

# 水氮耦合对大豆生长发育的影响<sup>\*</sup>

## I. 水氮耦合对大豆产量和品质的影响

裴宇峰<sup>1,2</sup> 韩晓增<sup>1,2,\*</sup> 祖伟<sup>1</sup> 孙聪姝<sup>1</sup> 刘丽君<sup>1</sup>

(1. 东北农业大学, 哈尔滨 150030; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 哈尔滨 150040)

**摘要** 连续两年在盆栽试验条件下, 分别在大豆不同生育时期进行水氮处理, 试验结果表明: 在四个生育期产量均为充足水分+高氮产量最高, 与对照相比增产分别为 14.3%, 24.3%, 33.4%, 12.5%。特旱+低氮产量最低, 分别减产 14.1%, 39.3%, 41.2%, 33.1%。干旱和高氮有利于蛋白质的合成, 不利于脂肪的合成。与对照相比, 不同水氮处理对大豆蛋白质含量影响的范围为从减少 1.5 个百分点到增加 2.0 个百分点; 对脂肪含量影响的范围是从减少 0.8 个百分点到增加 1.1 个百分点。

**关键词** 大豆; 水; 氮肥; 耦合; 产量; 品质

**中图分类号** S 565.101 **文献标识码** A **文章编号** 1000-9841(2005)02-0106-06

大豆产量的形成, 是大豆的遗传特性和水、肥、气、热、光等外在环境因素综合作用的结果。在这些环境因素中, 水肥是最易被人所控制的因素, 同时也是影响大豆生长发育的主要因素, 二者相互作用共同对大豆产量和品质产生重大影响。定量研究水肥耦合与作物产量和品质的关系, 为生产上制定水肥管理措施提供理论依据, 已经成为国内外热点研究问题。

近年来, 有关水肥耦合的研究多集中在小麦, 玉米等作物上<sup>[1-3]</sup>, 翟丙年、李生秀研究认为: 干旱胁迫严重地影响了氮肥的作用, 只有在水分配合条件下, 氮肥的作用才得到了充分发挥<sup>4</sup>。灌溉四次条件下小麦的氮素吸收量高于灌溉两次条件下的相应氮处理, 而氮素生理效率降低<sup>5</sup>。邢维芹等研究发现: 在半干旱地区进行水肥空间耦合, 可明显影响氮素在玉米各器官的吸收、分配及在土壤中的残留<sup>6</sup>。季书勤认为, 水氮配合应用可以显著提高小麦的籽粒产量, 最佳肥水时期为拔节期; 在小麦生育中后期水氮配合应用和增加氮肥用量可以明显提高小麦籽粒蛋白质含量<sup>8</sup>。王立秋、曹敬山等研究认为, 水肥耦合不仅能够提高小麦产量, 而且可以改善其品质<sup>9</sup>。有关水肥耦合对大豆生长发育的影响的研究

报道甚少, 仅有的研究也只探讨了全生育期水氮配合对大豆产量的影响<sup>10</sup>, 而未涉及大豆在各生长发育关键时期对不同水分与氮肥条件耦合的反应。本文是在韩晓增所研究的“不同土壤水分条件对大豆产量影响”的基础上<sup>[11]</sup>, 增加了氮肥处理, 即水氮耦合对大豆产量和品质影响效果, 通过比较各关键生育时期不同水氮条件对大豆生长发育影响的特征, 揭示出大豆水氮耦合的效应和为生产上优化管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验概况

试验于 2003-2004 年在中国科学院海伦农业生态实验站(北纬 47°26', 东经 126°38')进行。作物有效生长期为 120-130 天, 生长期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的有效积温为 2400-2500 $^{\circ}\text{C}$ , 年降雨量 500-600mm。试验品种为当地主要种植品种黑农 35, 试验土壤理化性状见参考文献<sup>[11]</sup>。

