

# 以大豆结荚期地下水连续动态为排水控制指标的研究

朱建强<sup>1,2</sup>, 欧光华<sup>2</sup>, 张文英<sup>3</sup>, 刘德福<sup>4</sup>, 吴立仁<sup>4</sup>

(<sup>1</sup> 湖北农学院涝渍地工程中心, 荆州 434025; <sup>2</sup> 湖北省涝渍地开发工程技术研究中心, 荆州 434025;

<sup>3</sup> 湖北农学院农学系, 荆州 434025; <sup>4</sup> 湖北省荆州市四湖工程管理局排灌试验站, 江陵 434125)

**摘要:**以地下水动态指标  $SEW_{30}$  反映作物的受渍程度, 利用田间小区试验和测坑试验研究了夏大豆结荚期持续受渍对产量与品质的影响。结果表明, 随着受渍程度加重, 大豆减产幅度增大, 籽粒粗脂肪含量呈上升趋势, 粗蛋白含量呈下降趋势, 各处理之间的产量差异显著, 而粗脂肪含量和粗蛋白含量的差异不大; 外在品质指标秕荚率与受渍程度关系密切, 各处理之间差异显著。由于作物相对产量和秕荚率均与  $SEW_{30}$  密切相关, 在选择夏大豆结荚期排水控制指标时, 应以受渍对作物产量的影响为主, 同时参考对秕荚率的影响。如果以减产 10% ~ 15% 作为大豆排水控制指标选择的标准, 则相应的大豆结荚期排渍控制指标以 150 ~ 200 cm·d 为宜。

**关键词:**排水指标; 夏大豆; 结荚期; 受渍胁迫

## Study On Continuous Dynamic State of Groundwater as Dominated Index for Drainage in Pod-bearing Period of Soybean

ZHU Jian-qiang<sup>1,2</sup>, OU Guang-hua<sup>2</sup>, ZHANG Wen-ying<sup>3</sup>, LIU De-fu<sup>4</sup>, WU Li-ren<sup>4</sup>

(<sup>1</sup> Engineering Center for Waterlogged Land, Hubei Agricultural College, Jingzhou 434025;

<sup>2</sup> Hubei Provincial Engineering and Technology Research Center for Waterlogged Land Development, Jingzhou 434025;

<sup>3</sup> Agronomy Department of Hubei Agricultural College, Jingzhou 434025; <sup>4</sup> Drainage and Irrigation Trail Station of The Four Lake Engineering Management Bureau, Jingzhou City, Hubei Province, Jiangling 434125)

**Abstract:**  $SEW_{30}$  is an index expressing dynamic state of groundwater. Taking  $SEW_{30}$  as a degree of crop to suffer subsurface waterlogging, influence upon yield and quality of soybean to be in continuous subsurface waterlogging was studied in pod-bearing period (key growth duration) of summer soybean by small field districts and test pits. Results show that reduction degree of soybean yield increases, coarse fat content in soybean seeds raises, and coarse protein content in soybean seeds reduces along with the time extension of the subsurface waterlogging stress; The difference among different trial treatments is significant in yield, not significant in content of coarse fat and coarse protein; The rate of blighted pod which is regarded as an external quantity index of soybean is a close interrelationship with a degree of soybean to suffer subsurface waterlogging, and there is a significant difference among different treatments. Because crop relative yield and blighted pod rate are all close relative to  $SEW_{30}$ , when dominated index for drainage is selected in pod-bearing period of soybean, the yield of soybean to be in continuous waterlogging should be regarded as a major factor, while blighted pod rate as a conference. If 10% ~ 15% of yield reduction is taken as a standard for selection of soybean drainage index, correspondingly, the dominated index  $SEW_{30}$  for drainage should be 150 ~ 200 cm·d in pod-bearing period of soybean.

