

不同蛋白质含量大豆品种氮素积累、分配和运转规律研究

胡润芳^{1,2},张广庆^{1,2},滕振勇³,林国强^{1,2}

(1. 福建省农业科学院 作物研究所,福建 福州 350013; 2. 福建省农业科学院 农业部闽台农作物种质资源利用重点开放实验室,福建 福州 350013; 3. 福建省种子总站,福建 福州 350003)

摘要:以3个籽粒产量相近但蛋白质含量差别较大的大豆品种为材料,分析了分枝期后不同器官的氮素积累、分配和运转规律及其对籽粒蛋白质含量的影响。结果表明:结荚前品种之间氮素含量和积累量差别不大,结荚后高蛋白大豆营养器官(叶片、茎秆和叶柄)的氮素含量除个别时期外(叶柄第7周)都高于普通大豆,说明营养器官较高的氮素含量及长时间保持较高水平有利于籽粒氮素的积累;而荚皮氮素含量除成熟期外均低于普通大豆,说明高蛋白大豆籽粒对氮素的利用效率更高;籽粒形成及成熟期,蛋白质含量越高的品种吸收和运转的氮素越多,运转氮素对籽粒的贡献比例越大。成熟期高蛋白大豆依然比普通大豆吸收更多的氮素,且成熟期各个器官氮素含量均比普通大豆高,这有利于高蛋白大豆品种籽粒蛋白的加工利用和秸秆饲用及还田等方面的综合利用。

关键词:高蛋白;大豆;氮素;积累与分配

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2012)01-0076-05

Nitrogen Accumulation, Distribution and Translocation of Soybean Cultivars with Different Protein Content

HU Run-fang^{1,2},ZHANG Guang-qing^{1,2},TENG Zhen-yong³,LIN Guo-qiang^{1,2}

(1. Crop Sciences Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013; 2. Key Laboratory of Crop Germplasm Utilization between Fujian and Taiwan, Ministry of Agriculture, Fuzhou 350013; 3. Fujian Provincial Seed Station, Fuzhou 350003, Fujian, China)

Abstract: In order to investigate nitrogen dynamic change in high-protein soybean cultivar, the dynamic change of nitrogen accumulation, distribution and translocation and its effects on protein content in seeds were analyzed. Two high-protein and one common soybean varieties with similar yield were chosen as test materials and the nitrogen content in different organ after branching were determined and calculated. The results showed that the nitrogen content in 3 cultivars was similar before podding. After podding, the nitrogen content of all vegetative organs(leaf, stem and petiole) of high-protein cultivars, except that of petiole in the 7th week, were higher than those of normal cultivar. Therefore, the higher nitrogen content and maintaining for a long time in the vegetative organs were beneficial to nitrogen accumulation of seeds. On the contrary, nitrogen content in pod shell (with the exception of mature stage) of high-protein soybean was lower, which suggested most nitrogen in vegetative organs were translocated to seed in high-protein soybeans. During seed formation, translocated N contributed more to seed protein content for high-protein soybean. At maturity, the high-protein cultivars still could uptake more nitrogen than normal cultivar and the nitrogen content in all organs were higher than those of normal cultivar, which is favorable to the comprehensive utilization on both seeds and straw of high-protein soybean cultivars.

Key words: High protein; Soybean; Nitrogen; Accumulation and distribution

大豆是我国传统的粮油兼用作物,氮素是大豆生长发育和产量形成的主要元素^[1]。氮素的积累、运转在大豆蛋白质、贮藏蛋白形成和积累的过程中起至关重要的作用,因此,分析大豆的氮素积累、分配和运转规律,可以从氮素方向揭示大豆高蛋白形成的生理原因。国内外学者对单一品种及不同类型大豆品种的氮素的动态变化进行了较深入研