### 1.2 试验处理

试验设 4 个生育期(分枝期: V、开花期: R<sub>2</sub>、结

\* 收稿日期: 2005-01-24

基金项目: 中国科学院创新项目(KZCX1-SW-19-2)资助、国家攻关项目(2001BA507A05-01)

作者简介: 裴宇峰(1977-), 男, 硕士研究生, 主要从事作物生理研究。

\* 通讯作者: Tel: 0451-86602940; E-mail: xdxszx@hmail.hl.cninfo.net

荚期; R<sub>4</sub>、鼓粒期; R<sub>6</sub>), 每个生育期设 5 个土壤水分处理, W<sub>1</sub>: 水分为饱和含水量持续 5 天, 逐渐干至田间持水量, 简称“特涝”; W<sub>2</sub>: 水分为田间持水量 100%, 简称“充足”; W<sub>3</sub> 水分为田间持水量 65%, 简称“适宜”; W<sub>4</sub> 水分为田间持水量 50%, 简称“略旱”; W<sub>5</sub>: 水分为田间持水量的 50%, 然后进行干旱处理, 直到非永久性凋萎, 再加水到田间持水量的 50%, 简称“特旱”。每个土壤水分处理设 2 个氮肥水平(N<sub>1</sub>: 0.04g/kg 土, N<sub>2</sub>: 0.12g/kg 土), 其它肥料 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 0.04g/kg 土, K<sub>2</sub>O: 0.02g/kg 土<sup>[11]</sup>。每盆播 5 粒, 出苗后定苗 4 株, 每盆装烘干土 16.7kg, 每两天用台秤测定土壤水分, 补充至设定值。

### 1.3 测定项目与方法

收获时测定子实产量, 采用半微量凯氏定氮法测定蛋白质含量、干样索氏脂肪抽提法测定脂肪含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 水氮耦合对产量的影响

#### 2.1.1 特涝条件下水氮耦合对大豆产量的影响

从图 1 可以看出, 无论在哪个生育期产生土壤涝害, 均使大豆减产。花荚期减产最多。以土壤适宜水分处理为对照, 在低氮水平下, V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别减产 5.1%, 16.8%, 30.3%, 14.3%; 在高氮水平下, V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别减产 15.2%, 39.9%, 43.1%, 18.2%。花期受涝害, 造成成蕾、花脱落; 荚期受涝害, 导致豆荚大量脱落、每荚粒数减少<sup>[12]</sup>, 从而造成较大幅度的减产。低量氮肥可减轻土壤涝害对大豆产量的影响, 以低氮量处理为对照, 高氮量在 V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别减产: 1.2%, 13.1%, 9.3%, 2.3%。土壤水分过多, 造成根系缺氧, 引起根部伤害, 形成涝害逆境, 植株高度降低、叶片和面积减少、产量降低<sup>[13]</sup>, 在氮肥增加一倍情况下, 加重了涝害的影响。

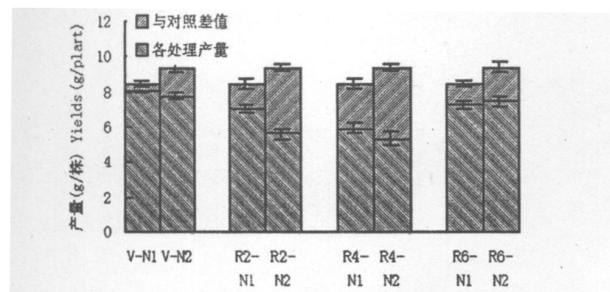


图 1 特涝水分处理对大豆产量的影响

Fig. 1 Effects of waterlogging on the yields of soybean

#### 2.1.2 充足水分条件下水氮耦合对大豆产量的影响

各个生育期土壤水分充足对大豆均有增产作用。在低氮水平下, V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别增产 2.9%, 17.4%, 14.5%, 5.5%; 在高氮水平下, V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别增产 3.3%, 17.2%, 21.1%, 6.6%。说明大豆花荚期是对水分需求较多的时期, 此时土壤水分供应充足增产较大<sup>[12]</sup>。高量氮肥可增加土壤充足水分对大豆产量的影响, 以低氮量处理为对照, 高氮量在 V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别增产 10.7%, 11.3%, 16.3%, 11.2%。说明水分是影响产量的主要因子<sup>[14]</sup>, 适当增施氮肥将起到进一步增产作用。

