

在植物生活和苏联农业中的氮素

А. Н. 普里亞尼什尼科夫院士 著

科 學 出 版 社

在植物生活和蘇聯農業中的氮素

Д. Н. 普里亞尼什尼科夫 院士 著

王天鐸 夏叔芳 沈羣林 周佩珍 譯

郭興嘉 校

科學出版社

1956年12月

Академик Д. Н. Прянишников
**АЗОТ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ И В
ЗЕМЛЕДЕЛИИ СССР**

Издательство Академии Наук СССР
Москва 1945

內 容 提 要

本書是蘇聯農業化學的奠基人普里亞尼什尼科夫所著，他在本書的第一、二章裏總結並探討了對氮在植物體內的代謝的研究結果，尤其着重探討氮與醃胺在氮的轉化中的作用和銨鹽與硝酸鹽作為植物氮源的比較，在第三章中作者全面分析了蘇聯農業中氮肥問題的各個方面，包括輪作制度、土壤條件、氮肥來源、原料產地以及運輸等問題，而着重討論增加生物態氮源即擴大固氮植物栽培的可能性，因為作者本人五十年來所進行的工作在植物氮營養問題的闡明上起了極其卓越的作用，所以這本書貫徹了高度的系統性和思想性。

在植物生活和蘇聯農業中的氮素

原著者	[蘇聯] Д. Н. 普里亞尼什尼科夫院士
翻譯者	王天鐸 夏叔芳 沈羣林 周佩珍
校訂者	郭 興 嘉
出版者	科 學 出 版 社

北京朝陽門大街117號
北京市書刊出版業營業許可證出字第061號

印刷者	上海中科藝文聯合印刷廠
總經售	新 華 書 店

1956年12月第一版	書號：0610 字數：177,000
1956年12月第一次印刷	開本：787×1092 1/18
(滬) 0001-4,043	印張：10 插頁：1

定價：(10) 1.50 元

蘇聯科學院委員會爲
Д. Н. 普里亞尼什尼科夫
八十誕辰紀念的題詞

1945年11月7日是蘇聯農業化學奠基人，社會主義勞動英雄德·尼·普里亞尼什尼科夫院士八十歲壽辰。是日正逢他的新著出版。這本書是討論一個最迫切的農業化學問題，而著者本人的研究工作在這方面起着傑出的作用。

目 錄

第一章 植物的氮源	1
氮素問題的歷史.....	2
論可供植物利用之氮化合物的形態.....	9
植物體中含氮物質的代謝及氨與醯胺在其中的作用.....	16
含氮的有機化合物自硝酸及亞硝酸的合成.....	55
植物對游離氮素的同化.....	65
第二章 作為植物氮源之銨鹽和硝酸鹽的生理特徵	80
決定於介質反應,溶液濃度及醣類儲量之植物對氨態營養和硝酸態營養 的反應.....	80
營同化作用之植物的年齡對從硝酸銨溶液中吸收 NH_4 與 NO_3 之速度 的影響.....	105
在氨態營養和硝酸態營養條件下相伴隨的陽離子和陰離子的意義.....	111
第三章 蘇聯農業中的氮素	121
農業中產量的提高與氮素的作用.....	121
各國氮素的收支情況,“工藝”氮素及“生物”氮素	128
改善蘇聯農業中氮素收支情況的任務與遠景.....	134
無機氮肥生產和應用的遠景.....	143
“生物”氮收入的增加,蘇聯農業中氮素平衡的遠景	152
綠肥應用方面的幾個新的可能性.....	162
結語	173

“正因為在科學上沒有甚麼是肯定的，
她才不斷地前進。” ——杜克勞*

第一章 植物的氮源

五十多年前(1890年12月)克里門特·阿爾卡地耶維奇·季米里亞捷夫做了一次論“植物氮源問題”的公開演講，演講的第一句話說道：“關於植物氮素來源方面的學術問題和栽培車軸草及一般豆科植物之優越性方面的實際問題是不可分割地密切結合在一起的，理論與實際相互作用如此明確的表現還不多見。”

季米里亞捷夫的此一見解在近半世紀以來不但被證實而且已大為發展，理論化學的成就在製氮工業的發展中得到實現，而“生物氮”與“工藝氮”也結合了起來。我希望在本書中能夠用新的資料來發展和補充季米里亞捷夫的基本思想。

大家都知道，動植物體的主要部分是四個元素構成的，關於這一點植物學者曾屢次引用席勒有名的四行詩來說明它：

四個元素 “Vier Elemente
緊密地安排 Innig gesellt
構成了生命， Bilden das Leben,
築成了世界。 Bauen die Welt.”