究^[2-10],然而对我国南方地区高蛋白大豆的相关报道很少。该研究以福建省3个产量相近但蛋白质含量差异较大的大豆品种福豆234、福豆310及泉豆7号为材料,对大豆不同生育阶段、不同器官的氮素积累、分配与运转规律及其对蛋白质含量的影响进行了研究,以期的高蛋白大豆氮素运转机理的研究提供理论参考。

收稿日期:2011-10-13

基金项目:农业部公益性行业(农业)科研专项(200903002);福建省农业科技重大专项项目[2008NZ0002-1(3)];福建省科技厅公益类科研院所专项(2011R1028-3);福建省财政专项资助项目(STIF-Y04)。

第一作者简介:胡润芳(1969-),女,副研究员,从事大豆遗传育种研究。E-mail: hurunfang001@sina.com。

通讯作者:林国强(1965-),男,研究员,从事大豆遗传育种研究。E-mail: lgq308@163.com。

1 材料与方法

1.1 供试材料

高蛋白大豆福豆 234(福建省农科院作物所育成,蛋白质含量 48.93%)、福豆 310(福建省农科院作物所育成,蛋白质含量 46.04%)和普通大豆泉豆 7 号(福建省泉州市农科所提供,蛋白质含量 41.83%)。3 个大豆品种均为国审品种,产量相当。

1.2 试验设计

试验于 2010 年在福建省农业科学院作物研究所试验田进行,试验地为沙壤土,土壤基础肥力:有机质 1.00%、全 N 0.092%、全 P 0.042%、速效 P 39.8 mg·kg⁻¹、速效 K 192.2 mg·kg⁻¹。小区面积 18 m²,随机区组设计,3 次重复。采取窄畦双行穴播种植方式,每小区 2 畦,畦宽 90 cm,穴距 25 cm。播种前精选种子,穴播 3 粒,留 2 株。常规肥水管理。

1.3 测定项目与方法

3 个品种生育期相似,于 5 月 17 日开始取样(3 个品种均进入分枝期),以后每 7 d 取样 1 次,共取 10 次。每小区定 2 个取样点,每个取样点随机取 4 株,3 个重复共取 24 株,从中选生长基本一致的 10 株,然后将这 10 株按根、茎、叶片、叶柄、荚皮和籽粒等器官分离,称鲜重后在 105℃ 下杀青,60℃ 烘至恒重后称干重。

各器官氮素按饲料粗蛋白标准 GB/T6432-1994 测定。其余各指标计算公式如下:

$$\text{氮素积累量}(\text{mg}\cdot\text{株}^{-1}) = \text{干重} \times \text{氮素含量}。$$

总吸氮量(mg·株⁻¹) = 植株各个器官分枝后第 9 周氮素积累量之和

籽粒氮素运转量(mg·株⁻¹) = 分枝后第 5 周除籽粒外各器官氮积累总量 - 分枝后第 9 周除籽粒外各器官氮积累总量

籽粒氮素同化量(mg·株⁻¹) = 分枝后第 9 周籽粒氮素积累量 - 籽粒氮素运转量

运转氮对籽粒贡献率(%) = 籽粒氮素运转量/分枝后第 9 周籽粒氮素积累量 × 100

同化氮对籽粒贡献率(%) = 籽粒氮素同化量/分枝后第 9 周籽粒氮素积累量 × 100

氮素输出量(mg·株⁻¹) = 分枝后第 5 周氮素积累量 - 分枝后第 9 周氮素积累量

氮素输出率(%) = 输出量/该器官分枝后第 5 周氮素积累量 × 100

氮素贡献率(%) = 输出量/籽粒分枝后第 9 周氮素积累量 × 100

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同大豆品种各器官氮素含量动态变化

从图 1 可以看出,不同蛋白质含量的大豆品种各个营养器官的氮素含量的变化趋势基本一致。叶片氮素含量在分枝期后第 4 周达到峰值,然后,随着籽粒的形成,氮素含量因不断向籽粒运输呈下降趋势,至籽粒成熟时降至最低点。荚皮在分枝后第 3 周开始形成,第 4 周氮素含量上升至最大值,然后呈先急后缓的下降趋势。籽粒自分枝后第 5 周开始形成,氮素含量呈快速增长趋势。茎、叶柄是主要的养分输导组织,变化较为平缓。

