灌溉技术具有节水和增产效果,在灌水过程中还可以形成适宜的农田小气候,提高作物对灌溉水的利用效率[3]。Sun等[4]认为喷灌作为一种先进的节水灌溉技术,对土壤结构影响较小,采用喷灌技术不仅可以提高水分利用效率,还可以改善作物的生长环境。在喷灌过程中采用不同的灌溉制度,对作物的生育期、生长特性、主要农艺性状以及产量均有不同程度的影响[5]。徐淑琴等[6]通过黑龙江垦区多年的灌溉试验观测,提出了大豆需水规律及喷灌模式。侯志强等[7]通过研究大豆不同生育期的干旱胁迫,明确了大豆产量的关键需水期,分析了干旱胁迫下的耗水规律以及*WUE*的影响。刘海军等[8]研究了喷灌对冬小麦生长环境、产量以及水分利用效率的影响。刘钰等[9]分析了四平地区降雨和需水规律,提出了适宜灌溉水量。根据水与作物生长和产量的关系,提高水分向作物根系吸收转化和光合产物向经济产量的效率,可实现作物高产和高水分利用率[10-11]。刘增近等[12]研究了不同灌溉制度下冬小麦的耗水规律、产量与水分的关系。王海霞等[13]研究了不同灌溉制度对不同品种的冬小麦产量

收稿日期:2018-10-15
基金项目:内蒙古自治区科技厅重大项目(206202132)
作者简介:闫泽宇(1994-),男,河北张家口人。硕士研究生,主要从事节水灌溉理论与新技术。E-mail: yzyemail@163.com
通信作者:史海滨(1961-),男,山西太谷人。教授,主要从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail: shi_haibin@sohu.com

和水分利用效率的影响。上述研究虽对作物水分调控已有大量研究报道，但不同地区的气候条件、作物品种以及栽培措施相差较大，同时呼伦贝尔地区春旱发生率很高，制约了当地农业的可持续发展，为改变当地雨养农业的这一现状，进行合理的补充灌溉，具有很大的现实意义。但合理的补灌制度对大豆生长的影响及水分利用效率等有待进一步深入探讨。因此，本研究设置不同的灌水处理，研究其对呼伦贝尔地区大豆生长发育、耗水量、产量以及水分利用效率的影响。通过分析不同灌水水平对大豆生理性状、产量以及水分利用效率的影响，确定大豆适宜灌溉制度，确定喷灌条件下大豆水分高效利用机制，为当地农业的发展提供一定理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2017年5—10月在内蒙古呼伦贝尔市阿荣旗松塔沟村进行，试验区位于大兴安岭东南地区。地理位置为122°2′E，47°56′N，属中温带大陆性半湿润气候，年均日照时间为2 430 h，无霜期132 d左右，春季干旱多风少雨，夏季温热多雨。多年平均降雨量为441.36 mm，多集中在每年的6—8月，年蒸发量1 615.11 mm。土壤有机质量为15.14 g/kg，全氮量为0.803 g/kg，全磷量为0.08 g/kg，全钾量为1.04 g/kg，速效磷量为8.44 mg/kg，速效钾量为206.5 mg/kg，pH值为6.8。土壤理化性质如表1所示。

表1 土壤理化性质

土层深度/cm	土壤类型	体积质量/(g·cm^{-3})	土壤孔隙度/%	饱和含水率/%	田间持水率/%
0～20	砂质壤土	1.4	47.0	39.1	28.1
20～40	砂质壤土	1.5	44.4	36.6	29.2
40～60	砂质壤土	1.6	41.1	37.4	25.7
60～80	粉质壤土	1.6	39.6	35.4	23.4
80～100	砂质壤土	1.7	37.0	34.3	20.8

根据试验区多年生育期降雨资料，2017年大豆生育期内降雨为278.4 mm，属枯水年。

1.2 试验设计

试验区内大豆全生育期划分为6个生育期，分别为苗期、分枝期、开花期、结荚期、鼓粒期、成熟期。大豆各生育阶段起止日期及时间如表2所示。

表2 2017年大豆各生育阶段起止日期及时间

苗期	分枝期	开花期	结荚期	鼓粒期	成熟期
0618—0701	0701—0721	0721—0808	0808—0815	0815—0910	0910—0927

