

## 氮、磷肥用量对大豆结瘤和生长的调节

寸植贤,周志刚,何霞红,李春苇,汤东生

(云南农业大学 生物多样性应用技术国家工程中心,云南 昆明 650201)

**摘要:**为明确大豆结瘤和生长对氮、磷肥的响应规律,利用温室盆栽试验,在3种氮浓度(0,200和500 mg·kg<sup>-1</sup>)和3种P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>浓度(0,200和500 mg·kg<sup>-1</sup>)组合条件下,测定了大豆根瘤数、根瘤量、株高、地上部生物量、地下部生物量和荚数的变化。结果表明:500 mg·kg<sup>-1</sup>的施氮量显著抑制结瘤,磷肥可以促进结瘤并缓解氮肥对结瘤的抑制。适当的氮磷比例促进大豆生长,施200 mg·kg<sup>-1</sup> N和500 mg·kg<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>时,大豆的地上部生物量和荚数均最大;不施磷只施500 mg·kg<sup>-1</sup> N时大豆地下部生物量最大。综上所述,200 mg·kg<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>对大豆结瘤和生长均有促进作用;维持较高大豆产量和较高结瘤能力所需的氮肥用量是不能同步的。

**关键词:**大豆;氮肥;磷肥;结瘤;生长

中图分类号:S365

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2014)02-0215-03

## Regulation of Nitrogen and Phosphorus Fertilizer Dosage on Nodulation and Growth of Soybean

CUN Zhi-xian, ZHOU Zhi-gang, HE Xia-hong, LI Chun-wei, TANG Dong-sheng

(National Centre for Biodiversity Research and Application, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

**Abstract:** The present study was carried out to explore the response of nitrogen and phosphorus fertilizer on nodulation and plant growth of soybean. Nodule number, nodule weight, shoot height, shoot biomass, root biomass and pod number of soybean were examined by pot experiment in green house under three nitrogen fertilizer(0,200 and 500 mg·kg<sup>-1</sup>) and three phosphorus fertilizer(0,200 and 500 mg·kg<sup>-1</sup>) usage. The result showed that the influence of nitrogen and phosphorus fertilizer on nodule number and weight was similar. Above 200 mg·kg<sup>-1</sup> nitrogen fertilizer usage significantly inhibited nodulation. Phosphorus fertilizer promoted nodulation and relieved the inhibitory effect caused by nitrogen fertilizer. Plant growth of soybean was promoted by nitrogen and phosphorus fertilizer. Shoot biomass and pod number were greatly increased by combination of 200 mg·kg<sup>-1</sup> phosphorus fertilizer and 500 mg·kg<sup>-1</sup> nitrogen fertilizer. Root biomass of soybean was the highest by only 500 mg·kg<sup>-1</sup> nitrogen fertilizer application. In a word, increasing phosphorus fertilizer could improve nodulation and plant growth of soybean simultaneously. While nitrogen fertilizer inhibited nodulation of soybean regardless of phosphorus usage modification.

**Key words:** Soybean; Nitrogen fertilizer; Phosphorus fertilizer; Nodulation; Plant growth

豆科植物在土壤缺氮的情况下,可与土壤中的某些根瘤细菌进行特异性识别形成固氮根瘤<sup>[1-2]</sup>。利用豆科作物的生物固氮作用减少化学氮肥的使用可以在一定程度上减少化学能源的消耗、减少环境污染和保护生态环境<sup>[3]</sup>。许多研究证明,氮肥用量过多将抑制豆科植物的结瘤固氮能力,因此,控制氮肥用量并调节其他因子,促进豆科植物结瘤固氮对提高豆科植物的生物固氮能力具有至关重要<sup>[4]</sup>。除氮肥外,磷肥是影响植物生长发育的重要因素之一<sup>[5]</sup>。研究表明,磷是豆科植物的结瘤固氮重要调节因子<sup>[6-7]</sup>。因此,合理调配氮、磷肥的用量将促进豆科作物的生物固氮水平的提高。