但是，如果從生理的觀點來說它們是同樣必要而且具有同等價值的話，那麼它們在農業實踐上的情形就大不相同了。根據很容易理解的原因：對植物來說，如果說空氣中的氧，二氧化碳以及來自空氣中的水可以被所有的植物利用的話，高等植物却完全不能利用空氣裏的氮，它必須到土壤裏去尋找，而地殼又不是氮的原始來源，地殼中的氮很少，大部分土壤所含的氮少到極點（佔西歐和我國面積絕大部分的灰化土就是這樣）。大量的氮素存在於空氣中。氮分子中的原子結合得異常緊密，以至於只有在很高的溫度下這種結合才能被破壞。低溫時氧和氫都不和氮起作用，至少在化學家的手裏是如此。當然也有在低溫進行反應的情形，比如，鉀

* Ducloux: Seulement par ce que la science n'est sûre de rien, elle avance toujours.

能够破壞氮分子而與氮結合：



這個反應可能對工業技術家有興趣，對生理學家則不然，在植物生活的自然條件下這個反應是沒有什麼意義的。

在自然界中氮的結合只有兩種情形，即放電（閃電）和某些微生物所特有的固氮過程。雖然微生物固定空氣氮素的途徑很久不為人所知，而工業上利用氮的方法知道又更晚，但并未因此而依靠閃電來提高生產。

因此在赫爾里格（Hellriegel）和哈柏（Haber）還沒有發現這些途徑以前，在土壤中缺乏氮素的情況下幾乎佔有空氣五分之四之大量氮素的存在即引起了農藝學代表人物的注意，從後來有名的舒爾茨（Schulze）所用“Wüstenei Lupitz”——如狼似的荒野這一名詞即可想見當時對氮是如何懷念和如何渴望找到利用它的橋樑。舒爾茨是李比希（Liebig）時代的大學生，李比希的私塾弟子、狂熱信徒，他在長過石楠雜草的田裏播下種、進行翻耕并施入鉀、磷肥料，等待着氮從空氣中到來（如李比希所說的）¹⁾。但氮並沒有來，土地的虧累增加了，敏銳的觀察家舒爾茨並沒有在赫爾里格的發現以前注意到狼豆——羽扇豆²⁾能把如狼似的荒野變得肥沃，他作了一首用散文寫的“詠氮詩”：“除水之外氮是自然界發展、生長、創造的最有力的推動者，抓住它、掌握它——是我們的任務；愛護它——是經濟的關鍵；使那湧出無窮盡能力的源泉服從我們——是幸福的秘密。”

氮素問題的歷史

氮素一語關聯着一系列的矛盾現象：一方面它是“無生氣的氣體”，而另一方面生命又少不了它，因為它是蛋白質不可缺少的組成部分。氮生成的化合物有氧化的也有還原的，有酸性的也有鹼性的，而且與其他元素不同，在植物生活中，它那多種氧化還原程度不同的化合物都可以在合成過程中被利用，如硝酸、亞硝酸、次硝酸、氨與脛氨，低等植物還可以利用游離的氮素，從經濟上來看，如果講到礦質肥料的話，氮素却是最貴的元素，但如果估計到豆科植物對氮的利用的話，它又是最賤

1) 這裏李比希所指的不是空氣裏游離的氮而是夾雜的碳酸銨；但後者在空氣裏的含量小到不能影響產量的程度。

2) 來自拉丁字 *lupus*——狼。

的元素。

當然，氮素問題的歷史不應當從舒爾茨開始，而應當從布興格 (Boussingault) 開始，但這也只有就在拉瓦錫以後的真正化學時期來說才是正確的。

事實上遠在拉瓦錫以前，在鍊金術和製藥術的時代就發生了這個問題，不過那時所用的術語完全是另一套，比如，一般常談到“硝石的空氣起源”，那時并推斷“硝之胚”(germes, oeufs) 是從空氣來的，只有在土壤中才“孵育”和發育而誕生貴重的鹽(“地之鹽”)¹⁾。

阿爾伯大帝(十三世紀)在他的論文“De mirabilibus mundi”[奇異的世界]裏就已談到硝石²⁾。

十四世紀的著作中可以發現有提純硝石作為火藥成分的藥方(Codex Germanicus [日耳曼藥典], 1350)，以後就作為“肥力之鹽”而引起人們的興趣。1540年法國禁止硝石出境，必須把它交給國家，而在1544年頒布了成立三百個開採硝石的據點，同一時期還有荷蘭船自印度運來硝石的指令。旅行家報告說在自然界中不只是在印度，在美洲、中國以至於西班牙都有硝石形成。1563年出現了貝爾納·巴里西(Bernard Palissy)關於鹽在植物中的意義的論文(“les sels végétatifs”)³⁾，他認為土壤的肥力依賴於其中所含的某些鹽，而且說“糞如果不含‘鹽’就沒有用，這種鹽是在穀草和乾草腐化以後遺留下來的”，此後有一個在巴黎聽過他演講的人⁴⁾更肯定地說糞含有“尿鹽”而土壤肥力的提高依賴於其中的“sucs nitreux”[硝汁]或“la salure de nitre”[硝之鹽]⁵⁾。他不止一次重複巴里西的說法說對土壤而言