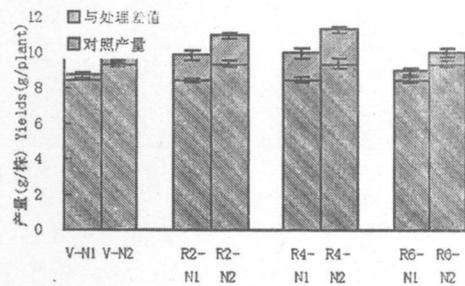


图 2 充足水分处理对大豆产量的影响

Fig. 2 Effects of abundance water on the yields of soybean

#### 2.1.3 略旱条件下水氮耦合对大豆产量的影响

在土壤略旱条件下, 各个生育期大豆均减产<sup>[15]</sup>。在低氮水平下, V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别减产 8.5%, 21.1%, 25.3%, 7.7%; 在高氮水平下, V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别减产 6.0%, 19.6%, 22.2%, 6.8%。施氮有控制土壤略旱减产程度的作用。以高氮量处理为对照, 低氮量在 V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别减产 9.8%, 12.6%, 14.7%, 11.5%。有研究认为灌溉能显著提高氮素的固定速率和氮的矿化速率, 水分胁迫明显降低根瘤的形成<sup>[16]</sup>。本研究发现土壤略旱时, 适当增施氮肥可以起到以肥调水, 减少略旱造成产量损失的作用。R<sub>6</sub> 大豆适宜水分获得最高产量, 而充足和特涝产量均低于略旱, 说明大豆在 R<sub>6</sub> 供给较少水分, 有利于有机物的转运。

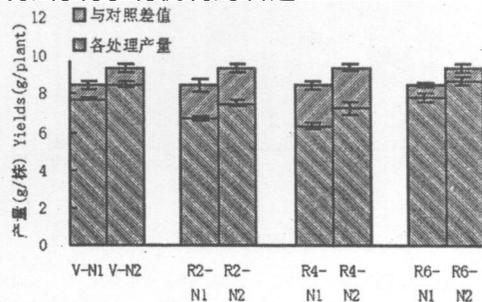


图 3 略旱水分处理对大豆产量的影响

Fig. 3 Effects of a little drought on the yields of soybean

### 2.1.4 特旱条件下水氮耦合对大豆产量的影响

从图4可以看出:在低氮水平下,V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub>分别减产15.0%,37.2%,40.0%,35.1%;在高氮水平下,V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub>分别减产19.2%,42.2%,47.0%,40.1%。以低氮量处理为对照,高氮量在V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub>增产分别为4.9%,1.7%,0.8%,2.1%。说明在土壤特旱的条件下,水分是影响产量的主要因子,此时施氮肥多少无法调节水分对大豆产量的影响。以肥调水是有一个临界水分含量的,低于此临界值,施肥不表现出任何作用<sup>[10]</sup>。

