

水旱轮作大豆的营养生长与根系活力的关系

马启林^{1,2}, 雷慰慈², 山口武视³, 中田升³, 李阳生¹

(¹武汉大学生命科学学院, 湖北 武汉 430072; ²长江大学农学院, 湖北 荆州 434103; ³鸟取大学农学部, 日本 鸟取 680-8553)

摘要:大豆是实行水旱轮作制度的重要作物之一, 水田的排水不良是导致轮作大豆减产的重要原因。通过对水旱轮作大豆幼苗进行过湿处理, 分析了不同大豆品种的营养生长特性与根系生理活性的关系。轮作大豆在过湿条件下, 所有品种的生育都受到抑制, 干物质生产受抑制程度存在着品种间的差异。营养生长诸性状中, 伤流速度受过湿处理影响最大, 处理区的伤流速度仅为对照区的 64.2%。过湿处理导致伤流液中氮含量几乎减少了一半, 伤流中的氮含量与叶片氮素含量之间存在极显著正相关关系, 过湿条件下叶片氮含量的减少是由于根的氮素吸收能力的低下所致。遭遇过湿逆境时的植株个体大小与维持物质生产关系密切。过湿处理期间及其后的干物质增加量的大小与以伤流速度为代表的根系活力密切相关, 说明从田间管理技术上提高大豆的根系活力以维持水旱轮作大豆的干物质生产是可行的。

关键词:大豆; 水旱轮作; 涝渍; 营养生长性状; 根系活力; 氮吸收能

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2009)01-0036-05

Effect of Root Activity on Vegetative Growth Characteristics of Rotation Soybean

MA Qi-lin^{1,2}, LEI Wei-ci², Takeshi YAMAGUCHI³, Noboru NAKATA³, LI Yang-sheng¹

(¹ College of Life Science, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei; ² Faculty of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434103, Hubei, China; ³ Faculty of Agriculture, Tottori University, Tottori 680-8553, Tottori, Japan)

Abstract: Excessive soil moisture in poorly drained upland field converted from paddy is usually a serious problem to soybean which is an important crop in rotation system. Field experiments were conducted to determine the influence of waterlogging on vegetative growth characteristics (VGC) of forty cultivars of soybean at the seedling stage, and to clarify the relationship between VGC and root function of soybean plants. Vegetative growth had been depressed and varietal difference was found to exist in the dry matter accumulation of rotation soybean. Among the VGC, bleeding sap was mostly influenced by waterlogged treatment, and the ratio of treatment to control of bleeding sap was average 64.2%. Waterlogging led to the nitrogen content in bleeding sap reduced by nearly half, and there was a significant positive correlation between the nitrogen content in bleeding sap and that in leaf. This indicated that the decrease of nitrogen content in leaf was attributed to the depression of nitrogen absorption capacity of root under the condition of excessive soil moisture. The size of soybean individual plants when encountered waterlogging is closely related with the ability of dry matter production. Net dry weight during waterlogged or post-waterlogged period is closely related with root activity which represented by bleeding rate. Therefore, it is feasible to maintain dry matter production of soybean plants grown in upland field converted from paddy by improving root activity through crop management technologies.

Key words: Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.); Crop rotation system; Waterlogging; Vegetative growth characteristics; Root activity; Nitrogen absorbency

湖北省江汉平原的洪涝灾害频繁, 人称“水袋子”, 大片的涝渍地是湖北省农业生产难以实现高产稳产的症结所在。1997 年开始实施的中日技术

合作《湖北省江汉平原四湖涝渍地综合开发计划》项目, 通过大规模的农田整备及土壤改良以实现水旱轮作是该计划的重要内容之一。大豆是实行水旱

收稿日期: 2008-09-22

基金项目: 湖北省重大科技发展计划资助项目 (962P0503)。

作者简介: 马启林 (1969-), 博士, 主要从事植物发育与环境相互作用和作物品质改良研究。E-mail: qilinma@hotmail.com。

轮作的重要作物^[1],在日本,水旱轮作大豆的面积占总种植面积的 85% 以上^[2],远远大于旱地种植的大豆面积。在水旱轮作条件下,部分不具备良好排水条件的水田,会使大豆的生长长期处于涝渍状态。大豆虽较其他作物具有一定的耐湿性,但仍是比较容易受到湿害影响的作物^[3-5],特别是生育初期易受湿害的影响,湿害发生的生育期间越早干物质生产和产量受影响的程度越显著^[6,7]。关于大豆湿害的研究,从生育、产量组成要素及体内成分上进行分析的研究很多^[6,8-10]。而有关根的生理活性、养分吸收能的品种间差异及其与湿害、地上部反应的相关研究很少。这样的比较研究、对品种特性的把握非常重要,同时也是确立大豆栽培技术体系的基础。因此,在调查过湿处理对水旱轮作大豆幼植物的营养生长诸性状产生的影响的基础上,对大豆根的氮吸收能与地上部物质生产的关系进行了分析。