试供品种为“新密荚王738”，于2017年5月28日播种，试验灌溉方式采用半固定式喷灌，试验按照相同灌水次数、不同灌水定额来设计。根据作物主要根系层内的土壤含水率变化确定灌水时间，灌溉定额分别为75、85、95、105 mm。全生育期灌水3次，分别在分枝期(7月15日)、开花期(7月25日)、鼓粒期(8月25日)灌水。基肥采用一次沟施的施肥方式，追肥采用开花期统一拉沟施加。试验小区采用完全随机设计，为南北走向，试验区总面积为1 271 m^2。共5个处理，每个处理设3次重复，共15个小区，每个小区面积为18 m×4.7 m，灌溉水源为地下水，支管平行种植方向布置，喷头布置在每个小区中间位置，喷头间距为18 m，支管长度72 m，采用多喷头全圆喷洒，保证水量分布均匀。根据当地机井出水情况，可供4个喷头同时工作。喷嘴流量为3.5 m^3/h，射程为9 m，每个处理灌水量用喷灌时间换算确定，在机井出水管处安装水表测定灌水量。田间管理与当地农民保持一致，试验处理设计如表3所示。

表3 试验处理设计

处理	灌溉定额/mm	灌水次数	生育期灌水量/mm		
			分枝期	开花期	鼓粒期
CK	0	0	0	0	0
P1	75	3	15	30	30
P2	85	3	15	35	35
P3	95	3	15	40	40
P4	105	3	15	45	45

1.3 测定指标与方法

1)作物生长指标

株高在各生育时期各处理中随机选取10株能够代表整体长势的植株，取平均值。叶面积指数在不同生育期的前、中、后期各取有代表性植株大豆10株，一般测定具有同化能力的绿色叶片，并测量全部绿色叶片的叶长和叶宽(叶片最宽处的宽度)，然后计算单株叶片数(以总绿色叶片除以测查株数)。单株叶面积(A)

计算式为：

$$A = \Sigma(L \times B \times K)/N \text{ ,} \tag{1}$$

式中：L为叶长；B为叶宽；N为实测株数；K为校正系数，K值取0.729。

叶面积指数计算式为：

$$LAI\text{=单株叶面积×基本株数/面积。} \tag{2}$$

2）作物耗水量

采用水量平衡法确定，计算式为：

$$ET = \Delta W + P + I + G - D - R \text{ ,} \tag{3}$$

式中：ET为作物耗水量（mm）；ΔW=生育期始的土壤贮水量-生育期末的土壤贮水量（mm）；P为生育期降雨量（mm）；I为灌溉量（mm）；G为地下水补给量（mm）；D为深层渗漏量（mm）；R为地面径流（mm）。试验区地下水埋深长期在7 m以下，故不考虑地下水影响。因采取喷灌措施，灌水量小，故不考虑深层渗漏[14]。其中，土壤贮水量计算式为：

$$W = 10\sum_{i=1}^{n} r_i H_i \theta_i \text{ ,} \tag{4}$$

式中：W为土壤贮水量（mm）；θ_i为第i层土壤平均质量含水率（%），采用烘干法测定，每20 cm为1层，取样深度为1 m；γ_i为第i层的土壤密度（g/cm^3）；H_i为第i层土壤厚度（cm）。

3）产量及其构成要素

大豆的籽粒产量采用在每试验小区随机取3处3 m×3 m面积的大豆植株，测出每处籽粒的质量。产量取平均值后折算成单位面积产量。利用电子天秤测质量。

4）作物水分利用效率（WUE）计算式为：

$$WUE = Y_a / ET_c \text{ ,} \tag{5}$$

式中：WUE 为作物水分利用效率（kg/m^3）；Y_a为作物籽粒产量（kg/hm^2）；ET_c为作物生育期总耗水量（mm）。

1.4 数据分析

采用Excel 2010 和SPSS 17.0数据软件对数据进行处理，采用Duncan法进行差异显著性检验，LSD法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同水分处理对大豆生长指标的影响

由表4可以看出，灌水对大豆株高有明显影响。各处理的变化趋势相同，整个生育期中大豆株高逐渐增加，株高最大值出现在成熟期的P2处理，最小值为苗期的CK，成熟期P1、P2、P3、P4处理分别较CK增加4.8%、14.5%、9.7%和3.1%。受水分因素的影响，在苗期灌水对各处理的株高与CK没有显著性差异，进入分枝期后差距加大，开花期除P2处理，各处理株高均与CK无显著差异（P>0.05）。结荚期P1、P2、P3处理间差异不显著，CK、P1与P4处理差异不显著，P2、P3处理显著大于CK、P4处理。开花期、结荚期P2处理大豆株高较CK提高11.4%、14.1%。