某些特定时期,不同蛋白质含量的品种表现出相反的变化趋势。比如分枝后第 7 到 9 周,福豆 234 和福豆 310 叶柄的氮素含量呈上升趋势,而泉豆 7 号正好相反,由于后期叶片氮素输出进行重新分配必须经过叶柄,说明该时期高蛋白品种氮素运转较活跃;第 8~9 周荚皮的氮素含量,福豆 234 和福豆 310 基本保持不变,而泉豆 7 号则迅速下降,同时第 9 周泉豆 7 号植株已经几乎不再从外界吸收氮素(表 1),可见,随着氮素由荚皮向籽粒转移,荚皮氮素的运转平衡被打破,氮素含量迅速下降,而福豆 234 和福豆 310 还可以吸收部分氮素,从而补充荚皮流失的氮素,维持其氮素平衡。

不同蛋白质含量品种氮素含量之间存在差异。总体来看,荚果形成之前,品种间差异不大,而随着荚果的形成,2 个高蛋白品种福豆 234 和福豆 310 除荚皮外的各个器官的氮素含量除个别时期外(叶柄第 7 周)都高于同期的泉豆 7 号。说明营养器官较高的氮素含量及长时间保持较高水平有利于籽粒氮素的积累。然而除分枝后第 9 周外,普通品种泉豆 7 号荚皮氮素含量均高于高蛋白品种,说明高蛋白大豆籽粒对氮素的利用效率更高,荚皮贮存的氮素较少。

