

# 干旱胁迫和复水对啤酒大麦产量品质及叶绿素含量的影响

徐银萍, 潘永东, 任 诚, 姚元虎, 贾延春, 陈文庆, 火克仓, 包奇军, 赵 锋, 张华瑜

(甘肃省农业科学院经济作物与啤酒原料研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 采用盆栽称重控水法研究了水分胁迫对甘啤6号啤酒大麦生长、产量、关键品质和相关生理指标的影响。结果表明, 干旱胁迫10 d和土壤含水量为田间土壤最大持水量的55%~60%处理均未对啤酒大麦生长、产量、品质以及叶绿素含量产生显著影响。干旱胁迫30 d较干旱胁迫10 d啤酒大麦的平均株高、穗长、穗粒数、千粒重、单株产量、淀粉含量和饱满度显著降低, 生育期明显提前, 籽粒蛋白质含量显著提高。与对照土壤含水量为田间土壤最大持水量的75%~80%相比, 土壤含水量为田间土壤最大持水量的35%~40%、15%~20%处理的株高、穗长、穗粒数、千粒重、单株产量及生育期均显著低于对照, 而土壤含水量为田间土壤最大持水量55%~60%处理的株高、穗长、生育期、穗粒数和单株产量与其接近。通过测定啤酒大麦叶片叶绿素含量发现, 在干旱胁迫10 d和20 d胁迫期下, 复水后土壤含水量为田间土壤最大持水量的75%~80%处理和土壤含水量为田间土壤最大持水量的55%~60%处理存在显著的补偿效应, 而土壤含水量为田间土壤最大持水量的35%~40%、15%~20%处理以及干旱胁迫30 d的所有复水水平均未表现显著的补偿效应。说明指示品种甘啤6号干旱复水补偿效应的利用应注意干旱胁迫时期不超过20 d, 旱后复水量以不低于田间土壤最大持水量的55%~60%为宜。

**关键词:** 干旱胁迫; 复水; 啤酒大麦; 生长; 产量; 品质; 叶绿素

**中图分类号:** S512.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2019)06-0019-06

[doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2019.06.006](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2019.06.006)

## Effects of Drought Stress and Rewatering on Yield and Quality and Chlorophyll Content of Barley

XU Yinping, PAN Yongdong, REN Cheng, YAO Yuanhu, JIA Yanchun, CHEN Wenqing, HUO Kecang, BAO Qijun, ZHAO Feng, ZHANG Huayu

(Institute of Economic Crops and Beer Material, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** The effects of water stress on growth, yield, key quality and related physiological indexes of beer barley Ganbei 6 were studied by pot weighing and water control method. The results showed that 10 days of drought stress and 55%~60% of soil water content had no significant effect on the growth, yield, quality and chlorophyll content of beer barley. The average plant height, ear length, number of grains per ear, 1000-grain weight, yield per plant, starch content and plumpness of beer barley under drought stress for 30 days were

**收稿日期:** 2019-04-11

**基金项目:** 甘肃省国际科技合作项目(17YF1WA156); 甘肃省农业科学院农业科技创新专项科技支撑计划(2018GAAS02); 国家大麦(青稞)现代农业产业技术体系(CARS-05); 甘肃省科技重大专项计划(18ZD2NA008)。

**作者简介:** 徐银萍(1978—), 女, 甘肃民勤人, 助理研究员, 主要从事大麦青稞新品种选育与高效栽培技术研究工作。Email: xuyinping7810@163.com。

**通信作者:** 潘永东(1962—), 男, 甘肃武威人, 研究员, 主要从事大麦青稞新品种选育研究工作。Email: panyongdong1010@163.com。

significantly lower than those under drought stress for 10 days, and the growth period was significantly earlier than that under drought stress, and grain protein content was significantly increased. Compared with the control, the soil moisture content was 35%~40% and 15%~20% of the maximum soil moisture content in the field. The plant height, panicle length, grain number per panicle, 1000-grain weight, yield per plant and growth period of the treatment were significantly lower than those of the control, while the soil moisture content was 55%~60% of the maximum soil moisture content in the field. The plant height, panicle length, growth period and grain number per panicle of the treatment were significantly lower than those of the control. The yield per plant was close to that of the same plant. The chlorophyll content of beer barley leaves was measured. It was found that under 10 days and 20 days of drought stress, the soil moisture content after rewatering was 75%~80% of the maximum water holding capacity of field soil and 55%~60% of the maximum water holding capacity of field soil had significant compensatory effects, while the soil moisture content was 35%~40%, 15%~20% of the maximum water holding capacity of field soil, and the soil moisture content was 35%~40%, 15%~20% of the maximum water holding capacity of field soil. No significant compensatory effect was observed at all rewatering levels after 30 days of drought stress. It was suggested that the drought stress period should not exceed 20 days, and the rehydration amount after drought should not be less than 55%~60% of the maximum soil water holding capacity in the field.