1 材料和方法

1.1 试验设计

以从中国、日本和美国收集到的 40 个大豆品种(品系)为材料(表 1),于 2003 年种植于水旱轮作第二年的水稻田。将整平的大田分成 2 区,于各区的周围挖深约 45 cm 的沟,设置为处理区和对照区。处理区为向边沟中灌水,控制沟中的水位在地表面以下 5~10 cm,进行过湿处理。而对照区则以电动水泵强制排水以保持边沟中的水位在地表面以下 40 cm。于 6 月 4 日播种,每穴 2 粒,播种密度为 20 × 15 cm。初生叶展开后间苗为单株(33.3 株·m²)。小区面积 30 m²,3 次重复。由于试验以幼植物体为对象,没有施用底肥和追肥。人工拔草,无培土栽培。从 6 月 27 日(播种后 24 d,第 3~第 4 真叶展开期)开始到 7 月 15 日,进行了 18 d 的过湿处理。试验期间在对照区的地表面下 10 cm 深处安置土壤水分测定计测定土壤的水分张力,结果表明其 pF 值(pF 值表示土壤水分张力,一般用与大气压相当的水柱高度的厘米数的对数来表示)除降雨时以外保持在 1.2~1.9 之间。

1.2 测定项目和方法

伤流测定及个体样品取样分别于处理开始前一天,处理结束次日及处理结束后 20 d 进行,计 3 次。为了使伤流采集时土壤含水量达到 40% 以上以减少土壤水分对伤流速度的影响,于测定前一天对对照区进行灌溉。取样时,避开边行选取生育较均一

表 1 过湿处理前后的干物重

Table 1 Dry matter weight pre- and post-waterlogging

No.	品种 Variety	地上部重 Shoot dry matter weight/g · plant ⁻¹			T/C%
		处理前 Pre- waterlogging	处理后 Post- waterlogging		
			对照 Control(C)	处理 Treatment(T)	
1	Suzuyutaka	0.79	4.01	4.02	1.00
2	Fukuyutaka	0.76	4.71	4.72	1.00
3	Shiromeyutaka	0.91	4.29	3.79	0.88
4	Tachinagaha	0.76	4.43	3.72	0.84
5	Touyama172	1.05	5.41	4.54	0.84
6	Miyagioojiro	0.72	4.45	3.87	0.87
7	Tamahomare	0.83	4.44	3.47	0.78
8	Nishimusume	1.03	4.61	4.49	0.97
9	Hourei	0.78	4.79	3.51	0.73
10	Okushirome	0.65	3.75	2.94	0.78
11	Toyoshirome	0.89	4.60	4.04	0.88
12	Mochidaizu	1.03	4.54	4.00	0.88
13	Sayanami	0.66	3.94	3.51	0.89
14	Tachisuzunari	0.76	3.49	3.33	0.95
15	Nakasennari	0.67	3.46	2.94	0.85
16	Ani	0.76	3.76	3.04	0.81
17	Akasaya	0.76	4.23	2.94	0.69
18	Hyuga	0.80	4.78	4.52	0.95
19	Enrei	0.75	4.62	4.36	0.94
20	Asoagari	0.54	3.52	2.93	0.83
21	Lee(+)	0.64	3.91	3.39	0.87
22	Williams	0.66	4.27	3.49	0.82
23	Peking	0.39	3.28	2.07	0.63
24	易县黑豆 Yixianheidou	0.49	2.89	2.10	0.73
25	鄂豆 6 号 Edou-6	0.69	4.88	3.45	0.71
26	中豆 8 号 Zhongdou-8	0.69	3.58	2.94	0.82
27	中豆 24 Zhongdou-24	0.63	4.51	3.02	0.67
28	中豆 29 Zhongdou-29	0.51	3.34	2.18	0.65
29	雷八豆 Leibadou	0.74	4.29	3.52	0.82
30	猴子毛 Houzimao	0.62	3.66	3.17	0.86
31	矮脚早 Aijiaozao	0.62	4.61	3.58	0.78
32	早春 1 号 Zaochun-1	0.64	3.70	2.59	0.70
33	太兴黑豆 Taixingheidou	0.83	4.49	3.11	0.69
34	中品 94-6 Zhongpin 94-6	0.63	3.74	3.54	0.95
35	油春 363 Youchun 363	0.62	4.80	3.48	0.73
36	油春 94-412 Youchun 94-412	0.68	4.55	3.50	0.77
37	95-4	0.48	3.90	2.88	0.74
38	96089	0.66	3.88	3.38	0.87
39	96098	0.75	4.06	3.21	0.79
40	982245	0.83	4.93	3.71	0.75
	平均值 Average	0.72	4.18	3.42	0.82
	标准偏差 SD	0.14	0.55	0.63	0.10
	变异系数 CV	19.95	13.15	18.49	11.95

