

# 水稻氮素营养诊断方法研究进展

孙玉焕 杨志海 (青岛科技大学环境与安全工程学院, 山东青岛 266042)

摘要 分析比较3种水稻氮素营养诊断方法:形态诊断法、化学诊断法和无损氮素营养诊断法,并提出了它们今后的发展方向。

关键词 水稻;氮素营养;叶色卡;叶绿素计;高光谱

中图分类号 S511 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)19-08035-03

## Research Progress in Diagnosis Methods of Rice Nitrogen Nutrition

SUN Yu huan et al (College of Environment and Safety Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266042)

Abstract 3 diagnosis methods of rice nitrogen nutrition were compared and the future development directions were pointed out.

Key words Rice; Nitrogen nutrition; Leaf color chart; Chlorophyll meter; Hyperspectrum

在水稻生产过程中,采取有效的氮素管理措施,合理施用氮肥已成为一个迫切需要解决的问题。近年来,国内外专家主要在2个方面进行推荐施肥方法的研究:通过施肥调控将土壤中有效养分的含量控制在一个适量水平,既保证产量又不至于引起环境污染<sup>[1]</sup>;借助植株营养诊断指导经济合理地施肥,对已经发生的营养失调,可通过营养诊断查找原因。水稻植株诊断作为营养诊断的一个重要方面,其不能代替土壤诊断,而是比土壤诊断更深入地了解作物生长过程中体内养分的吸收、运转相互影响及肥料效果。该文对水稻氮素营养诊断研究过程中几种主要方法的发展作介绍,以促进我国在该领域的研究。

### 1 形态诊断

形态诊断从20世纪60年代开始在我国受到广泛关注。它是在总结农民丰产经验的基础上发展起来的,主要应用于水稻营养诊断<sup>[2]</sup>。水稻缺氮时,叶片与主茎间的夹角小于45°,叶片直立,植株矮小,植株下部叶片发生黄化或有红色斑点<sup>[3]</sup>,生长缓慢。氮素过多时,植株徒长,节间长,分蘖多,叶色嫩绿,贪青晚熟<sup>[4]</sup>。这种诊断方法是根据植株生长形态和特定叶位的节间长度诊断不同生育期的施肥效果,指导施肥量,其在一定程度上可以判断植株的氮素营养状况。

形态诊断法通常只在水稻仅缺一种营养元素的状况下有效<sup>[5]</sup>。而且当植株出现缺氮症状时,表明植物缺素状况已相当严重,此时再采取补救措施为时已晚。另外,由于近年来作物品种更新换代频繁,其外观的生长形态多变,没有固定的模式。因此,形态诊断在实际应用中存在明显的局限性。

### 2 化学诊断

作物体内养分状况是土壤养分供应、作物对养分需求和吸收能力的综合反映。通过对水稻体内养分进行诊断可以判断其营养状况,并以此来进行施肥决策。传统的氮素营养诊断法主要是基于水稻组织的实验室分析。英、法、德、美等国已成功地将植株营养诊断技术来指导农业生产<sup>[6]</sup>。植

株全氮诊断是研究最早最充分的作物化学诊断方法,大多数作物不同生育期和不同部位器官的氮素诊断临界浓度已基本清楚。水稻及其各种器官的发生和生长都要有一定的含氮水平。一般情况下,根内含氮量需在1.5%(干重)以上,新根才能不断发生;叶片含氮量高于2.5%时新叶才能伸长;稻苗含氮量低于2.5%时分蘖停止生长,含氮量超过3.0%~3.5%时分蘖才能迅速进行。在颖花分化后期,水稻地上部分的含氮量与颖花分化数目呈密切的正相关关系。许多学者对不同品种、不同生长时期的各个功能叶片的氮素含量进行了研究。邹长明等研究结果表明,幼穗分化期最新完全展开叶的C/N比值是水稻生长前期氮素营养状况的综合反映,可作为水稻看苗施肥的诊断指标<sup>[7]</sup>。Mervyn研究发现,3种供试水稻,只有开花初期的第2片完全展开叶有相同的氮素含量,而最后展开叶和第3、4片叶的氮素含量不能用来指示水稻的氮素营养状况<sup>[8]</sup>。