表4 不同生育阶段不同水分处理的大豆株高和叶面积指数

处理	株高						叶面积指数					
	苗期	分枝期	开花期	结荚期	鼓粒期	成熟期	苗期	分枝期	开花期	结荚期	鼓粒期	成熟期
CK	20.5a	33.4b	59.9b	65b	73.1b	74.5b	2.38a	3.69b	3.9c	4.2c	3.9b	3.6b
P1	21.4a	36.1ab	64.1ab	71.1ab	77.1ab	78.1ab	2.5a	3.8a	4.3abc	4.4bc	4.0ab	3.8ab
P2	22.4a	38.4a	66.7a	74.1a	83.9a	85.27a	2.46a	3.85a	4.6a	4.9a	4.6a	4.3a
P3	21.8a	37.9a	65.5ab	73.2a	79.4ab	81.7ab	2.43a	3.83a	4.3ab	4.7ab	4.5ab	4.2a
P4	20.9a	35.5ab	62.8ab	67.5b	75.6b	76.8b	2.41a	3.76a	4.1bc	4.3bc	4.2ab	4.0ab

注 表中不同小写字母表示在0.05水平上差异显著，下同。

随着生育期的推进，大豆群体叶面积指数变化情况一致，各处理的叶面积指数呈现出先增大后减小的趋势。分枝期以前，叶面积指数增长速度缓慢，不同水分处理之间差异不明显；分枝到结荚期增长速度最快，各处理叶面积指数出现差异，在结荚期达到顶峰之后缓慢下降，其中P2处理叶面积指数最大，为4.9，CK叶面积指数最低，为4.2。结荚期各处理LAI下降速率随着灌水的增大而降低，表明增加灌水可以能够降低

结荚期之后的叶片衰老程度，保持绿叶功能。在结荚期，P1、P2、P3、P4处理叶面积指数分别较CK增加了4.8%、16.7%、11.9%、2.4%。在各生育时期，叶面积指数均表现为P2处理>P3处理>P1处理>P4处理>CK。在大豆苗期，各处理叶面积指数差异不显著（P>0.05），在分枝期，P1、P2、P3、P4处理间差异不显著，但均显著高于CK（P<0.05）。在结荚期，P2、P3处理叶面积指数较CK差异显著（P<0.05），CK、P1、P4处理差异不显著。在成熟期，P1、P2、P3、P4处理间面积指数差异不显著，P2、P3处理显著大于CK。

2.2 不同水分处理对大豆产量及构成因子的影响

表5给出了不同灌水处理下大豆产量及构成要素的变化。由表5可知，P1、P2、P3、P4处理产量较CK分别增加了9.9%、21.9%、20.8%和16.9%。灌水量增加，产量逐渐增加，但随着灌水过大，开始出现不同程度上的减产。P2、P3处理产量显著大于CK和P1处理（P＜0.05），P1和P4处理差异不显著，P2、P3和P4处理间差异不显著。与CK相比，P1、P2、P3、P4处理的单株荚数增加了13.4%、37.2%、35.7%、21.9%，百粒质量增加了7.6%、11.1%、14.1%、6.6%。各处理的荚粒数表现为：P3处理>P2处理>P4处理>P1处理>CK。对于单株荚数，P2和P3处理之间差异不显著，但均显著大于其他处理（P＜0.05），P1和P4处理差异不显著，但显著高于CK。对于百粒质量，P1、P2、P3和P4处理之间差异不显著，CK、P1、P4处理不显著，P2、P3处理显著大于CK。对于荚粒数，P3与P2处理差异不显著，P3处理显著大于CK、P1、P4处理。与CK相比，灌水处理单株荚数增加13.2%~37.1%，百粒质量增加7.6%~14.2%，荚粒数增加0.4%~0.7%。

表5 不同处理大豆产量及构成要素

处理	单株荚数/个	百粒质量/g	荚粒数/个	产量/(kg·hm^{-2})
CK	32.8c	19.8b	2.36b	2 826.7c
P1	37.2b	21.3ab	2.37b	3 106.6bc
P2	45.0a	22.0a	2.37ab	3 444.4a
P3	44.5a	22.6a	2.37a	3 415.5a
P4	40.0b	21.1ab	2.37b	3 305.9ab