**Key words:** Drought stress; Rewatering; Barley; Growth; Yield; Quality; Chlorophyll

啤酒大麦(*Hordeum vulgare* L.)作为世界第四大禾谷类作物一直被当作先锋作物种植,因其拥有比其他谷类作物更加广泛的生态适应范围,并且与其他谷类作物相比,啤酒大麦被认为是最适宜进行抗旱研究的试验材料。植物的抗旱能力表现为对干旱胁迫的抵抗能力和旱后复水的快速生长能力,复水后的生长过程在作物抗旱中的意义相对更重要。干旱后复水能够使植物的生理功能得到恢复,可在一定程度上弥补干旱对植物造成的伤害。作物在不同生育时期受旱对其物候期和产量的影响不同,最终的产量损失不仅与胁迫强度有关,还与作物的生长阶段有关<sup>[1-6]</sup>。啤酒大麦等大田作物的后期生长阶段是对水分胁迫较为敏感的时期,在此阶段水分胁迫直接影响作物的形态结构和生理生态指标,进而影响其生长状况和产量<sup>[7-11]</sup>。研究表明,灌浆期缺水则会使小麦籽粒小而瘪<sup>[12]</sup>。灌浆期干旱可以明显影响小麦的灌浆速率,使小麦灌浆时间缩短,显著影响小麦粒重和最终产量<sup>[13-14]</sup>。

叶片是植物进行光合作用的主要器官,叶绿素是植物进行光合作用的主要色素,叶绿素含量的高低在一定程度上可以衡量植物

抗逆性强弱。有研究表明,干旱胁迫造成叶绿素分解,叶绿素含量降低<sup>[15-16]</sup>。但也有研究者在对小麦、金银花的研究中得出相反的结论<sup>[17-18]</sup>,即植物在干旱胁迫下,其叶片叶绿素含量会显著增加。我们以甘啤6号为材料,以啤酒大麦生长后期为研究对象,探求在不同干旱胁迫时期内和不同复水水平下,其生长、单株产量及其构成因素、关键品质及叶绿素变化特性,以期为啤酒大麦节水品种选育和节水高效栽培技术研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

指示品种为当前甘肃省啤酒大麦主栽品种甘啤6号,由甘肃省农业科学院经济作物与啤酒原料研究所提供。

### 1.2 方法

试验于2017年在甘肃省农业科学院旱地农业研究所抗旱棚进行。采用桶栽土培法,桶高30 cm,直径20 cm,桶底打孔。每桶装土8 kg,土壤取自试验地耕层20 cm,含有机质26.7 g/kg、碱解氮81.3 mg/kg、有效磷11.2 mg/kg、速效钾197 mg/kg, pH 8.3。每桶施磷酸二铵3 g、尿素2 g,作为基肥一次施入,生育期不予追肥。试验设胁迫时期

(T)和复水因素水平(W)2个因素,胁迫时期 T 设置 3 个水平分别为: T1(胁迫 10 d)、T2(胁迫 20 d)、T3(胁迫 30 d);复水因素 W 设置 4 个水平为 W1(CK)、W2、W3 和 W4,分别是土壤含水量为田间土壤最大持水量的 75%~80%(CK)、55%~60%、35%~40%和 15%~20%。共 7 个处理,3 次重复,每重复 5 盆。于 3 月 15 日播种,出苗后每盆定植 15 株。干旱胁迫于 5 月 20 日啤酒大麦开花期开始,采用称重法控水,每天傍晚称重 1 次,并补充水分,保持各处理的土壤含水量基本稳定。自胁迫之日起每隔 7 d,即于 5 月 20 日、5 月 27 日、6 月 2 日、6 月 9 日、6 月 16 日、6 月 23 日、6 月 30 日分别测定各处理旗叶叶绿素含量。待啤酒大麦完全成熟,统一收获后进行考种和品质测定。