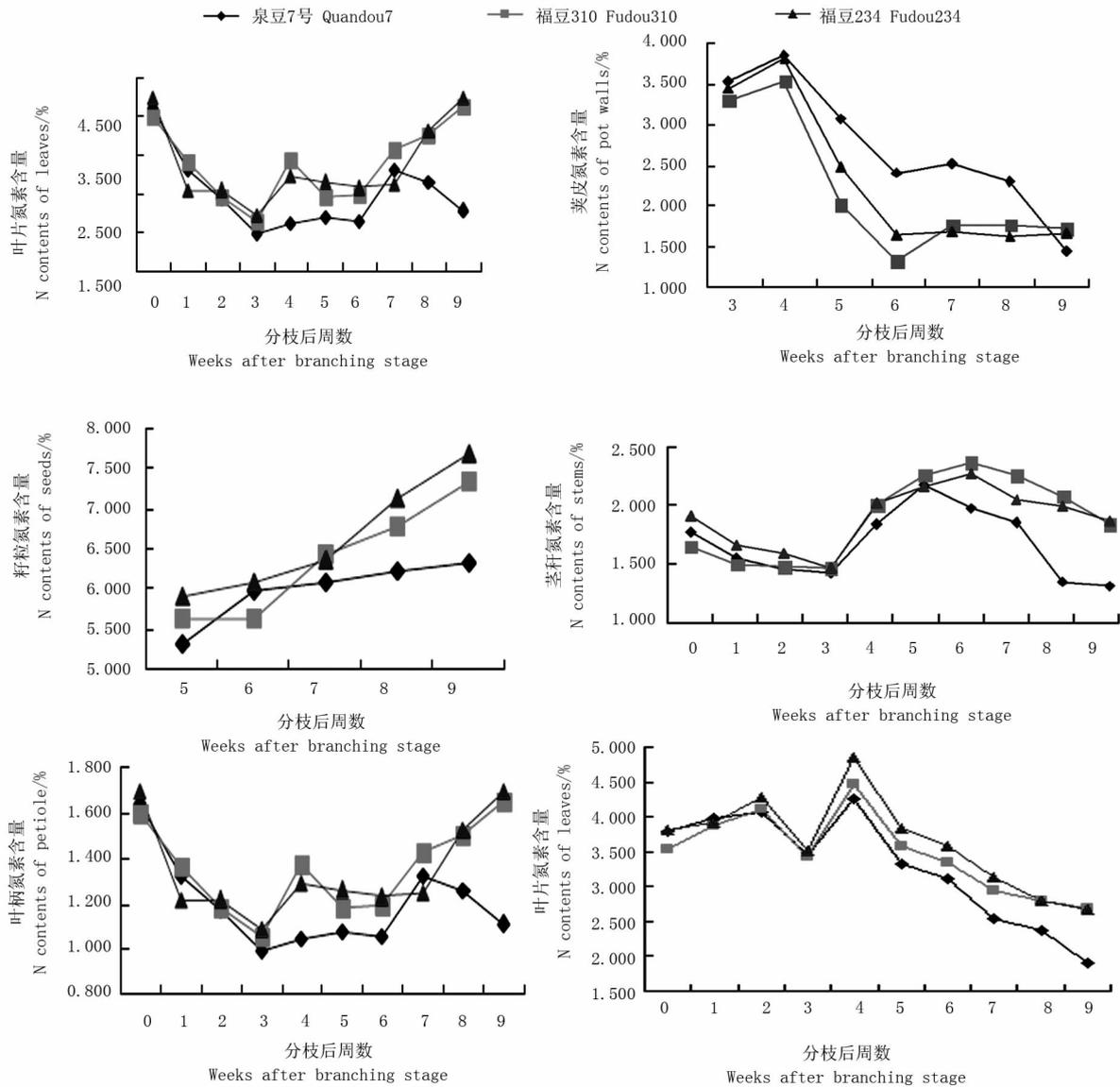


图1 叶片、荚皮、籽粒、茎秆和叶柄氮素含量的动态变化

Fig. 1 Dynamic change of N content of leaves, pod shells, seeds, stems and petiole

2.2 不同大豆品种植株氮素积累量

由表1可知,分枝期开始及分枝期后第1周,品种间植株氮素积累量差异很小,高蛋白品种甚至略低一些;第2周福豆234增加较多,福豆310反而最小;从第3周开始,籽粒蛋白质含量越高的品种氮素的积累量越多,即福豆234 > 福豆310 > 泉豆7号,说明大豆成熟种子的蛋白质含量与荚皮形成前植株的氮素积累没有明显相关性,而与荚皮形成后植株氮素的积累量正相关。福豆234氮素吸收较多的时期为第2、4、6、9周,福豆310为第2、4、6、7周,而泉豆7号为第2、4、7、8周,尤其是第9周,泉豆7号几乎不再吸收氮素,这也直接导致其籽粒氮素含量在该时期增加缓慢;而福豆234仍然可以吸收占总氮12.68%的氮素,福豆310也可以吸收占总氮6.45%的氮素,这为生长后期高蛋白品种籽粒

氮素的积累提供了较充足的氮素来源。

2.3 不同大豆品种籽粒氮素积累量及来源

从表2可以看出,不同品种籽粒的氮素积累量及来源存在差异。籽粒氮素积累量福豆234最高,达 $1\,456.68\text{ mg}\cdot\text{株}^{-1}$,其次为福豆310,为 $1\,349.48\text{ mg}\cdot\text{株}^{-1}$,泉豆7号最低,仅为 $1\,071.43\text{ mg}\cdot\text{株}^{-1}$ 。籽粒氮素积累量、运转量、运转贡献率及同化量与籽粒的蛋白质含量高度正相关,相关系数 r 分别为0.9897、0.9896、0.9787和0.9899($n=3$);同化氮对籽粒的贡献率与籽粒的蛋白质含量高度负相关,相关系数为 -0.9787 ($n=3$)。这说明高蛋白品种具有更强的氮素吸收和运转能力,籽粒中运转氮素占的比例也更高。