2.3 不同水分处理对大豆耗水量的影响

表6为不同处理大豆不同生育阶段耗水量和日耗水强度。大豆苗期各处理进行了补灌，土壤蒸发相近，大豆蒸腾较小，致使耗水量差异不显著。分枝期P4处理耗水量显著大于CK、P1和P2处理。开花期各处理的耗水量没有显著差异。成熟期P4处理耗水量显著大于其他处理。就全生育期而言，表现为灌水量的增加，总耗水量显著提高。与CK相比，大豆分枝期、结荚期、鼓粒期、成熟期P4处理耗水量分别增加34.7%、33.6%、55.7%、47.2%。与CK相比，大豆苗期、分枝期、开花期、结荚期、鼓粒期、成熟期P2处理耗水量分别增加2.3%、19.8%、5.1%、17.6%、40.9%、21.8%。

表6 不同处理不同生育阶段耗水量和日耗水强度

生育期	阶段耗水量/mm					日耗水强度/(mm·d^{-1})				
	CK	P1	P2	P3	P4	CK	P1	P2	P3	P4
苗期	21.8a	22.3a	22.5a	23.1a	22.9a	1.6a	1.6a	1.6a	1.7a	1.6a
分枝期	48.6c	56.5b	58.2b	61.5ab	65.5a	1.7c	2.7b	2.8b	2.9ab	3.1a
开花期	60.7a	62.9a	63.8a	66.0a	66.4a	2.8b	3.5a	3.6a	3.7a	3.7a
结荚期	92.5c	106.5b	108.8b	116.5ab	123.6a	13.2b	15.2ab	15.6ab	16.6a	17.7a
鼓粒期	66.3c	92.6b	93.4b	97.9 ab	103.2a	2.9c	3.6b	3.6b	3.8ab	4.0a
成熟期	36.9d	43.6c	44.9bc	48.2b	54.3a	2.2c	2.6b	2.6b	2.8b	3.2a

各处理日耗水强度相差不大，与各生育期不同灌水下耗水量情况吻合。不同生育期同一处理日耗水强度存在差异，日耗水强度均值表现为：结荚期>鼓粒期>开花期>成熟期>分枝期>苗期。开花期CK与各处理差异显著。成熟期P1、P2、P3处理日耗水强度没有显著差异，与CK、P4处理差异显著。苗期日耗水量在1.56~1.63 mm/d之间，分枝期1.66~3.12 mm/d之间，开花期维持在2.82~3.69 mm/d，结荚期高达13.21~17.66 mm/d，到鼓粒期之后，气温开始下降，大豆叶面积指数减小，日耗水强度到2.85~3.97 mm/d范围。结荚期、鼓粒期耗水量占总耗水量的80.23%～94.77%，在其他生育时期仅占总耗水量的5.23%~19.77%。

表7 不同水分处理耗水量及水分利用效率

处理	耗水量/mm	籽粒产量/(kg·hm^{-2})	*WUE*/(kg·m^{-3})
CK	326.7e	2 245.6c	0.69e
P1	384.5d	3 106.6bc	0.81c
P2	391.6c	3 444.4a	0.88a
P3	413.2b	3 415.5a	0.83b
P4	435.8a	3 305.9ab	0.76d

2.4 不同水分处理对总耗水量和水分利用效率的影响

由表7可知，大豆耗水量随着灌水量的增加呈上升趋势，由于灌水量加大，促进了大豆生长，促使蒸腾

量增加的同时土壤蒸发也增加。P4处理生育期总耗水量最大，P1、P2、P3、P4处理全生育期耗水量分别比CK增加17.7%、19.9%、26.5%、33.4%。各处理的水分利用效率（*WUE*）高于CK，水分利用效率与产量的变化趋势相同。P2处理水分利用效率最高，为0.88 kg/m^3，CK的水分利用效率为0.69 kg/m^3，P1、P2、P3、P4处理水分利用效率分别比CK提高了17.4%、27.5%、20.3%、10.1%。说明喷灌灌溉方式有利于提高大豆水分利用效率。P3处理在产量小幅度下降的条件下，保持了较高的水分利用效率。

3 讨 论

株高、叶面积指数等能够反映大豆的生长状况。在生育期灌水对大豆叶片有明显的促进作用，这与其他研究结果[15]一致。在结荚期—鼓粒期之后大豆的生长发育主要是生殖生长而不再是茎、叶等器官的生长发育，鼓粒期结束后大豆株高基本上不再发生变化。叶面积指数随着灌水的增加有明显变化，该结果与张英华等[15]研究结果一致。结荚期之后叶片衰老速度随灌水增加而降低，说明叶片衰老与水分之间关系密切，其抑制叶片衰老的原因可能是灌水与抑制叶片衰老酶的活性有关[16]。