水稻吸收的铵态氮在合成蛋白质之前,均以游离氨基酸及酰胺形态存在,氮素营养丰富时,吸收速度大于合成速度则体内出现氨基酸及酰胺的积累。因此,在过去一段时间,采用检测极端心叶天门冬酰胺的有无来判断水稻是否缺氮。但是天门冬酰胺的含量受环境中其他因素影响较大。如增加黑暗时间天门冬酰胺的含量增加,不能正确反映水稻的氮素营养状况。采样后应立即检测,否则结果不准确。因而天门冬酰胺测试作为氮肥管理手段的应用受到了限制。另外,化学诊断方法分析结果准确,但普遍要求破坏植物样本,且操作繁琐,耗时较长,分析结果适时性差。

### 3 无损诊断技术

无损诊断技术是指在不破坏植物组织结构的基础上,利用各种手段对作物的生长、营养状况进行监测。这种方法可以迅速、准确地对田间作物氮素营养状况进行监测,并能及时提供追肥所需要的信息。传统的氮素营养无损诊断方法主要有肥料窗口法和叶色卡片法(Leaf Color Chart, LCC),这些方法均属于定性或半定量的方法。近年来,随着相关领域科技水平的不断提高,氮素营养无损诊断方法正由定性或半定量向精确定量方向发展,由手工测试向智能化测试方向发展。其中,便携式叶绿素仪法和新型遥感测试法是20世纪90年代以来最新发展的方法,在欧、美、日等国已成为研究热点,部分成熟技术已进入推广应用阶段。

**3.1 肥料窗口法** 此法是在大田中保留施氮水平稍低的微

基金项目 国家高技术研究发展计划项目(2007AA10Z205);国家自然科学基金项目(40432005);青岛科技大学科研启动基金项目(0022177)。

作者简介 孙玉焕(1976-),女,山东德州人,讲师,从事污染场地的风险评估与修复、固体废弃物的处理处置、环境地理信息技术方面的研究。

收稿日期 2008-04-18

区,当微区中作物表现缺氮时,即表明大田处在缺氮边缘<sup>[9]</sup>。此法简单实用,可对土壤变异不明显区域的下一次追肥作出判断,但不能量化追肥量,还需进行常规测试。也有学者用施氮量高于周围作物30%~50%作为肥料窗口,通过窗口内外水稻叶绿素含量的差别来判断水稻叶片的含氮量。通过分析,用叶绿素含量作为指示指标,确定水稻氮素利用情况和需肥量。此种方法如果用于水稻氮肥管理,还需要建立叶绿素和氮含量的相关关系<sup>[10]</sup>。

**3.2 叶色卡片法** 叶色是水稻体内氮素养分的外在表现,我国农民素有看作物叶色施肥的传统经验。陶勤南等根据均匀颜色空间的 $L^*a^*b^*$ 空间及色差公式研制了水稻标准叶色卡<sup>[11]</sup>,并根据不同类型水稻确定标准叶色级范围。当田间水稻叶色级超过标准叶色级,说明氮素过剩,应采取烤田的措施加以控制;如果叶色级正好处于标准叶色级水平,则表明氮素营养适宜,不必追施氮肥;若叶色级低于标准叶色级,则表示水稻氮素营养不良,应酌情追施一定量的氮肥。叶色诊断是氮素营养诊断中简单易行的方法,如果标准叶色级确定合适,诊断会取得良好的效果。