叶片是氮素主要输出器官,福豆234叶片输出量最多,为 $375.25\text{ mg}\cdot\text{株}^{-1}$,输出率71.85%,福豆

310 次之, 泉豆 7 号最低; 其次是荚皮, 高蛋白品种这 2 个器官氮素的输出量、输出率及对籽粒的贡献率远高于普通大豆, 除此之外, 福豆 234 的茎秆和叶柄还可以贡献占籽粒总氮 2.05% 的氮素(表 3)。

而泉豆 7 号茎秆氮素贡献率极低, 泉豆 7 号的叶柄及福豆 310 的茎秆和叶柄甚至还需要吸收少量的氮素来满足自身的生长。

表 1 不同品种各个时期大豆植株氮素积累量

Table 1 Nitrogen accumulation in different cultivars and phrases

| 品种 Cultivars | 指标 Index | 分枝期后周数 Weeks after branching stage | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 泉豆 7 号 Quandou7 | 氮积累量 NAA/mg·plant ⁻¹ | 26.00 | 176.38 | 407.06 | 492.33 | 802.52 | 832.99 | 1018.97 | 1340.80 | 1577.60 | 1584.67 |
| | 吸氮百分率 PTN/% | 1.64 | 11.13 | 25.69 | 31.07 | 50.64 | 52.57 | 64.30 | 84.61 | 99.55 | 100.00 |
| 福豆 310 Fudou310 | 氮积累量 NAA/mg·plant ⁻¹ | 25.30 | 174.55 | 371.92 | 516.63 | 1006.01 | 1096.17 | 1347.79 | 1645.82 | 1773.13 | 1895.32 |
| | 吸氮百分率 PTN/% | 1.33 | 9.21 | 19.62 | 27.26 | 53.08 | 57.84 | 71.11 | 86.84 | 93.55 | 100.00 |
| 福豆 234 Fudou234 | 氮积累量 NAA/mg·plant ⁻¹ | 25.47 | 151.36 | 458.94 | 571.33 | 1081.93 | 1156.57 | 1597.36 | 1654.46 | 1757.69 | 2012.86 |
| | 吸氮百分率 PTN/% | 1.27 | 7.52 | 22.80 | 28.38 | 53.75 | 57.46 | 79.36 | 82.19 | 87.32 | 100.00 |

NAA = Nitrogen accumulation amount; PTN = Percent of total nitrogen uptake

表 2 不同品种籽粒氮素积累量、运转量、同化量及对籽粒的贡献率

Table 2 Nitrogen accumulation, translocate and assimilation of different soybean cultivars

| 品种 Cultivars | 籽粒氮素积累量 N accumulation amount of seed/mg·株 ⁻¹ | 籽粒氮素运转量 N transfer amount in seed/mg·株 ⁻¹ | 运转氮对籽粒贡献率 Transfer N contribution to seed/% | 籽粒氮素同化量 N assimilation amount in seed/mg·株 ⁻¹ | 同化氮对籽粒贡献率 Assimilation N contribution to seed/mg·株 ⁻¹ |
|---------------------|--|--|---|--|--|
| 泉豆 7 号 Quandou 7 | 1071.43 | 289.28 | 27.00 | 782.15 | 73.00 |
| 福豆 310 Fudou 310 | 1349.48 | 460.16 | 34.10 | 889.32 | 65.90 |
| 福豆 234 Fudou 234 | 1456.68 | 525.74 | 36.09 | 930.94 | 63.91 |