大豆是我国也是全世界种植物面积最大的豆科作物,是人们生活中不可或缺的食物来源。提高大豆的生物固氮能力对大豆生产十分重要<sup>[8]</sup>。为

进一步明确大豆结瘤和生长对氮、磷肥用量的响应规律,本研究在温室利用盆栽试验,在3种氮浓度和3种磷浓度组合处理下,测定了大豆结瘤和生长因子的变化,旨在为深入揭示大豆结瘤固氮的机理及大豆合理施肥提供参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

试验大豆品种为滇豆6号,购于云南省农业科学院。供试肥料为:尿素(N有效含量为49%),过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>的有效含量18%),供试基质为大田耕作层20 cm内的土壤(理化性质为:有机质24.3%、碱解氮168.6 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷19.6 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾118.6 mg·kg<sup>-1</sup>、pH6.78)与珍珠岩按体积4:1进

收稿日期:2013-09-17

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2011CB100400)。

第一作者简介:寸植贤(1988-),女,在读硕士,主要从事作物生物研究。E-mail:cunzx8023@163.com。

通讯作者:汤东生(1978-),男,博士,副教授,主要从事植物生理生态学研究。E-mail:eastuptang@126.com。

行混合的基质。

1.2 试验设计

试验于2011年6~8月在云南农业大学实验温室进行。试验设置氮、磷两个组合因素,均设3个水平共

9个处理(表1)。试验用盆为直径30cm的塑料圆形花盆。每盆用土约4kg,每盆播大豆2~3粒,出苗间去多余的苗,保留1苗。随机区组设计,4次重复。试验所用肥料用作底肥一次性拌入土壤。

表1 氮磷的用量与比例

Table 1 Dosage and ratio of nitrogen and phosphorus fertilizer (mg·kg<sup>-1</sup>)

处理 Treatment	P0N0	P2N0	P5N0	P0N2	P2N2	P5N2	P0N5	P2N5	P5N5
氮 N	0	0	0	200	200	200	500	500	500
磷 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	200	500	0	200	500	0	200	500

1.3 测定项目与方法

在结荚初期测定大豆的株高、地上部生物量、地下部生物量、根瘤数和根瘤鲜重。测定生物量时,分别收获大豆地上和地下部分,冲洗干净后放入烘箱内于105℃下杀青15min,在80℃条件下烘干至恒重后称重。测定根瘤时,把盆中所有土倒出来,收集根系及土壤中撒落的根瘤,冲洗干净后迅速用吸水纸吸干,称重并统计根瘤数量。

数量明显。在不施氮和氮用量为200mg·kg<sup>-1</sup>的情况下,500mg·kg<sup>-1</sup>的磷用量与不施磷对根瘤鲜重的影响无显著差异(图2)。

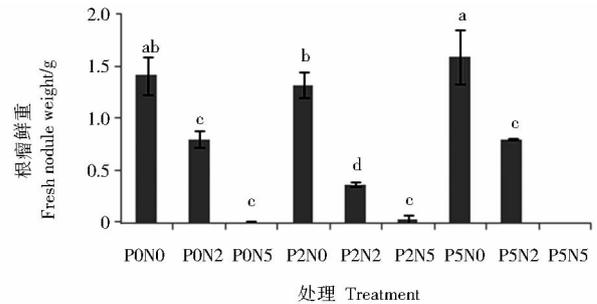


图2 不同肥料用量对大豆根瘤鲜重的影响

Fig.2 Effect of different nitrogen and phosphorus fertilizer dosage on nodule fresh weight