目前应用较多的3种LCC分别由国际水稻研究所、中国浙江大学和美国加利福尼亚Davis研制<sup>[12]</sup>。3种LCC的叶色级不同,国际水稻研究所的LCC共有6个叶色级(1~6);浙江大学的LCC有8个叶色级(3,4,5,5.5,6,6.5,7,8),美国加利福尼亚大学也有8个叶色级(1~8)。2005年IRRI和UCCE又研制了一种4叶色级别的LCC<sup>[13-14]</sup>,用此代替了6个叶色级的LCC。有学者用上面3种叶色卡对水稻氮肥管理进行了研究,水稻叶片的LCC值与水稻各个生长时期的干重和全氮含量呈线性关系。通过对LCC值进行处理,两者间的相关性更高, $R^2$ 从原来的0.25~0.97提高到0.84~0.92,证明3种LCC都适于农民用于水稻实时追肥监测。Witt等通过对不同LCC研究得出,4个叶色级的叶色卡更适合亚洲水稻的氮素营养诊断,并提出了不同叶色级的施肥量<sup>[13]</sup>。Liu等对LCC应用方法和效果进行了研究,试验中分别采取FFP(农民施肥方式)、RTNM(基于叶绿素计或叶色卡进行实时氮管理)、SSNM(基于叶绿素计或叶色卡在水稻固定的几个敏感生长时期进行氮肥管理)3种氮肥管理方式,结果表明后2种通过LCC方法,水稻产量和氮肥利用效率都有明显提高<sup>[15]</sup>。Mirshedul利用LCC对水稻进行氮素诊断并进行管理,其他方面按照农民的通常方式处理,水稻产量增加100~700 kg/hm<sup>2</sup>,每季增加收益41~65美元/hm<sup>2</sup><sup>[16]</sup>。

LCC法简单易行、可半定量化,如标准叶色级确定合适,诊断可取得良好的效果。缺点是不能区分作物失绿是由于缺氮引起还是由其他因素引起;该法还受水稻品种、植被密度、导致土壤氮素状况和叶绿素含量变化的作物胁迫因素等的影响<sup>[17]</sup>。

**3.3 叶绿素计诊断法** 一种手持式叶绿素计可以用来估计作物氮素营养状态和进行氮肥推荐<sup>[18-19]</sup>,并且已在棉花<sup>[20]</sup>、水稻<sup>[21]</sup>、小麦<sup>[22]</sup>、玉米<sup>[23]</sup>等多种作物上获得应用。目前多使用日本产叶绿素计(SPAD-502),其读数是基于测定叶绿素对特定光谱波段的吸收而获得的<sup>[24]</sup>。Johnkutty研究得出,SPAD-502读数与Ndw(基于干重)的相关性优于与SLW(基于

干重/叶面积)或Na(基于叶面积)的相关性,并且能够预测水稻的产量<sup>[25]</sup>。但测量Ndw、SLW等值时需要大量采样,此时该法就不能称为无损诊断技术了。沈掌泉首先提出一种利用上下部叶片光谱特性比值来诊断作物氮素营养的方法,改变了以往只能通过上位叶片诊断水稻氮素营养状况的论断,但是也没有完全解决生长环境及品种因素的影响<sup>[26]</sup>。在应用FFP、RTNM、SSNM3种氮肥管理方式研究中,诊断工具也可采用叶绿素计<sup>[15]</sup>,可取得与叶色卡类似的效果。

张金恒和李刚华先后对叶绿素计的原理、特点,及其在水稻氮素营养诊断和推荐施肥管理等方面的应用,该方法的优点和不足进行了综述<sup>[27-28]</sup>。叶绿素计体积小,重量轻,携带方便,测定方法简单,所得数据准确,适于各种作物及林木氮素营养诊断,尤其适用于水稻,在日本已广泛应用于农田氮素诊断。我国许多科研单位也开始用其进行科学研究。如何消除环境胁迫、水稻品种、植株密度及营养状态等因素对叶绿素的影响,将是今后解决问题的重点。

**3.4 高光谱遥感诊断** 除了化学诊断方法外,其他方法本质上也是利用光谱来诊断水稻的氮素营养状况,只不过其工具是人的眼睛。随着现代科学技术的发展,农业遥感在沿着单一波段—多光谱—高光谱方向发展,诊断工具和方法不断改善,同时诊断的准确性大大提高。近年来,高光谱遥感技术在精确农业管理中的变量施肥(尤其是氮肥)方面发挥了非常重要的作用。