各处理随着灌水量的增加，耗水量均在增加。在呼伦贝尔岭东南地区，在水分适宜的情况下，大豆耗水量在410 mm左右，这时能够获得较高的产量和水分利用效率[17]，这与本试验的研究结果相似。作物水分利用效率的提高与作物生长发育密切相关[18]。喷灌灌溉方式可以有效促进植物生长、提高水分利用效率。阶段耗水量以结荚期最高，鼓粒期次之，苗期最低。本试验结果表明，P2处理与CK和P4处理的水分利用效率差异显著，其余各处理无显著差异。P3处理具有较高的产量和水分利用效率，但耗水量较大。P2处理在保持较高产量的同时，提高了水分利用效率，同时耗水量相对减少，可推荐为当地喷灌灌水方式下的优化灌溉制度的参考。与当地不灌溉相比，喷灌提高了大豆的水分利用效率，这与前人研究结论[19-20]一致。

试验结果表明增加灌水量可以增加大豆产量，喷灌条件下，灌水量对产量及其构成各要素都有一定的影响，这与王德梅等[21]研究结果一致。通过促进干物质向籽粒中分配和转运，从而提高单株荚数、百粒质量等主要构成因素，最终获得较高产量。这也是本试验中增加灌水量提高单株荚数、百粒质量的主要原因。王丽霞等[22]的研究表明，产量与灌水定额正相关，适当增加灌水定额有利于提高作物的产量，这与本研究结果基本一致。在一定范围内，喷灌大豆产量随灌水量的增加而增加，但超过一定阈值产量有下降，出现了一定范围的减产，岳文俊等[23]也得到了类似结论。合理的灌溉制度能达到节约水资源的同时并实现高产的目的。因此，该地区选择合理的灌溉制度，是提高水分利用效率和产量的关键[24]。

4 结 论

1）各生育期灌水在不同程度上能够促进大豆株高增长，同时也可以维持较大的叶面积指数，提高干物质累积量，有利于籽粒和产量形成。各处理株高较CK提高1.7%~14.5%。以P2处理最好，P3处理次之。成熟期各处理叶面积指数较CK提高1.3%~4.7%。

2）与CK相比，大豆苗期、分枝期、开花期、结荚期、鼓粒期、成熟期P2处理耗水量分别增加2.3%、19.8%、5.1%、17.6%、40.9%、21.8%。不同生育期日耗水强度均值表现为结荚期>鼓粒期>开花期>成熟期>分枝期>苗期。

3）P2处理（灌溉定额85 mm）大豆产量最高，为3 444.38 kg/hm^2，对应的水分利用效率（0.88）也最高，比CK处理提高了27.5%。

大豆在不同水文年型的耗水规律较为复杂，本文只研究了1 a枯水年条件下单生育期不同灌水水平下对耗水量、产量和水分利用效率的影响，就存在较多的不确定性，今后需对多种水文年型进行试验和验证工作。

参考文献：

[1] 王向东. 呼伦贝尔市岭东南地区农业节水灌溉研究[D]. 北京：中国农业科学院研究生院, 2006.

[2] 王成刚, 史海滨, 李瑞平, 等. 岭东南地区节水灌溉综合评价与优化选择[J]. 节水灌溉, 2015, 3(7):103-105.

[3] 张乐元,张小娜. 喷灌技术浅析[J]. 山西水利, 2011, 27(8):42-43.

[4] SUN Zeqiang, KANG Yaohu, JIANG Shufang. Effect of sprinkler and boeder irrigation on topsil structure in winter wheat filed [J]. Pedosphere, 2010, 20 (4):419-426.

[5] 刘海军, 黄冠华, 王明强. 基于蒸发皿水面蒸发量制定冬小麦喷灌计划[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1):11-17.

[6] 徐淑琴, 宋军, 吴砚. 大豆需水规律及喷灌模式探讨[J]. 节水灌溉, 2003(3): 23-25.

[7] 侯志强, 蒋尚明, 金菊良. 不同生育期干旱胁迫对夏大豆耗水量和水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(5):19-24.

[8] 刘海军, 康跃虎, 刘士平. 喷灌对冬小麦生长环境的调节及其对水分利用效率影响的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6):46-51.

