

小麦适宜地下水位试验*

王元华

(江苏昆山农田排灌研究所, 215300)

摘 要

本文主要研究小麦的适宜地下水位控制指标及土壤水分指标。水位指标采用动态和静态水位相结合的方法进行试验;耐渍、耐旱土壤水分指标应用土壤水分能量测试技术取得了能量指标。试验得出:小麦全生长期适宜地下水埋深指标为 0.8m,播种期如遇干旱抬高至 0.5m 有利出苗齐苗,分蘖后至 2 月底逐渐降至 0.8m,小麦生长中后期 3—5 月间在雨后 3—4 天能由田面降落控制于 0.80 m;小麦生长中后期耐渍土壤水分指标为 40 cm 土层内的土壤水分吸力 $> 3\text{kPa}$;耐旱土壤水分指标为 40cm 土层内朵穗—抽穗开花期的吸力 $\leq 80\text{kPa}$,灌浆—成熟期吸力 $\leq 100\text{kPa}$ 。土壤通透性的通气孔隙指标为:耕层 8—15%,犁底层 $\geq 4\%$,淋溶层 $\geq 5\%$ 。昆山重壤土地区采用暗管排水,暗管埋深为 1.0m,间距 15m 可满足上述各项指标要求。

关键词 适宜地下水埋深指标,耐渍土壤水分指标,耐旱土壤水分指标

为了治理麦田渍害,作者 60 年代即开始在昆山进行调研与摸索性试验。1975 年正式纳入研究计划后,历经 14 年(1975—1988)的长系列、多处理、多重复的大田试验、测坑模拟及圈沟田(田间小区模拟)试验研究,从不同地下水埋深的土壤剖面水势、通气孔隙以及对小麦根系生长发育、地上部生长、产量和经济效益进行综合分析全面论证,现将试验结果报告如下。

一、材料与方 法

(一) 试验测坑与试验田基本情况

测坑于 1974 年初建 10 个 1m^2 小坑,后于 1980 年重建了 24 个 3m^2 的大坑,控制 0.40、0.60、0.80、1.0、1.2m 埋深的不同水位试验。

大田试区设明沟排水控制 0.60 m 埋深及暗管排水控制 0.80 m 埋深两个处理,每处理有三块 $(15 \times 120)\text{m}^2$ 麦田。圈沟田于 1987 年建成,设在一块 $2/15\text{ha}$ 面积的田内,分别圈暗沟以控制 0.40、0.60、0.80、1.0m 埋深处理,每处理面积为 196m^2 。

供试小麦品种为宁麦 701,于 11 月上旬播种,次年 6 月初收割,地力属中等水平。土壤理化性质见表 1。

* 参加本项工作的还有本所黄伟强、庞振祥、王志坤、朱正文等同志及南京水利科学研究院吴凤彩、沙金焯同志,在此一并致谢。

表 1 供试土壤的理化性质

Table 1 Some physical and chemical properties of soils used in the experiment

地点 Site	深度 Depth (cm)	物理粘粒 <0.01mm (%) Physical clay	质地 Texture	容重 Bulk density (g/cm ³)	总孔隙度 Total porosity (%)	毛管水饱和区高度(cm) Height of capillary saturation zone (cm)	有机质 O. M. (g/kg)	全氮 Total N(g/kg)	速效养分 Available nutrient (mg/kg)		
									N	P	K
测坑	10	52	重壤土	1.20	55.5						
	25	54	重壤土	1.30	51.9	40	27.4	1.65	107	8.1	90
	35	59	重壤土	1.35	50.1						
圈沟田	10	38	中壤土	1.22	54.7						
	25	41	中壤土	1.37	48.9	35	32.6	1.86	129	6.0	74
	35	40	中壤土	1.46	46.5						
大田	10	49	重壤土	1.13	57.8						
	25	52	重壤土	1.33	51.3	40	30.2	1.82	111	6.4	82
	35	56	重壤土	1.49	46.1						