1) 值得提出，甚至在後來(十九世紀前半)，在氮作為空氣的主要成分而每人所知的時候，仍然存在着一種意見，認為硝石是由氣態的氮形成的，因為土壤作為一個多孔體可以使氮為空氣中的氧所氧化(像氫氣引火器一樣)，而所形成的氧化氮類則為土壤的鈣所固定。這種意見被布興格推翻了，他證明土壤中硝酸鹽的聚集與大氣氮的固定無關。

2) 據說硝(nitrum)在製取哲人石的神秘過程中起着重要作用(Paracelsus)。

3) 貝爾納·巴里西(Bernard Palissy)是一個有才能的自學成功的人，最初是瓷器工人，後來是化學實驗家，賽佛爾瓷釉的配方人，畫家，雕塑家，旅行家，地形學家，又是地質學家，晚年在王宮為一些達官的聽眾——醫生等做演說，但後來被異教裁判所判處了死刑(那正是天主教會與法國新教徒鬥爭的時代)，因母后的干涉才獲救，他曾給國王出色的驕傲的回答，國王是為了說服他與教會妥協到監獄來看他的。關於巴里西參看菲格萊著“名人的生活”與 Grandea: Chimie appliquée à l'agriculture, Paris, 1879。

4) 這個人是布羅塞(Gui de Brosse)，路易十三的御醫。他後來(1621)寫了一本關於植物本性的書，其中的一章的題目是“De la manière de vivre des plantes et de leur nourriture”，但除了對硝石及其他鹽類在土壤中的意義的健康的議論以外，在他的書裏也可以遇到關於植物中碳水化合物起源的完全幻想的說法(“La manne”)。

5) 俄文的 селитра 隱含 nitrum 之意，它是從拉丁字 sal nitri 來的，西班牙文是 salitra，後來 sal 就轉變成 sel (法文)。

“鹽是肥力之父”，但顯然他比巴里西更清楚甚麼鹽是有主要意義的。

但最精彩的還是十七世紀格勞伯 (Johann Rudolph Glauber) 發表的氮在植物生活中的意義和在自然界中的循環的思想。

誠然那時他還沒有用氮這個名詞，他只談到“nitrum”這一名詞。這個字很難說應該譯作甚麼，但不是硝石，因為他常常單獨談及硝石和 nitrum 這兩個術語。我認為，他所用的“藍鳥”的術語，即 nitrum——“硝之精”，就是對氮存在的預感。翻譯成現代的語言，可以說格勞伯的 nitrum 有時是表示“氮”，有時是表示“硝酸離子”。

在他的著作“Teutschlands Wohlfahrt”[德國之福利](1656)裏他說“Sal et nitrum est unica vegetatio, generatio omnium vegetabilium, animalium, mineralium”，這句話很難逐字譯出，用現代的說法這句話近於證明如果只從土壤方面來談，那麼灰分物質(鹽)和氮(或硝之精)是植物生長的唯一因素，值得注意的是他的著作中下面的一段：“我們所用的所有的硝都是從植物產生的。”當指出在馬棚和畜圈的牆上有硝形成的時候他提出一個問題——它是怎麼形成的。顯然，是從動物的糞和尿形成的，而糞和尿是從動物的飼料，從草或乾草來的，簡單地說，是從植物物質來的，所以植物物質就含有“硝元”，而消化食物的器官只是準備它的分解而已。格勞伯指出即使沒有糞參加也可以將葉子或其他植物性以及動物性物質與土壤混合而形成硝，並指出，這可以作為工業製硝之用，他更進一步說，硝(nitrum)可以像大田作物一樣播種，用少量的酵素接種大量的土，土就很快地佈滿了硝，正如少量酵母可以引起大量麵團發酵一樣，由此可見，他已經有了硝的形成過程和釀酵有些相似的概念。

格勞伯對固定氮素的循環有一些觀念，他說“硝元”(nitrum)自大地深處上升，進入空氣的領域，從那裏“滿載天象的影響並溶於雨、雪、露水中而歸，以此而給予了土壤以肥力”。