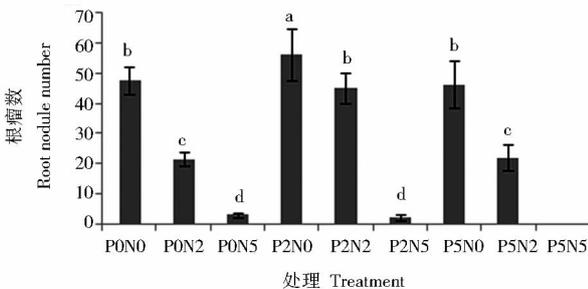
2 结果与分析

2.1 氮磷组合对大豆结瘤的影响

豆科作物的结瘤水平通常包括两个指标,即根瘤数和根瘤鲜重。就根瘤数量而言,在磷肥用量相同的情况下,增加氮肥用量显著降低根瘤数量。适当增加磷肥用量,可以缓解氮肥对根瘤数量的抑制作用(图1)。不施氮和氮用量为200mg·kg<sup>-1</sup>时,磷用量为200mg·kg<sup>-1</sup>显著增加根瘤数量;但磷用量为500mg·kg<sup>-1</sup>的根瘤数量与不施磷肥的差异不显著。当氮用量为500mg·kg<sup>-1</sup>时,大豆的根瘤数极低,增加磷用量不能缓解氮肥对根瘤数量的抑制作用。就根瘤重量而言,在相同磷肥用量情况下,根瘤鲜重也是随氮用量的增加而减轻。但在氮用量相同情况下,磷对根瘤重量的促进作用不如对根瘤

2.2 氮磷组合对大豆生长的影响

2.2.1 株高 在不施磷和磷用量为200mg·kg<sup>-1</sup>时,株高随氮肥用量的增加呈先增后降的趋势;但当磷用量为500mg·kg<sup>-1</sup>时的株高显著高于其他处理(图3)。在不施氮和氮用量为500mg·kg<sup>-1</sup>时,株高随磷用量的增加而增加;在氮用量为200mg·kg<sup>-1</sup>时,不同磷用量处理的株高差异不显著。表明适当的高氮磷配比对于增加株高作用明显。



不同小写字母表示差异显著性(P<0.05),下同。

The different letters mean the significance at level 0.05. The same below.

图1 不同肥料用量对大豆根瘤数量的影响

Fig.1 Effect of different nitrogen and phosphorus fertilizer dosage on nodule number

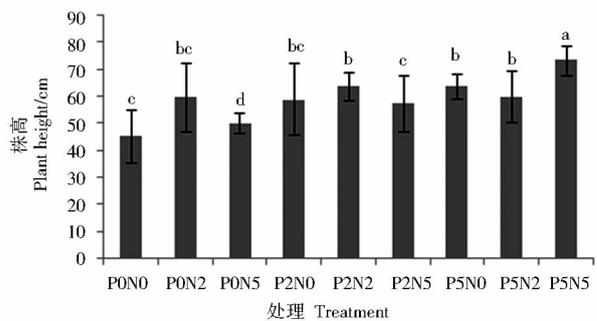


图3 不同肥料用量对大豆株高的影响

Fig.3 Effect of different nitrogen and phosphorus fertilizer dosage on plant height of soybean

2.2.2 干物重 在不施磷和磷用量为200mg·kg<sup>-1</sup>时,增加氮用量可促进根系干重的增加,特别是氮用量为500mg·kg<sup>-1</sup>时根系干重显著高于同磷水平

其他处理(图4);当磷肥用量为 $500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,根系干重随氮用量增加表现先增后减的趋势。当不施用氮时,根系干重随磷用量的增加表现先增后减的趋势;当氮用量为 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,根系干重随磷用量的增加而增加;当氮用量为 $500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,根系干重随磷用量的增加而逐渐减少。由此可见,控制磷用量适当增加氮用量可促进大豆根的生长。

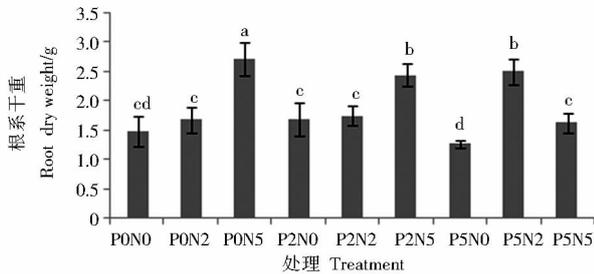


图4 不同肥料用量对大豆根系干重的影响

Fig.4 Effect of different nitrogen and phosphorus fertilizer dosage on root dry weight of soybean