(二) 试验方法

1. 小麦适宜地下水位控制指标是在小麦生长中后期分别采用静态和动态水位进行试验后得出不同的地下水位与产量的关系确定的。麦子生长前期则将水位全部控制为 0.8 m 埋深,播种期如遇少雨,抬高至 0.5 m 有利出苗齐苗,分蘖后至 2 月底由 0.5 m 逐渐降至 0.8 m。

2. 小麦耐渍、耐旱土壤水分指标系在试坑及试验田中埋设张力计,根据不同地下水位小麦生长中后期土水势与作物生长、产量的关系而求得。

3. 小麦适宜土壤通气孔隙指标系在研究得出较高产量相应控制的地下水位后,根据测定排水良好麦田的土壤孔隙分布,分别求得耕层、犁底层、淋溶层 >0.1 mm 孔径的通气孔隙作为评价各层土壤通透性指标。

二、结果与讨论

(一) 小麦适宜地下水位控制指标

1. 测坑静态水位试验表明(表 2): 地下水埋深 0.8 m (对照)的产量最高; 1.0 m 次之,比对照减幅 2.9%*, <5% (试验允许误差),产量下降不明显; 1.2 m 的比对照减幅 5.9%*,产量出现下降, 0.4、0.6 m 的分别比对照减幅 11.4%**、8.9%**、明显减产。根据静态水位试验得 0.8 m 埋深的产量最高后,用动态水位进行耐渍时限试验结果表明,地下水埋深在 3 天、5 天分别由田面降落至 0.8 m 及 1.0 m 的产量均比对照处理(静态 0.8 m 埋深)降幅 <5%, 而 7 天的则 >5% (表 2)。因此,地下水埋深应于雨后 3—5 天由田面降落至 0.8 m。但考虑到模拟试验与实际降雨的气象条件的差异,为了安全起见,控制地下水位以 3—4 天降落至 0.8 m 埋深为宜。

表 2 测坑不同地下水埋深的小麦产量

Table 2 The wheat yields of experimental pits with different groundwater levels

处 理 Treatment		产 量 分 析 Yield analysis			样本数
地下水深 Depth of ground water (m)	降落时限 Time of drawdown (d)	产量 Yield (%)	标准差 S(%)	变异系数 C. V.	No. of samples N
0.80	静态	100	0	0	5
0.40	静态	88.6	4.1	0.046	5
0.60	静态	91.1	3.6	0.040	5
1.00	静态	97.1	2.4	0.025	5
1.20	静态	94.1	4.9	0.052	5
0.8—1.0	3—5	96.1	1.3	0.014	3
0.8—1.0	7	92.4	0.8	0.009	3

注: 静态水位试验年份为 1975、1979、1980、1981、1983 年 (N = 5); 动态水位试验年份为 1981、1983、1984 (N = 3)。

2. 以测坑动态水位 3 天降落至不同埋深作进一步试验, 并通过圈沟田及大田验证, 得出不同地下水埋深的小麦产量及其关系(表 3, 图 1、图 2)全面分析如下: 0.4m 埋深比 0.8m 埋深(对照) 减幅 10.3%**(测坑)、24%**(圈沟田), 均远 > 5%; 0.6m 埋深比对照减幅 6.3%**(测坑)、12.9%*(圈沟田), 均 > 5%; 1.0m 埋深比对照减幅 1.4%(测坑)、增幅 0.1%(圈沟田), 均 < 5%; 1.2m 埋深比对照减幅 5.9%(测坑, 静态水位), 稍 > 5%。大田试验得出 0.6m 埋深比 0.8m 埋深减幅 11.3%**。