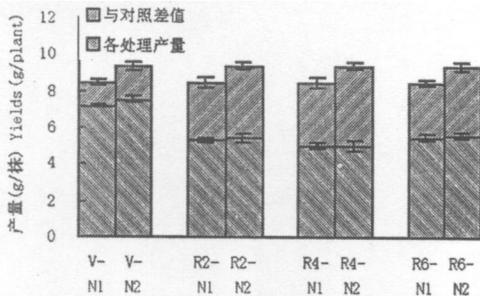


图4 特旱水分处理对大豆产量的影响

Fig. 4 Effects of very drought on the yields of soybean

### 2.2 水肥耦合对品质的影响

#### 2.2.1 水肥耦合对蛋白质含量的影响

##### 2.2.1.1 特涝条件下水氮耦合对大豆蛋白质含量的影响

从图5可以看出,土壤在不同生育期产生涝害对大豆蛋白质含量减小的影响大小为:R<sub>6</sub>>R<sub>4</sub>>R<sub>2</sub>>V。在低氮水平下,V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub>分别减少0.9、1.3、1.2、1.5个百分点;在高氮水平下,V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub>分别减少1.3、1.8、1.7、1.9个百分点。说明大豆遭受涝害,在减产的同时,籽粒蛋白质含量也减少,氮肥利用率降低<sup>[17]</sup>。高量氮肥可减小土壤涝害对大豆蛋白质含量的影响程度,这是因为在涝害条件下大豆根瘤固氮功能减弱,外源氮肥可以部分弥补生物固氮的不足。

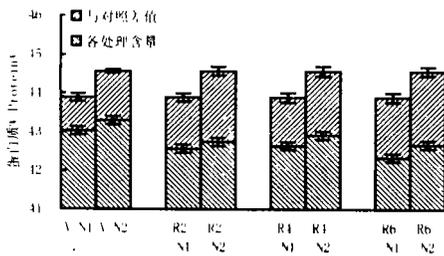


图5 特涝水分处理对蛋白质含量的影响

Fig. 5 Effects of waterlogging on the protein of soybean

##### 2.2.1.2 充足水分条件下水氮耦合对大豆蛋白质含量的影响

各个生育期土壤水分充足条件下,大豆蛋白质含量均减少。在低氮水平下,V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub>分别减少0.7、0.5、1.1、0.4个百分点;在高氮水平下,V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub>减少分别为0.4、0.9、1.3、0.5个百分点。高量氮肥可增加土壤充足水分对大豆蛋白质含量的影响,以低氮量处理为对照,高氮量在V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub>蛋白质含量分别增加0.9、0.3、0.5、0.6个百分点。说明充足水分条件下产量增加是以蛋白质含量降低为代价的。但是氮肥可以起到调节水分的作用。在高氮条件下,蛋白质含量降低较小,说明通过合理运筹水肥,在蛋白质含量降低较小的情况下,获得较高的产量是可行的。

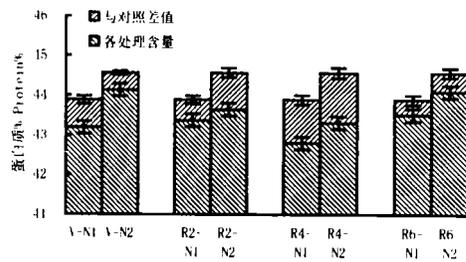


图6 充足水分处理对蛋白质含量的影响

Fig. 6 Effects of abundance water on the protein of soybean

##### 2.2.1.3 略旱条件下水氮耦合对大豆蛋白质含量的影响

从图7可以看出:无论在哪个生育期产生土壤干旱,均影响大豆蛋白质含量<sup>[18]</sup>。在低氮水平下,R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub>增加分别为0.8、0.9、0.5个百分点,V减少0.1个百分点;在高氮水平下,R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub>增加分别为1.1、1.2、0.6个百分点,V减少0.2个百分点。施氮可以控制土壤略旱蛋白质含量增加的程度。以低氮量处理为对照,高氮量在V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub>蛋白质含量分别增加0.6、1.0、1.0、0.9个百分点。当水分胁迫抑制生长时,氮代谢被扰乱,导致蛋白质水解和氨基酸积累<sup>[19]</sup>,大豆籽粒蛋白质的积累主要是干物质转移的结果<sup>[18]</sup>。本试验是分阶段控水,虽然干物质积累受到影响,“源”变小,但产量受到的影