SD: Standard deviation; CV: Coefficient of variation

的个体,按马启林等^[11]的方法于上午 10 时从初生叶节下约 2 cm 处切断主茎,以脱脂棉覆盖切断茎面,收集 1 h 的伤流液。测定脱脂棉吸收伤流液前后的重量,以其重量之差作为植株的伤流速度,可以之评价根的活力大小。从脱脂棉中挤挤出伤流液,保存于超低温冰箱中备用。

于采集伤流液的前一天,以 SPAD-502 型叶绿素计 (Minolta 制) 测定了第二真叶的叶色。采集了伤流以后的植株,以 LI-3000 型叶面积仪测定其叶面积。之后,以植株为中心挖取长宽深分别为 $25 \times 25 \times 25$ cm 的植株根系区域的土壤,用流水仔细地根洗出,并除去根瘤。将挖出的根和地上部一起置于 80°C 的干燥箱中通风干燥 3 d,测定其干物重。

伤流中的全氮以碱性过氧化二硫酸钾-紫外线吸光度法测定,叶身氮含量以硫酸-过氧化氢法湿式灰化后,用靛酚法测定。

2 结果与分析

2.1 过湿处理对干物质生产的影响

在过湿处理的后期,生育期较早的品种,如雷八豆,早春 1 号,太兴黑豆和油春 363 已进入了始花期,但过湿区 and 对照区之间在开花期上没有显著差异。处理结束时的地上部干物重如表 1 所示。除 Suzuyutaka 和 Fukuyutaka 在处理后的地上部干物重与对照相比基本没有发生变化外,其它品种的地上部干物重均较对照减少。对照区的地上部干物重的平均值为 $4.18 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$,过湿区为 $3.42 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$,过湿区的地上部干物重较对照区平均约减少了 18%。

对照区各品种在处理期间内的干物质增加量 (ΔDW1) 范围为从 $2.40 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$ (易县黑豆) 到 $4.37 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$ (Touyama172),而过湿区为 $1.61 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$ (易县黑豆) 到 $3.96 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$ (Fukuyutaka)。过湿处理开始时的地上部干物重和处理结束后的地上部干物重的关系如图 1 所示。从图 1 可知,不论是对照区还是过湿区,处理结束时的地上部干物重和处理开始时的地上部干物重之间都存在相关关系,过湿处理开始时地上部干物重越大的品种处理结束后的地上部干物重也较大。处理期间内的 ΔDW1 表现出最大 $2.76 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$ 的变动幅度,而处理期间为 18 d,所以品种间相对生长率 CGR 表现出 $0.15 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ 的差异,因此,受涝渍影响各品种的干物质生产能之间存在着较大的差异。

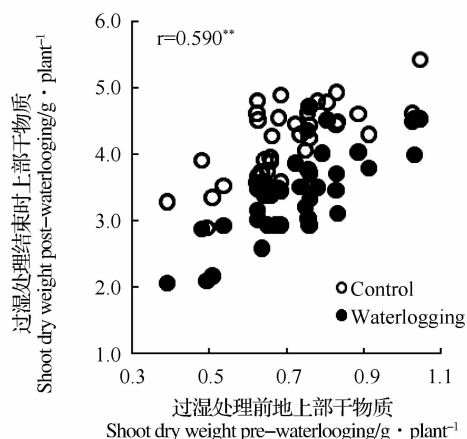


图 1 过湿处理前后地上部干物质重之间的关系
Fig. 1 Correlation between shoot dry matter weight of pre-waterlogging soybean plants and that of post-waterlogging soybean plants