表 3 不同品种各营养器官中的氮素输出量、输出率和输出氮对籽粒的贡献率

Table 3 Nitrogen export amount, rate and contribution from various vegetative organs to seed in three cultivars

| 品种 Cultivars | 茎秆 Stem | | | 叶柄 Petiole | | | 叶 Leaves | | | 荚皮 Pod shells | | |
|---------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|-----------------------------------|--------------|--------------|-----------------------------------|--------------|--------------|-----------------------------------|--------------|--------------|
| | 输出量 NEA/mg·plant ⁻¹ | 输出率 NER/% | 贡献率 NCS/% |
| 泉豆 7 号 Quandou 7 | 0.70 | 0.55 | 0.07 | -7.10 | -16.81 | -0.66 | 245.74 | 55.13 | 22.94 | 49.94 | 26.76 | 4.66 |
| 福豆 310 Fudou 310 | -0.33 | -0.21 | -0.02 | -11.21 | -15.24 | -0.83 | 373.20 | 75.50 | 27.66 | 98.50 | 35.85 | 7.30 |
| 福豆 234 Fudou 234 | 5.17 | 2.85 | 0.35 | 24.76 | 28.24 | 1.70 | 375.25 | 71.85 | 25.76 | 120.56 | 41.49 | 8.28 |

负值表示该器官在籽粒形成和成熟时期吸收的氮素量

Negative data means the organ absorbs nitrogen during the seed formation and mature stage; NEA = Nitrogen export amount; NER = Nitrogen export rate; NCS = Nitrogen contribution to seed

3 结论与讨论

为了探讨大豆籽粒高蛋白形成机理, 许多学者开展了氮素吸收、运转及分配的相关研究, 其中一些学者^[2-3]认为不同蛋白质含量大豆品种各个营养器官氮素含量的变化趋势基本一致。叶片在结荚

前是氮素积累的主要器官, 后期向其它器官转移, 进行氮素的重新分配, 荚果是生育后期氮素积累的主要器官, 这在该研究中得到了验证。

高蛋白大豆品种结荚后营养器官的氮素含量均高于普通大豆, 而荚皮氮素含量却明显偏低, 说明高蛋白品种籽粒对氮素的利用效率更高。成熟期高蛋白品种各个器官氮素含量均比普通品种高,

这有利于高蛋白大豆品种籽粒蛋白的加工利用和秸秆饲用及还田等方面的综合利用。

籽粒形成及成熟时期高蛋白品种继续从土壤吸收同化较多的氮素,这一阶段的吸氮能力与籽粒蛋白质含量高度正相关,且高蛋白品种营养器官贮存的氮素也以较大比例向籽粒转移。

综上所述,认为形成大豆籽粒高蛋白含量的原因主要有3个:1. 结荚后营养器官(叶片、叶柄和茎秆)较高的氮素含量;2. 籽粒形成及成熟期较强的氮素同化和运转能力;3. 籽粒对氮素的高效利用。