国际遥感界将光谱分辨率达纳米(nm)数量级范围内的遥感技术称之为高光谱(Hyper-spectral)遥感<sup>[29]</sup>。其特点是光谱分辨率高,波段连续性强,光谱信息量大,允许对目标物进行直接识别和微弱光谱差异分析。植被的光谱反射或发射特性是由其化学和形态学特征决定的<sup>[30]</sup>。有研究表明,叶绿素含量与叶片光谱特性之间存在正相关性<sup>[31]</sup>。由于叶片含氮量和叶绿素之间的变化趋势相似,所以可以通过测定叶绿素来监测植株氮素营养,因此植物叶绿素遥感研究可作为一种评价植物氮素状态的有效工具<sup>[32]</sup>。叶绿素吸收峰是蓝光和红光区域,在绿光区域是吸收低谷,并且在近红外区域几乎没有吸收。Xue发现R810/R660与叶片氮累积量呈线性关系,而与氮肥水平和水稻生长时期无关<sup>[33]</sup>。Zhu研究认为,RVI(870660)和RM(810660)与叶片氮素累积量有很好的相关性<sup>[34]</sup>。张金恒等研究得出,用RVI和NDVI指数建立的回归模型与水稻氮素营养具有很好的相关性, $R^2$ 为0.82~0.94<sup>[35]</sup>;LRPSA(leaf red edge peak slope angle)估算氮素含量的效果上位叶优于下位叶,并且用在孕穗期、抽穗期、灌浆期内试验测得的数据估算氮素含量的效果优于整个生育期的估算效果。另外,如果以正常施肥田块水稻作为参照区,测量参照区参数LRPSA,再与未知区域进行对比分析,可以定性评价田间水稻施用氮肥的丰缺状况。与叶片氮素含量相关性最好的波段主要为绿光(525~605 nm)和黄光(605~655 nm)范围,而短波近红外光范围与叶片氮素含量之间相关性最小<sup>[36]</sup>。薛利红研究了不同氮肥水平下多时相水稻冠层光谱反射特征及其与叶片含氮量等参数的关系。结果表明,水稻冠层光谱反射率与叶片氮累积量(单位土地面积上叶片的氮素总量)显著相关,尤其是近红外与绿光波段的比值与叶

片氮累积量(LNA)呈显著线性关系,不受氮肥水平和生育时期的影响,回归方程为: $LNA=0.859R^{810}/R^{560}-1.1596$ 。利用不同粳稻品种、播期、密度、水分和氮肥处理的数据对方程进行了较充分的检验,表明模拟值与实测值之间符合度较高,估算精度为91.22%,估计的RMSE为1.09,平均相对误差为0.026<sup>[37]</sup>。

利用遥感数据能够进行作物长势监测和营养诊断,并以此进行变量施肥决策已成为现代精准农业变量施肥技术的重要组成部分。Wight<sup>[38]</sup>在2001~2003连续3年进行了试验研究,结果表明利用航空和卫星遥感技术不仅能够诊断小麦氮素营养状况,而且能够进行遥感数据支持下的作物变量施肥管理。此外,Wight指出利用遥感影像提高灌溉小麦产量和品质的重点是利用地面冠层光谱、航空、卫星遥感数据,发展和优化变量施肥模型,提高氮素利用效率,提高小麦产量和品质。近年来,国内外学者在变量控制施肥机械设备方面作了大量的开发研制,他们将研制成功的变量喷药系统<sup>[39]</sup>、装备GPS的液态有机肥施用系统<sup>[40]</sup>、移动式的变量喷药系统<sup>[41]</sup>、数字控制计量装置<sup>[42]</sup>等设备安装在施肥机上实现了实际生产中的自动化变量作业实践<sup>[43]</sup>。美国俄克拉荷马州立大学从1993年开始进行基于光传感器的实时变量施肥机及其配套技术的研究,2002年推出了商标为“GreenSeeker”的光传感实时变量施肥机。中国科学院栾城农业生态系统试验站于2003年引进了美国Oklahoma州立大学开发的GreenSeeker光谱仪(主动光源),与俄克拉荷马州立大学和美国农业部水土保持研究所的科学家联合开展了应用GreenSeeker技术的小麦-玉米两熟作物氮素亏缺诊断和估产模型研究,将为我国变量施肥机具的实时光学诊断技术提供技术参数<sup>[44]</sup>。我国在这方面也取得了一定的成果,吉林大学在国家“九五”攻关项目支持下,先后研制成手控变量施肥机和自动变量施肥机,为我国精准变量农业的发展提供了硬件支持。赵春江等利用NDVI仪数据,成功反演了小麦植株的叶面积指数,展示了NDVI仪在作物长势、营养诊断方面的应用前景<sup>[45]</sup>。但是,精准定量施肥在我国水稻生产中应用的报道较少。