**Key words:** Drainage index; Summer soybean; Pod-bearing period of soybean; Stress of subsurface waterlogging

收稿日期: 2002-10-28

基金项目: 湖北省教育厅国际合作资助项目(98G005), 重大资助项目(2002 Z00008)和湖北省科技厅“九五”重大科技攻关资助项目(962P0503-5)

作者简介: 朱建强(1963-)男, 陕西周至人, 高级工程师, 硕士, 主要从事农业水土工程技术研究。Tel: 0716-8081541, 0716-8081504; E-mail: zyjb@sina.com

大豆对土壤水分比较敏感,开花结荚过程需水较多,此期适宜的土壤湿度为田间持水量的 70%~80%,充足的水分供应对大豆产量具有决定意义<sup>[1,2]</sup>。但是,水分过多也会给大豆生产带来不良影响。实际上,在某些地区或季节,由于河水泛滥、暴雨、灌溉不当、排水不良等引起的涝渍对作物的危害不可低估,有时甚至是毁灭性的<sup>[3]</sup>。

国外一些学者提出以地下水超过某一水位高度和持续时间的累积值与作物产量的关系作为选定排水标准的依据,有关研究成果已经用于排水设计及管理上<sup>[4,5]</sup>。中国现行《农田排水试验规范》提出了以地下水连续动态为指标的排水标准试验方法<sup>[6]</sup>,符合南方易涝、易渍地域生产实际,有利解决生产实际问题。张瑜芳等人在国内最早报道了小麦持续受渍试验方面的研究成果<sup>[7]</sup>。但总的来看,国内这方面研究尚未成系统,与实际应用还有相当距离。笔者以湖北平原湖区为背景,所做有关大豆试验,以期对农业生产提供依据。

## 1 材料与方法

1999~2001年在湖北省荆州市四湖工程管理局排灌试验站(简称排灌站)进行了以地下水连续动态为指标的大豆持续受渍试验,其中测坑试验(2001年)1年,小区试验3年。2000年因阴雨影响,未取得小区产量资料,未分析。

### 1.1 小区试验设计

供试品种为夏大豆品种中豆8号。5月下旬~6月上旬播种,行距0.4 m,穴距0.2 m,每穴3株。9月下旬~10月上旬收获。试验在地面和地下排水可控试验田进行,受试阶段为大豆结荚期(8月中旬)。试验地呈南北向布置,土壤为中壤,从南到北分为S(南)区、M(中)区和N(北)区。S、M区土壤条件基本相同,小区面积为20 m×20 m;N区靠近排水沟(10 m宽),土壤条件明显有别于M区(作棉花试验)和S区,小区面积为10 m×20 m。1999~2000年设不受渍(对照)、充分受渍2 d、4 d、6 d、8 d共5种处理;2001年设不受渍(对照)、充分受渍2 d、6 d、10 d共4种处理。由于条件所限,田间试验未设重复。充分受渍结束后5 d,将田间排水明沟水位降至地面以下60 cm。

### 1.2 测坑试验设计

试验设施为有底混凝土测试坑(简称测坑),每个测坑面积为2.0 m×1.5 m,坑深1.5 m,其中土层厚度1.0 m,测坑土壤为中壤。每坑布设水位观

测管1根,配备完善的供、排水装置,可根据需要调控测坑地下水位。试验各测坑土壤条件一致,按完全随机试验进行测坑安排。以作物全生育期不渍不涝作为对照(CK),1999年设充分受渍2 d、4 d、6 d、8 d共4个处理;2001年设2 d、6 d、10 d、14 d共4个处理。每个受渍处理3次重复。在达到设定的受渍时间后,用3 d时间将地下水位均匀降至设定的地下水埋深(80 cm)。

### 1.3 指标测定与分析计算

1.3.1 作物有关指标测定 收获时在每眼观测井附近随机取15株大豆进行室内考种,考种性状有:株高、单株荚数、单株粒数、每荚粒数、单株粒重,取算术平均数代表小区结果,实收计产。测定性状为粗脂肪和粗蛋白含量(委托农业部油料及制品质量监督检测中心测定)。