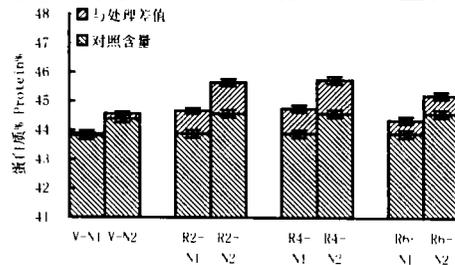


图7 略旱水分处理对蛋白质含量的影响

Fig. 7 Effects of a little drought on the protein of soybean

响更大,“库”也变小。水分恢复正常后,大豆能够继续生长,大豆减产幅度大于蛋白质含量受干旱影响程度,最终表现为蛋白质含量增加。

### 2.2.1.4 特旱条件下水氮耦合对大豆蛋白质含量的影响

从图 8 可以看出: R<sub>2</sub> 和 R<sub>4</sub> 蛋白质含量增加最多, V 蛋白质含量降低。在低氮水平下, R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别增加 1.4、1.6、0.2 个百分点, V 减少 0.3 个百分点;在高氮水平下, R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别增加 1.2、1.3、0.3 个百分点。V 减少 0.3 个百分点。

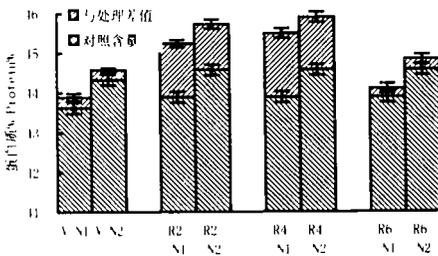


图 8 特旱水分处理对蛋白质含量的影响

Fig.8 Effects of very drought on the protein of soybean

### 2.2.2 水肥耦合对脂肪含量的影响

#### 2.2.2.1 特涝条件下水氮耦合对大豆脂肪含量的影响

从图 9 可以看出,土壤涝害在各个生育期,均影响大豆脂肪含量。在低氮水平下, V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别增加 0.4、0.6、0.6、0.7 个百分点;在高氮水平下, V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 增加为 0.6、0.9、0.8、0.9 个百分点。说明大豆花荚期遭受涝害,在籽粒蛋白质含量减少的同时,脂肪含量增加。两者具有高度的相关性<sup>[20]</sup>。

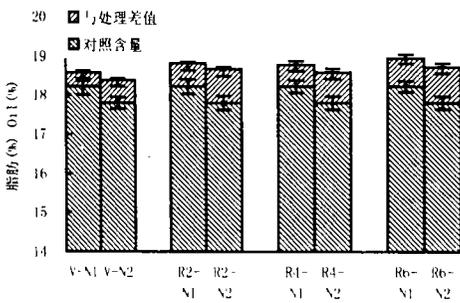


图 9 特涝水分处理对脂肪含量的影响

Fig.9 Effects of waterlogging on the oil of soybean

#### 2.2.2.2 充足水分条件下水氮耦合对大豆脂肪含量的影响

从图 10 可以看出:在土壤水分充足情况下,增施氮肥降低了大豆脂肪含量。在低氮水平下, V、

R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别增加 0.4、0.5、0.6、0.2 个百分点;在高氮水平下, V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 增加为 0.2、0.5、0.7、0.3 个百分点,施氮肥可以调节水分对大豆脂肪含量影响的程度。以高氮量处理为对照,低氮量在 V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 脂肪含量分别增加 0.6、0.4、0.3、0.4 个百分点。

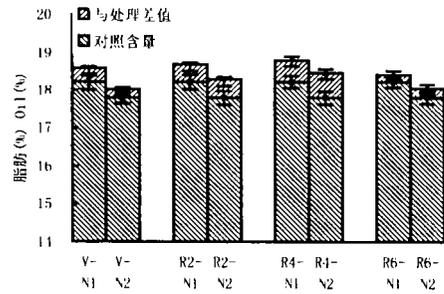


图 10 充足水分处理对脂肪含量的影响

Fig.10 Effects of abundance water on the oil of soybean

#### 2.2.2.3 略旱条件下水氮耦合对大豆脂肪含量的影响

由图 11 可以看出:土壤略旱时在各生育期对大豆脂肪含量的影响不同。在低氮水平下, R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别减少 0.4、0.5、0.2 个百分点,而 V 增加 0.04 个百分点。在高氮水平下, R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别减小 0.6、0.6、0.3 个百分点。V 增加 0.1 个百分点。施氮可以影响土壤略旱条件下脂肪含量减少程度。以高氮量处理为对照,低氮量在 V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 脂肪含量分别增加 0.4、0.6、0.6、0.5 个百分点。