#### 4 水稻氮素营养诊断技术发展方向

(1) 化学诊断法诊断水稻氮素营养状况比较准确,能够排除其他因素的干扰,缺点是操作麻烦、费时费力。由于其他技术的发展都不能完全离开化学诊断,因此,化学诊断法还有进一步完善的必要。

(2) 近几年许多学者对水稻氮素营养的叶色诊断和光谱诊断法进行了大量研究。其中叶色诊断技术发展比较成熟,LCC法简便可行,农民不需要专业培训就能运用,且价格低廉。LCC在生产实践中有取代叶绿素计的趋势;光谱法在国内外虽然已有实际运用,但是技术远未成熟。虽然叶色诊断法和光谱诊断法的研究取得了大量成果,但是生长环境及品种因素的影响仍未得到根本解决。光照条件、品种类型以及其他胁迫因子的干扰依旧困扰着这2种方法的研究和实际运用。因此,对于上述主要干扰因素的研究应成为今后研究的重点。

(3) 植株和土壤氮素营养诊断可以获取水稻植株氮素营

养状况,通过这些信息达到精准施肥。即使如此,氮肥的当季利用率还是很低,为了达到较高的产量,在氮肥用量较高的情况下,氮肥的环境影响还是很大。为了彻底解决氮肥对环境的影响,新型肥料的研制和稻田土壤氮素诊断及转化规律的研究也不容忽视。

#### 参考文献

- [1] RAUN WR,JOHNSON G V, WESTERMAN R L. Fertilizer nitrogen recovery in long term continuous winter wheat[J]. Soil Sci Soc Am J, 1999, 63(4): 645-650.
- [2] 李俊华,董志新,朱继正. 氮素营养诊断方法的应用现状及展望[J]. 石河子大学学报, 2003, 7(1): 80-83.
- [3] 刘芷宇. 植物营养诊断的回顾与展望[J]. 土壤, 1982, 24(1): 173-175.
- [4] 渡边和彦. 作物营养元素缺乏与过剩症的诊断与对策[M]. 罗小勇,译. 日本:日本种苗株式会社, 1999: 58.
- [5] 宋文冲,胡春胜,程一松,等. 作物氮素营养诊断方法研究进展[J]. 土壤通报, 2006, 37(2): 369-372.
- [6] 陈新平,李志宏,王兴仁,等. 土壤、植株快速测试推荐施肥技术体系的建立与应用[J]. 土壤肥料, 1999(2): 6-10.
- [7] 邹长明,秦道珠,高菊生,等. 水稻氮肥施用技术. 看苗施用氮肥的叶片诊断指标[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2001, 27(1): 29-31.
- [8] MERVYN W, THENABADU. Evaluation of the nitrogen nutrition states of rice by plant analysis[J]. Hart and Soil, 1972, 37: 41-48.
- [9] BASHOUR I. Fertilization fruit crops[M]. Chapter 17 Near East fertilizer use manual FAO, Rome, Italy, 2007: 125-144.
- [10] Method for the fertilization of soil for cultivated plants: United States Patent, 6205707[P]. 2001-03-27.
- [11] 陶勤南,方萍,吴受欢,等. 水稻氮素营养的叶色诊断研究[J]. 土壤, 1990(4): 190-197.
- [12] YANG WOOON HO, PENG S B, HUANG J L, et al. Using leaf color charts to estimate leaf nitrogen status of rice[J]. Agron J, 2003, 95: 212-217.
- [13] WITT C, PASQUIN J M C A, MUTTERS R, et al. New leaf color chart for effective nitrogen management in rice[J]. Better Crops, 2005, 89(1): 36-39.
- [14] CHRISTIAN WITT, JULIE MAE CABRERA PASQUIN, RANDALL G M. Spectral reflectance of rice leaves and leaf color charts for N management [C]// New directions for a diverse planet: Proceedings for the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia, 2004.
- [15] LIULI J, SANG D Z, LIU C L, et al. Effects of real-time and site-specific nitrogen managements on rice yield and nitrogen use efficiency[J]. Agricultural Sciences in China, 2004, 13(4): 262-268.
- [16] MURSHEDUL A M, LADHA J K, RAHMAN K S, et al. Leaf color chart for managing nitrogen fertilizer in lowland rice in Bangladesh[J]. Agron J, 2005, 97: 949-959.
- [17] BALASUBRAMANIAN V, MORALES A C, CRUZ R T. On farm adaptation of knowledge intensive nitrogen management technologies for rice systems[J]. Nutrient Cycling Agroecosystems, 1999, 53: 59-69.
- [18] WESTCOIT M P, WRAITH J M. Correlation of leaf chlorophyll readings and stem nitrate concentrations in peppermint[J]. Commun Soil Sci Hart Anal, 1995, 26(9/10): 1481-1490.
- [19] FOX R H, PIEKLEK W P, MACNEAL K M. Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat[J]. Commun Soil Sci Hart Anal, 1994, 25: 171-181.
- [20] WOOD C W, TRACY P W, REEVES D W, et al. Determination of cotton nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter[J]. J Hart Nutr, 1992, 15: 1435-1448.
- [21] TURNER F T, JUND M F. Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semidwarf rice[J]. Agron J, 1991, 83: 926-928.
- [22] FOLLETT R H, FOLLETT R F. Use of a chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat[J]. Commun Soil Sci Hart Anal, 1992, 23(7/8): 687-697.
- [23] CHAPMAN S C, BARRETO H J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth[J]. Agron J, 1997, 89: 557-562.
- [24] PENG S, GARCIA F V, LAZA R C. Adjustment for specific leaf weight in a proven chlorophyll meters estimate of rice leaf nitrogen concentration[J]. Agron J, 1993, 85: 987-990.
- [25] JOHNKUTTY I, PALANAPPAN S P. Use of chlorophyll meter for nitrogen management in lowland rice[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1995, 45(1): 21-24.
- [26] 沈掌泉,王珂,朱君艳. 叶绿素计诊断不同水稻品种氮素营养水平的研究初报[J]. 科技通报, 2002, 18(3): 173-176.