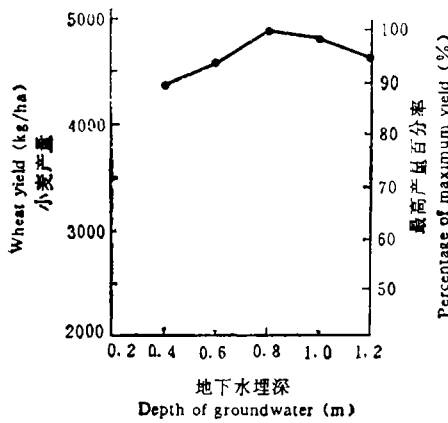


图 1 测坑地下水埋深与小麦产量关系
(N = 6)

Fig.1 The relationships between the groundwater depths and wheat yields in the experimental pits

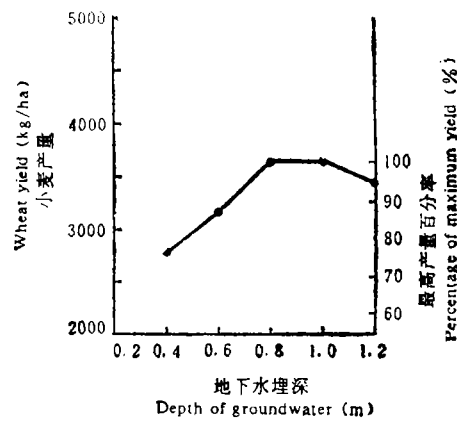


图 2 圈沟田地下水埋深与小麦产量关系
(N = 6)

Fig.2 The relationships between the groundwater depths and wheat yields in the fields circled by furrows

表 3 不同地下水埋深的小麦穗粒结构及产量

Table 3 The wheat panicle and grain structure and yields under condition of different groundwater levels

试验地点 Site	地下水埋深 Depth of groundwater (m)	每平方米穗数 Panicles/m ² $\bar{x} \pm s\bar{x}$	每穗粒数 Grains panicle $\bar{x} \pm s\bar{x}$	千粒重 (g) 1000 grain weight $\bar{x} \pm s\bar{x}$	产量 Yield (kg/ha) $\bar{x} \pm s\bar{x}$	样本数 No. of samples N
测坑	0.80	401.0±85.8	38.1±6.3	34.6±5.3	4899±777	6
	0.40	363.0±86.8	37.4±6.1	34.3±5.4	4395±779	6
	0.60	380.6±78.8	38.4±7.7	34.1±5.5	4590±794	6
	1.00	397.2±72.3	37.4±5.7	34.5±5.8	4829±899	6
圈沟田	0.80	452.1±36.6	29.3±0.7	32.6±1.6	3650±69	2
	0.40	417.2±34.4	26.3±0.8	31.9±0.9	2772±59	2
	0.60	429.9±27.8	28.1±0.3	31.8±1.8	3177±27	2
	1.00	455.7±3.2	29.4±1.5	31.8±0.6	3652±70	2
大田	0.80	534.5±57.8	29.7±4.8	29.7±6.7	4037±372	8
	0.60	484.2±65.5	29.7±5.4	28.5±7.2	3579±392	8

注：试验时间由 1974 年至 1988 年；表中样本数 N 为实际试验年数。

从三种试验结果看,0.8m、1.0m 的产量最高,且很接近。水位降至 1.2m 埋深时,产量出现减产趋势。0.4、0.6m 埋深比 0.8m 埋深减产 10—20%。产量增产主要是增穗的作用,其次是增粒,千粒重则影响很小。

(二) 小麦耐渍、耐旱土壤水分指标

1. 从测坑动态法模拟五年一遇丰水年雨型小麦耐渍试验结果看(表 4),0.8、1.0m 埋深在土壤 40cm 深内的水分吸力均大于 3kPa,无重力水存在,中后期平均吸力为 16.2 ± 0.6 kPa,处于正常生育有效水范围内,因此产量较高;而 0.4、0.6m 埋深,在 20、30cm 以下就存在有害的重力水(0.4m 埋深在 30cm 以下,甚至饱和),因拔节—孕穗阶段的土壤水分吸力过低,通气极差,故根系密集层浅,活力弱,甚至窒息死亡,严重影响了对 N、P、K 养分的吸收。由于拔节—孕穗阶段养分供应不足,在两极分化过程中过多死亡,致使有效穗少,这就是导致 0.4、0.6m 埋深减产的主要原因。产量及穗粒结构见表 3 中测坑栏。根据埋深控制到 0.8m 时的产量已达到最高,故确定小麦生长中后期耐渍土壤水分指标为 40cm 土层内土壤水分吸力 $> 3\text{kPa}$ (无重力水存在)。