1.3.2 地下水动态观察 每个试区内设6眼地下水观测井,以观测地下水动态变化,一般情况下每5 d观测1次水位,雨前、雨后加测1次,受渍处理期间每天观测2次。

1.3.3 地下水动态指标  $SEW_{30}$ 值计算 由于大豆属于浅根性旱地作物,根系90%以上位于土壤耕层范围,所以笔者选择地下水埋深小于30 cm的累计值  $SEW_{30}$  作为地下水位连续动态指标,并按(1)式<sup>[6]</sup>计算。以各试区6眼观测井  $SEW_{30}$ 值的算术平均数作为该试区的  $SEW_{30}$ 值。

$$SEW_{30} = \sum_{i=1}^n (30 - x_i) \quad (1)$$

$x_i > 30$  时取  $x_i = 30$

式中: $x_i$ 为第*i*天地下水埋深(cm);*n*为作物生长季节或生长阶段总天数(d); $SEW_{30}$ 为地下水埋深小于30 cm的累计值,考虑到时间因素,计量单位:cm·d。本研究中  $SEW_{30}$ 统计计算期由充分受渍处理时间和地下水降到30 cm以下所需时间两部分组成。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同受渍处理对大豆产量的影响

由表1可以看出,无论N区还是S区在持续受渍胁迫下,单株粒数、单株荚数、单株粒重和百粒重均受到不同程度影响。其中,百粒重所受影响相对较小,以单株粒数、单株荚数、单株粒重下降幅度最大。

由表2可以看出,随着受渍程度加重,各产量要素均呈下降趋势,各处理间差异一般在5%水平上显著;具体产量上,各处理间差异在1%水平上显著。这为以产量为主选择排水标准提供了依据。

表 1 1999 年不同受渍处理对大豆产量要素的影响

Table 1 Effect of different waterlogged treatments on major elements of soybean yield in 1999

充分受渍天数 Days of soil in complete saturation (d)	$SEW_{30}$ ( $cm \cdot d$ )	单株粒数(粒)		单株荚数		单株粒重		百粒重		产量	
		Seed number per plant (grain)		Pod number per plant		Seed weight per plant (g)		Hundred seed weight (g)		Yield ( $kg \cdot ha^{-1}$ )	
		N 区 North	S 区 South	N 区 North	S 区 South	N 区 North	S 区 South	N 区 North	S 区 South	N 区 North	S 区 South
0	0	94.7	105.8	68.9	70.8	14.1	17.7	17.75	18.11	1 855.28	2 359.61
2	75	81.3	101.9	57.2	67.4	13.5	16.4	17.65	18.07	1 771.35	2 265.76
4	135	78.8	99.7	55.4	66.1	13.0	15.4	17.57	17.74	1 744.95	2 235.24
6	195	77.2	98.2	54.8	65.6	12.0	14.8	17.53	17.69	1 695.08	2 134.13
8	255	69.5	85.9	45.9	44.9	11.5	12.4	17.18	17.46	1 687.36	2 048.82

表 2 2001 年大豆测坑试验结果及其统计检验

Table 2 Results and statistic verifying of soybean test-pit experiment in 2001

充分受渍天数 Days of soil in complete saturation (d)	$SEW_{30}$ ( $cm \cdot d$ )	主茎荚数 Pod number in major stem	单株荚数 Pod number per plant	百粒重 Hundred seed weight (g)	$3m^2$ 产量 Yield of $3 m^2$ (g)	产量 Yield (%)	减产 Yield reduction (%)
0	0	25.0 a A	55.8 a A	17.89 a A	577.3 a A	100	0
2	80.5	22.3 b B	52.1 ab AB	17.48 b A	549.0 b B	95.10	4.90
6	205.5	19.3 c C	48.1 b B	17.04 c B	473.0 c C	81.93	18.07
10	320.5	18.4 cd C	43.0 bc B	16.93 cd B	433.7 d D	75.13	24.87
14	440.5	17.4 d CD	40.5 c BC	16.72 d B	378.0 e E	65.48	34.52
15**	485.0	15.1 e D	33.6 d C	15.98 e C	330.0 f F	57.16	42.84