**2.2 根茎重量的年龄结构动态** 由表2可见,4种土壤生境羊草无性系种群根茎生物量有很大差异。生长季末期的9月份,最大的为沙土达到 $164.5\text{ g/m}^2$ ,其次林间风沙土为 $149.9\text{ g/m}^2$ ,再次草甸土为 $139.3\text{ g/m}^2$ ,最少的中度碱土为 $98.4\text{ g/m}^2$ 。如前所述,该地区羊草种群的根茎最多可以存活4个年度,由4个龄级组成,从返青期到6月中旬,种群中尚未产生新根茎,所以根茎重量的年龄结构也只有2、3、4三个龄级,8月份之前,种群中根茎重量仍以2龄级为主,4种生境中均超过50%,3龄级根茎重量占26.4%~35.1%,4龄级根茎仅占较小比例,从年龄结构看属于稳定型年龄结构。6月中旬之后,种群中有当年的新根茎产生,即1龄级根茎,此时的1龄级根茎重量还较小,到7月下旬,4种生境中所占的比例均小于15%,种群中根茎重量仍以2、3龄级为主,年龄谱顺序为2龄级>3龄级>1龄级>4龄级,这一点和根茎长度基本一致。此后,1龄级根茎的重量迅速增加,到8月份,种群中1龄级根茎的比例达到28.8%~37.7%,在林间风沙土和沙土2种生境中1龄级根茎的重量已超过2龄级根茎,所以种群中根茎的重量以1、2龄级为主,年龄谱顺序为1龄级>2龄级>3龄级>4龄级,而在草甸土和中度碱土中此时仍以2龄级根茎最多,年龄谱顺序为2龄级>1龄级>3龄级>4龄级;到生长季末期的9月份,当年的新生1龄级根茎生长达到最大贮存量,生物量比例也上升为最高,达48.0%~51.5%,年龄谱顺序为1龄级>2龄级>3龄级>4龄级,由此可以看出,不同生境羊草种群根茎重量的增长变化与长度的增长变化不一致,1龄级的根茎重量增长速度大于其长度增长速度,即1龄级的新生根茎积累和贮存生物量的能力最强。