2. 从测坑静态法控制不同地下水埋深的小麦产量看,在天然降水条件下,埋深控制到 0.8m 时,产量已达最高,降至 1.0m 时,产量下降尚不明显,但降至 1.2m 时产量则比 0.8m 埋深减幅 5.9%*。造成 1.2m 埋深产量下降主要因素是每穗实粒数少,而影响每穗实粒数的主要是由于孕穗—抽穗开花期的土壤水分吸力过高,水分供应不足,以致每穗的小花在孕穗期后退化而减少了每穗实粒数。在小麦孕穗—抽穗期,久晴少雨的干旱情况下,试验所得不同地下水埋深的土壤水分对小花结实数的影响如表 5 所示,地下水埋深由

表 4 测坑动态法不同地下水埋深小麦中后期土壤水分吸力比较 (kPa)

Table 4 Comparison of water suction in the soil profiles with different groundwater levels during the iniddle and cater periods (kPa)

土深 Depth (cm)	地下水埋深 Depth of groundwater (m)	拔节—孕穗期 (N = 104) Jointing booting stage $\bar{x} \pm s\bar{x}$	孕穗—抽穗期 (N = 46) Booting heading stage $\bar{x} \pm s\bar{x}$	抽穗—乳熟期 (N = 99) Heading milky ripening stage $\bar{x} \pm s\bar{x}$	乳熟—腊熟期 (N = 40) Milky ripening wax ripening stage $\bar{x} \pm s\bar{x}$	总平均 (N = 4) Mean $\bar{x} \pm s\bar{x}$	水分范围 Water range
10	0.80	8.9±5.4	19.5±11.6	30.3±11.5	34.0±27.3	23.1±11.4	有效水
	0.40	8.2±5.3	12.5±6.2	27.6±10.2	30.3±26.2	20.4±10.4	有效水
	0.60	8.8±5.4	17.4±8.9	29.0±10.4	32.9±26.6	22.3±11.2	有效水
	1.00	9.2±5.6	20.0±11.2	32.4±11.7	38.3±27.4	25.0±13.0	有效水
25	0.80	4.8±1.6	11.6±5.2	12.9±7.6	20.0±15.8	12.3±6.2	有效水
	0.40	2.1±0.8	2.3±0.5	2.2±0.6	2.5±1.1	2.3±0.2	多余水(有害)
	0.60	4.5±1.5	7.5±2.9	8.8±4.8	13.4±10.4	8.6±3.7	有效水
	1.00	5.5±2.2	11.2±6.1	12.8±7.1	18.0±14.9	11.9±5.1	有效水
35	0.80	3.9±0.8	5.8±1.0	6.5±3.4	9.4±5.8	6.4±2.3	有效水
	0.40	0	0	0	0	0	多余水(有害)
	0.60	2.4±0.6	2.6±0.2	2.8±0.7	3.1±1.1	2.1±0.3	多余水(有害)
	1.00	5.0±1.8	5.9±2.0	6.9±3.4	10.2±5.8	7.0±2.3	有效水
0—40 剖面平均	0.80	6.4±3.1	13.6±7.0	19.1±8.4	23.7±18.5	15.7±7.6	
	0.40	4.3±2.7	7.7±3.0	13.2±4.8	14.5±12.2	10.0±4.8	
	0.60	5.9±3.0	10.7±4.9	16.8±6.3	19.6±15.5	13.3±6.3	
	1.00	7.0±3.6	13.6±7.4	2.01±8.2	25.2±18.3	16.6±8.0	