[9] 刘钰, 谭军利, 李王成, 等. 吉林四平地区玉米和大豆灌溉需水量分析[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(6):1 225-1 228，1 232.
[10] 孟兆江, 卞新民, 刘安能, 等. 调亏灌溉对夏玉米光合生理特性的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3):182-186.
[11] 张步翀, 李凤民, 齐广平. 调亏灌溉对干旱环境下春小麦产量与水分利用效率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1):58-62.
[12] 刘增进, 李宝萍, 李远华, 等. 冬小麦水分利用效率与最优灌溉制度的研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4):58-63.
[13] 王海霞, 李玉义, 任天志, 等. 不同灌溉制度对冬小麦产量与水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(6):112-114.
[14] 白伟, 孙占祥, 郑家明, 等. 虚实并存耕层提高春玉米产量和水分利用效率[J]. 农业工程学报, 2014,30(21):81-90.
[15] 张英华, 张琪, 徐学欣,等. 适宜微喷灌灌水频率及氮肥量提高冬小麦产量和水分利用效率[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5):88-95.
[16] 肖俊夫, 刘战东, 刘祖贵, 等. 不同灌水次数对夏玉米生长发育及水分利用效率的影响[J]. 河南农业科学, 2011, 40(2):36-40.
[17] 程光远. 内蒙古东 部大豆喷灌灌溉制度试验与ISAREG模型优化[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2015.
[18] CATTIVELLI L, RIZZA F, BADECK F, et al. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics[J]. Field Crops Research, 2008, 105(1/2): 1-14.
[19] 陈金平, 王和洲, 刘安能, 等. 不同灌水策略对夏玉米水分利用效率和产量构成要素的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(7):7-13.
[20] 王淑芬, 张喜英, 裴冬. 不同供水条件对冬小麦根系分布、产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2):27-32.
[21] 王德梅, 于振文. 灌溉量和灌溉时期对小麦耗水特性和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(9):1 965-1 970.
[22] 王丽霞, 陈源泉, 李超, 等. 不同滴灌制度对棉花/马铃薯模式中马铃薯产量和WUE的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(10):1 864-1 870.
[23] 岳文俊, 张富仓, 李志军, 等. 水氮耦合对甜瓜氮素吸收与土壤硝态氮累积的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(2):88-96，119.
[24] 巩文军. 灌水方式对华北不同玉米品种玉米产量形成和水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(13):18-22.

The Use of Sprinkler Irrigation Water by Soybean and Its Consequence for Plant Growth in the Regions of Hulunbeier

YAN Zeyu[1], SHI Haibin[1*], YANG Shuqing[1], WANG Zuokui[2], WANG Meirong[1]
（1.College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;
2. Arong Qi Water Authority, Hulun Buir 162750, China)

Abstract:【Objective】Designing irrigation schedule needs to consider irrigation water use efficiency. In this paper, we present the results of an experimental study on use of sprinkler irrigation water by soybean and the consequence for its growth.【Method】The experiment was conducted at Hulunbeier and the variety of "Xinmi Pod King 738" Glycine max (Linn.) Merr was used as the model plant. We considered four irrigation amounts: 75mm (P1), 85 mm (P2), 95 mm (P3) and 105 mm (P4), with no irrigation as the control (CK). In each treatment, we measured the biomass, yield and yield components, as well as water consumption and water use efficiency of the crop in different growing stages.【Result】Irrigation promoted plant growth and leaf area, which were sensitive to water stress during pod-forming stage. Compared to CK, irrigation increased plant height by 3.8%～14.1% and leaf area index by 2.4%～16.7%; and it also increased 100-grain weight and the number of pods per plant. In particular, P2 increased the number of pods per plant and 100-grain by 37.2% and 11.1% respectively, and P4 increased by 21.9% and 6.6%, respectively, compared to CK. P1, P2, P3 and P4 increased yield by 9.9%, 21.9%, 20.8% and 16.9% respectively, compared to CK. The water consumption by crop in the whole growing season was between 326.7 and 435.8 mm, increasing with irrigation amount. The water consumption varied during growing stage, with pod-forming and drum-grain stages consuming more water than other stages, accounting for more than 48.6% of overall water usage. The average daily water consumption during different stages was ranked in podding stage > filling stage > flowering stage > maturity stage > branching stage > seedling stage. *WUE* of P1-P4 increased by 17.4%, 27.5%, 20.3% and 10.1% respectively, compared to that of CK.【Conclusion】The effect of irrigation amount on water consumption and water use efficiency was manifest in our experiment, with P2 most efficient in all aspects, which can saved water and improved yield.

Key words: sprinkler irrigation; Glycine max (Linn.) Merr; water consumption; yield; water use efficiency

责任编辑:陆红飞