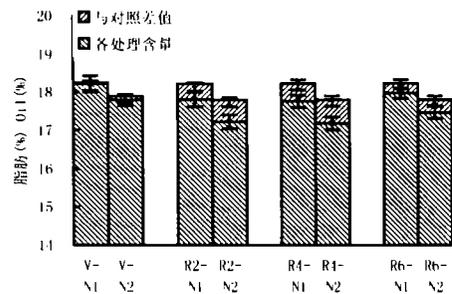


图 11 略旱水分处理对脂肪含量的影响

Fig.11 Effects of a little drought on the oil of soybean

#### 2.2.2.4 特旱条件下水氮耦合对大豆脂肪含量的影响

从图 12 可以看出:在低氮水平下, R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别减少 0.7、0.9、0.1 个百分点,而 V 增加 0.1 个百分点。在高氮水平下, R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>6</sub> 分别减小 0.6、0.7、0.1 个百分点。施氮有控制土壤干旱脂肪含量减少程度的作用。以高氮量处理为对照,低氮量在 V、R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub> 脂肪含量增加分别为 0.4、1.4、1.2 个百分点, R<sub>6</sub> 增加 0.5 个百分点。说明干旱有利于蛋白质的合成,不利于脂肪的合成<sup>[18]</sup>。

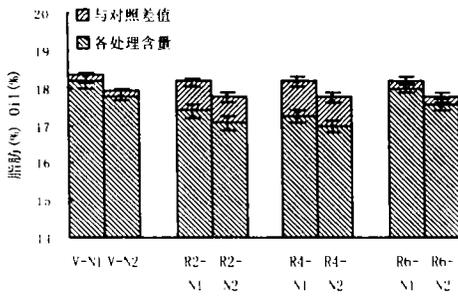


图 12 特旱水分处理对脂肪含量的影响

Fig. 12 Effects of very drought on the oil of soybean

### 3 结语

3.1 不同生育期水氮耦合对大豆产量影响程度不同,最敏感时期为结荚期。水分是影响大豆产量的主要因子,在土壤水分适宜和充足时,水氮耦合表现为顺序加和,土壤特涝时,水氮耦合表现为互为拮抗作用;土壤略旱时,水氮耦合表现为限制性的协同作用。当土壤特旱时,水氮耦合不起作用。

3.2 水氮耦合对大豆蛋白质含量影响,从减少 1.5 个百分点到增加 2.0 个百分点。

3.3 水氮耦合对大豆脂肪含量影响,从减少 0.8 个百分点到增加 1.1 个百分点。

在田间条件下,大豆在土壤含水量为田间持水量 60%–70%时产量最高。而本试验土壤含水量为田间持水量 100%时产量最高,可能是由于试验是在盆栽条件下进行的,与田间实际情况有一定的差异;田间产生水分充足时多伴有低温寡照,而盆栽试验特涝处理温度光照并未下降。这是否是产生差异的原因,有待于进一步研究。本试验受处理较多的限制,只设置了一个品种,处理设置以水分为主,氮肥只设置了 2 个水平,得到了氮肥对大豆影响的趋势,水氮耦合中氮肥的极限值是多少及品种间的差异性有待进一步研究。