注: 1. 以实测得田间持水量的土壤水分吸力 3kPa 作为有效水与多余水(重力水)分界。

2. 试验年份: 1983—1986 年 (N = 4)。

表 5 小麦孕穗—抽穗期干旱对每穗小花结实数的影响

Table 5 The effect of drought during wheat booting-heading period on wheat setting per panicle

地下水埋深 Depth of groundwater (m)	0—40cm 平均土壤 水分吸力 \bar{x} (kPa) Suction of soil moisture	每穗小穗数 \bar{x} Spikelets panicle	每穗不孕小穗数 \bar{x} Sterile spikelets panicle	每穗结实小穗数 \bar{x} Fruit-bearing spikelets	每穗粒数 \bar{x} Grains panicle
0.80	73.7	18.8	2.5	16.3	33.8
1.00	81.6	18.7	2.5	16.2	33.7
1.20	91.5	18.7	3.7	15.0	31.6

注: 试验年份为 1981、1984、1985 年 (N = 3)。

0.8m 降至 1.0m 时, 0—40cm 剖面平均土壤水分吸力为 81.6 kPa, 此时, 每穗的不孕小穗数变化不明显, 对每穗实粒数影响很小。当埋深再降至 1.2m 时, 吸力相应上升为 91.5kPa, 此时, 不孕小穗明显增加, 致使每穗实粒数比 0.8m 埋深减幅 6.5%*。因此, 大体可采用 0—40 cm 剖面平均土壤水分吸力 80 kPa 作为小麦孕穗—抽穗开花期的耐旱土壤水分指标。灌浆期以后至成熟这个阶段, 干旱主要影响粒重, 据多年试验结果, 1.2m 埋深 0—40cm 剖面平均土壤水分吸力虽然大于 91.5 kPa, 但对千粒重影响不大, 因此灌浆至成熟阶段吸力允许达到 91.5kPa 或略高些, 但不要超过 100kPa (正常生长有效水下降)。

3.测坑试验得的指标经圈沟田验证结果表明, 0.8m、1.0m 埋深在小麦生长中后期土壤 40cm 内的水分吸力均大于3kPa, 无重力水存在, 能满足通气要求; 实测得孕穗—抽穗开花期 0—40cm 剖面平均吸力最高值为 78.5kPa, < 80 kPa, 能满足需水要求; 中后期的平均吸力为 35.0 ± 0.80 kPa, 处于正常生育有效水范围内, 故 0.8m、1.0m 埋深产量较高。0.6m 埋深在拔节—孕穗期, 土壤 30cm 以下的水分吸力 < 3kPa; 0.4m 埋深在中后期, 土壤 30cm 以下始终接近 0, 处于饱和状态。由于 0.4、0.6m 埋深通气差而导致减产(表3)。通过圈田验证表明, 所采用的小麦耐渍、耐旱土壤水分指标完全可靠。

(三) 小麦适宜土壤通气孔隙指标

目前国内外多数学者认为适宜土壤通气率下限应在 10% 左右, 或介于 8—15% 之间^[2]。我们通过多年试验后认为这个标准对水稻土的耕层土壤是可行的, 但对犁底层与淋溶层则很难达到这标准。由于南方水稻土在耕作、轮作、排灌等条件作用下, 土壤剖面层次分化很明显, 各层土壤孔隙分布差异很大, 故评价麦根密集层 0—40cm 土壤孔隙的