参考文献

- [1] 袁立海,张晓,舒权,等.大豆氮肥增产效应的研究[J].大豆科学,1984,3(3):243-250. (Yuan L H, Zhang X, Shu Q, et al. Study on effect of enhancing yield of soybean by applying nitrogen fertilizer[J]. Soybean Science, 1984, 3(3): 243-250.)
- [2] 王全富,刘丽君,孙聪妹,等.大豆氮素积累及其对籽粒蛋白质含量的影响[J].东北农业大学学报,2005,36(5):545-548. (Wang Q F, Liu L J, Sun C S, et al. Nitrogen accumulation and its effect on protein content in seeds of soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2005, 36(5): 545-548.)
- [3] 孙太靖,龚振平,马春梅.大豆植株氮素积累与转运动态的研究[J].东北农业大学学报,2004,35(5):517-521. (Sun T J, Gong Z P, Ma C M. Study on the regulation of nitrogen accumulation and translocation in high-oil soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2004, 35(5): 517-521.)
- [4] Sinclair T R, Fariab J R, Neumaier N, et al. Modeling nitrogen accumulation and use by soybean[J]. Field Crops Research, 2003, 81: 149-158.
- [5] Yao Y B, Jin X J, Di W, et al. Regularity of nitrogen accumulation in soybean and its simulation[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 18(1): 1-5.
- [6] 吴魁斌,沈国清.对大豆氮素利用率及体内分配规律的研究[J].现代化农业,1998(12):9-10. (Wu K B, Shen G Q. Study on use efficiency and distribution law of nitrogen in soybean[J]. Modernizing Agriculture, 1998(12): 9-10.)
- [7] 杨琪,王金陵.不同类型大豆干物质及氮的动态变化研究[J].中国农业科学,1995,28(A01):108-114. (Yang Q, Wang J L. The study of dynamic changing of nitrogen and dry matter for different types of soybean at reproductive stage[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1995, 28(A01): 108-114.)
- [8] 王立刚,刘景辉,刘克礼,等.大豆氮素积累、分配与转移规律的研究[J].作物杂志,2004(5):20-22. (Wang L G, Liu J H, Liu K L, et al. Study on nitrogen accumulation, distribution and translocation of soybean[J]. Crops, 2004(5): 20-22.)
- [9] 金喜军,马春梅,龚振平,等.大豆鼓粒期对肥料氮的吸收与分配研究[J].植物营养与肥料学报,2010,16(2):395-399. (Jin X J, Ma C M, Gong Z P, et al. Study on fertilizer-N absorption and distribution of soybean (*Glycine max* L.) during the seed-filling period[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(2): 395-399.)
- [10] Egli D B, Bruening W P. Nitrogen accumulation and redistribution in soybean genotypes with variation in seed protein concentration[J]. Plant and Soil, 2007, 301: 165-172.
- (上接第75页)
- [2] 浦瑞良,宫鹏.高光谱遥感及其应用[M].北京:高等教育出版社,2000. (Pu R L, Gong P. The application of hyperspectral remote sensing[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.)
- [3] 王登伟,李少昆,田庆玖,等.棉花主要栽培生理参数的高光谱估测研究[J].中国农业科学,2003,36(7):770-774. (Wang D W, Li S K, Tian Q J, et al. Estimating of main cultivation physiology parameters of cotton by using hyperspectral remote sensing[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(7): 770-774.)
- [4] 唐延林,黄敬峰,王人潮.水稻不同发育时期光谱与叶绿素和类胡萝卜素的规律[J].中国水稻科学,2004,18(1):59-66. (Tang Y L, Huang J F, Wang R C. Change law of hyperspectral data with chlorophyll and carotenoid for rice at different developmental stages[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2004, 18(1): 59-66.)
- [5] 唐延林,黄敬峰,王人潮,等.水稻遥感估产模拟模式比较[J].农业工程学报,2004,21(1):166-171. (Tang Y L, Huang J F, Wang R C, et al. The comparison of rice yield estimation by remote sensing simulation model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 21(1): 166-171.)
- [6] 金震宇,田庆久,惠凤鸣,等.水稻叶绿素浓度与光谱反射率关系研究[J].遥感技术与应用,2003,18(3):134-137. (Jin Z Y, Tian Q J, Hui F M, et al. Study of the Relationship between rice chlorophyll concentration and rice reflectance[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2003, 18(3): 134-137.)
- [7] Gupta R K, Woolley J T. Spectral proper ties of soybean leaves[J]. Agronomy, 1971, 63: 123-126.
- [8] Wang D, Wilson C, Shannon M. Interpretation of salinity and irrigation effects on soybean canopy reflectance in visible and near-infrared spectrum domain[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(5): 811-824.
- [9] Blackburn G A. Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: a test using senescent tree leaves[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(4): 657-675.
- [10] 申晓慧,张敬涛,姜成,等.大豆叶片叶绿素含量与光谱的特征分析[J].大豆科学,2009,28(4):747-750. (Shen X H, Zhang J T, Jiang C. The correlation between chlorophyll content and spectral characteristics of soybean leaves[J]. Soybean Science, 2009, 28(4): 747-750.)