### 1.3 测定项目

啤酒大麦籽粒蛋白质和淀粉含量采用瑞典 FOSS 公司生产的 1241 近红外快速品质分析仪测定、饱满度采用德国 SORTTMAT 公司生产的型号为 K3 的分级筛按照国标 GB/T 7416-2000 方法测定,叶绿素含量采用 SPAD-502 叶绿素仪测定。

### 1.4 数据统计方法

测定数据使用 Microsoft Excel 2007 软件进行数据统计,采用 SPSS 18.0 统计软件进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同胁迫时期和复水水平对啤酒大麦生长的影响

由表 1 可见,干旱胁迫时间显著影响啤酒大麦株高,随着胁迫时间的延长,株高逐渐变矮,从 T1 到 T2 和 T3 胁迫时间分别为 10 d 和 20 d,株高分别降低了 5.18 cm 和 15.65 cm,平均变矮速率为 0.52 cm/d 和 0.78 cm/d;而从 T2 到 T3 之间干旱胁迫时间为 10 d,株高变矮了 10.47 cm,平均变矮速率为 1.05 cm/d。可见胁迫时间越推后株高变矮速率越快,3 个胁迫时期之间差异显著。

与对照 W1 比较, W2 与其株高接近,而 W3 和 W4 处理的株高分别低 6.44% 和 11.04%, W1 与 W2 差异不显著,与 W3 和 W4 处理差异达到显著水平。啤酒大麦穗长随着胁迫时间的延长逐渐变短,与 T1 比较, T2 与其穗长接近, T3 与 T1 和 T2 之间差异显著。T2 和 T3 穗长分别比 T1 短 7.41%、8.47%。随着复水量的减少啤酒大麦穗长逐渐变短,与对照 W1 比较, W2 穗长与其接近,但 W3 和 W4 穗长分别短 14.34% 和 16.65%。胁迫时期 T1 到 T2 未能对啤酒大麦生育期造成显著影响,而从 T1 到 T3 显著缩短啤酒大麦生育期 11.35 d。随着复水水平的降低啤酒大麦生育期逐渐变短,与对照 W1 比较, W2 生育期与其接近,但 W3 和 W4 生育期分别短 10.51 d 和 13.65 d。

表 1 不同胁迫时期和复水水平处理对啤酒大麦生长特性的影响<sup>①</sup>

干旱胁迫期	复水量水平	株高/cm	穗长/cm	生育期/d
T1		70.89a	7.56a	101.62a
T2		65.71b	7.00a	94.33ab
T3		55.24c	6.92b	90.27b
	W1	67.06a	7.81a	101.85a
	W2	66.31a	7.64a	99.12a
	W3	62.74b	6.69b	91.34b
	W4	59.66c	6.51b	88.20b

<sup>①</sup>同列数据后标不同小写字母表示差异显著( $P < 0.5$ );表 2、表 3 同。

### 2.2 不同胁迫时期和复水水平对啤酒大麦单株产量和产量构成因子的影响

整体而言,胁迫时期和复水量均对啤酒大麦单株产量及其构成因子产生了明显的影响(表 2)。随着胁迫时间的后延和复水量的减少,啤酒大麦穗粒数、千粒重以及单株产量均表现出不同程度的下降。T2 和 T3 处理较 T1 穗粒数增加 15.34% 和 24.77%,千粒重增加 12.88% 和 24.63%,单株产量增加 31.58% 和 46.09%,差异均达到显著水平。对照 W1 处理的穗粒数、千粒重和单株产量显著高于 W3 和处理 W4,穗粒数和单株产

量与 W2 接近。与对照 W1 比较, W2、W3 和 W4 穗粒数分别减少 2.16%、13.42% 和 24.24%, 千粒重分别降低 3.69%、16.12% 和 31.03%, 单株产量分别减少 5.48%、34.25% 和 50.68%。

表 2 不同胁迫时期和复水水平处理对啤酒大麦单株产量和产量构成因子的影响

干旱胁迫期	复水量水平	穗粒数 /粒	千粒重 /g	单株产量 /g
T1		19.42a	36.17a	0.76a
T2		16.44b	31.51b	0.52b
T3		14.61c	27.26c	0.41c
	W1	18.48a	36.54a	0.73a
	W2	18.08a	35.19b	0.69a
	W3	16.00b	30.65c	0.48b
	W4	14.00c	25.20d	0.36c