表 6 暗管排水 10 年以上对土壤孔隙的影响

Table 6 The effect of pipe drainage for 10 years on soil pores

处 理 Treatment	项 目 Item	总孔隙度 Total porosity (%)			>0.1mm 非毛管孔隙度 >0.1mm Non-capillary porosity (%)			<0.005 mm 毛管孔隙度 <0.005mm Capillary porosity (%)		
		耕层 Tilth	犁底层 Plow sole	淋溶层 Leached layer	耕层 Tilth	犁底层 Plow sole	淋溶层 Leached layer	耕层 Tilth	犁底层 Plow sole	淋溶层 Leached layer
暗管田 (埋管10年 以上)	样本数 N	45	16	15	45	16	15	45	16	15
	平均值 \bar{x}	58.4	50.4	45.9	13.0	39	5.0	37.3	40.7	34.2
	标准差 S	3.0	2.3	1.4	3.2	0.5	1.0	2.6	2.7	0.9
明沟田 (对照)	标本数 N	25	16	12	25	16	12	25	16	12
	平均值 \bar{x}	56.1	49.4	45.8	7.3	2.1	2.3	40.1	41.0	37.2
	标准差 S	1.5	1.5	0.9	1.6	0.7	1.2	2.8	2.6	2.4

注: 测定时间: 1979—1981、1985、1986年。

通透性,应分层采用不同的指标。我们采用 $>0.1\text{mm}$ 孔径(土水势 3 kPa)的土壤非毛管孔隙度作为评价各层土壤通气的标准,根据是非毛管孔隙在重力水排除后,可形成上下连贯的通气走廊,是气体交换的主要通道。我们选择了埋设暗管 10 年以上,地下水埋深能控制到 0.8m ,排水条件良好,亩产达 $300\text{—}350\text{kg}$ 的稳产麦田,及一般明沟排水,亩产为 250kg 左右的麦田,分别测定其土壤孔隙,分析暗管排水 10 年以上对土壤孔隙的影响(表 6),得出 $>0.1\text{mm}$ 孔径的非毛管孔隙度如下:

土深 10cm (耕层): 暗管田孔隙度为 13.0% ,明沟田为 7.3% ,暗管田比明沟田增加数为 $5.7\%^{***}$ 。

土深 25cm (犁底层): 暗管田孔隙度为 3.9% ,明沟田为 2.7% ,暗管田比明沟田增加数为 $1.2\%^{***}$ 。

土深 35cm (淋溶层): 暗管田孔隙度为 5% ,明沟田为 2.3% ,暗管田比明沟田增加数为 $2.7\%^{***}$ 。

由以上结果比较看,经过暗排 10 年以上的良好麦田,因加速了土壤结构的发育及稳定性,使大孔隙不断增加,故非毛管孔隙较明沟田明显增多,同时出现了 $<0.005\text{mm}$ 孔径毛管孔隙减少、总孔隙增多的趋势;由于通气性能好,故产量比明沟田高。因此采用暗管田之值,以土深 25cm 孔隙度为 4% ,土深 35cm 处为 5% 作为昆山壤土的犁底层、淋溶层适宜的通气率,而耕层则仍用 $8\text{—}15\%$,因该值与暗管田实测值 $13.0\pm 3.2\%$ 相接近。

以上述指标检验圈沟田不同地下水埋深土壤的通透性以证实该指标的可靠性。根据圈沟田实测得小麦生长中后期的土壤水分吸力,求出土壤充气孔隙度进行比较结果,在土壤 10cm 处 0.40 、 0.60 、 0.80 、 1.0m 四个埋深孔隙度为 $8.5\text{—}8.9\%$,均 $<10\%$,但 $>8\%$,通透性尚好。土深 25cm 处 0.60 、 0.80 、 1.0m 埋深孔隙度为 $5.0\text{—}5.1\%$,均 $>4\%$,通透性良好, 0.40m 埋深较小,孔隙度为 4% ,通透性尚可。土深 35cm 处 0.8 、 1.0m 埋深孔隙度为 5.6% , $>5\%$,通透性良好; 0.60m 埋深孔隙度为 4.1% , $<5\%$,通透性较差; 0.40m 埋深充气孔隙度接近零,不能通气,根系窒息。以上表明 0.80 、 1.0m 埋深在根系密集层 40cm 土壤内均能达到通气要求标准; 0.60m 埋深的耕层及犁底层亦能满足通气要求,但淋溶层达不到要求标准; 0.40m 埋深,耕层、犁底层通透性还好,但 35cm 深度以下不能通气使根系窒息。由于 0.80 、 1.0m 埋深的土壤通透性好,故产量较高。但因圈沟田原为明沟排水田,土壤 $>0.1\text{mm}$ 孔径非毛管孔隙度在土深 10cm 处为 6.4% , $<8\text{—}15\%$;土深 25cm 处孔隙度为 3.6% ,接近 4% ;土深 35cm 处孔隙度为 3.9% , $<5\%$,其通气性能远不及暗管排水田,故小麦亩产最高仅 250kg 左右。