### 3 结论

不同土壤生境条件下的根茎长度存在很大差异,表现为沙土>林间风沙土>草甸土>中度碱土,沙土和林间风沙土

土质非常疏松,透气性能也好,适宜根茎的生长,草甸土虽然碱化程度较低,土壤较疏松,透气性较好,但由于伴生种寸草苔、星星草和虎尾草的生长,严重制约地上分蘖植株的生长,也影响地下根茎的生长,但年龄结构上均以1、2龄级为主,3、4龄级仅占很小部分,因此,根茎长度的年龄结构也呈增长型。干物质贮量沙土>草甸土>林间风沙土>中度碱土,就整个生长季平均水平看,根茎干物质积累量的一般变化趋势是:随着龄级的增加,根茎干物质积累量减少,龄级越高,干物质积累量越少。另外,从变异系数上看,4种生境中各月份间的变异系数小于各龄级间的变异系数,说明在稳定的环境条件下,生长季节的变化对根茎干物质积累量的影响远小于龄级高低变化对根茎干物质积累量的影响。

### 参考文献

- [1] 李建东. 我国的羊草草原[J]. 东北师大学报:自然科学版,1978(1):145-159.
- [2] 杨允菲, 李建东. 松嫩平原几种根茎型禾草种群的营养繁殖特性及其持续更新分析[J]. 草业学报, 1996,5(2):43-48.
- [3] 杨允菲, 祝廷成. 不同生态条件下羊草种群种子生产的探讨[J]. 生态学报, 1988,8(3):256-262.
- [4] 杨允菲, 祝廷成. 羊草种群种子生产的初步研究[J]. 植物生态学与植物学学报, 1989,13(1):73-78.
- [5] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 松嫩平原2个趋异类型羊草无性系种群特征的比较研究[J]. 植物学报, 1997,39(11):1058-1064.
- [6] 祝廷成. 羊草生物生态学[M]. 长春:吉林科学技术出版社,2004:97-128.
- [7] 丁雪梅, 王涌鑫, 杨允菲. 松嫩平原不同土壤基质条件下羊草种群年龄结构研究[J]. 草业科学,2004,21(2):45-47.
- [8] 焦德志, 杨允菲. 扎龙自然保护区不同土壤生境羊草种群冬眠特性研究[J]. 安徽农业科学,2006,34(3):479-480.
- [9] 焦德志, 丁雪梅, 杨允菲. 扎龙自然保护区不同生境条件下羊草种群构件的年龄结构[J]. 生态学杂志,2006,25(6):617-620.
- [10] 中华人民共和国林业部. 扎龙国家级自然保护区管理计划[M]. 北京:中国林业出版社,1997:1-5.
- [11] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 不同生态条件下羊草种群分蘖植株年龄结构的比较分析[J]. 生态学报, 1998,18(3):302-308.
- [12] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 根茎禾草无性系种群年龄结构的研究方法[J]. 东北师大学报:自然科学版,1998(1):59-63.
- [13] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 不同生态条件下羊草种群分蘖植株年龄结构的比较分析[J]. 生态学报, 1998,18(3):302-308.
- [14] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 根茎禾草无性系种群年龄结构的研究方法[J]. 东北师大学报:自然科学版,1998(1):59-63.
- [15] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 不同生态条件下羊草种群分蘖植株年龄结构的比较分析[J]. 生态学报, 1998,18(3):302-308.
- [16] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 根茎禾草无性系种群年龄结构的研究方法[J]. 东北师大学报:自然科学版,1998(1):59-63.
- [17] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 不同生态条件下羊草种群分蘖植株年龄结构的比较分析[J]. 生态学报, 1998,18(3):302-308.
- [18] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 根茎禾草无性系种群年龄结构的研究方法[J]. 东北师大学报:自然科学版,1998(1):59-63.
- [19] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 不同生态条件下羊草种群分蘖植株年龄结构的比较分析[J]. 生态学报, 1998,18(3):302-308.
- [20] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 根茎禾草无性系种群年龄结构的研究方法[J]. 东北师大学报:自然科学版,1998(1):59-63.
- [21] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 不同生态条件下羊草种群分蘖植株年龄结构的比较分析[J]. 生态学报, 1998,18(3):302-308.
- [22] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 根茎禾草无性系种群年龄结构的研究方法[J]. 东北师大学报:自然科学版,1998(1):59-63.
- [23] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 不同生态条件下羊草种群分蘖植株年龄结构的比较分析[J]. 生态学报, 1998,18(3):302-308.
- [24] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 根茎禾草无性系种群年龄结构的研究方法[J]. 东北师大学报:自然科学版,1998(1):59-63.