\*\* 最不利试验处理:充分受渍 15 d,地下水均匀降到测坑田面 80 cm 以下;大、小写字母分别表示 1% 和 5% 水平上的差异显著性。下同

\*\* The most detrimental experimental treatment, in the case, soil is in complete saturation for 15 days, and then groundwater table was slowly down to depth 80 cm under the surface of test-pit; Capital letters and small letters express difference at 1% and 5% levels, respectively. The same as below

## 2.2 持续受渍程度与夏大豆相对产量之间的相关性

夏大豆持续受渍小区试验开展了 3 年(1999 ~ 2001 年),2000 年由于大豆成熟期遭遇连阴雨未有收获。1998 年依据微地形在四湖排灌站进行了大

豆地下水动态观测与产量考察,由于在大豆生长期间仅在结荚期(1998 年 7 月下旬 ~ 8 月上旬)相应的  $SEW_{30}$  值为该时期累计结果)存在地下水埋深小于 30 cm 的情况,因此,将 1998 年试验资料亦列入表 3。

表 3 夏大豆结荚期持续受渍小区试验结果<sup>1)</sup>

Table 3 Plot experiment results of soybean in pods stage under continuous subsurface waterlogging stress

$SEW_{30}$ ( $cm \cdot d$ )	1998		1999			2001		
	$R_y$ (%)	$R_d$ (%)	$SEW_{30}$ ( $cm \cdot d$ )	$R_y$ (%)	$R_d$ (%)	$SEW_{30}$ ( $cm \cdot d$ )	$R_y$ (%)	$R_d$ (%)
24.6	100	0	0	100	0	0	100	0
104.1	93.33	6.67	74.8	95.48	4.52	76.0	95.68	4.32
367.0	80.89	19.01	134.6	94.05	5.95	106.0	91.40	8.6
			148.2	91.37	8.63	156.0	84.20	15.8
			186.7	90.95	9.05	189.0	83.20	16.8
			87.3	96.02	3.98	269.5	80.40	19.6
			107.3	94.73	5.27	354.5	79.20	26.8
			152.8	90.44	9.56	383.0	68.10	31.9
			164.8	89.00	11.00			
			180.9	86.83	13.17			

<sup>1)</sup>1999 年和 2001 年数据为各小区观测井样点资料; $R_y$  和  $R_d$  分别表示大豆相对产量和减产率

Data within the table in 1999 and 2001 comes from sample site information of the measurement well in each plot;  $R_y$  and  $R_d$  express the relative yield of soybean and its yield reduction degree, respectively

1998 年是在自然条件下观察到的夏大豆结荚期持续受渍现象,而 1999 年和 2001 年则是根据试验目的为人设定的试验处理。但由表 3 可知,3 年均表现出随  $SEW_{30}$  值增大相对产量下降的趋势,当  $SEW_{30}$  在 250 ~ 400  $cm \cdot d$  时,大豆减产 19.0% ~

32.0%。此外,达到相同(或相近)  $SEW_{30}$  值的时间越短,减产幅度越大。

对表 2 和表 3 试验结果进行相关分析表明,  $R_y$  与  $SEW_{30}$  呈极显著负相关(图 1)。1999 年小区试验:  $R_y = 100.670 - 0.063 SEW_{30}$ ,  $r = -0.932$ ;  $|r| >$

$r_{0.01} = 0.765$  ;2001 年小区试验 : $R_y = 99.006 - 0.072 SEW_{30}$  , $r = -0.952$  , $|r| > r_{0.01} = 0.834$  ;2001 年测坑试验 : $R_y = 100.820 - 0.085 SEW_{30}$  , $r = -0.994$  , $|r| > r_{0.01} = 0.917$ 。将表 3 各年资料综合在一起分析 , $R_y$  与  $SEW_{30}$  之间亦呈极显著负相关(图 1-实线 3) : $R_y = 101.780 - 0.080 SEW_{30}$  , $r = -0.954$  , $|r| > r_{0.01} = 0.515$ 。