在3种磷用量情况下,植株干重均随氮用量的增加而增加;且施氮的处理显著高于未施氮的处理,但施氮处理间没有显著差异。不施氮和施氮量为 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,不同磷用量处理对大豆植株干重的影响差异不显著;但当氮用量为 $500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,磷用量对地上部干重的影响表现先增后降的趋势(图5)。由此可见,大豆植株干重对氮和磷的响应规律类似于根系干重对氮和磷的响应,控制磷用量适当增加氮用量对大豆地上部干重促进作用最强。

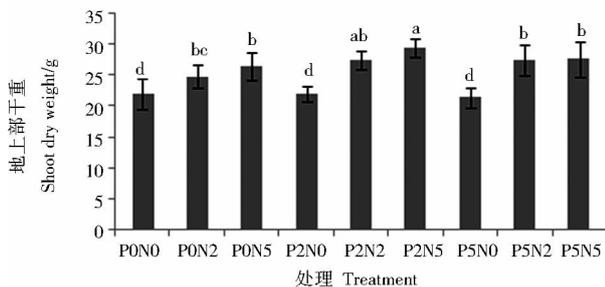


图5 不同肥料用量对大豆地上部干重的影响

Fig.5 Effect of different nitrogen and phosphorus fertilizer dosage on shoot dry weight of soybean

2.2.3 荚数 大豆荚数对氮磷的响应规律同地上部生物量对氮磷的响应规律(图6)。在3种磷用量水平下,荚数随磷用量的增加而增加,荚数最大值均出现在氮用量为 $500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理。在不施氮和氮用量为 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,不同磷处理对荚数的影响差异不显著。当氮用量为 $500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,磷用量对荚数影响表现先增再降的趋势。表明,控制磷用量适当增加氮用量对大豆荚数的促进作用最强。

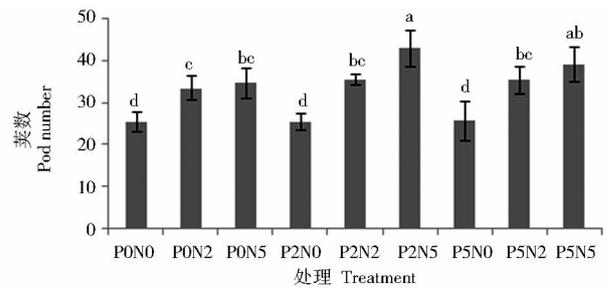


图6 不同肥料用量对大豆荚数的影响

Fig.6 Effect of different nitrogen and phosphorus fertilizer dosage on pods number of soybean

### 3 结论与讨论

施肥对于维持作物产量在现代农业生产中是不可缺少的基本措施,特别是氮肥,在保障作物产量中起着决定性作用。利用豆科作物的生物固氮可减少氮的使用,减轻农业污染,增加农业可持续性<sup>[9]</sup>;但土壤中的氮含量过高后又会对结瘤造成负反馈,影响固氮<sup>[2]</sup>。本研究表明, $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 $\text{P}_2\text{O}_5$ 和 $500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的氮对地上部干重和荚数的促进效果最显著;磷用量为 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 不论对大豆产量还是结瘤均产生影响;氮用量达到 $500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时大豆就几乎停止结瘤。本研究对各种肥力因素设计的梯度跨度较大,并不能得出十分明确的结论;但根据本研究结果, $\text{P}_2\text{O}_5$ 用量在 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、N用量在 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 左右对大豆产量和结瘤均有较好的促进作用。