格勞伯繼之這樣談到“硝元”：“它如無翼之小鳥，日夜無休地飛翔，在一切元素之間穿越，隨身攜帶着生命之精神。礦物、植物及動物自 nitrum 發生。此元素從不衰亡，只改變形式；它以食物形式進入動物身體，再在糞便中排出，如此還回土壤，重又躋身元素之列。它在植物根中存在，於是又重新回到食物中。就是如此地自元素到食物，自食物到糞便，從那裏重新進入元素而循環。”

格勞伯建議給葡萄根施用硝石，建議用硝石溶液浸種，以提高產量。在結束他“硝元”之頌歌時，除了其他描繪的詞句與類比以外，他提出了這可能就是哲學家所寫的“氮”的問題。但格勞伯如何會知道“氮”這個字呢？通常認為這個字是拉瓦錫開始用的，是從希臘字 $\sigma\omega$ (活) 與否定語 α (alpha privativum) 形成的，但事實上這個字還要古老得多——在鍊金家中就遇得到，雖然意義不同。



圖1 “用氮來給拉多娜沐浴”

請看這一張 1618 年的木刻畫 (圖 1); 標題是“用氮來給拉多娜* 沐浴”。這裏所說的氮似乎是生命水或不老藥之類的意思，簡單說就是一種奇功神效的液體。

* Latona, 羅馬女神, 為阿波羅之母——譯者。

煉金家所用的這個字從什麼地方來的呢？此字是人們這樣造成的：“a”是當時所有用來寫科學文章的文字（希臘文，拉丁文和希伯來文）的第一個字母，“s”是拉丁文的末一個字母，“o”是希臘文的末一個字母，“n”是希伯來文的末一個字母。把這些字母拼湊起來就得到了“Azot”。這個字是啓示錄的主題“我是阿拉法，我是俄梅戛，我是始，我是終”的一個變調。“氮”這個字有時用來指不可知的“衆始之始”，有時指哲人石，即能變金屬為黃金的神奇的“酵”¹⁾，有時指美貌，健康與財富的某種神秘的鑰匙。

因此格勞伯所說的“硝精”即“哲學家的氮”，當然不能理解作格勞伯所指的是拉瓦錫所瞭解的氮。這不過是形象化的比擬，用來強調“硝元”的全部意義；但也可以設想，拉瓦錫已經知道“哲學家的氮”，不過他給這個字以具體的意義罷了。

應該提起，格勞伯並不是十七世紀談到硝石之意義的唯一的作家。1621年出版了路易十三御醫布羅塞（Gui de Brosse）的著作，“De la nature, de la vertu et de l'utilité des Plantes。”在這本書內，除了一切說植物的食物是鹽，油與“Spiritus”的不明確的斷語以外，有些地方也說到土壤的“硝汁”（les sucs nitreux），他所說“地之鹽”一名詞也包括硝石的概念（“糞含有尿鹽”），在另一個地方：“沒有鹽的土是對結實沒有好處的，或者，更正確點說，鹽是肥力之父。”

某醫生斯士伯（Stubbes）於1668年時在倫敦皇家學會談到他在牙買加島上的觀察，說甘蔗在含硝石的土壤上（法文是“les terres nitreuses”）比在其他土壤上茂盛一些，在吸生長在這種土地上的菸草時能發出爆烈的聲音，他也順便提到，飽和了硝石的植物不好保存而容易腐爛。

很久以前鍊金家就有了“硝石之空氣起源”（le nitre aérien）的想法。

1660—1669年間不同的作家（Digby, Hengshaw, Beal）談到硝石起源於露水，並推薦在硝石溶液中浸種。弗蘭西斯·培根對硝石頗為注意，在他的小冊子“Silva silvarum”（1626）裏他還叫硝石作“肥力之鹽”，他有一種瞭解，認為某種“硝石的隱蔽部分”成了植物的組成部分。同一時代馬約（Mayow）也提出過很有趣的說法，他是“Tractatus quinque medico-physici, quarum primus agit de sal-nitro et spiritu

1) “Sicut fermentum pastae vincit pastam et ad se convertit semper, sic et his lapis philosophorum habet convertere plurimas partes metallorum ad se et non converti” (Petrus Bonus de Ferrara. 1330. 引自 Schultzenberger: Les fermentations).

nitro-aereo" (1671) 的作者。馬約是第一個確鑿地肯定硝石是由酸和鹼構成的,並指出,空氣參與它的形成,供給它揮發的部分,土地也參與它的形成,供給它不揮發的鹼 ("le sel fixe alcali")。馬約研究了硝石在土壤中的形成,指出它的含量在春天生長期開始時較高,以後它的含量即減少,因為植物把它吸收了。