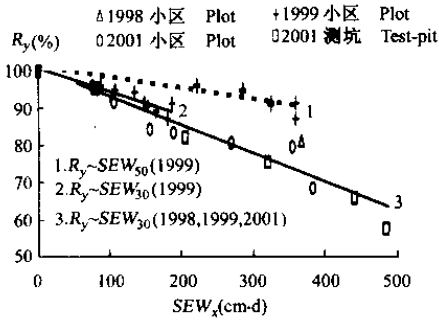


图 1 大豆持续受渍  $SEW_{30}$  与  $R_y$  关系

Fig. 1 Relationship sketch of  $SEW_{30}$  and  $R_y$  of soybean under continuous subsurface waterlogging stress

利用 1999 年小区地下水观测资料计算  $SEW_{50}$  值 ,分析表明  $SEW_{50}$  值与大豆相对产量亦呈极显著负相关 : $R_y = 101.440 - 0.031 SEW_{50}$  , $r = -0.889$  , $|r| > r_{0.01} = 0.765$ 。

比较 1999 年试验所得的两个回归方程  $R_y \sim SEW_{30}$  和  $R_y \sim SEW_{50}$  的相关系数的绝对值大小可以看出 , $R_y$  与  $SEW_{30}$  之间的线性拟合(图 1-实线 2)比  $R_y$  与  $SEW_{50}$  之间的线性拟合(图 1-虚线 1)好 ,表明以  $SEW_{30}$  作为大豆的排渍控制指标是比较合适的。

另据根系调查结果 ,夏大豆的主要根系集中分布在 0~30 cm 土层范围内 ,因而以一定减产幅度内相应的  $SEW_{30}$  值作为大豆的排渍控制指标是切实可行的。根据 1998 年、1999 年和 2001 年综合试验结果 ,如果以大豆减产 10%~15% 作为选择作物排水控制指标的尺度 ,则夏大豆结荚期的排渍控制指标以 150~200 cm·d 为宜。

### 2.3 持续受渍对夏大豆品质的影响

根据 1999 年大豆小区试验 ,表 4 给出了持续受渍胁迫下大豆籽粒粗脂肪和粗蛋白含量测试结果。表 5 是根据 2001 年大豆测坑试验品质资料所作的 Duncan 检验。

表 4 不同受渍处理对大豆籽粒粗脂肪和粗蛋白含量的影响

Table 4 Influence on fat and protein contents in soybean under different waterlogging treatment

$SEW_{30}$ (cm·d)		粗脂肪 Coarse fat conten(%)		粗蛋白 Coarse protein conten(%)		粗脂肪 + 粗蛋白 Contents of coarse fat and protein(%)	
处理 Treatment	结荚期 Pod-bearing period	N 区 North	S 区 South	N 区 North	S 区 South	N 区 North	S 区 South
0	0	17.41	17.98	45.06	44.75	62.70	62.73
60	75	17.87	18.17	44.68	44.21	62.55	62.37
105	135	18.38	18.50	44.14	43.75	62.52	62.26
150	195	18.40	18.51	44.13	43.67	62.54	62.19
180	255	18.79	18.9	43.72	43.30	62.51	62.00

表 5 2001 年夏大豆品质测试结果及其 Duncan 检验

Table 5 The quality test results of summer soybean in 2001 and its Duncan verifying

试验场所 Experiment place	处理 Treatment	$SEW_{30}$ (cm·d)	秕荚率 Rate of blighted pod(%)	粗脂肪 Coarse fat content (%)	粗蛋白 Coarse protein content (%)	粗脂肪 + 粗蛋白 Contents of coarse fat and protein(%)
测坑 Test-pit	CK	0	10.57 a A	14.98 c B	42.02 a A	57.00 a A
	2 d	80.5	17.43 b B	15.83 b A	41.17 ab AB	57.00 a A
	6 d	205.5	22.93 c C	15.94 ab A	40.39 ab AB	56.33 a A
	10 d	320.5	26.27 d D	16.07 ab A	40.23 ab AB	56.30 a A
	14 d	440.5	32.83 e E	16.20 a A	39.42 b B	55.62 b A
	15 d**	485.0	39.53 f F			
小区 Plot	CK	0	17.55 a A	15.57	40.82	56.39
	2 d	76.0	19.60 b AB	16.67	39.67	56.34
	6 d	156.0	21.29 c B	17.70	36.38	54.08
	10 d	355.0	24.43 d C	17.91	35.51	53.42