(四) 不同地下水埋深经济效益

昆山应用瓦管暗排,控制田间地下水埋深为 0.60 、 0.80 、 1.0m ,埋管深度相应为 0.80 、 1.0 、 1.2m ,间距均为 15m ,按 1992 年价格进行静态和动态两种分析方法计算其经济效益结果如下^[4]:控制地下水埋深为 0.60 、 0.80 、 1.0m ,其田间暗管工程每公顷投资分别为 1710 、 1845 、 2055 元,采用静态法算得还本年限分别为 4.48 、 2.51 、 2.78 年,投资效益系数分别为 0.22 、 0.40 、 0.37 ;采用动态法算得 0.60 、 0.80 、 1.0m 埋深还本年限分别为 5.56 、 2.9 、 3.2 年,益本比分别为 2.03 、 3.64 、 3.37 ,年每公顷净效益分别为 193.5 、 534 、 513.0 元。根据静态和动态两种方法计算结果均以控制地下水埋深 0.80m 的投资回收年限短、效益高,故以控

制地下水埋深 0.80m 为优。

昆山市自 70 年代以来推广应用暗管排水农田共 2000 多公顷,至 1992 年止,共增产粮食 2.27 万吨,净收益 2081 万元,取得了显著的经济效益与社会效益。

本项研究成果可供我国南方稻麦生产地区农田水利工程规划设计与土壤水分管理的依据之一。

参 考 文 献

1. 李金柱, 1985: 暗管排水工程经济效益分析方法。农田地下水技术, 296—297 页。水利电力部科学技术司出版。
2. 简·范席福加德主编(胡家博译), 1985: 农业排水。25 页, 水利出版社。

STUDY ON SUITABLE GROUNDWATER LEVELS FOR WHEAT GROWTH

Wang Yuanhua

(Kunshan Institute of Farml and Irrigation and Drainage, Jiangsu, 215300)

Summary

The suitable groundwater level and soil water indexes for wheat are mainly discussed in this article, the groundwater level index was studied by the combined dynamic and static water level method, while the energy indexes of both waterlogging and drought-enduring soil water were got using the technique of soil water energy measurement. The suitable groundwater depth for wheat was 0.8 meter during the whole growing season; if it's drought during planting, the depth should be raised to 0.5 meter for the full emergence of seedlings; during the period of after tilling to the end of february the depth should be cut down to 0.8 meter progressively; and during the middle and later growing periods of wheat (March—May), the depth should be controled at 0.8 meter 3—4 days after rainfull. During the middle and later growing periods of wheat, the waterlogging enduring soil water index was the water suction of $> 3\text{kPa}$ in the 40cm soil horizon; and the drought-enduring soil water index was the suction of $\leq 100\text{kPa}$ in the 40cm soil horizon at booting-heading and flowering stages. The aeration porosities for creating a good aeration status of soils could be 8—15% in plowed layer $\geq 4\%$ in plow sole, and $\geq 5\%$ in B-horizon. In the heavy loam soil area of Kunshan, the pipe drainage with a pipe depth of 1.0 meter and a distance of 15 meters could meet the needs of all indexes mentioned above.

Key words Suitable groundwater table index, Waterlogging-enduring soil water index, Drought-resistant soil water index