2.2 伤流速度与叶片含氮率及叶面积的关系

在水稻上有过叶片含氮量与根的呼吸速度之间存在着高度相关关系的报道^[12],由于伤流速度已被视为根的活性指标之一,分析了过湿处理结束时的伤流速度与叶片含氮率的关系(图 2),发现两者呈极显著正相关($r=0.864^{**}$)。同时,伤流速度与叶面积之间也发现存在着极显著相关($r=0.817^{**}$)。

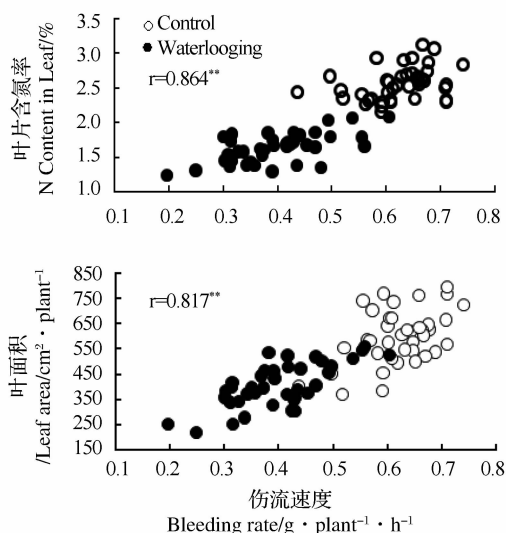


图 2 伤流速度与叶面及叶片含氮率之间的关系
Fig. 2 Correlation between N content in leaf or leaf area and bleeding rate when waterlogging was ceased

2.3 伤流速度与伤流中全氮含量及叶片含氮量的关系

为了说明图 2 所示的过湿处理结束时的伤流速

度与叶片含氮率之间的高度相关关系,将 40 个品种的伤流速度与伤流中全氮含量的关系表示如图 3。这里的伤流中全氮含量为伤流速度与伤流中全氮浓度的乘积。如图 3 所示,伤流速度与伤流中全氮含量之间存在着极显著正相关关系。也就是说,以伤流速度所代表的根系活性越高的品种,其伤流中的全氮含量,即根系的氮吸收能力越高。图 3 显示,过湿处理区伤流中的全氮含量较对照区伤流中全氮的含量减少了将近一半。

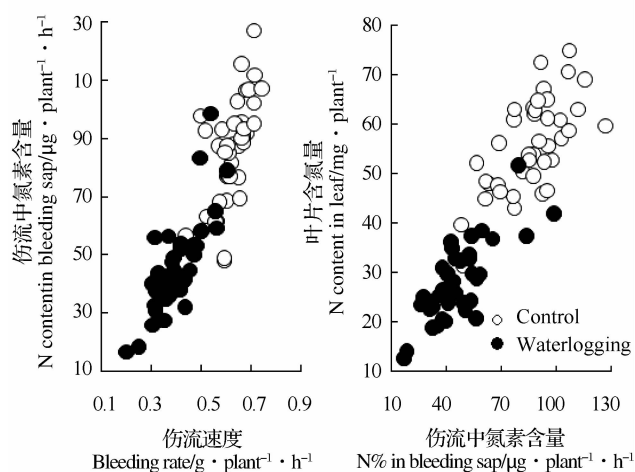


图 3 伤流速度,伤流中氮素含量及叶身氮素含量之间的关系

Fig. 3 Relationship among bleeding rate, N content in bleeding sap and N content in leaf when waterlogging was ceased

在营养生长期,通过根系吸收的氮素主要积累在叶片上,其含量与光合作用密切相关。将叶身干物重和叶片含氮率相乘,计算了各品种个体的叶片含氮量,将它们与伤流中的全氮含量的关系表示为图 3 (B),发现两者之间也存在着极为密切的相关关系。

2.4 处理结束时的伤流速度对处理后恢复营养生长的影响

过湿环境解除后,能够迅速地恢复营养生长是耐湿性品种应该具备的特性。所以,分析了处理结束时的伤流速度与处理后 20 日间的干物质增加量 ($\Delta DW2$) 的关系,其结果如图 4 所示。对照区中伤流速度与 $\Delta DW2$ 之间没有明确的关系,而过湿区中伤流速度与 $\Delta DW2$ 正相关,显示处理结束时伤流速度越高的品种处理结束后 20 日间的干物质增加量 $\Delta DW2$ 越大。这表明,过湿处理结束时的伤流速度越大的品种,在过湿环境解除后具有更强的恢复干物质生产的能力。