由表 4、表 5 看出,受渍处理的大豆粗脂肪和粗蛋白含量均低于对照,表明结荚期持续受渍会导致大豆品质(以粗蛋白利用为主的)下降。但是,除对照外,4 种处理之间粗脂肪与粗蛋白含量之和相差甚微,Duncan 检验进一步说明了这一点(表 5)。因此,对大豆而言,尚难以内在质量指标粗脂肪、粗蛋白含量变化作为选择作物排水控制指标的主要依据。

秕荚率作为大豆的外在质量指标,各处理间差异很显著,而且秕荚率( $P_d$ )与地下水动态指标  $SEW_{30}$  之间呈极显著正相关,2001 年测坑试验为: $P_d = 11.480 + 0.053 SEW_{30}$ ,  $r = 0.983 > r_{0.01}(0.917)$ ;2001 年小区试验为: $P_d = 17.945 + 0.019 SEW_{30}$ ,  $r = 0.992 > r_{0.01}(0.990)$ 。将测坑与小区资料一起分析时, $SEW_{30}$  与秕荚率  $P_d$  亦呈极显著正相关(图 2)。可见,秕荚率宜作为排水控制指标选择的重要依据。

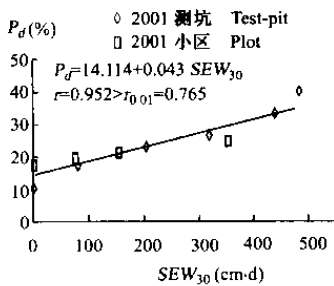


图 2  $SEW_{30}$  与秕荚率 ( $P_d$ ) 关系

Fig. 2 Relationship sketch of  $SEW_{30}$  and blighted pod rate

### 3 讨论

(1) 大豆结荚期地下水动态指标  $SEW_{30}$  值与大豆相对产量之间呈极显著负相关。对江汉平原四湖流域夏大豆而言,结荚期  $SEW_{30}$  值小于  $150 \text{ cm}\cdot\text{d}$  时,对产量影响不大,与对照相比减产不足 10%;当结荚期  $SEW_{30}$  大于  $200 \text{ cm}\cdot\text{d}$  时,对大豆产量影响明显(减产超过 10%)。因此,建议以  $150 \sim 200 \text{ cm}\cdot\text{d}$  的  $SEW_{30}$  值作为大豆结荚期地下水动态指标控制值。不同受渍处理的  $SEW_{30}$  值对大豆品质有一定影响,但彼此之间绝对差异很小,难以按受渍造成的品质差别选择排水指标。

(2) 在以地下水动态为指标研究作物的排渍指标时,确定合理的地下水埋深计算基准值( $X$ )很重

要。以  $X$  为基础计算的地下水超标水位累计值( $SEW_X$ )是反映作物对持续受渍累积效应的重要评价指标。该特定地下水埋深实质上是作物受渍的临界地下水埋深值,当地下水埋深大于  $X$  值时,作物生长不受抑制;当地下水埋深小于  $X$  值时,作物开始受渍,生长发育开始受到抑制。对不同的作物来说, $X$  值不尽相同。根据笔者近年在湖北四湖流域所做的有关试验研究结果,根系入土深度较浅的大豆、油菜, $X$  宜取  $30 \text{ cm}$ ;对根系入土较深的棉花来说, $X$  取  $50 \text{ cm}$  比较合适。