著名的化學家和物理學家倫敦皇家化學學會的奠基人羅伯特·波義耳 (1626—1691) 曾著有研究硝石的特別紀念集 "A fundamental experiment made with nitre" [用硝做的一個基本實驗], 其中說硝石有兩個來源: 一個是酸的來源, 是比較揮發的, 是一種 "礦物醋", 另一個是不揮發性的、鹼性的。就在這些年代裏德國科學院 (Academia naturae curiosorum) 的會員對硝石作了很多的研究, 而鮑爾德文納斯 (Baldvinus, Baudoin) 寫到 "糞裏充滿了硝石之元"。巴比葉里 (Barbieri) 在 1681 年編寫了以 "Spiritus nitro-aerei operationes in microcosmo" 為題的論文, 居萬尼 (Giovanni) 在 1685 年做了 "論釀酵, 空氣與硝石" 的論文, 瑞吉斯 (Regis) 在他的 "物理學" (1691) 裏談到土壤中硝石的分佈, 最後, 史塔爾 (Stahl) 於 1698 年在他的 "Opusculum chemicum" 中對硝石的分佈給予很大的注意。他還說, 認為硝石只是起源於土或只是起源於空氣都是不正確的, 而應該承認二者都參加。

如此, 早在拉瓦錫以前很久, 不僅形成了 "硝元" 在植物生活中之意義的觀念, 而且也形成了關於這個起源發生於空氣的觀念。

當普列斯特利發現了空氣是由氧和某種不支持燃燒的殘餘物所構成的時候, 他最初把它叫作 "脫燃素的空氣"。但拉瓦錫證明這個氣體就是這樣含在大氣中, 而不是在燃燒時形成的。那時對這個氣體不能維持呼吸和燃燒的性質給予了很大的注意, 從此就產生了拉瓦錫的最初的觀念 "mofette atmosferique" 即空氣中的瘴氣或窒息的氣體, 那時沒有確定它與 "硝石之空氣起源" 的任何關係, 只是首先發現了這種氣體在呼吸與燃燒過程方面是與氧矛盾的。但 1783 年卡文地許 (Cavendish) 指出在空氣中放電火花時這個氣體與氧相結合而產生氮的氧化物, 這就產生了 nitrogène (氮) 的名稱 (如此在實質上找到了從 "無生命的" 氮到能給予植物以生命的硝石之間的橋樑)。另一方面柏特婁 (Bertholet) 很快即發現此一元素含於 "alcali volatil" (揮發鹼) 即氨的組成中 (因而也含於許多動物來源物質的成分中), 所以福爾庫爾 (Fourcroy) 提議用 "alcaligène" (鹼素) 這一名詞。但在 1787 年由拉瓦錫、柏特婁、福爾庫爾及莫爾沃 (Morveau) 組成的化學命名委員會認

爲與其用新的氣體的正面特點，還不如提出它的反面的性質來表示而叫它作“無生命的氣體”或氮 (Azote)，這個字是從希臘字 zoo (活動) 來的，而把所加的 α 作爲否定 (在希臘文中真地用所謂 α privatum)。但需要提起，這種造字的合法性是要引起懷疑的，因爲 α 這個字母在 zoo 字後根本沒有，zoé — 生命就是從 zoo 這個字來的，而在構成時並沒有 α 字母參加；至於複合名詞的 зоология (動物學)，зоотехника (動物技術) 等字也都同樣地屬於複合名詞，氮這個字當然是從煉金家那裏取來的¹⁾，不過給它另外的意義而已。

但拉瓦錫所稱爲“無生氣的”氣體的氮並沒有立刻佔據格勞伯的“硝之精”的地位，硝之精是從元素中到植物，從植物到動物體並通過糞便重新回到“元素的世界”(即無機界)的。而有時似乎却將“硝之精”在植物和動物的生活中的作用，完全忘記了。至少在德赫蘭 (Deherain) 所寫的布興格傳記²⁾裏曾說過這樣一個故事，有一個旅行家發現，在熔岩流到繁茂的草地上的時候，嗅到了彌散在空氣中的氮的清晰的氣味，而這個現象的原因是不知道的。當旅行家到本生那裏去請他解釋這個事實時，本生回答說，氮應該是熔融的熔岩在草地上作用而產生的，因爲“布興格不久以前證明植物含有氮”。

這個故事聽起來有些奇怪，因爲有名的化學家戴維，他首先是由於金屬鉀的發現而在化學歷史上聞名的，在他關於農藝化學的演講中 (1812) 曾清楚地談到氮作爲植物的最重要的成分³⁾，他知道豆科植物是富含氮素的，他甚至推測說豆科植物從空氣中攝取氮素。但戴維的少數生理實驗是粗糙原始的⁴⁾。

1) 這一點從莫爾沃 (Morveau) 在 1786 年所寫的論文 “La chimie” 中的幾行可以看得出來 “On a remarqué, que suivant le Dictionnaire de Trevoux, azote signifiait la matière première des métaux, le mercure des philosophes; on aurait pu citer aussi Paracelse que se sert réellement des mots azot et azoth”... (Encyclopédie méthodique, I. p. 641, 1786).