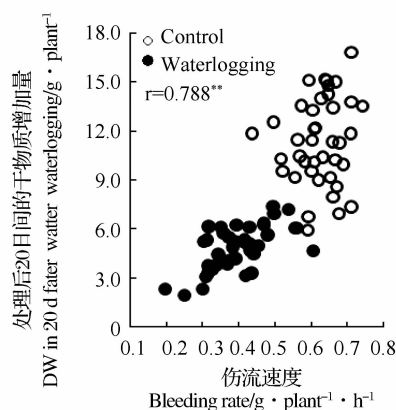


图 4 处理结束时的伤流速度对处理后干物质生产的影响

Fig. 4 The influence of bleeding rate when waterlogged treatment was ceased on $\Delta DW2$ in 20 days after waterlogging

3 结论与讨论

对 40 个轮作大豆品种进行了过湿处理,各品种之间在干物质增加量 ($\Delta DW1$) 上存在明显的差异,分析了这种差异与根系活力的关系。结果显示,过湿处理结束时的地上部干物重与处理开始时的地上部干物重之间有着密切的相关关系 (图 1),处理开始时的地上部干物重越大的品种,处理结束时的地上部干物重也越大。这表明,遭遇过湿逆境时的个体越大,其地上部干物质生产能力越大,具有受过湿障害影响越小的倾向。可以推测,初期生长快的品种对过湿障害的适应能力较高。

处理期间的 $\Delta DW1$ 与决定单位叶面积光合速率的叶身氮素含有率^[13-14]和叶面积 2 个要素紧密相关。当遭遇过湿条件时,叶身内的氮素含量与其它无机成分相比显著地减少^[6,15],一般认为,过湿逆境条件下植物体难以吸收到与其生长要求相适应的足够的氮素。而且,大豆的光能-干物质转换效率 (RUE) 与叶身氮素浓度有着最为密切的关系,品种间存在的 RUE 的差异由叶身氮素浓度和以之为基础的光合成速度的差异所引起^[16]。因此,在过湿条件下要维持大豆的干物质生产能力,则保持较高水平的叶身氮素含有率和较大的叶面积至关重要。而这 2 个要素与伤流速度,即根系的生理活性紧密相关的事实由图 2 和图 3 清楚地显示了出来。

山口武视等^[12]在水稻上也发现,根的生理活性与叶身氮素含有率之间存在着相关关系,但这至多只是揭示了一种现象,而图 2 及图 3 则清楚地揭示了根的生理活性与叶身氮素含有率之间的因果关系。即由伤

流速度代表的根系的生理活性越高,则根系的养分吸收能越高,从而具有较高的叶身氮素含有率。

过湿处理解除后,尽快地恢复营养生长对其后的生育和产量影响很大。有报道指出,逆境解除以后,光合作用的恢复能力与根系的呼吸速度有关^[17]。从图4可以清楚地认识到,伤流速度与过湿处理后营养生长的恢复密切相关,伤流速度越大的品种其干物质生产能力的恢复力也较高。

遭遇过湿逆境时的植株个体大小与维持物质生产关系密切,过湿处理期间及其后的干物增加量的大小与以伤流速度为代表的根系活力密切相关。只要较好地维持根系活力,即便在过湿条件下也可以确保足够的干物质生产量。因此,从作物管理技术上提高大豆的根系活力以维持水旱轮作大豆的干物质生产是可行的。