在大豆产量适当降低的情况下,由低用量的氮换取相对较高的结瘤水平的生态效益<sup>[10]</sup>有待评估。这种生态效益包括土壤的氮流失程度、土壤结构、土壤中的微生物、水体污染、作物对有害生物的抗性、对化学农药的使用量、作物的品质等方面。如果这种生态效益的评估认为增加氮肥用量对产量的贡献低于其对生态环境的破坏作用,那么通过减少氮肥使用来提高大豆结瘤固氮水平是值得去做的。当然并不仅仅只能通过化学肥料的调节来提高大豆的结瘤固氮水平,通过作物品种选择、化学肥料和有机肥的配合使用<sup>[11]</sup>、接种适宜的微生物菌剂<sup>[12]</sup>、甚至进行合理的灌溉都可能对减少氮肥污染和流失、提高大豆生物固氮水平具有重要作用,多措施的综合运用有待进一步研究。

### 参考文献

- [1] Kassaw T, Frugoli J. Journey to nodule formation: from molecular dialogue to nitrogen fixation[J]. Symbiotic Endophytes, 2013, 37: 3-25.

- [3] 王萍,钟影,王罡,等.大豆体细胞胚的诱导及对草甘膦耐性的研究[J].大豆科学,2012,31(1):152-154. (Wang P,Zhong Y,Wang G,et al. Induction of soybean somatic embryos and their tolerance to glyphosate [J]. Soybean Science, 2012, 31 (1): 152-154.)
- [4] Hinchee M A,Connor-Ward D V,Newell C A,et al. Production of transgenic soybean plants using *Agrobacterium*-mediated DNA transfer[J]. Nature Biotechnology,1988,6:915-922.
- [5] 郑丽红,季静,王罡,等.适于子叶节和胚尖再生体系的大豆基因型筛选[J].大豆科学,2012,31(1):213-216. (Zheng L H, Ji J, Wang G, et al. Selection of suitable soybean genotype based on cotyledon node and embryonic tip regeneration systems [J]. Soybean Science, 2012, 31 (1): 213-216.)
- [6] 岳岩磊. *EPSPS* 基因直接作为大豆遗传转化筛选标记的研究 [D]. 哈尔滨:哈尔滨师范大学,2012. (Yue Y L. Study on *EPSPS* gene as the selection marker of soybean genetic transformation system [D]. Harbin: Harbin Normal University, 2012.)
- [7] 王萍,管娟娟,冯远航,等.草铵膦对大豆胚尖不定芽形成的影响[J].作物杂志,2011(6):60-62. (Wang P, Guan J J, Feng Y H, et al. Effects of glufosinate on formation of adventitious buds from embryonic tip of soybean [J]. Crops, 2011 (6): 60-62.)
- [8] 张忻爽,王萍,宋海星,等.卡那霉素和草铵膦对不同基因型大豆胚尖不定芽诱导的影响[J].大豆科学,2013,32(1):136-138. (Zhang X S, Wang P, Song H X, et al. Effect of knamycin and glufosinate on adventitious buds induction from embryonic tip of different genotype soybean [J]. Soybean Science, 2013, 32 (1): 136-138.)
- [9] 姚丙晨,沈艳茹,韩雪,等.大豆子叶节和胚尖再生体系的比较及大豆 *SR1* 基因的遗传转化[J].大豆科学,2012,31(3):364-367. (Yao B C, Shen Y R, Han X, et al. Comparison with cotyledonary node and embryonic tip regeneration system in soybean [ *Glycine max* (L.) Merrill] and genetic transformation of *SR1* [J]. Soybean Science, 2012, 31 (3): 364-367.)
- [10] 刘翠,李喜焕,常文锁,等.农杆菌介导大豆不同外植体遗传转化研究[J].华北农学报,2012,27(3):35-40. (Liu C, Li X H, Chang W S, et al. Studies of *Agrobacterium*-mediated genetic transformation by different explants in soybean (*Glycine max*. L) [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2012, 27 (3): 35-40.)
- [11] 刘海坤,卫志明.一种大豆成熟种子的消毒方法[J].植物生理学通讯,2002,38(3):260-261. (Liu H K, Wei Z M. A method for sterilizing mature seeds of soybean [J]. Plant Physiology Communications, 2002, 38 (3): 260-261.)
- [12] 王萍,张淑珍,李文滨,等.大豆不同基因型胚尖不定芽的诱导及对抗生素的敏感[J].作物杂志,2010(1):50-53. (Wang P, Zhang S Z, Li W B, et al. Induction of adventitious shoots from embryonic tip of different soybean genotypes and their sensibility to antibiotics [J]. Crops, 2010 (2): 50-53.)
- [13] Komatsuda T, Ohyama K. Genotypes of high competence for somatic embryogenesis and plant regeneration in soybean *Glycine max* [J]. Theoretical Applied Genetics, 1988, 75: 695-700.
- [14] 闫帆,孙昕,翟莹,等.6-BA浓度及基因型对大豆胚尖诱导丛生芽的影响[J].大豆科学,2011,30(1):29-32. (Yan F, Sun X, Zhai Y, et al. Effect of different 6-BA concentration and genotypes on shoots induced from embryonic tips [J]. Soybean Science, 2011, 30 (1): 29-32.)
- [15] 李亮,李泽宇,王丽娜,等.不同大豆品种耐盐性表现分析[J].黑龙江农业科学,2013(2):17-20. (Li L, Li Z Y, Wang L N, et al. Analysis of Salt Tolerance in soybean *Glycine max* [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2013 (2): 17-20.)
- [16] Zeng P, Vadnais D, Zhang Z, et al. Refined glufosinate selection in *Agrobacterium*-mediated transformation of soybean [ *Glycine max* L. Merrill] [J]. Plant Cell Reports, 2004, 22 (7): 478-482.