2) 布興格著作集 (Agronomie, chimie agricole et physiologie) 卷八的附錄。

3) 此外，值得提起的是 1804 年在巴黎的一次科學院會議上曾聽取了路布蘭 (Leblanc) 的報告，題目是 “Sur les substances ammoniacales considérées principalement comme matières végétales.” (Grandeau, “Chimie et physiologie appliquées à l'agriculture.” Paris, 1879, p. 60—62).

4) 戴維正確地提到，硝石，氯化銨，氯化鉀及碳酸鉀的溶液都對植物有良好的作用，作用最大的是碳酸銨。戴維說：“自然會預期到這樣的結果，因爲所談到的鹽含有碳、氫、氮和氧。”

碳酸銨對植物的作用的實驗本身是在 1808 年這樣做的：在曲頸甕裏裝滿了腐熟着的糞，把糞分解時所產生的氣體通到正在形成草皮的禾本科植物根來去，在不到一星期內就看出了這個試驗的結果：草的生長變得強烈得不尋常，而與沒有得到曲頸甕出來的氣體的植物的發育形成對比。索秀爾 (Saussure, 1804) 有一些很正確的說法。例如：“動物來源的肥料之所以優於植物性物質只在於前者含有較多的氮。”但後來他未能始終如一，在 1842 年他說氮的主要功能不是植物的直接營養，而是在於溶解含氮的土壤腐植質。(Bibliothèque universelle de Genève, 1842; 引自 Grandeau: Chimie et physiologie, 1879, I. p. 496).

因此如果把鍊金術時代和格勞伯時期拋開不談的話，植物氮素問題嚴格的實驗研究的歷史還是應該從布興格而不是從戴維開始，布興格甚至比李比希還更有，權利被認為是現代農業化學的奠基人，他比李比希更早地推翻了當時佔統治地位的台爾(Thaer)學說，他知道植物碳素的來源是大氣中的二氧化碳經過葉子進入的，在植物與土壤的相互關係方面他提出了植物氮素營養的學說以代替腐植質學說，並且根據對植物產量的作用而把氮肥提到產量上首要地位(“Les engrais les plus puissants sont ceux qui contiennent le plus d'azote”[氮的含量越高則肥料越肥])。

論可供植物利用之氮化合物的形態

當提出結合態氮對植物之意義的問題時¹⁾，立即就會產生同一問題的另一面——氮化合物中可供植物利用的形態問題，問題在這裏，對硫和磷來說我們確定地斷言植物需要一定的氧化程度(硫酸、磷酸和正磷酸)，在氮的問題上，我們在下面即將了解，問題是關於一整串的化合物，自還原程度最強的開始到氧化程度最強的為止，在某些情形下即是游離氮都不能從名單上劃掉。

關於可供植物利用之氮化合物的形態問題是經歷過不同的階段的，這有些像黑格爾的三段論，即是說在作解說的時候可以區別出三個階段：正題，反題，最後是相互矛盾的意見的綜合。事實上這三個階段之間(尤其是反命題和綜合之間)的界限並不可能劃得很清楚，正如同有時在一個整個合唱隊中同時會聽到兩個旋律，但爲了評述方便起見，這種解說的圖式是有益的。

起始的正命題是這樣的概念——植物氮的來源是氨。布興格和李比希就是從這裏出發的。布興格認為動物的排洩物與其他有機物質之所以能做爲肥料首先是因爲在它們分解時形成氨。布興格的這些看法是怎樣形成的呢？布興格以他在滅菌的砂中對植物氮源所做的嚴格的實驗而知名，但在他歐洲在砂中做實驗以前，他在南美的農業中已經看到了獨特的砂培養，幼年時他在那裏渡過了幾年，觀察並研究自然現象(甚至在火山口裏安置實驗室)及土著農業中的獨特方式。在秘魯的海岸上他有機會看到貧瘠的土壤如何轉變爲肥沃的農田，產生很高的作物收成，而

1) 布興格在他同年(1837)中所提出的游離氮的問題中所起的作用將在下面講到。

這個轉變是因施用馬糞做肥料而發生的。

布興格分析了鳥糞，發現它是非常富於氮素的肥料，這種肥料含有一部分現成的銨鹽（草酸銨），另外還有一部分在分解時很容易產生氨的物質（尿酸及其他）¹⁾。這就給布興格提供了關於植物氮源見解的契機以及最初方向。