参考文献

- [1] 島田信二. 転換畑作大豆における中耕培土の効果[J]. 農学及び園芸, 1985, 60(3): 427-430. (Shimada S. Effects of intertillage and ridging on soybean cultivated in an upland field converted from paddy [J]. Agriculture and Horticulture, 1985, 60(3): 427-430.)
- [2] 海妻矩彦, 喜多村啓介, 酒井真次, 編. 実用マメ類の科学—現状と展望—[M]. 東京, 養賢堂, 2003; 309-317. (Umitsu K, Kitamura K, Sakai S, Ed. Practical science of beans - present status and expectation [M]. Youkendou, Japan, Tokyo, 2003; 309-317.)
- [3] Oosterhuis D M, Scott H D, Hampton R E, et al. Physiological responses of two soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars to short-term flooding[J]. Environment Experimental Botany, 1990, 30: 85-92.
- [4] Russell D A, Wong D M L, Sachs M M. The anaerobic response of soybean[J]. Plant Physiology, 1990, 92: 401-407.
- [5] Bacanamwo M, Purcell L C. Soybean dry matter and N accumulation response to flooding stress, N sources and hypoxia[J]. Journal of Experiment Botany, 1999, 50: 689-696
- [6] 杉本秀樹, 雨宮昭, 佐藤亨, 等. 水田転換畑におけるダイズの過湿障害. 第2報 土壌の過湿処理が出液, 気孔開度並びに無機成分の吸収に及ぼす影響[J]. 日本作物学会紀事, 1988, 57(1): 77-82. (Sugimoto H, Amemiya A, Satou T, et al. Excess moisture injury of soybeans cultivated in an upland field converted from paddy II. Effects of excessive soil moisture on bleeding, stomatal aperture and mineral absorption [J]. Japanese Journal of Crop Science, 1988, 57(1): 77-82.)
- [7] Sorte N V. Effect of waterlogging on soybean critical growth stages [J]. Journal of Soils and Crops, 1995, 5(2): 141-144.
- [8] 望月俊宏, 松本重男. 秋ダイズの耐湿性の品種間差異[J]. 日本作物学会紀事, 1991, 60: 380-384. (Mochizuki T, and Matsu-
- [9] moto S. Varietal differences of wet endurance in autumn soybean plants [J]. Japanese Journal of Crop Science, 1991, 60: 380-384.)
- [9] Shimada S, Kokubun M, and Matsui S. Effects of water table on physiological traits and yield of soybean. (1) Effects of water table and rainfall on leaf chlorophyll content, root growth and yield [J]. Japanese Journal of Crop Science, 1995, 64: 294-303.
- [10] 朱建强, 张文英, 欧光华, 等. 夏大豆花荚期受渍胁迫对农艺性状、产量与品质的影响 [J]. 大豆科学, 2001, 20(1): 71-74. (Zhu J Q, Zhang W Y, Ou G H, et al. Influence upon agronomic properties, yields and qualities of summer soybean in period of soybean with flowers and pods under subsurface waterlogging of soybean field [J]. Soybean Science, 2001, 20(1): 71-74.)
- [11] 馬啓林, 山口武視, 中田昇, 等. ダイズ幼植物における茎基部からの出液速度に関する要因[J]. 日本作物学会紀事, 2004, 73(4): 431-435. (Ma Q L, Yamaguchi T, Nakata N, et al. Factors affecting the bleeding rate from the basal part cut end of stem in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seedlings [J]. Japanese Journal of Crop Science, 2004, 73(4): 431-435.)
- [12] 山口武視, 津野幸人, 中野淳一, 等. 登熟期における水稻茎基部からの出液中のアンモニア態窒素濃度ならびに出液中の珪酸:カルシウム比と根の呼吸速度との関係[J]. 日本作物学会紀事, 1995, 64: 529-536. (Yamaguchi T, Tsuno Y, Nakano J, et al. Relationship between root respiration and silica: Calcium ratio and ammonium concentration in bleeding sap from stem in rice plants during the ripening stage [J]. Japanese Journal of Crop Science, 1995, 64: 529-536.)
- [13] Sinclair T R, and Horie T. Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency: a review [J]. Crop Science, 1989, 29(1): 90-98.
- [14] Shimada S, Kokubun M, Matsui S. Effects of water table on physiological traits and yield of soybean II. Effect of water table and rainfall on leaf water potential and photosynthesis [J]. Japanese Journal of Crop Science, 1997, 66: 108-117.
- [15] Sallam A, Scott H D. Effects of prolonged flooding on soybeans during vegetative growth [J]. Soil Science, 1987, 144(1): 61-66.
- [16] 白岩立彦, 橋川潮, 高進吾, 等. ダイズ品種の光エネルギー変換効率と受光態勢ならびに葉面窒素濃度との関係[J]. 日本作物学会紀事, 1994, 63: 1-8. (Shiraiwa T, Hashikawa U, Taka S, et al. Effect of canopy light distribution characteristics and leaf nitrogen content on efficiency of radiation use in dry matter accumulation of soybean cultivars [J]. Japanese Journal of Crop Science, 1994, 63: 1-8.)
- [17] 李忠烈, 津野幸人, 中野淳一, 等. ダイズの耐乾性に関する生態生理学的研究. 第2報 土壌水分不足による葉の萎れ現象と再吸水による光合成速度の回復ならびに切断茎からの出液速度の変化 [J]. 日本作物学会紀事, 1994, 63: 223-229. (Lee C Y, Tsuno Y, Nakano J, et al. Ecophysiological studies on the drought resistance of soybean II. Effect of soil water deficit on leaf wilting and changes in photosynthesis and bleeding influenced by re-watering [J]. Japanese Journal of Crop Science, 1994, 63: 223-229.)