### 2.3 不同胁迫时期和复水水平对啤酒大麦关键酿造品质的影响

由表 3 可见, 随着胁迫时期的延长和复水量的减少, 啤酒大麦籽粒蛋白质含量逐渐变高。胁迫时期 T2 和 T3 的籽粒蛋白质含量分别比 T1 高 0.25% 和 7.44%, T1 与 T2 差异不显著, 与 T3 之间差异显著。与对照 W1 相比, W2、W3 和 W4 处理籽粒蛋白质含量分别提高 2.54%、5.93% 和 7.63%, W1 与 W2、W3 差异不显著, 与 W4 之间差异显著。啤酒大麦籽粒淀粉含量随着胁迫时间的延长和复水量的减少呈现出逐渐降低的趋势, T2 和 T3 籽粒淀粉含量分别比 T1 降低 2.90% 和 8.15%, T1 与 T2 差异不显著, 与 T3 之间差异显著。与对照 W1 相比, W2、W3 和 W4 处理籽粒淀粉含量分别降低 3.47%、7.50% 和 8.41%, W1 与 W2 差异不显著, 与 W3、W4 之间差异显著。籽粒饱满度呈现出和蛋白质含量相同的变化趋势, 即随着胁迫时间的后延和复水量的减少逐渐降低, 饱满度 T2 和 T3 分别较 T1 降低 2.94% 和 5.75%, T1 与 T3 间差异显著。与对照 W1 相比, W2、W3 和 W4 饱满度分别降低 4.11%、15.52% 和 19.63%, W1 与 W2

差异不显著, 与 W3 和 W4 之间差异显著。参照啤酒啤酒大麦国家及行业标准, T1、T2、W1、W2 和 W3 处理籽粒蛋白质含量均  $\leq 12.5\%$ , 达到国家优级酿造标准; 而所有处理的籽粒饱满度均  $< 80\%$ , 仅达到国家二级酿造标准。

表 3 不同胁迫时期和复水水平处理对啤酒大麦关键酿造品质的影响

干旱胁迫期	复水量水平	蛋白质 /%	淀粉 /%	饱满度 /%
T1		12.1a	55.2a	74.8a
T2		12.4a	53.6ab	72.6ab
T3		13.0b	50.7b	70.5b
	W1	11.8a	54.7a	75.4a
	W2	12.1a	52.8ab	72.3a
	W3	12.5ab	50.6bc	63.7b
	W4	12.7b	50.1c	60.6b

### 2.4 不同干旱胁迫时期不同复水水平啤酒大麦叶绿素的变化

由图 1 可以看出, 在 T1 胁迫时间处理下, 5 月 20 日和 5 月 27 日即复水前 4 个复水水平之间叶绿素含量接近。而自 6 月 2 日复水后, 同一测定日内啤酒大麦叶绿素含量始终呈现出  $W1 > W2 > W3 > W4$  的趋势, 且 4 个复水水平之间差异显著。随着测定日期的后移, W1 和 W2 处理的叶绿素含量呈现出先逐渐升高后降低的趋势, 且高数值均出现在 6 月 9 日, 这是因为干旱胁迫复水后啤酒大麦生理功能得到一定恢复, 具有一定的补偿效应。W3 和 W4 处理却随着测定日期的向后推移其叶绿素含量逐渐降低, 说明干旱胁迫复水后 W3 和 W4 复水水平均未产生明显补偿效应。方差分析表明, 同一复水水平在不同测定日期之间, 在 6 月 9 日之前表现出相邻测定日之间差异不显著或无明显变化趋势, 而随着啤酒大麦生育期的推后, 后 3 次相邻测定日之间叶绿素含量显著降低, 差异达显著水平。在 T2 胁迫时期内, 4 个复水水平的叶绿素含量较为接近, 差异不显著, 均表现随着测定日期的推后逐渐降低,

且在 6 月 9 日后降低较为迅速, 同一复水水平呈现出相邻测定日之间差异均达到显著水平。仅在复水后的 2 次测定日中(6 月 16 日和 6 月 23 日), W1 与 W2 复水处理具有补偿效应, 而其余处理均未产生补偿效应。在 T3 胁迫时期内, 4 个复水水平的叶绿素含量较为接近, 同一测定日中 4 个复水水平之间差异均不显著, 同一复水水平在相邻测定日之间其叶绿素含量差异显著, 即均显示出随着测定日期的后推显著降低。