(3) 据研究,如果整个生育期大豆基部都淹水,单株结荚数和粒重分别下降 54.9% 和 50.8%<sup>[8]</sup>。笔者关于夏大豆结荚期充分受渍的试验研究亦有类似结论。因为大豆结荚期开花与结荚交替进行,时间较长,短期胁迫虽可使一批花荚受到损失,但可由后续时期的花荚予以弥补。所以,结荚期短时间(2~3 d)受渍的危害较轻,对产量影响较小。而较长时间(6~8 d 以上)持续受渍,亦即  $SEW_{30}$  值越大,后续时期的花荚将难以弥补,因而对产量的影响较大。

(4) 由于小区试验受渍处理前后持续时间较长,其间试验田地下水位控制由四周渠道充水维持在一定水平配合完成,加之小区面积较大,基于操作方面的考虑未遵循随机原则进行设计,故而无法对试验结果进行差异显著性测验,但仍设立 2 区(S 区、N 区)以相互印证。结果表明,2 区在各指标上的趋势一致。鉴于小区试验的局限性,2001 年采用测坑试验,遵循重复、随机和局部控制的原则进行设计,以配合小区试验。测坑试验结果表明,随着持续受渍程度的加重,大豆有关性状表现出的趋势与小区试验是一致的。由于田间小区和测坑数量有限,难以设较多试验处理,因此,统计样本相对较少。

(5) 本研究通过田间小区和测坑试验模拟的大豆结荚期充分受渍状态,相当于南方平原湖区雨季在地面涝解除后由于排水管理不善或沟渠排水不畅造成的农田严重受渍状况,即地下水位在一定时期内接近地表,根系土层水分处于饱和状态。这种情况在生产上有一定代表性,开展这方面试验研究,对搞好南方易涝、易渍地区农田排水管理有重要实际意义。

### References

- [1] 李辰仁,张敬荣,郑慧琴.不同供水量与大豆形态生理及产量的关系.东北农学院学报,1986,17(1):11-17.

- Li C R, Zhang J R, Zheng H Q. The relationship between different water supply and soybean shape physiology, and its yield. *Journal of Northeastern Agricultural College*, 1986, 17(1): 11 - 17. (in Chinese)
- [ 2 ] 气候变化与作物产量编写组. 气候变化与作物产量. 北京 : 中国农业科技出版社, 1992 : 264.  
Compiling Group of Weather Variation and Crop Yield. *Weather Variation and Crop Yield*. Beijing : China Agricultural Science Press, 1992 : 264. (in Chinese)
- [ 3 ] 汤章城. 植物生理与分子生物学. 北京 : 科学出版社, 1988 : 747.  
Tang Z C. *Plant Physiology and Molecular Biology*. Beijing : Science Press, 1988 : 747. (in Chinese)
- [ 4 ] Hiler E A. Quantitative evaluation of crop - drainage requirements. *Transactions of ASAE*, 1969, 12(4): 499 - 505.
- [ 5 ] Evans R O, Skaggs R W. Stress day index models to protect corn and soybean yield response to water table management, transactions of workshop on subsurface drainage simulation models. In : *15th Congress on Irrigation and Drainage*. Hague, 1993 : 219 - 234.
- [ 6 ] 武汉水利电力大学主编. 农田排水试验规范. 北京 : 中国水利水电出版社, 1997 : 11 - 15, 48. (in Chinese)  
Wuhan Water Conservancy and Electric Power University. *Standard of Land Drainage Test*. Beijing : Water Conservancy and Hydropower Press of China, 1997 : 11 - 15, 48. (in Chinese)
- [ 7 ] 张瑜芳, 张蔚榛, 沈荣开. 以小麦生长受抑制的天数为指标的排水标准研究. *灌溉排水*, 1997, 16(3): 1 - 5.  
Zhang Y F, Zhang W Z, Shen R K. Research upon the drainage standard as stress day index of wheat growth. *Irrigation and Drainage*, 1997, 16(3): 1 - 5. (in Chinese)
- [ 8 ] 倪君蒂, 李振国. 淹水对大豆生长的影响. *大豆科学*, 2000, 19(1): 42 - 48.  
Ni J D, Li Z G. Influence of inundation upon soybean growth. *Soybean Science*, 2000, 19(1): 42 - 48. (in Chinese)

(责任编辑 曲来娥)