李比希也認為氨在植物的氮素營養中起主要作用，同時，除了在動物排洩物分解時形成氨以外，他還認為空氣中碳酸銨的存在有很大的意義，當然，它的數量是很少的，但按李比希的意見，因為空氣層的龐大和它的流動性，這種氨也應當在植物的營養中起主要作用。由於某種預感使李比希開始在大氣中尋找氮的來源，並且他認為，春天較早開始，秋天較遲結束生長期的多年生牧草比穀類從空氣中攝取的氮多些。

最初，認為氨是植物氮素基本來源的正命題的統治地位如此之強，以至當第一批智利硝石運到漢堡的時候竟找不到買主，而只得把硝石拋到海裏去。在十七世紀被格勞伯認為“哲學家的氮”的化身而加以歌頌的硝石在十九世紀竟得到這樣的遭遇。

值得注意的是，在用砂培養所做的最初的實驗裏（Wiegmann 與 Polstorf, 1842）胡敏酸銨被用做氮的來源。同樣地在羅桑斯泰德最早的田間試驗裏也是硫酸銨而不是硝石。但那時硝石仍然滲入到農業的實踐中，而且產生了良好的結果，於是居爾曼（Kühlmann）、李比希和布興格的同時代人，想出了這樣的解釋：硝石所以能作用於植物是因為硝石在土壤有機物質的影響下還原而為氨。佔有統治地位的正題的影響就是這樣強烈。可是當在 1846 年薩勒姆·赫爾斯特瑪（Salm-Horstmar）嘗試創造砂培養用的正常混合物，從硝酸銨轉而用硝酸鈉時，出乎他意料之外，他發現植物沒有氨也過得去——即單靠硝石營養。十九世紀五十年代時布興格所做的有名的硝石實驗（在所有植物生理學教科書中都談到它們）也是這樣，他指出了居爾曼的解釋與薩勒姆·赫爾斯特瑪的實驗數據之間的矛盾，而設置了在灼燒過的砂中逐漸增加硝石數量（自零開始）的試驗。向日葵的產量（在試驗範圍內）與所施硝石的量成比例地增加。這樣就證明了植物直接靠硝石營養的可能性，同時也指出，有惡名聲的空氣中的氨絲毫也不能幫助得不到結合態氮素避免缺氮的

1) 鳥糞的形成是由多少世紀來在缺雨地區，吃魚，也就是吃含氮物質豐富的食料的鳥的排洩物積累而成的。

現象。

如此布與格似乎已經接近了綜合階段(即認為氨態氮可以同化,硝酸態氮也可以同化)。但下面的情況突然引起了朝向反命題的顯著傾向,尤其是在德國:在水培養方法出現以後(五十年代末,六十年代初),在嘗試引用氨做為氮源時出現了很多次失敗,因為引用的不是李比希所談的 NH_4HCO_3 ,也不是 Wiegmann 與 Polstorff 所用的胡敏酸銨,而是 NH_4Cl 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$,而并未採取任何措施來調節培養基的反應。當然,在這種情況下植物必然受到傷害,有時甚至由於殘餘的酸(HCl 及 H_2SO_4)而完全死亡,勞騰堡(Rautenberg, 1863)¹⁾曾正確地指出了這種情況。但那時沒有做出關於所用鹽類的生理酸性方面正確的邏輯結論,而做出了這樣的結論:似乎氨本身不適於作植物的營養,只有硝酸鹽才適合。誠然,也曾經有過不用強酸的嘗試(但是並未成功),那是拜耳(Beyer)在1867年用碳酸銨做了試驗,甚至不是用重碳酸鹽而是用 Na_2CO_3 ,當然,他所種植的植物受到了鹼的強烈傷害。而只有在試驗的後半中,當硝酸鹽出現的時候,植物才得以同生。這就被拜耳認為是氨本身不能做為氮素來源的證據,但其實這是典型的邏輯錯誤(cum hoc ergo propter hoc! [與此同時,即由此之故]),因為事實上原因在別處,即由於培養液通氣時逸出一部分氨而且後來由於出現硝化作用,而造成鹼性的緩和。這樣當時探討植物可以利用氨為營養而不須轉變為硝酸態的企圖在錫拉與哈立勃底之間*遭到了失敗,於是反命題的統治即愈來愈擴大。在這個背景上沒有注意到(或沒有充分估計到)當時唯一成功的試驗,試驗中並無硝化作用而氨顯然被同化了,不過這是根外氮肥營養的試驗,即營養是通過葉進行的,正如格里(Gris)在這以前通過葉子而供給缺綠植物鐵一樣。我們所指的是有名的農業化學家和生物化學家阿道爾夫·邁耶(Adolph Mayer, 1874)的經典試驗,其中兩個待比植株的根系放在一個共同的容器裏,而地上部分則各在一個孤立的環境中——玻璃鐘罩下——發育,這時一個鐘罩裏放了一杯碳酸銨溶液,而另一個(對照)植物則得不到氨。結果非常明顯:前一個植物發育較好,含氮較多,並且因為這些植物的根是用同一溶液(無氮的)進行營養的,所以很明顯在前者氮的積累完全是靠葉子對氨的同化來進行

1) Rautenberg und Kühne, Landwirtschaftl. Vers.-Stationen, VI, 355.