### 参 考 文 献

- 王小彬,高绪科.旱地农田水肥相互作用的研究[J].干旱地区农业研究,1993,11(3):6–12
- 高亚军,李生秀.黄土高原地区农田水氮效应[J].植物营养与肥料学报,2003,9(1):14–18
- 汪德水,程宪国,姚晓晔等.半干旱地区麦田水肥效应研究[J].土壤肥料,1994,2:1–4
- 邢维芹,王林权,李立平,等.半干旱区玉米水肥空间耦合效应[J].土壤,2003,2:118–121
- 介晓磊,韩燕来,谭金芳等.不同肥力麦田水氮交互效应与耦合模式研究[J].作物学报,1998,11:963–970
- 翟丙年,李生秀.水氮配合对冬小麦产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2003,9(1):26–32
- 李世娟,周殿玺,诸叶平等.水分和氮肥运筹对小麦氮素吸收分配的影响[J].华北农学报,2002,17(1):69–75
- 季书勤,赵淑章,吕凤荣等.水氮配合对强筋小麦产量和品质的影响及其相关性分析[J].中国农学通报,2003,19(1):36–38
- 王立秋,靳占忠,曹敬山等.水肥措施对春小麦产量及其构成因素的影响[J].麦类作物学报,1996,6
- 张秋英,刘晓冰,金剑等.水肥耦合对大豆光合特性及产量品质的影响[J].干旱地区农业研究,21(1):47–50
- 韩晓增,乔云发,王守宇,等.不同土壤水分条件对大豆产量的影响[J].大豆科学,2003,22(4):
- 常耀中,宋英淑.大豆干物质形成与耗水量的关系[J].大豆科学,1983,4:277–285
- Sorte N V. Effect of waterlogging on soybean t critical growth stages[J]. Journal of Soils and Crops, 1995, 5(2): 141–144
- Deolankar K P, Mogal A D. Response of kharif soybean to varying levels of irrigation and fertilizer[J]. Journal of Maharashtra Agricultural University, 1998, 23(1): 92–94.
- Purcel L G, King C A. Drought and nitrogen source effects on nutrition, seed growth and yield in soybean[J]. Journal of Nutrition, 1996, 207(1): 959–993
- Pracht J E, Nickell C D, Harper J E, et al. Agronomic evaluation of non-nodulating and hypernodulating mutants of soybean[J]. Crop Science, 1994, 34(3): 738–740.
- 丁洪,郭庆元.氮肥对不同品种大豆氮积累和产量品质的影响[J].土壤通报,1995,26(1):18–21
- 张敬荣,高继国,李辰仁,等.开花至鼓粒期干旱对大豆籽粒化学品质的影响[J].大豆科学,1996,2:84–90
- 杨庆凯.论大豆蛋白质与油分含量品质的变化及影响的因素[J].大豆科学,2000,4:386–391.
- 甘银波,陈静.大豆不同生长阶段施用氮肥对生长、结瘤及产量的影响[J].大豆科学,1998,4:45–49.

## EFFECT OF WATER AND NITROGEN FERTILIZER COUPLING ON GROWTH AND DEVELOP OF SOYBEAN

### I . Effect of Water and Nitrogen Fertilizer Coupling on Yield and Quality of Soybean

Pei Yufeng<sup>1,2</sup> Han Xiaozeng<sup>1,2\*\*</sup> Zu Wei<sup>1</sup> Sun Congshu<sup>1</sup> Liu Lijun<sup>1</sup>

(1. *Northeast Agricultural University, Harbin, 150030*; 2. *Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Harbin, 150040*)

**Abstract** In this pot experiment of 2 years, the effects of the water and nitrogen fertilizer on soybean yields and quality were studied respectively. The results show that the yield of ample water and high nitrogen treatment is the highest in the four stages, increased by 14.3%, 24.3%, 33.4%, 12.5% than the comparison respectively. The yield of the most drought and low nitrogen treatment is the lowest, decreased by 14.1%, 39.3%, 41.2%, 33.1% respectively. Drought and high nitrogen treatment are beneficial to the protein compounding not to fat. Compounding compared with the comparison because of different water and nitrogen treatment. The change range of the soybean protein content is from 1.5% which decreased to 2.0% which increased, the fat content is from 0.8% which decreased to 1.1% which increased

**Key words** Soybean; Water; Nitrogen fertilizer; Coupling; Yields and quality