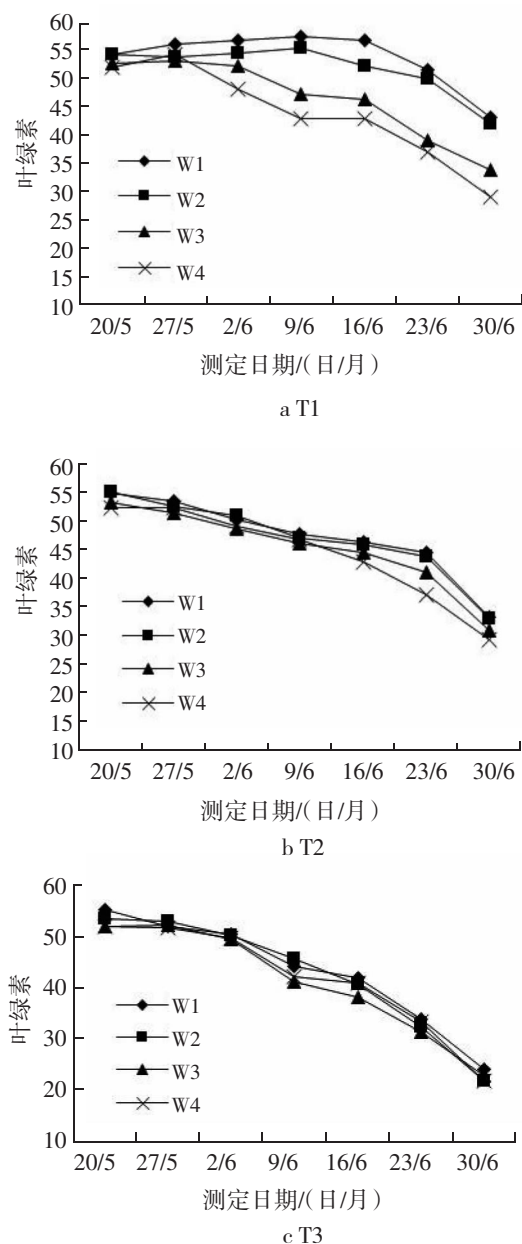


图 1 不同胁迫时期下不同复水水平啤酒大麦叶片叶绿素含量的变化

### 3 小结与讨论

不同胁迫时期和复水量对啤酒大麦的生长和生育期均产生了不同程度的影响。水分胁迫时间越长、复水量越少, 啤酒大麦的株高越矮、穗长越短, 生育期越提前。整体而言, 胁迫 10 d 对啤酒大麦生长均未产生显著的胁迫效果。干旱胁迫后土壤含水量为田间土壤最大持水量的 55% ~ 60% 处理可使啤酒大麦生长得到一定程度的恢复, 具有显著补偿效应, 而土壤含水量为田间土壤最大持水量的 35% ~ 40%、15% ~ 20% 处理在干旱胁迫后复水, 其生长未产生补偿效应或补偿效应不显著。

水分是影响啤酒大麦产量稳定性的一个极为重要的栽培环境因子。本研究表明, 干旱胁迫时期显著影响啤酒大麦穗粒数、千粒重和单株产量, 均随着胁迫时间的后延其逐渐变小。而在不同复水水平下, 啤酒大麦穗粒数、千粒重和单株产量均表现出随着复水水平的降低其不同程度的下降, 其中土壤含水量为田间土壤最大持水量的 35% ~ 40%、15% ~ 20% 处理较对照土壤含水量为田间土壤最大持水量的 75% ~ 80% 处理下降尤为明显, 而土壤含水量为田间土壤最大持水量的 55% ~ 60% 处理的穗粒数、千粒重和单株产量均与对照土壤含水量为田间土壤最大持水量的 75% ~ 80% (CK) 接近, 说明在胁迫 30 d 和土壤含水量为田间土壤最大持水量的 35% ~ 40%、15% ~ 20% 处理下啤酒大麦生长后期干旱可以明显影响啤酒大麦灌浆速率, 缩短了灌浆时间, 从而显著影响最终产量的形成。

虽然啤酒大麦籽粒蛋白质含量、淀粉含量以及饱满度主要是受到遗传因子的控制, 但是本研究中, 啤酒大麦籽粒蛋白质含量、淀粉含量以及饱满度均不同程度的受到胁迫时期和复水水平的影响。在干旱胁迫 10 d 的情况下, 啤酒大麦籽粒蛋白质含量升高程度与淀粉含量及饱满度降低程度不明显, 而