- [25] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 不同生态条件下羊草种群分蘖植株年龄结构的比较分析[J]. 生态学报, 1998,18(3):302-308.
- [26] 杨允菲, 郑慧莹, 李建东. 根茎禾草无性系种群年龄结构的研究方法[J]. 东北师大学报:自然科学版,1998(1):59-63.
- [27] 张金恒, 王珂, 王人潮. 叶绿素计 SPAD-502 在水稻氮素营养诊断中的应用[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2003,31(2):177-180.
- [28] 李刚华, 丁艳锋, 薛利红, 等. 利用叶绿素计 (SPAD-502) 诊断水稻氮素营养和推荐追肥的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(3):412-416.
- [29] 陈述彭, 童庆禧, 郭华东, 等. 遥感信息机理研究[M]. 北京:科学出版社,1998:139-231.
- [30] MILLER J R, HARE E W, WU J. Quantitative characterization of the vegetation red edge reflectance model[J]. Int J Remote Sensing, 1990,11(10):1755-1773.
- [31] MADERIA A C, MENDONCA A, FERRIRA ME, et al. Relationship between spectroradiometric and chlorophyll measurements in green beans communication[J]. Soil Science and Plant Analysis, 2000,31(5/6):631-643.
- [32] JOHNSON L F, HAVAKA C A, PETERSON D L. Multivariate analysis of aviris data for canopy, biochemical estimation along the oregon transect[J]. Remote Sens Environ, 1994,47:216-230.
- [33] XUE L H, CAO W X, LUO W H, et al. Diagnosis of nitrogen status in rice leaves with canopy spectral reflectance[J]. Agricultural Sciences in China, 2003,2(3):250-257.
- [34] ZHUY, YAO X, TIAN Y C, et al. Analysis of common canopy vegetation indices for indicating leaf nitrogen accumulations in wheat and rice[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2007,10(4):400-411.
- [35] 张金恒, 王珂, 王人潮, 等. 水稻叶片反射光谱诊断氮素营养敏感波段的研究[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2004,30(3):340-346.
- [36] 张金恒, 王珂, 王人潮. 红边参数LRPSA评价水稻氮素营养的可行性研究[J]. 上海交通大学学报:农业科学版,2003,21(4):349-356.
- [37] 薛利红, 曹卫星, 罗卫红, 等. 基于冠层反射光谱的水稻群体叶片氮素状况监测[J]. 中国农业科学,2003,36(7):807-812.
- [38] DENNIS L, WRIGHT J R. Using remote sensing to manage wheat grain protein [R].
- [39] SCHROCK MD, OARD DL, TAYLOR R K, et al. Pulse-width modulation netting system for ammonia fertilizer [Z]. 2001.
- [40] MORRIS D K, ESS D R, HAWKINS S E, et al. Development of a site-specific application system for liquid animal manures [J]. Engineering in Agriculture, 1999,15(6):633-638.
- [41] KING B A, WALL R W. Secondary spatially variable chemical application system for site specific crop management using continuous row irrigation system [A]. 2001.
- [42] CAMP C R, SADLER E J, EVANS D E. Variable-rate, digitally controlled netting device [J]. Transactions of the ASAE, 2000,16(1):39-44.
- [43] 梁红霞, 马友华, 黄文江. 基于遥感数据的冬小麦长势监测和变量施肥研究进展[J]. 麦类作物学报,2005,25(3):119-124.
- [44] 宋文冲, 胡春胜, 程一松, 等. 作物氮素营养诊断方法研究进展[J]. 土壤通报,2006,37(2):369-372.
- [45] 赵春江, 刘良云, 周汉昌, 等. 归一化差异植被指数仪的研制与应用[J]. 光学技术,2004,30(3):324-326.

(上接第8037页)