* 錫拉與哈立勃底是希臘神話中的兩個怪物,守在海峽兩岸崖上,殺害一切從海峽經過的。其意是指兩面都有危險之意——譯者。

的¹⁾。

但當時這個事實並沒有引起這樣的問題：難道可能有這樣的情形，葉子的細胞能够同化氮而根的細胞需要硝酸鹽？

反命題的統治地位得以繼續下去，而它的統治似乎與說明自然界中硝化作用的廣泛分佈的事實相和諧。

布興格就已經證明了自然界中硝化作用的巨大普遍性²⁾。在從這方面研究了耕地土壤以及草地與森林土壤以後，他指出土壤中硝酸鹽的含量不能用隨雨雪帶下的氮化合物之數量來解釋，而且也指出空氣中的氮不參加硝化作用。早在 1823 年朗香 (Longchamps) 用氮直接被氧氧化來解釋土壤中硝酸鹽的形成，同時把土壤的影響比作鉛海綿的作用。布興格指出，硝酸鹽在土壤中不是靠空氣的氮，而是靠

1) 這一個巧妙的實驗裝置消除了邁耶以前人的實驗所引起的一切懷疑。這個時期內第一個做碳酸銨對植物影響試驗的是農業化學家施德哈爾得 (Stöckhardt, 塔蘭人, 1859), 但他的實驗沒有給上述戴維的實驗增加甚麼東西; 1860 年施德哈爾得的學生撒赫斯 (Sachs), 後來是有名的生理學家, 以較完善的形式繼續了這些實驗, 他在砂培養中栽植四季豆, 把植物的地上部分放在玻璃鐘罩裏面, 每天更新鐘罩中的空氣, 在向這空氣添加碳酸銨時發現植物生長較好而且氮含量增加, 例如:

	植物乾重 (克)	全氮量 (毫克)
1. 空氣 + CO ₂	4.140	106
2. 同上 + 碳酸銨	6.740	208

從這裏撒赫斯得出葉子能從周圍的空氣裏同化氮的結論。但仍然有下面一點反對意見沒有消除：因為砂的表面沒有與大氣相隔離，所以氮可能穿過它到達根，然後通過根進到植物中去；也就是說仍然沒有證明葉子參與氮的同化作用。

因此施勒辛在法國和邁耶在德國在 1873—1874 年對這個問題加以新的驗證。施勒辛把菸草植株種在氮貧乏的土壤中，把碳酸銨引入葉周圍的大氣中；同時把套在發育着的植株上面的容積巨大的玻璃鐘罩用油灰封在作為隔離土壤與空氣的玻璃板上；菸草的莖穿過這個玻璃板上的小洞，並採取了措施使鐘罩內的空氣不致與土壤空氣對流。在這樣的條件下發現葉子得到碳酸銨的植物含有 3.320 克氮，而對照植物 2.460 克，也就是葉子自碳酸銨（每立方公尺空氣含 0.025 克氮）取得 0.820 克氮。一共給了 1.093 克，即是說同化了以氮形式所給的氮的 75% 以上。但在菸草葉中氮並不以原形積累，而用於蛋白質的形成。

在施勒辛用相當複雜的儀器（為得到已知成分的人工大氣而設的特殊唧筒系統等）進行實驗的同時，邁耶以較簡單的儀器進行工作，在實驗設計上更謹慎些，他用在正文中提到的精緻的裝置完成自己一系列的工作：為了消除關於氮穿到葉子接受氮的植物的根上去的任何疑慮，邁耶把兩個植株的根放在共同的溶液中，只有地上部分每個植株分別隔離在鐘罩內。如此完全嚴格地使用單一差異的方法，而得到的結果非常清楚：五星期後經葉吸取氮營養的植株乾物質中含 4.4% 氮，對照含 1.6%；氮的絕對量在前者是 28 毫克，而在後者是 8 毫克 (Landwirtschaftl. Versuchstat. XVIII, 1874)。

如此這些實驗充分證明了葉子具有吸收氮並把它轉變為蛋白質的能力。但這個結果只是在人為地以氮加富大氣時得到的，李比希所說植物從普通成分的大氣中能够用葉吸收大量的氮的說法在禾本科植物或在豆科植物都沒有得到證明。

2) 參看 Agronomie, chimie agricole et physiologie, 卷二。