胁迫时期达 20 d 以上对蛋白质含量显著提高, 淀粉含量和饱满度显著降低。随着复水水平的降低啤酒大麦籽粒蛋白质含量、淀粉含量以及饱满度均有不同程度的升高和降低, 较对照土壤含水量为田间土壤最大持水量的 75%~80%(CK)、土壤含水量为田间土壤最大持水量的 15%~20%处理变化尤为明显, 差异达到显著水平。说明长时间干旱胁迫可以促进啤酒大麦籽粒蛋白质的积累, 但不利于淀粉的积累形成, 从而也不利于啤酒大麦籽粒饱满度的提高。

测定叶绿素含量可以用来快速、灵敏和非破坏性地分析逆境因子对植物光合作用的影响。当环境条件变化时, 植物体内叶绿素含量的变化可在一定程度上反映环境因子对植物的影响。分析本研究发现, 在胁迫 10、20 d 下, 复水处理土壤含水量为田间土壤最大持水量的 75%~80%(CK)和土壤含水量为田间土壤最大持水量的 55%~60%处理存在显著的补偿效应, 而土壤含水量为田间土壤最大持水量的 35%~40%、15%~20%处理以及胁迫 30 d 的所有复水水平均未表现显著的补偿效应。

#### 参考文献:

- [1] ÇAKIR R. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn[J]. *Field Crops Research*, 2004, 89(1): 1-16.
- [2] CLAASSEN M, SHAW R H. Water deficit effects on corn. Grain components[J]. *Agronomy Journal*, 1970, 62(5): 652-655.
- [3] DOORENBOS J, KASSAM A H. Yield Response to water [M]. Rome: Wood and Agriculture Organization of the United Nations, 1979.
- [4] 王晨阳, 郭天财, 彭羽, 等. 花后灌水对小麦籽粒品质性状及产量的影响[J]. *作物学报*, 2004, 30(10): 1031-1035.
- [5] 胡继超, 曹卫星, 姜东, 等. 小麦水分胁迫影响因子的定量研究[J]. *作物学报*, 2004, 30(4): 315-320.
- [6] 陈晓远, 罗远培. 开花期复水对受旱冬小麦的补偿效应研究[J]. *作物学报*, 2001, 27(4): 512-516.
- [7] 程宪国, 汪德水, 张美荣, 等. 不同土壤水分条件对冬小麦生长及养分吸收的影响[J]. *中国农业科学*, 1996, 29(4): 67-74.
- [8] 王俊儒, 李生秀. 不同生育时期水分有限亏缺对冬小麦产量及其构成因素的影响[J]. *西北植物学报*, 2000, 20(2): 193-200.
- [9] 申孝军, 孙景生, 刘祖贵, 等. 灌水控制下限对冬小麦产量和品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, 26(12): 58-65.
- [10] 胡梦芸, 张正斌, 徐萍, 等. 亏缺灌溉下小麦水分利用效率与光合产物积累运转的相关研究[J]. *作物学报*, 2007, 33(10): 1711-1719.
- [11] 刘晓英, 罗远培, 石元春. 水分胁迫后复水对冬小麦叶面积的激发作用[J]. *中国农业科学*, 2001, 34(4): 422-428.
- [12] 金善宝. 中国小麦学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [13] 吴少辉, 高海涛. 干旱对冬小麦粒重形成的影响及灌浆特性分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2002, 20(2): 49-51.
- [14] 房稳静, 张雪芬, 郑有飞. 冬小麦灌浆期干旱对灌浆速率的影响[J]. *中国农业气象*, 2006, 27(2): 98-101.
- [15] 关义新, 戴俊英. 水分胁迫下植物叶片光合特性研究[J]. *植物生理学通讯*, 1995, 31(4): 293-297.
- [16] SEHREIBER U, SEHLIWA U, BILGER W. Continuous recording of photochemical and nonphotochemical Chlorophyll II fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer[J]. *Photosynthesis Research*, 1986(10): 51-62.
- [17] 刘丽, 欧阳竹, 武兰芳, 等. 阶段性干旱及复水对小麦光特性和产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2012, 31(11): 2797-2803.
- [18] 王建伟, 周凌云. 土壤水分变化对金银花叶片生理生态特征的影响[J]. *土壤*, 2007, 39(3): 479-482.

(本文责编: 杨杰)