### (上接第217页)

- [2] Hartwig U A. The regulation of symbiotic  $N_2$  fixation: a conceptual model of N feedback from the ecosystem to the gene expression level [J]. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 1998, 1: 92-120.
- [3] Herridge D F, Peoples M B, Boddey R M. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems [J]. Plant and Soil, 2008, 311: 1-18.
- [4] Peoples M B, Brockwell J, Herridge D F, et al. The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems [J]. Symbiosis, 2009, 48: 1-17.
- [5] Schachtman D P, Reid R J, Ayling S M. Phosphorus uptake by plants: From soil to cell [J]. Plant Physiology, 1998, 116: 447-453.
- [6] 齐敏兴,刘晓静,张晓磊,等.不同磷水平对紫花苜蓿光合作用和根瘤固氮特性的影响[J].草地学报,2013,22(3):512-516. (Qi M X, Liu X J, Zhang X L, et al. Effects of different phosphorus levels on photosynthesis and root nodule nitrogen-fixing characteristic of alfalfa [J]. Acta Agrestia Sinica, 2013, 22 (3): 512-516.)
- [7] Abasi M K, Manzoor M, Tahir M M. Efficiency of rhizobium inoculation and P fertilization in enhancing nodulation, seed yield, and phosphorus use efficiency by field grown soybean under hilly region of Rawalakot Azad Jammu and Kashmir, Pakistan [J]. Journal of Plant Nutrition, 2010, 33: 1080-1102.
- [8] Schipanski M E, Drinkwater L E, Russelle M P. Understanding the variability in soybean nitrogen fixation across agroecosystems [J]. Plant and Soil, 2010, 329: 379-397.
- [9] Hirel B, Tetu T, Lea P J, et al. Improving nitrogen use efficiency in crops for sustainable agriculture [J]. Sustainability, 2011, 3: 1452-1485.
- [10] Matson P A, Naylor R, Oritiz-Monasterio I. Integration of environmental, agronomic and economic aspects of fertilizer management [J]. Science, 1998, 280: 112-115.
- [11] Kurdali F, Al-Ain F, Al-Shamma M. Nodulation, dry matter production, and  $N_2$  fixation by fababean and chickpea as affected by soil moisture and potassium fertilizer [J]. Journal of Plant Nutrition, 2002, 25: 355-368.
- [12] Clayton G W, Rice W A, Lupwayi N Z, et al. Inoculant formulation and fertilizer nitrogen effects on field pea; nodulation,  $N_2$  fixation and nitrogen partitioning [J]. Canadian Journal of Plant Science, 2004, 84: 79-88.